



نشریه علمی علوم باغبانی

(علوم و صنایع کشاورزی)



جلد ۳۹ شماره ۴

سال ۱۴۰۴

شماره پیاپی ۶۸

شاپا: ۴۷۳۰-۲۰۰۸

عنوان مقالات

- اثر پروپانول، بوتانول و پنتانول بر عمر گلجای و کیفیت گل شاخه بریده میخک رقم 'نلسون'
۵۵۱ (*Dianthus caryophyllus* cv. Nelson)
داود هاشم آبادی - امیرحسین سلیمانی - بهزاد کاویانی - نیره نظیری مقدم
- بررسی تأثیر برخی از کودهای زیستی بر خصوصیات رشدی، محتوای عناصر غذایی برگ و عملکرد میوه سیب
۵۶۹ (*Malus domestica* cv. Red delicious)
افسانه صالحی - فاطمه نکنونام - فرهنگ رضوی
- مطالعه گل دهی و تأثیر روش های مختلف گرده افشانی دستی در باروری برخی از گونه های سالویا
۵۸۵ (*Salvia* spp.) بومی ایران
قاسم اسماعیلی - مجید عزیزی - حسین آروئی - جمیل واعظی
- ارزیابی اثرات دگرآسیبی برخی گونه های گیاهی بر جوانه زنی و رشد دانهال کاهو
۵۹۹ (*Lactuca sativa* var. Great lakes 366) با استفاده از روش ساندویچ
سمیه امینی - مریم شمشیرکش شهری
- اثر نور تکمیلی (طیف و طول دوره نوردهی) LED بر برخی از صفات فیزیولوژیکی و میزان هایپرین
۶۱۳ (*Hypericum perforatum* L.) در گل راعی
الله غفوریان حضوری اصفهان - مجید عزیزی
- اثر نورهای مختلف LED قرمز و آبی بر خصوصیات ریخت شناختی و فیزیولوژیکی گیاه زوفا
۶۳۳ (*Hyssopus officinalis* L.)
فاطمه اسماعیلی - حسن بیات - حسین نستری نصر آبادی - محمد حسین امینی فرد
- تأثیر محلول پاشی سدیم سولنیت و کلسیم نیترات بر تجمع نیترات اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) در منطقه شهر کرد
۶۴۹
افسانه فرحمنی - بیژن حقیقتی - بابک مدنی
- برآورد میزان خسارت ناشی از سرمازدگی در درختان گردو (*Juglans regia*) با استفاده از سنجش ازدور
۶۶۵
الهام گوهری - حسین ترابزاده خراسانی - سعید الوندی - مرتضی حیدری مظفر
- ارزیابی ژنوتیپ های امیدبخش بادام (*Prunus dulcis* L.) براساس خصوصیات رویشی، فنولوژی و کمی و
۶۷۹
کیفی خشک میوه و مغز
سید اصغر موسوی - اکرم وطن خواه - علی ایمانی
- بهبود شاخص های جوانه زنی، رشدی و بیوشیمیایی گیاه گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch & Mey.)
۶۷۱ تحت کیفیت های مختلف نور
رقیه نبی پور سنجید - اسماعیل چمنی - یونس پوریرامی هیر
- مقایسه اثرات کود مرغی و پودر خون با کود شیمیایی بر صفات رشد و عملکرد سیب زمینی
۷۱۷ (*Solanum tuberosum* L.) در شرایط کم آبیاری
خسرو پرویزی - علی قدمی فیروز آبادی - مهناز ختار - مهدی احمدیان
- ارزیابی میزان استخراج مواد مؤثره گیاه دارویی مرزنجوش (*Origanum vulgare*) تحت تأثیر تیمار پلاسمای
۷۳۷ تخلیه سد دی الکتریک (DBD)
سعیده محتشمی

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 4 زمستان 1404

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

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

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

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

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

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

پست الکترونیکی: Jhorts4@um.ac.ir

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

HORTICULTURAL SCIENCES

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- 551 اثر پرویانول، بوتانول و پنتانول بر عمر گلجای و کیفیت گل شاخه بریده میخک رقم 'نلسون' (*Dianthus caryophyllus* cv. Nelson)
داود هاشم آبادی - امیرحسین سلیمانی - بهزاد کاویانی - نیره نظیری مقدم
- 569 بررسی تأثیر برخی از کودهای زیستی بر خصوصیات رشدی، محتوای عناصر غذایی برگ و عملکرد میوه سیب (*Malus domestica* cv. Red delicious)
افسانه صالحی - فاطمه نکونام - فرهنگ رضوی
- 585 مطالعه گل‌دهی و تأثیر روش‌های مختلف گرده‌افشانی دستی در باروری برخی از گونه‌های سالویا (*Salvia* ssp.) بومی ایران
قاسم اسماعیلی - مجید عزیزی - حسین آروئی - جمیل واعظی
- 599 ارزیابی اثرات دگرآسیبی برخی گونه‌های گیاهی بر جوانه‌زنی و رشد دانه‌ها (Lactuca sativa var. Great lakes 366) با استفاده از روش ساندویچ
سمیه امینی - مریم شمشیرکش شهری
- 613 اثر نور تکمیلی (طیف و طول دوره نوردهی) LED بر برخی از صفات فیزیولوژیکی و میزان هاپیریسین در گل راعی (*Hypericum perforatum* L.)
الیه غفوریان حضوری اصفهان - مجید عزیزی
- 633 اثر نورهای مختلف LED قرمز و آبی بر خصوصیات ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی گیاه زوفا (*Hyssopus officinalis* L.)
فاطمه اسماعیلی - حسن بیات - حسین نستری نصر آبادی - محمد حسین امینی فرد
- 649 تأثیر محلول پاشی سدیم سولنیت و کلسیم نیترات بر تجمع نیترات اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) در منطقه شهر کرد
افسانه فرحمن‌دی - بیژن حقیقتی - بابک مدنی
- 665 برآورد میزان خسارت ناشی از سرمازدگی در درختان گردو (*Juglans regia*) با استفاده از سنجش ازدور
الهام گوهری - حسین ترابزاده خراسانی - سعید الوندی - مرتضی حیدری مظفر
- 679 ارزیابی ژنوتیپ‌های امیدبخش بادام (*Prunus dulcis* L.) بر اساس خصوصیات رویشی، فنولوژی و کمی و کیفی خشک میوه و مغز
سید اصغر موسوی - اکرم وطن خواه - علی ایمانی
- 671 بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی، رشدی و بیوشیمیایی گیاه گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch & Mey.) تحت کیفیت‌های مختلف نور
رقیه نبی‌پور سنجید - اسماعیل چمنی - یونس پوربیرامی هیر
- 717 مقایسه اثرات کود مرغی و پودر خون با کود شیمیایی بر صفات رشد و عملکرد سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در شرایط کم‌آبایی
خسرو پرویزی - علی قدمی فیروزآبادی - مهناز ختار - مهدی احمدیان
- 737 ارزیابی میزان استخراج مواد مؤثره گیاه دارویی مرزنجوش (*Origanum vulgare*) تحت تأثیر پیش تیمار پلاسما تخلیه سد دی - الکتريک (DBD)
سعیده محتشمی

Effect of Propanol, Butanol and Pentanol on Vase Life and Quality of Cut Carnation cv. Nelson (*Dianthus caryophyllus* cv. Nelson) Flower

D. Hashemabadi^{1*}, A. Soleimani¹, B. Kaviani¹, N. Naziri Moghaddam¹

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

(*- Corresponding author's Email: hashemabadi@iaau.ac.ir; davoodhashemabadi@yahoo.com)

Received: 15 August 2023
Revised: 24 October 2023
Accepted: 23 November 2023
Available Online: 25 November 2023

How to cite this article:

Hashemabadi, D., Soleimani, A., Kaviani, B., & Naziri Moghaddam, N. (2026). Effect of propanol, butanol and pentanol on vase life and quality of cut carnation cv. Nelson (*Dianthus caryophyllus* cv. Nelson) flower. *Journal of Horticultural Science*, 39(4), 549-566. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2023.83721.1280>

Introduction

Cut carnation flowers have high economic importance in the floriculture industry. The postharvest life of cut ornamentals, including carnation, is important in determining their quality and consumer preference. High production of ethylene is one of the most important factors that reduce the postharvest life of this flower. High ethylene production causes the aging of some cut flowers. In order to increase the vase life of cut flowers, many studies have been done and various preservative solutions have been introduced, and in some of these solutions, disinfectants have also been used. One of the effective compounds in stopping or reducing ethylene production are alcohols. Ethanol stops ethylene synthesis in cut carnation. Cut carnation is climacteric flower and sensitive to high levels of ethylene. Therefore, the aim of this research was to investigate and compare the effect of different amounts of propanol, butanol and pentanol on the vase life and quality improvement of cut carnation flowers cultivar 'Nelson'.

Materials and Methods

In the present study, propanol, butanol and pentanol were used at the concentrations of 2, 4 and 6% for 24-hour pulse, in order to reduce ethylene production and increase the vase life of cut carnation cultivar 'Nelson' flowers. In February 2020, cut carnation flowers that were harvested at the commercial stage were prepared from a greenhouse in Mahalat city and were immediately transferred to the Postharvest Laboratory, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Rasht Branch for treatment and evaluation of traits. This experiment was conducted as a completely randomized design in 30 plots. For each treatment, 3 replications and 5 samples for each replication and a total of 150 flower branches were considered. Some traits such as vase life, water absorption, dry matter, petal protein, leaf chlorophyll, ethylene production, fresh weight loss, flower opening index, Brix degree, lipid peroxidation and activity of antioxidant enzymes, peroxidase and superoxide dismutase were measured. To evaluate the vase life of cut flowers, the main criterion is the turning of the petals inward and the apparent wilting of the flowers. Data analysis was done using SAS statistical software and mean comparison based on Duncan's multiple range test.

Results and Discussion

The results of variance analysis of the data showed that the effect of different amounts of propanol, butanol and pentanol application was significant at 5% and 1% probability level on vase life and most of the traits measured in cut carnation flowers. This research revealed that propanol had a more effective role in reducing



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

<https://doi.org/10.22067/jhs.2023.83721.1280>

ethylene production and increasing the vase life than butanol and pentanol. The results showed that the longest vase life (14.11 days) was observed in cut flowers treated with 2% propanol. This treatment also caused the highest amount of water absorption, percentage of dry matter, petal protein and leaf chlorophyll, as well as the lowest amount of ethylene production. The lowest vase life (8.91 days) was observed in control cut flowers. The mean comparison of the different alcohol treatments showed that all treatments of propanol and butanol alcohols in different concentrations increased the absorption of solution by cut flowers compared to the control. Maintaining the water balance in cut flowers is one of the important factors in the vase life of cut flowers. The content of water uptake by cut flowers depends on the hydraulic conductivity of the water channel in the stem and the water potential difference between cut flower tissues and the preservative solution. The least plasma membrane damage was caused in cut flowers treated with 2% propanol. This treatment also caused the highest SOD activity. The short vase life of cut flowers is a global challenge, and efforts are being made to increase their vase life by using appropriate compounds in the vase solution. One of these compounds are alcohols, which have been used by some researchers in order to increase the vase life of various cut flowers. Alcohols are usually toxic for cells in high concentrations. Propanol and butanol in low concentrations inhibited the synthesis of ethylene and therefore increased the vase life of cut carnation flowers. These anti-ethylene compounds prevent the senescence of the petals, which is usually associated with the browning of the petals. Alcohols in optimal concentrations act as a signal and increase the vase life of cut flowers and improve their postharvest quality by reducing lipid peroxidation and inducing the activity of antioxidant enzymes. Similar findings were reported in cut alstroemeria, some carnation cultivars and chrysanthemum flowers.

Conclusion

The present study showed the positive effect of disinfectant and antimicrobial compounds on increasing the vase life, some physiologic characters and antioxidants activity. This research revealed that propanol had more effective role in reducing ethylene production and increasing the vase life than butanol and pentanol. The results showed that the longest vase life was observed in cut carnation cv. Nelson flowers treated with 2% propanol.

Keywords: Ethylene, Flower senescence, postharvest life, Climacteric flower

اثر پروپانول، بوتانول و پنتانول بر عمر گلجای و کیفیت گل شاخه‌بریده میخک رقم 'نلسون' (*Dianthus caryophyllus* cv. Nelson)

داود هاشم‌آبادی^{۱*} - امیرحسین سلیمانی^۱ - بهزاد کاویانی^۱ - نیره نظیری مقدم^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۲

چکیده

گل شاخه‌بریده میخک (*Dianthus caryophyllus* cv. Nelson) از اهمیت اقتصادی بالایی در صنعت گلکاری برخوردار است. عمر پس از برداشت گل‌های زینتی شاخه‌بریده از جمله میخک، در تعیین کیفیت آن‌ها و ترجیح مصرف‌کنندگان مهم است. یکی از عوامل کاهش عمر پس از برداشت این گل، تولید اتیلن زیاد است. میخک فرازگرا و به اتیلن بسیار حساس می‌باشد. با توجه به نقش ترکیب‌های الکلی در ممانعت یا کاهش بیوسنتز اتیلن، در پژوهش حاضر، از غلظت‌های دو، چهار و شش درصد پروپانول، بوتانول و پنتانول به‌صورت پالس ۲۴ ساعته، به‌منظور کاهش تولید اتیلن و افزایش عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده میخک رقم نلسون استفاده گردید. آب مقطر به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. بنابراین، در مجموع ۱۰ تیمار (سه غلظت پروپانول، سه غلظت بوتانول، سه غلظت پنتانول و آب مقطر) در نظر گرفته شد. در این پژوهش، عمر گلجای، برخی از صفات فیزیولوژیک (اتیلن، پروتئین گلبرگ، کلروفیل، ماده خشک، کاهش وزن تر، جذب محلول، کاهش درجه بریکس و مالون دی‌آلدئید) و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز) اندازه‌گیری گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که پروپانول نقش مؤثرتری در کاهش تولید اتیلن و افزایش عمر گلجای نسبت به بوتانول و پنتانول داشت. همچنین براساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، بیشترین عمر گلجای (۱۴/۱۱ روز)، در گل‌های شاخه‌بریده تیمار شده با دو درصد پروپانول مشاهده شد. این تیمار همچنین بالاترین مقدار جذب آب، درصد ماده خشک، پروتئین گلبرگ و کلروفیل برگ، همچنین کمترین مقدار تولید اتیلن را باعث شد. کمترین عمر گلجای (۸/۹۱ روز) نیز در گل‌های شاخه‌بریده شاهد مشاهده شد. پژوهش حاضر، اثر مثبت ترکیبات ضدعفونی‌کننده و ضد میکروبی بر افزایش عمر گلجای و بهبود فعالیت آنزیم‌ها در گل شاخه‌بریده میخک رقم نلسون را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: اتیلن، پیری گل، عمر پس از برداشت، گل فرازگرا

مقدمه

میخک با نام علمی *Dianthus caryophyllus* L. از خانواده Caryophyllaceae، گیاهی چندساله با ساقه‌های منشعب است. میخک به‌ویژه انواع استاندارد و خوشه‌ای آن، از مهم‌ترین گل‌های شاخه‌بریده جهان محسوب می‌شود که با رنگ‌ها و شکل‌های متنوع گل، سهم بسزایی در تولید و تجارت گل‌های شاخه‌بریده دارد (Naing et al., 2017; Teixeira da Silva, 2003). این گل از نظر تولید، پس از رز (*Rosa hybrida*) در رده دوم جهانی قرار دارد. جنس *Dianthus* بیش از ۳۰۰ گونه دارد که همگی جزء گیاهان

چندساله علفی هستند و به‌عنوان گیاه باغچه‌ای، گلدانی و شاخه‌بریده پرورش داده می‌شوند (Onozaki, 2018a).

میخک، فرازگرا و به اتیلن بسیار حساس می‌باشد (Hashemabadi, 2011). بیشتر اثرهای منفی روی گل‌های شاخه‌بریده ناشی از تولید اتیلن است که پژمردگی زودرس گلبرگ‌ها را به دنبال دارد (Lee et al., 1997). در میخک، پیری گلبرگ‌ها با یک افزایش در تولید اتیلن در طول مرحله آخر و به‌تبع آن پیچیدگی برگشت‌ناپذیر گلبرگ‌ها و پژمردگی و ریزش آن‌ها همراه است (Kim et al., 2014; Amini et al., 2005). اتیلن مسئول بیان برخی از ژن‌های مرتبط با پیری است و این ژن‌ها در بیوسنتز اتیلن نقش اساسی دارند. پیری در گل‌های فرازگرا مانند میخک معمولاً با افزایش ناگهانی و موقتی تنفس و تولید اتیلن همراه است. اتیلن درون‌زا و برون‌زا در گل‌های شاخه‌بریده موجب باز شدن گل‌ها، ریزش اندام‌های گل، خشک شدن کاسبرگ‌ها و بدشکلی گلبرگ‌ها می‌شود که این امر

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

*- نویسنده مسئول: Email: davoodhashemabadi@yahoo.com;

hashemabadi@iaui.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/jhs.2023.83721.1280>

تجارت این محصول‌های را محدود می‌نماید (Gupta & Dubey, 2018). تیمارهای ضداتیلن در چرخه پس از برداشت گل‌ها و میوه‌ها جایگاه ویژه‌ای دارند (Kamiah, 2016; Lee et al., 1997). از برخی بازدارنده‌های تولید اتیلن مانند تیوسولفات نقره، پرمنگنات سدیم، الکل‌ها و سیتوکینین‌ها برای افزایش عمر پس از برداشت گل‌های شاخه‌بریده از جمله میخک استفاده شده است (Amini, 2018; Hashemabadi, 2019; Ramtin et al., 2019). برخی جاذب‌های اتیلن از جمله ژئولیت نیز به این منظور مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Khandan-Mirkohi & Arabi, 2018).

پژوهش‌های زیادی به منظور افزایش عمر گلجای گل شاخه‌بریده میخک، انجام شده است و محلول‌های نگهدارنده مختلفی معرفی شده‌اند که در برخی از این محلول‌ها، مواد ضدعفونی‌کننده مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Pun et al., 2005; Seven & Jose, 2004). Tanazad et al., 2016). یکی از ترکیب‌های مؤثر در توقف یا کاهش تولید اتیلن، الکل‌ها هستند. اتانول باعث توقف سنتز اتیلن در میخک می‌شود، به طوری که از تبدیل ۱،۶-آمینوسیکلوپروپان-۱-کربوکسیلیک اسید (ACC) جلوگیری می‌کند و همچنین تشکیل ACC را متوقف می‌نماید (Podd & van Wu et al., 1992). Staden, 1999). محلول حاوی هفت درصد اتانول باعث افزایش عمر گلجای گل میخک نسبت به شاهد شد (Karimian & Tehranifar, 2011). این محققان نشان دادند که محلول اتانول هفت درصد و متانول چهار درصد بر افزایش عمر گلجای میخک تأثیرگذار هستند. استفاده از غلظت‌های دو تا هشت درصد اتانول و متانول برای افزایش عمر پس از برداشت گل‌های شاخه‌بریده میخک گزارش شده است (Petridou et al., 1999; Wu et al., 1992). الکل‌ها در سایر گل‌های شاخه‌بریده مانند مریم (Polianthes tuberosa L.) و تاج‌خروس زینتی (Amaranthus tricolor L.) نیز باعث افزایش عمر گلجای شدند. گل‌های بریده لیسیانتوس (Eustoma grandiflorum) نگهداری‌شده در محلول اتانول (دو، چهار و شش درصد)، عمر گلجای بیشتری نسبت به شاهد داشتند و اتانول شش درصد بیشترین اثر بازدارندگی را در تولید اتیلن داشت (Farokhzad et al., 2005). امینی (Amini, 2018) نشان داد که تیمارهای ۱۲ ساعته متانول چهار و شش درصد، تولید اتیلن را در گل‌های شاخه‌بریده میخک به طور چشم‌گیری کاهش دادند و منجر به افزایش معنی‌دار عمر گلجای گل‌های میخک شدند. استفاده از اتانول با غلظت‌های ۰،۴ و ۸ و ۱۰ درصد باعث افزایش دوام گل‌های گل‌کاغذی (Bougainvillea spectabilis) نسبت به شاهد شد (Sharif Hossain et al., 2008). در مطالعه روی گل شاخه‌بریده میخک رقم

'Sensi' مشخص شد که اتانول و متانول با کاهش چشمگیر میزان تولید اتیلن و اثر ضدعفونی‌کنندگی، باعث افزایش عمر پس از برداشت شدند (Amini et al., 2014). اثر الکل‌ها روی عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده به نوع، غلظت و نحوه کاربرد آن (مدام و کوتاه‌مدت یا پالس) و همچنین نوع رقم بستگی دارد (Wu et al., 1992; Petridou et al., 2001). برخی از ترکیبات دیگر از جمله ۸-هیدروکسی‌کینولین سولفات و ساکارز نیز به منظور افزایش عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده، به محلول گلجای افزوده شد. ۸-هیدروکسی‌کینولین سولفات نقش مؤثری در ممانعت از رشد برخی میکروب‌ها داشت. ساکارز نیز به عنوان یک منبع انرژی مورد استفاده گل‌های شاخه‌بریده قرار می‌گیرد. کاربرد هیدرات‌های کربن از جمله ساکارز، همچنین می‌تواند به عنوان یک منبع غذایی مناسب برای میکروب‌های موجود در محلول گلجای و گل شاخه‌بریده باشد که با مسدود کردن آوندها باعث کاهش جذب آب و در نتیجه کاهش عمر گلجای می‌شوند (Jahanifar et al., 2016). بنابراین، کاربرد ضدعفونی‌کننده‌هایی همانند ۸-هیدروکسی‌کینولین سولفات در محلول گلجای همراه با ساکارز (به عنوان محلول نگهدارنده) ضروری به نظر می‌رسد. تیمار ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر ۸-هیدروکسی‌کینولین سولفات و دو درصد ساکارز به طور معنی‌داری دوام و کیفیت گل‌های شاخه‌بریده شب‌بو (Matthiola incana L) را افزایش داد (Arab et al., 2006). تیمارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم در لیتر ۸-هیدروکسی‌کینولین سولفات همراه با ساکارز سه درصد به ترتیب با ۱۹/۸۳ و ۱۹/۶۶ روز بیشترین عمر گلجایی را در آلسترومریا (Alstroemeria) داشتند (Mohammadi Kabari & Jadid Solimandarabi, 2019). برخی مطالعه‌ها در ارتباط با مقاومت گل بریده میخک به اتیلن و افزایش عمر گلجای با استفاده از روش‌های اصلاحی از جمله تلاقی‌های صلیبی در حال انجام است (Onozaki, 2018b).

با توجه به نقش اتیلن در پیری گل شاخه‌بریده میخک، هدف از پژوهش حاضر، بررسی و مقایسه اثر مقادیر مختلف کاربرد پروپانول، بوتانول و پنتانول بر ماندگاری و افزایش کیفیت پس از برداشت گل‌های شاخه‌بریده میخک رقم 'نلسون' بود. تعداد گروه‌های متیل در این سه نوع الکل متفاوت است، به طوری که پروپانول دارای سه، بوتانول دارای چهار و پنتانول دارای پنج گروه متیل می‌باشند.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

در بهمن‌ماه سال ۱۳۹۹ گل‌های شاخه‌بریده میخک رقم 'نلسون' که در مرحله تجاری برداشت شده بودند، از گلخانه‌ای در شهر محلات

شدند (جدول ۱). پس از اتمام دوره پالس و خارج نمودن گل‌ها از محلول‌ها، گلدان‌ها تعویض گردید و گل‌ها تا پایان عمر در ظروف حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر محلول حاوی ۳۰۰ میلی‌گرم ۸-هیدروکسی کینولین سولفات و ساکارز سه درصد نگهداری شدند. در طول دوره آزمایش و به‌منظور جلوگیری از انسداد آوندی، هر سه روز یک بار عمل باز برش انتهای ساقه، به اندازه یک سانتی‌متر درون آب ۳۸ درجه سانتی‌گراد انجام شد.

صفت‌های اندازه‌گیری‌شده

عمر گلجای

برای ارزیابی طول عمر گلدانی گل‌ها، معیار اصلی، چرخش گلبرگ‌ها به‌طرف داخل و پژمردگی ظاهری گل‌ها است (Hashemabadi, 2006).

جذب محلول

از آنجایی‌که عمر گلجای گل‌های شاخه بریده وابستگی کامل به جذب آب دارد، هر سه روز یک بار حدود یک سانتی‌متر از انتهای شاخه‌ها در زیر آب بریده شدند. از طرف دیگر، حجم محلول نگهدارنده درون گلدان‌ها نیز مشخص بود (۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر). با توجه به میزان تبخیر محلول نگهدارنده و کاهش محلول درون گلدان‌های حاوی گل، جذب آب با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد (Mohammadi Kabari & Jadid Solimandarabi, 2019).

تهیه گردید و بلافاصله برای انجام تیمار و ارزیابی صفت‌ها به آزمایشگاه پس از برداشت دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت منتقل شدند.

طرح آزمایشی

این آزمایش به‌صورت طرح پایه کاملاً تصادفی در ۳۰ پلات اجرا گردید. برای هر تیمار، سه تکرار و در هر تکرار پنج شاخه و در مجموع، ۱۵۰ شاخه گل در نظر گرفته شد (شکل ۱).

شرایط محیطی اتاق ارزیابی

شرایط محل آزمایش شامل ۱۲ ساعت تاریکی و ۱۲ ساعت روشنایی بود که توسط نور لامپ‌های فلورسنت سفید تأمین شد. شدت نور ۱۲ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه، دمای اتاق 20 ± 2 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی نیز بین ۶۰ تا ۷۰ درصد بود (Mohammadi Kabari & Jadid Solimandarabi, 2019).

نحوه آماده‌سازی گل‌ها و انجام تیمارهای الکلی پروپانول،

بوتانول و پنتانول

ابتدا شاخه‌های میخک رقم 'نلسون' به‌طول ۵۰ سانتی‌متر در داخل آب ۳۸ درجه سانتی‌گراد بریده شدند و همه برگ‌ها تا گره سوم از پایین حذف گردید. گل‌ها با برچسب، کدگذاری شدند و پس از توزین با ترازوی دیجیتال، به‌مدت ۲۴ ساعت در تیمار پالس قرار داده



شکل ۱- چیدمان پلات های تیماری

Figure 1- The arrangement of the treatment plots

جدول ۱- تیمارهای مورد استفاده در پژوهش حاضر و نماد آنها

Table 1- Used treatments in the present research and their symbols

نماد	تیمارها
Symbol	Treatments
شاهد	آب مقطر
Control	Distilled water
P ₁	پروپانول ۲ درصد (۵ میلی گرم در لیتر) Propanol 2% (5 mg.L ⁻¹)
P ₂	پروپانول ۴ درصد (۱۰ میلی گرم در لیتر) Propanol 4% (10 mg.L ⁻¹)
P ₃	پروپانول ۶ درصد (۱۵ میلی گرم در لیتر) Propanol 6% (15 mg.L ⁻¹)
B ₁	بوتانول ۲ درصد (۵ میلی گرم در لیتر) Butanol 2% (5 mg.L ⁻¹)
B ₂	بوتانول ۴ درصد (۱۰ میلی گرم در لیتر) Butanol 4% (10 mg.L ⁻¹)
B ₃	بوتانول ۶ درصد (۱۵ میلی گرم در لیتر) Butanol 6% (15 mg.L ⁻¹)
T ₁	پنتانول ۲ درصد (۵ میلی گرم در لیتر) Pentanol 2% (5 mg.L ⁻¹)
T ₂	پنتانول ۴ درصد (۱۰ میلی گرم در لیتر) Pentanol 4% (10 mg.L ⁻¹)
T ₃	پنتانول ۶ درصد (۱۵ میلی گرم در لیتر) Pentanol 6% (15 mg.L ⁻¹)

(۱)

جذب آب = ۵۰۰ cc - (حجم محلول گلجای در روز پایانی + میانگین
تبخیر ۴ گلجای در روز پایانی) / وزن شاخه گل

(۳)

درصد ماده خشک = (وزن خشک ÷ وزن تر گل‌ها در روز آخر) ×
۱۰۰

کاهش وزن تر

با توجه به میزان وزن تر اولیه گل‌ها، وزن تر نهایی آن‌ها، وزن
بازبرش‌ها و وزن ریزش‌ها، مقدار کاهش وزن تر برحسب گرم به‌ازای
هر شاخه گل طبق معادله ۲ محاسبه شد (Mohammadi Kabari
& Jadid Solimandarabi, 2019).

(۲)

کاهش وزن تر = وزن تر اولیه - (مزن تر نهایی + وزن بازبرش‌ها +
وزن ریزش‌ها)

درصد ماده خشک

پس از پایان عمر گلجای هر گل، وزن تر آن اندازه‌گیری شد و
گل‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده
شدند. پس از اطمینان از خشک شدن، گل‌ها به‌وسیله ترازوی
دیجیتال توزین گردید. درصد ماده خشک با استفاده از معادله ۳
محاسبه شد (Mohammadi Kabari & Jadid Solimandarabi, 2019).

کاهش درجه بریکس (Brix) (درصد ساکارز موجود در

ساقه گل)

برای اندازه‌گیری درجه بریکس، از بازبرش‌های انتهایی ساقه
استفاده شد. یک یا دو قطره از آب موجود در برش‌ها روی صفحه
شیشه‌ای رفراکتومتر دستی (مدل N-1α ساخت شرکت ATAGO
کشور ژاپن) ریخته و درجه بریکس آن خوانده شد. تفاضل بین اعداد
به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری میانگین بریکس روز اول و میانگین
بریکس روز آخر عمر گلدانی، به‌عنوان میزان کاهش درجه بریکس آن
شاخه گل در نظر گرفته شد (Mohammadi Kabari & Jadid
& Solimandarabi, 2019).

شاخص باز شدن گل

اندازه‌گیری قطر گل به‌صورت یک روز در میان و با استفاده از
کولیس دیجیتال انجام شد. به این منظور، ابتدا بزرگ‌ترین قطر گل و
سپس قطر عمود بر آن اندازه‌گیری گردید و میانگین آن‌ها محاسبه
شد. اولین اندازه‌گیری، بلافاصله پس از انجام تیمارهای الکلی و

$$(۶) \quad a = 9.93 (A660) - 0.777 (A642.5) \quad \text{کلروفیل } a$$

که در آن؛ A: مقدار جذب در طول موج مورد نظر است.

اندازه‌گیری اتیلن

برای اندازه‌گیری مقدار اتیلن آزاد شده، در روز دوم از هر گلدان یک شاخه گل انتخاب گردید و مقدار اتیلن به‌روش چمنی (Chamani, 2005) اندازه‌گیری شد. شاخه گل انتخاب‌شده در یک ظرف هوا بندی شده به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت. بعد از ۲۴ ساعت، از هوای داخل ظرف نمونه‌گیری شد و نمونه‌های گاز برای آنالیز مقدار اتیلن به آزمایشگاه تجزیه گاز دانشگاه تهران منتقل گردید. اندازه‌گیری مقدار اتیلن تولید شده به کمک دستگاه GC-8 AIT مدل Shimadzu انجام شد.

پراکسیده شدن لیپیدها

برای اندازه‌گیری پراکسیده شدن لیپیدها، مقدار مالون دی‌آلدئید (MDA) روی تیمارهای گلچین (شاهد، P_1 , B_1 , T_3 و B_3) و با استفاده از روش هیت و پارکر (Heath & Parker, 1968) به‌عنوان محصول واکنش پراکسیده شدن اسیدهای چرب غشاء اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری مالون دی‌آلدئید، ۰/۵ گرم بافت گلبرگ در روز پنجم آزمایش از شاخه گل جدا و به کمک نیتروژن مایع عصاره‌گیری شد. به عصاره حاصل، یک میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار اضافه شد و نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ (۱۴۰۰۰ دور در دقیقه) شدند. محلول رویی نمونه‌ها توسط سمپلر جدا و مجدداً به مدت ۱۰ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد عمل سانتریفیوژ (۱۰۵۰۰ دور در دقیقه) انجام گردید. پس از آن، به محلول رویی ۱۰۰۰ میکرولیتر اسیدتری کلرواستیک (TCA) ۲۰ درصد و ۰/۵ درصد اسیدتیوباربتیریک (TBA) اضافه گردید. محلول حاصل به مدت ۳۰ دقیقه داخل حمام آب جوش (۹۰ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت و سپس به یخ منتقل شد. پس از این مرحله، نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (۱۰۵۰۰ دور در دقیقه) گردید. ماده قرمز رنگ رویی جدا شد و میزان جذب ماده قرمز رنگ مالون دی‌آلدئید - اسیدتیوباربتیریک (MDA-TBA) تولید شده به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر و جذب سایر رنگی‌های اختصاصی در طول موج ۶۰۰ نانومتر قرائت گردید.

اندازه‌گیری آنزیم پراکسیداز (POD)

برای سنجش فعالیت سینتیکی آنزیم پراکسیداز، با مشاهده اولین علائم پژمردگی، یک شاخه گل از تیمارهای گلچین (شاهد، P_1 , B_1 , T_3 و B_3) خارج شد و از گلبرگ‌های آن جهت ارزیابی آنزیم پراکسیداز

آخرین اندازه‌گیری در زمانی که قطر گل‌ها به بیشترین شکوفایی رسید، صورت گرفت. برای محاسبه قطر گل، عدد به‌دست‌آمده در هر مرحله بر مرحله قبلی تقسیم گردید و میانگین‌گیری شدند (Mohammadi Kabari & Jadid Solimandarabi, 2019).

محتوای پروتئین گلبرگ

بدین منظور، با مشاهده اولین علائم پژمردگی در اتاق عمر گلجای، یک شاخه از هر پلات خارج شد و جهت استخراج پروتئین، از روش برادفورد (Bradford, 1976) استفاده گردید. برای عصاره‌گیری، ۰/۵ گرم بافت گلبرگ مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های گلبرگ به بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری منتقل و به مدت ۲۴ ساعت داخل مخلوط اسیدها (۱۰۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک + ۶ گرم اسیدسالسیلیک + ۱۸ میلی‌لیتر آب اکسیژنه) نگهداری شدند. پس از آن، عمل هضم نمونه‌ها تا زمان بی‌رنگ شدن نمونه‌ها انجام گردید. نمونه‌های بی‌رنگ‌شده پس از صاف شدن، با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شدند. از این نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری ازت به کمک دستگاه کج‌دال استفاده گردید. پس از اتمام عمل کج‌دال (تغییر رنگ نمونه‌ها از ارغوانی به زرد)، تیترومترها با اسیدسولفوریک ۰/۵ نرمال تا زمان ارغوانی شدن نمونه‌ها انجام شد. سپس از عدد حاصل جهت اندازه‌گیری ازت و سپس پروتئین به کمک معادله‌های ۴ و ۵ استفاده گردید.

$$(۴) \quad \text{ازت (\%)} = 0.56 \times t \times (a - b) \times \frac{V}{W} \times \frac{100}{D.M}$$

که در آن، t: غلظت اسید مصرفی جهت تیتراسیون برحسب مول در لیتر، a: میزان اسید مصرفی جهت نمونه برحسب میلی‌لیتر، b: میزان اسید مصرفی جهت شاهد برحسب میلی‌لیتر، v: حجم عصاره حاصل از عمل هضم برحسب میلی‌لیتر، w: وزن نمونه گیاهی جهت هضم برحسب گرم و D.M: درصد ماده خشک گیاه هستند.

$$(۵) \quad \text{ازت} \times 6.25 = \text{پروتئین (\%)} \quad \text{ازت}$$

کلروفیل a

با مشاهده اولین علائم پژمردگی در اتاق عمر گلجای، یک شاخه گل از هر پلات جهت اندازه‌گیری کلروفیل خارج شد. برگ‌ها خشک گردید و مقدار کلروفیل a با استفاده از روش مزمودار و مجمودار (Mazumdar & Majumder, 2003) محاسبه شد. مقدار ۰/۵ گرم از برگ‌های نمونه‌گیری‌شده با استفاده از استون ۸۰ درصد عصاره‌گیری شدند. مقدار جذب عصاره‌های صاف‌شده در طول موج‌های ۶۶۰ و ۶۴۲ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (JASCO Model V-530 Spectrophotometer) قرائت گردید. با کمک معادله (۶) مقدار کلروفیل a، b و کل برحسب میلی‌گرم در هر گرم وزن تر محاسبه شد (۳۸).

به‌روش این و همکاران (In et al., 2007) استفاده گردید. نمونه‌گیری از گلبرگ‌های میخک رقم 'نلسون' در روز پنجم آزمایش و عصاره-گیری از آن‌ها توسط بافر پتاسیم فسفات و پلی‌وینیل پولی‌پیرولیدین (Polyvinylpyrrolidone) انجام شد. سپس به ۱۰۰ میکرولیتر از محلول حاصل، ۴۵۰ میکرولیتر محلول آب اکسیژنه و ۴۵۰ میکرولیتر محلول گایاکول اضافه گردید. جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت گردید. مقدار فعالیت آنزیم پراکسیداز برحسب نانومول در هر گرم وزن تر در دقیقه گزارش شد.

اندازه‌گیری آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD)

بدین منظور، با مشاهده اولین علائم پژمردگی، یک شاخه گل از تیمارهای گلچین (شاهد، B_1 ، P_1 ، B_3 و T_3) خارج گردید و از گلبرگ‌های آن جهت ارزیابی آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به‌روش اسپکتروفتومتری و با استفاده از روش ژیانوپولیتیس و رایس (Giannopolitis & Ries, 1997) استفاده شد. مقدار پنج گرم بافت گلبرگ با نیتروژن مایع آسیاب و به دمای -80°C درجه سانتی‌گراد منتقل گردید. سپس ۰/۵ گرم از نمونه منجمدشده با بافر پتاسیم فسفات و پلی‌وینیل پولی‌پیرولیدین در اسیدیت هفت رقیق شد. پس از همسان کردن، نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی-گراد سانتریفیوژ (۱۴۰۰ دور در دقیقه) شدند. محلول رویی به‌آرامی برداشته شد و تا زمان اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در دمای -80°C درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. نمونه‌های شاهد که فاقد آنزیم بودند نیز تهیه شدند. در نهایت، میزان جذب نمونه‌ها برحسب واحد آنزیم در هر گرم وزن تر در دقیقه در طول موج ۵۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید. رسم نمودارها نیز با نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

عمر گلجای

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر مقادیر مختلف کاربرد پروپانول، بوتانول و پنتانول بر عمر گلجای گل شاخه‌بریده میخک رقم 'نلسون' در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد الکل‌های پروپانول و

بوتانول در غلظت‌های مختلف، عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده را نسبت به شاهد افزایش داد. عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده تیمار شده با هر سه غلظت پنتانول از شاهد کمتر بود. عمر گلجای بالا (۱۴/۱۱ و ۱۳/۷۳ روز) به‌ترتیب با کاربرد دو و چهار درصد پروپانول به دست آمد. عمر گلجای در گل‌های شاخه‌بریده تیمار شده با چهار و ۶ شش پنتانول کمتر از هشت روز بود (جدول ۳).

عمر کوتاه گل‌های شاخه‌بریده، یک چالش جهانی است و تلاش برای افزایش عمر گلجای آن‌ها با کاربرد ترکیب‌های مناسب در محلول گلجای در حال انجام است. یکی از این ترکیب‌ها، الکل‌ها می‌باشند که توسط برخی از محققان به‌منظور افزایش عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Petridou et al., 2001; Bayat et al., 2012; Amini et al., 2014; Sadeghi et al., 2017). الکل‌ها معمولاً در غلظت‌های بالا سمی هستند، به‌طوری‌که تیمارهای الکلی با زنجیره‌های طول‌تر، به فسفولیپید غشاء پلاسمایی آسیب می‌رسانند و باعث افزایش نفوذپذیری آن می‌شوند، در نتیجه عمر پس از برداشت گل‌ها را به‌تدریج کاهش می‌دهند (Wu et al., 1992; Heins, 1980). پروپانول و بوتانول در غلظت‌های کم مانع سنتز و عمل اتیلن شدند و به همین دلیل عمر گلجای در میخک را افزایش دادند. این مواد ضداتیلنی از پیری گلبرگ‌ها که معمولاً با قهوه‌ای شدن گلبرگ‌ها همراه است، ممانعت می‌کنند. در گل شاخه‌بریده میخک رقم Sensi، تیمار اتانول ۱۲ درصد در پالس ۱۲ ساعت، بیشترین طول عمر گلجای را باعث شد (Amini et al., 2014). افزایش عمر گلجای گل شاخه‌بریده داودی (*Chrysanthemum*) با کاربرد اتانول و متانول گزارش گردید (Petridou et al., 2001). این محققان نشان دادند که متانول چهار درصد به‌صورت پالس ۲۴ ساعت، بیشترین تأثیر را در افزایش عمر گلجای و کاهش وزن تر داشت. استفاده از اتانول چهار درصد به‌صورت دائمی و موقت باعث افزایش عمر گلجای و بازپسندی گل شاخه‌بریده میخک رقم Yellow Candy شد (Bayat et al., 2012). وو و همکاران (Wu et al., 1992) و پتریدو و همکاران (Petridou et al., 1999)، غلظت‌های دو تا هشت درصد تیمارهای اتانول و متانول را در افزایش عمر گل‌های بریده میخک ارقام 'White Sim'، 'Buffalo' و 'Figaro' مؤثر گزارش کردند. افزایش عمر گل‌های بریده داودی با استفاده از تیمارهای الکلی اتانول و متانول مشاهده شد (Petridou et al., 2001). به نظر می‌رسد که پروپانول و بوتانول در غلظت‌های کم از طریق کاهش اثرهای مضر اتیلن به‌عنوان یک عامل بازدارنده پیری عمل می‌کنند و از انسداد آوندی انتهایی ساقه گل‌ها جلوگیری می‌کنند. کریمیان و تهرانی‌فر (Karimian & Tehranifar, 2011) گزارش کردند که محلول حاوی هفت درصد اتانول باعث افزایش عمر گلجای گل میخک

نسبت به شاهد شد. اثر مثبت برخی ضدعفونی کننده های دیگر مانند H_2O_2 و استالدهید در بهبود کیفیت پس از برداشت برخی گل های شاخه بریده از جمله میخک (Pun et al., 2001) و آلسترومریا (Sadeghi et al., 2017) نشان داده شد. پود و ون استادین (Podd & van Staden, 1999) اثر مثبت استالدهید را در افزایش عمر گل

بریده میخک گزارش نمودند. در میخک ارقام Yellow Candy و Sandrosa، افزایش عمر گلجای طی کاربرد ۰/۰۵ درصد استالدهید گزارش شد (Pun et al., 2001). استالدهید با جلوگیری از تولید اتیلن و یا کاهش حساسیت به اتیلن باعث افزایش عمر گلجای گردید.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر غلظت های مختلف تیمارهای مورد بررسی (پروپانول، بوتانول و پنتانول) بر عمر گلجای و صفات فیزیولوژیکی گل شاخه بریده میخک رقم 'نلسون'

Table 2- ANOVA for the effect of different concentrations of evaluated treatments (propanol, butanol and pentanol) on vase life and flower physiological traits of cut carnation 'Nelson' flower

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	عمر گلجای Vase life	مقدار اتیلن Ethylene content	پروتئین گلبرگ Petal protein	کلروفیل Chlorophyll a	ماده خشک Dry matter	شاخص باز شدن گل Flower opening index	کاهش وزن تر Loss of fresh weight	جذب محلول Solution uptake	کاهش درجه بریکس Decrease of Brix°
تیمار Treatment	9	0.294*	0.642**	0.642**	1.113*	13.067*	0.096*	0.164*	6.001**	0.243**
خطا Error	20	0.046	0.106	0.009	0.214	0.808	0.001	0.032	1.297	0.016
کل Total	29	19.130	0.168	243.136	12.364	42.670	0.037	0.895	0.367	2.008
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	5.26	4.32	3.68	14.24	2.34	4.09	7.49	9.73	8.46

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

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

جدول ۳- اثر غلظت های مختلف تیمارهای مورد بررسی (پروپانول، بوتانول و پنتانول) بر عمر گلجای و صفات فیزیولوژیکی گل شاخه بریده میخک رقم 'نلسون'

Table 3- The effect of different concentrations of evaluated treatments (propanol, butanol and pentanol) on vase life and flower physiological traits of cut carnation 'Nelson' flower

تیمارها Treatments	عمر گلجای Vase life (day)	اتیلن Ethylene (nL.L ⁻¹ .h ⁻¹ .g ⁻¹ FW)	پروتئین گلبرگ Petal protein (%)	کلروفیل Chlorophyll a (mg.g ⁻¹ FW)	ماده خشک Dry matter (%)	شاخص باز شدن گل Flower opening index	کاهش وزن تر Fresh weight loss (g)	جذب محلول Solution uptake (mL.g ⁻¹ FW)	کاهش درجه بریکس Decrease of brix° (%)
شاهد Control	8.91 ^{c*}	1.58 ^b	1.91 ^e	4.61 ^c	15.07 ^c	1.67 ^b	12.93 ^b	1.29 ^d	3.78 ^c
P1 (2%)	14.11 ^a	1.15 ^d	4.32 ^a	8.47 ^a	20.16 ^a	1.24 ^d	9.09 ^d	2.63 ^a	1.97 ^e
P2 (4%)	13.73 ^a	1.19 ^d	3.73 ^b	8.97 ^a	20.73 ^a	1.21 ^d	8.91 ^d	2.04 ^b	2.17 ^e
P3 (6%)	12.23 ^b	1.25 ^d	3.18 ^c	6.76 ^b	19.46 ^b	1.37 ^c	10.01 ^c	1.96 ^b	1.19 ^f
B1 (2%)	12.16 ^b	1.18 ^d	2.70 ^d	6.69 ^b	19.83 ^b	1.65 ^c	9.98 ^c	1.98 ^b	2.64 ^d
B2 (4%)	9.81 ^c	1.34 ^c	1.92 ^e	4.87 ^c	18.76 ^b	1.63 ^b	12.91 ^b	1.33 ^c	3.46 ^d
B3 (6%)	9.07 ^c	1.39 ^c	1.91 ^e	4.79 ^c	14.24 ^d	1.64 ^b	13.26 ^b	1.30 ^d	3.71 ^c
T1 (2%)	8.09 ^d	1.61 ^b	1.81 ^f	5.11 ^b	13.87 ^d	1.68 ^b	13.49 ^b	0.94 ^e	4.19 ^b
T2 (4%)	7.21 ^e	1.78 ^a	1.69 ^g	3.34 ^d	14.49 ^d	1.84 ^a	15.72 ^a	0.26 ^f	4.14 ^b
T3 (6%)	7.13 ^e	1.73 ^a	1.60 ^g	3.46 ^d	14.61 ^d	1.83 ^a	16.17 ^a	0.24 ^f	4.61 ^a

* در هر ستون میانگین هایی که دارای حروف همسان نیستند، در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون چند دامنه ای دانکن تفاوت معنی دار دارند.

P: پروپانول، B: بوتانول و T: پنتانول.

* Means with different letters on the same column are significantly different ($P < 0.05$) based on Duncan's multiple range test.

P: Propanol, B: Butanol and T: Pentanol.

جذب محلول

اثر تیمارهای مختلف روی جذب محلول در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارهای مختلف الکل بر جذب محلول گل شاخه‌بریده میخک رقم 'نلسون' نشان داد که همه تیمارهای کاربرد الکل‌های پروپانول و بوتانول در غلظت‌های مختلف، جذب محلول توسط گل‌های شاخه‌بریده را نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۳). جذب محلول گل‌های شاخه‌بریده تیمار شده با هر سه غلظت پنتانول نسبت به شاهد کمتر بود. جذب محلول بالا (۲/۶۳ و ۲/۰۴ میلی‌لیتر بر گرم وزن تر) به ترتیب با کاربرد دو و چهار درصد پروپانول به دست آمد. جذب محلول توسط گل‌های شاخه‌بریده تیمار شده با چهار و شش درصد پنتانول کمتر از ۰/۳ میلی‌لیتر بر گرم وزن تر بود.

حفظ تعادل آبی در گل‌های شاخه‌بریده از عوامل مهم در عمر گلجای است. سرعت جذب آب گل‌های شاخه‌بریده به هدایت هیدرولیکی مجرای آبی ساقه و تفاوت پتانسیل آبی بافت گل بریده با محلول نگهدارنده بستگی دارد (van Meeteren & van Gelder, 1999). با افزایش عمر گلجای به تدریج روابط آبی گل‌های بریدنی تغییر می‌کند و کاهش میزان جذب محلول، کاهش وزن تر نسبی و کاهش میزان آب موجود در اندام‌های مختلف مشاهده می‌شود. یکی از علل این تغییر، ریزجانداری هستند که درون ساقه رشد می‌کنند و باعث ایجاد اختلال در جذب آب از طریق انسداد آوندی و در نهایت پژمردگی گل می‌شوند (Pearson-Mims & Lohr, 1990). نتایج نشان داد که استفاده از ترکیب‌های ضد عفونی‌کننده‌ای مانند محلول‌های الکلی (الکل‌های سبک) می‌تواند با کنترل فعالیت ریزجانداران در محلول گلجای و انتهای ساقه باعث افزایش هدایت هیدرولیکی مجرای آبی ساقه شوند و شرایط بهتری برای جذب آب در ساقه و در نتیجه تأخیر در فرآیند پیری فراهم نمایند. در این تحقیق، گل‌های میخک رقم 'نلسون' تیمار شده با ترکیب‌های ضداتیلن، به‌طور معنی‌داری افزایش جذب آب را نسبت به شاهد داشتند. متانول چهار درصد به‌صورت پالس ۲۴ ساعت، بیشترین تأثیر را در کاهش وزن تر گل بریده داودی داشت (Petridou et al., 2001). این موضوع در ارتباط با اثر H_2O_2 روی گل‌های شاخه‌بریده آلسترومریا گزارش شد (Liao et al., 2012). کاربرد پروپانول و بوتانول در غلظت‌های کم علاوه بر مهار جمعیت باکتری موجب افزایش جذب آب و بهبود روابط آبی می‌شود. اثرگذاری الکل‌ها ممکن است به دلیل ارتباط آن‌ها با اسیدآسیزیک و القاء بسته شدن روزنه‌ها باشد (Sood et al., 2006 Bagheri et al., 2015).

کاهش وزن تر

تفاوت تیمارها در مقدار کاهش وزن تر در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین شدت کاهش وزن تر در تیمارهای الکلی قوی با درصد بالا (به‌ویژه پنتانول چهار و شش درصد) و کمترین کاهش وزن تر در تیمارهای الکلی سبک با غلظت پایین به‌ویژه پروپانول دو و چهار درصد مشاهده شد. به‌طور کلی می‌توان گفت که تیمارهای پروپانول و بوتانول در غلظت‌های پایین مانع از کاهش وزن تر گل‌ها شدند (جدول ۳).

حضور باکتری‌ها در محلول گلجای باعث انسداد آوندی و جلوگیری از جذب آب می‌شود که در نهایت کاهش وزن تر، افزایش تنفس و پژمردگی را به همراه دارد (Ezhilmathi et al., 2007). الکل‌ها به دلیل دارا بودن اثر ضد عفونی‌کنندگی، از رشد باکتری‌ها در محلول گلجای و ته ساقه جلوگیری می‌کنند و باعث افزایش جذب آب، وزن تر و در نهایت عمر گلجای می‌شوند. در برخی از گزارش‌ها، همبستگی و رابطه تنگاتنگ بین افزایش عمر گلجای و افزایش وزن تر نسبی در دوره پس از برداشت گل‌های شاخه‌بریده‌ی ژربرا (*Gerbera jamesonii* L.) (Solgi, 2009)، گل مریم (*Anjum et al.*, 2001) و میخک (Amini et al., 2014; Amini, 2018) نشان داده شده است. مطالعه روی گل شاخه‌بریده میخک نشان داد که ترکیب‌های الکلی سبک در غلظت‌های کم موجب جلوگیری از انسداد آوندی و کاهش تبخیر، تعرق و تنفس می‌شوند و با بالا نگه داشتن حجم آب سلول و به تأخیر انداختن فرآیند پیری، وزن تر گل‌ها را در سطوح بالاتری نگه می‌دارند (Heins & Blakely, 1980). نتایج تحقیق‌های سود و همکاران (Sood et al., 2006) در گل بریده رز نیز در تأیید نتایج پژوهش حاضر می‌باشد.

درصد ماده خشک

جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر مقادیر مختلف کاربرد الکل‌ها بر درصد ماده خشک گل شاخه‌بریده میخک رقم 'نلسون' در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). جدول مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در بین غلظت‌های مختلف، تیمار پروپانول چهار درصد با اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد (با ۱۵/۰۷ درصد ماده خشک) دارای بیشترین درصد ماده خشک (۲۰/۷۳ درصد) بود. از طرف دیگر، تیمار پنتانول دو درصد با ۱۳/۸۷ درصد، کمترین درصد ماده خشک را نشان داد (جدول ۳).

افزایش مقدار کربوهیدرات‌های موجود در شاخه گل ممکن است به نقش این الکل‌ها در کاهش میزان تنفس و کاهش میزان تولید اتیلن گل‌ها مربوط باشد. براساس اظهار مون و همکاران (Moon et al., 2004) کمبود آب، تنش اکسیداتیو ایجاد می‌کند که این تنش

2002a) کاهش درصد قند را در اثر استفاده از تیمارهای الکلی اتانول و استالدهید در طول عمر گلجایی گل‌های میخک گزارش کردند.

شاخص باز شدن گل

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها اختلاف معنی‌داری را در سطح پنج درصد نشان داد (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان‌دهنده این است که کمترین سرعت باز شدن گل در تیمارهای پروپانول دو و چهار درصد به ترتیب با شاخص ۱/۲۴ و ۱/۲۱ به عنوان بهترین تیمارها مشاهده شد که به نظر می‌رسد یکی از دلایل افزایش عمر گل‌ها، تأخیر در باز شدن آن‌ها می‌باشد. تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری از نظر سرعت باز شدن گل با تیمارهای بوتانول و غلظت‌های بالا و پنتانول دو درصد نداشت (جدول ۳).

از آنجایی که گل برای باز شدن نیاز به مصرف ATP دارد و جهت تأمین ATP نیاز به شکستن مولکول‌های قند طی فرآیند تنفس می‌باشد، بنابراین هر عاملی که از میزان تنفس کم کند، می‌تواند روند باز شدن گل را به تأخیر بیندازد (Blankenship & Dole, 2003). در پژوهش حاضر، ترکیب‌های ضد میکروبی و ضداتیلنی به خوبی این پدیده را نشان دادند. مکنونی و همکاران (Makvandi et al., 2011) با مطالعه روی گل بریده آلسترومریا دریافتند که ترکیب‌های ضد میکروبی و ضداتیلنی با تأثیر بر قطر گل در نهایت باعث بهبود شاخص باز شدن گل گردید. هاشم‌آبادی (Hashemabadi, 2006) با مطالعه روی میخک رقم 'Tempo' دریافت که استفاده از ترکیب‌های ضداتیلنی باعث کاهش ۱۷ درصدی روند باز شدن گل‌ها نسبت به شاهد گردید. نتایج بالا با نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر مطابقت دارد.

محتوای پروتئین گلبرگ

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، اختلاف معنی‌داری را در سطح یک درصد در اثر استفاده از تیمارهای الکلی از نظر محتوای پروتئین گلبرگ نشان داد. جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) نشان داد که تیمارهای الکلی با زنجیره طویل‌تر و با افزایش غلظت باعث تخریب پروتئین می‌شوند. در بین غلظت‌های مختلف، تیمار پروپانول دو درصد با ۴/۳۱۶ درصد به عنوان بهترین تیمار و بیشترین میزان تخریب پروتئین نیز در تیمارهای الکلی قوی پنتانول، در غلظت‌های چهار و شش درصد مشاهده شد.

پیری گل‌های بریده یک سازوکار تنظیم هورمونی است و این فرآیند درگیر تغییر ویژگی‌های فیزیکی و زیست‌شیمیایی در غشاء سلولی می‌باشد. گل‌های میخک مورد مطالعه در آزمایش صادقی نسب (Sadeghi Nasab, 2011)، افزایش معنی‌داری را از نظر مقدار

باعث اختلال در اعمال فیزیولوژیکی سلول می‌شود و تنش ثانویه مذکور به دلیل تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژنی است که در محیط سلول ایجاد می‌گردد. رادیکال‌های آزاد اکسیژن با تخریب پروتئین‌ها، لیپیدها و اسیدهای نوکلئیک از میزان ماده خشک می‌کاهند و باعث پیری گل‌ها می‌شوند. به نظر می‌رسد که پروپانول و بوتانول در غلظت‌های کم از طریق افزایش جذب آب، از تنش اکسیداتیو جلوگیری می‌کنند و با کاهش تخریب پروتئین و کاهش میزان تنفس منجر به افزایش درصد ماده خشک می‌شوند. محلول‌پاشی با الکل‌ها به عنوان یک منبع کربنی و محرک زیستی می‌تواند باعث افزایش زیست‌توده و عملکرد در گیاهان شود (Khosravi et al., 2018). استفاده از ترکیب‌های ضداتیلنی سبب جلوگیری از تخریب کربوهیدرات و کاهش وزن خشک و افزایش عمر گلجایی در گل‌های شاخه بریده میخک 'Tempo' شد (Hashemabadi & Mostofi, 2007). این نتایج در راستای نتایج تحقیق حاضر قرار دارد.

کاهش درجه بریکس

براساس جدول تجزیه واریانس داده‌ها، تیمارهای پروپانول، بوتانول و پنتانول روی کاهش درجه بریکس گل‌های میخک رقم 'نلسون' اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۲). مناسب‌ترین تیمارها از نظر حفظ مقدار قند بافت‌ها، تیمار پروپانول شش و دو درصد، به ترتیب با کاهش ۱/۱۹ و ۱/۹۷ درصدی مشاهده شد. مقدار کاهش درجه بریکس در شاهد از نظر آماری مشابه تیمار بوتانول شش درصد بود. همچنین با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳)، بیشترین کاهش درجه بریکس در تیمار پنتانول شش درصد به دست آمد.

دلیل برتری تیمارهای پروپانول را می‌توان به اثر آن‌ها بر کاهش شدت تنفس نسبت داد که باعث حفظ ساکارز بیشتر در بازبرش‌ها شدند (Hashemabadi, 2011). مقدار قند (مواد جامد محلول) یکی از عوامل مهم در تعیین میزان عمر گل‌های شاخه بریده می‌باشد، بنابراین هرچه درصد مواد کربوهیدراتی ذخیره شده بیشتر باشد، طول عمر پس از برداشت گل افزایش می‌یابد (Mutui et al., 2001). ساکارز، معمول‌ترین قندی است که در محلول‌های گلجایی به کار می‌رود. هر ترکیبی که بتواند از سوختن کربوهیدرات‌ها جلوگیری کند می‌تواند باعث بهبود محتوای کربوهیدرات و نگهداشت این ترکیب در ساقه گردد. ایچیمورا و همکاران (Ichimura et al., 2003) نشان دادند که کاهش غلظت کربوهیدرات محلول در گلبرگ‌ها دارای اهمیت بیشتری نسبت به انسداد آوندها در تعیین طول عمر گل‌های رز رقم 'سونیا' است. یاد و ون استادن (Podd & van Staden,)

بیشترین تأثیر را در ممانعت از تجزیه کلروفیل کل گل شاخه‌بریده دآودی داشت (Petridou et al., 2001).

تولید اتیلن

تفاوت معنی‌داری از نظر آماری بین تیمارهای مختلف از نظر مقدار تولید اتیلن به‌عنوان یکی از ویژگی‌های مهم و مؤثر بر ماندگاری گل‌ها در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد (جدول ۲). براساس جدول مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین ممانعت در بیوسنتز اتیلن، در تیمار با الکل‌های پروپانول و بوتانول دو درصد و بیشترین تولید اتیلن در تیمار با پنتانول چهار و شش درصد به دست آمد (جدول ۳). بین تیمار شاهد و تیمار پنتانول دو درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. به نظر می‌رسد که افزایش ماندگاری گل‌ها تحت تأثیر تیمارهای الکلی سبک، نتیجه تأثیر مستقیم این تیمارها بر مهار بیوسنتز اتیلن باشد.

یکی از علت‌های مهم کاهش عمر پس از برداشت گل‌های شاخه‌بریده، وجود اتیلن در هوای اطراف گل‌ها می‌باشد و یکی از مهم‌ترین تدابیر افزایش طول عمر پس از برداشت گل‌های شاخه‌بریده، جلوگیری از تولید زیاد و فعالیت اتیلن است. کاربرد ترکیب‌های بازدارنده یا کاهنده تولید اتیلن مانند انواع ضدعفونی‌کننده‌ها (از جمله الکل‌ها) راهی برای افزایش عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده می‌باشد. استفاده موفقیت‌آمیز از برخی از این ترکیب‌ها در برخی گل‌های شاخه‌بریده گزارش شده است (Bayat et al., 2012; Sadeghi et al., 2017a; Amini et al., 2014). غلظت‌های پایین پروپانول و بوتانول، احتمالاً مانع سنتز اتیلن از طریق کاهش میزان ACC-سنتز و کاهش فعالیت ACC-اکسیداز و در نتیجه باعث افزایش عمر گلجای گل می‌شوند. در مطالعه امینی و همکاران (Amini et al., 2014) روی میخک رقم Sensi مشخص شد که بیشترین مقدار اتیلن، در گل‌های شاخه‌بریده شاهد تولید شد و اتانول چهار و شش درصد در پالس ۲۴ ساعت، اتانول و متانول ۱۲ درصد در پالس ۱۲ ساعت و متانول شش درصد در پالس ۱۲ و ۲۴ ساعت، به‌طور قابل توجهی میزان تولید اتیلن را کاهش دادند. کاربرد غلظت‌های مختلف اتانول در میخک رقم Sensi باعث کاهش تولید اتیلن شد. روند تغییر اتیلن طوری بود که از روز ششم به بعد تا انتهای آزمایش، کمترین مقدار تولید اتیلن در تیمار ۱۲ درصد با پالس ۱۲ ساعت و غلظت‌های شش و چهار درصد با پالس ۲۴ ساعت به دست آمد که در تطابق با نتایج عمر گلجای تیمارهای مذکور بود. اتیلن نقش مهمی در پیری و کاهش عمر گلجای میخک دارد و پیری گلبرگ‌ها با یک افزایش شبه‌فرازگرا در تولید اتیلن همراه است (Amini et al., 2014). همچنین افزایش در تولید اتیلن با پیچیدگی

پروتئین در اثر استفاده از تیمارهای الکلی نشان داد. نتایج به‌دست‌آمده از کاربرد ترکیب‌های ضداتیلن روی گل بریده رز رقم 'یلوآیلند' نشان داد که این ترکیب‌ها با افزایش ثبات غشاء سلولی باعث افزایش محتوای پروتئین در گلبرگ‌ها شدند (Gerailoo & Ghasemnezhad, 2011). به نظر می‌رسد که افزایش میزان پروتئین محلول در این تیمارها به‌دلیل سنتز پروتئین‌های جدید و کاهش تخریب پروتئین‌ها در اثر کاهش تنش آبی باشد. بروس و کوزیروف (Bruce & Cosyrove, 1998) کاهش ناچیز در مقدار پروتئین را در اثر استفاده از تیمارهای الکلی در گلبرگ‌های گل ارغوان گزارش نمودند. تخریب پروتئین در گیاهانی مانند آلسترومریا و میخک مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که طی پیری، کاهش میزان پروتئین رخ می‌دهد ولی در بعضی از گونه‌ها کاهش کمتری اتفاق می‌افتد (Jones & Hill, 1992). یاد و ون استادن (Podd & van Staden, 2002b) با مطالعه اثر اتانول بر ماندگاری گل‌های بریده میخک دریافتند که کاربرد سطوح مختلف اتانول با کاهش محتوای پروتئین در گلبرگ‌ها همراه بود و شاهد بیشترین مقدار پروتئین را داشت.

کلروفیل a

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد از نظر اثر استفاده از تیمارهای الکلی در مقدار کلروفیل a نشان داد. نتایج ارائه‌شده در جدول ۳ نشان داد که با افزایش غلظت در تیمارهای بوتانول و پنتانول مقدار کلروفیل a کاهش یافت، اما در تیمار پروپانول با افزایش غلظت، مقدار کلروفیل a ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. تیمار شاهد از نظر آماری، تفاوت معنی‌داری با تیمارهای بوتانول چهار و شش درصد نداشت. از بین غلظت‌های مختلف مورد استفاده، تیمار پروپانول چهار درصد با ۸/۹۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر بیشترین مقدار کلروفیل a و پنتانول چهار درصد با ۳/۳۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر کمترین مقدار کلروفیل a را القاء کردند (جدول ۳).

به نظر می‌رسد که استفاده از تیمارهای ضداتیلنی فوق، با تأثیر بر آنزیم کلروفیل‌از و مهار ریزجانداران باعث جلوگیری از تخریب و حفظ کلروفیل a برگ‌ها شده است. همچنین تأثیر ساکارز نیز می‌تواند بر میزان کلروفیل، مثبت باشد که به نقش مواد قندی در سوخت و ساز گیاه مربوط می‌باشد. تیمارهای اتانول و متانول در سطح دو درصد، کمترین میزان تخریب در کلروفیل a و b گل شاخه‌بریده میخک را نشان داد (Sadeghi Nasab, 2011). استفاده از ترکیب‌های باکتری‌کش و ضداتیلن در محلول گلجای، در افزایش میزان کلروفیل برگ‌ها مؤثر است. متانول چهار درصد به‌صورت پالس ۲۴ ساعت،

در محیط خشک قرار می گیرند، آسیب های جدی به آن ها وارد می شود و بر مقدار مالون دی آلدئید آن ها افزوده می شود (Ashraf et al., 1994). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که میزان مالون دی آلدئید در تیمارهای پروپانول و بوتانول کمتر بود و تیمارهایی که عمر گلجای و جذب آب بهتری داشتند، میزان مالون دی آلدئید آن ها نیز در حد پایین تری نسبت به سایر تیمارهای مورد بررسی قرار داشتند. به نظر می رسد که محلول های حاوی پروپانول و بوتانول در غلظت های کم با تعدیل تنش اکسیداتیو موجب کاهش پراکسیداسیون لیپیدها، جلوگیری از تجزیه پروتئین ها و همچنین موجب جلوگیری از افزایش pH سلولی با حفظ سیالیت غشاء سلول و در نتیجه باعث به تأخیر انداختن پیری شدند. الکل های به کار رفته در پژوهش حاضر، با کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی گلبرگ باعث حفظ پایداری غشاء پلاسمایی و جلوگیری از نشت یونی و پیری گلبرگ ها شدند. اتانول، بیشترین غلظت مالون دی آلدئید و در نتیجه کمترین ماندگاری را در لیزیانثوس (*Lisianthus*) القاء کرد (Kazemi et al., 2012). غلظت های زیاد الکل، نشت یونی و مالون دی آلدئید را افزایش می دهند. با افزایش شاخص مالون دی آلدئید و کاهش ثبات غشاء پلاسمایی سلول، ماندگاری گل های شاخه بریده کاهش می یابد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پروپانول و بوتانول در غلظت های کم باعث ثبات غشاء سلولی می شوند.

آنزیم پراکسیداز

بررسی نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که بین تیمارهای مختلف و فعالیت آنزیم پراکسیداز تفاوت معنی داری از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۴). براساس جدول مقایسه میانگین داده ها (جدول ۵)، از بین تیمارهای الکلی، تیمار بوتانول دو درصد بیشترین (۲/۰۱ میکرومول بر گرم وزن تر در دقیقه) و شاهد (۰/۲۱ میکرومول بر گرم وزن تر در دقیقه) کمترین فعالیت آنزیم پراکسیداز را نشان دادند.

پیری در گل های شاخه بریده همراه با تغییر در نفوذپذیری غشاء پلاسمایی، کاهش کارایی آوندها، تخریب درشت ملکول ها، عدم تعادل در ساخت، تجزیه و فعالیت هورمون ها از جمله اتیلن و تغییر در فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان است (Sadeghi et al., 2017). پیری گلبرگ ها به تولید پیوسته رادیکال های آزاد و افزایش گونه های اکسیژن فعال مرتبط می باشد. افزایش فعالیت گونه های اکسیژن فعال (ROS) مانند رادیکال سوپراکسید، با تخریب پروتئین ها، لیپیدها و اسیدهای نوکلئیک باعث پیری گل می شوند. افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان و سیستم آنتی اکسیدان غیر آنزیمی، یکی از راه های مقابله سلول ها با این مشکل است (Ashraf et al., 1994);

برگشت ناپذیر گلبرگ ها و پژمردگی و ریزش آن ها همراه است (Kim et al., 2005). امینی و همکاران (Amini et al., 2014) بیان کردند که افزایش طول عمر گلجای گل های شاخه بریده میخک رقم Sensi در اثر کاربرد اتانول را می توان به نقش آن در جلوگیری از سنتز اتیلن نسبت داد. گیاهان میخک به میزان بالای باکتری ها در محلول گلجای و تولید اتیلن حساس هستند. فرخ زاد و همکاران (Farokhzad et al., 2005) گزارش کردند که اتانول شش درصد، کمترین میزان تولید اتیلن را در گل های بریده لیسیانثوس نشان داد. شور و همکاران (Shour et al., 2013) در پژوهشی دریافتند که تیمار اتانول دو درصد باعث کاهش تولید اتیلن شد و شکوفایی گل مریم را به تعویق انداخت. استالدهید با جلوگیری از بیوسنتز و فعالیت اتیلن و حذف فعالیت های مخزن تخمدان، بر پیری گل های بریده میخک تأثیر گذاشت، اما پتانسیل محدودی برای استفاده از آن به عنوان تیمار پس از برداشت وجود دارد (Podd & van Staden, 2002a). جلوگیری از تولید اتیلن با استفاده از استالدهید و اتانول در گل های میخک گزارش شد (Podd & van Staden, 2002b). آزمایش امینی (Amini, 2018) نشان داد که تیمارهای ۱۲ ساعت متانول چهار و شش درصد، تولید اتیلن را در گل های شاخه بریده میخک رقم Sensi به طور چشمگیری کاهش دادند و منجر به افزایش معنی دار طول عمر شدند. همچنین کاربرد تیمارهای الکلی (اتانول و متانول) سبب کاهش تولید اتیلن و تأخیر در پیری و پژمردگی گل های بریده میخک شد (Jafari Marandi & Majd, 2008). نتایج حاصل از پژوهش های فوق در مورد مهار تولید اتیلن به کمک بازدارنده های سنتز اتیلن با نتایج پژوهش حاضر منطبق است.

پراکسیداسیون لیپیدها (میزان مالون دی آلدئید)

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر مقادیر مختلف کاربرد الکل ها بر مقدار مالون دی آلدئید گل های شاخه بریده در سطح احتمال یک درصد معنی داری بود (جدول ۴). تیمار پروپانول دو درصد با القاء تولید ۵۹/۶۴ نانومول بر گرم وزن تر، مناسب ترین تیمار جهت کاهش تجمع مالون دی آلدئید بود. تولید مقدار بالاتر مالون دی آلدئید (۷۰/۰۱ نانومول در هر گرم وزن تر)، متعلق به تیمار پنتانول شش درصد بود (جدول ۵).

میزان مالون دی آلدئید به منزله شاخص مقاومت فیزیولوژیک و پیری در نظر گرفته می شود (Geng et al., 2009). طی پیری، تغییرهایی در غشاء پلاسمایی اتفاق می افتد. شواهدی وجود دارند که ژن های ویژه ای کنترل این فرآیندها را به عهده دارند (Isvand & Ashouri, 2010). مالون دی آلدئید به عنوان شاخص مناسبی برای پراکسیداسیون لیپید غشاء محسوب می شود و بسیاری از گیاهان وقتی

Isvand & Ashouri, 2011). آنزیم پراکسیداز در جلوگیری از تجمع H_2O_2 نقش حیاتی دارد. این آنزیم به طور وسیع در میکروب‌های هوازی وجود دارد، اما میکروب‌های بی‌هوازی فاقد آن‌ها هستند (Isvand & Ashouri, 2010).

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف تیمارهای مورد بررسی (پروپانول، بوتانول و پنتانول) بر میزان مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز در گل شاخه‌بریده میخک رقم 'نلسون'

Table 4- ANOVA for the effect of different concentrations of evaluated treatments (propanol, butanol and pentanol) on the content of malondialdehyde (MDA) and enzyme activity of superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) in cut carnation 'Nelson' flower

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	پراکسیداز POD	سوپراکسید دیسموتاز SOD	مالون دی‌آلدئید MDA
تیمار Treatment	4	3.503**	164.706**	4275.383**
خطا Error	10	0.187	0.085	0.213
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	18.70	17.00	14.00

** : معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

** : Significant at the 1% of probability level

جدول ۵- اثر غلظت‌های مختلف تیمارهای مورد بررسی (پروپانول، بوتانول و پنتانول) بر میزان مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز در گل شاخه‌بریده میخک رقم 'نلسون'

Table 5- The effect of different concentrations of evaluated treatments (propanol, butanol and pentanol) on the content of malondialdehyde (MDA) and enzyme activity of superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) cut carnation 'Nelson' flower

تیمار Treatments	پراکسیداز POD ($\mu\text{mol.g}^{-1} \text{FW.min}^{-1}$)	سوپراکسید دیسموتاز SOD ($\text{U.g}^{-1} \text{FW}$)	مالون دی‌آلدئید MDA ($\text{nmol.g}^{-1} \text{FW}$)
شاهد Control	0.21 ^{d*}	34.73 ^c	67.91 ^b
P ₁ (2%)	1.09 ^a	49.82 ^a	59.64 ^c
B ₁ (2%)	2.01 ^a	40.16 ^b	61.14 ^c
B ₃ (6%)	0.97 ^b	29.34 ^d	62.31 ^c
T ₃ (6%)	0.39 ^c	27.86 ^d	71.01 ^a

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف همسان نیستند، در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، تفاوت معنی‌دار دارند.

P: پروپانول، B: بوتانول و T: پنتانول.

* Means with different letters on the same column are significantly different ($P < 0.05$) based on Duncan's multiple range test. P: Propanol, B: Butanol and T: Pentanol.

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

بررسی نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارهای مختلف و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۴). براساس جدول مقایسه میانگین داده‌ها، از بین تیمارهای الکلی، تیمار پروپانول دو درصد با القاء فعالیت ۴۹/۸۲ واحد در گرم وزن تر بیشترین و تیمار پنتانول شش درصد با القاء فعالیت ۲۷/۸۶ واحد در گرم وزن تر کم‌ترین فعالیت آنزیم SOD را داشتند (جدول ۵).

آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز به‌عنوان یک آنزیم کلیدی در سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی گیاه به شمار می‌رود، زیرا غلظت آنیون سوپراکسید و H_2O_2 را در گیاه کنترل می‌کند (Mozaffari &

Asadollahi Kausar Rizi, 2011).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پروپانول و بوتانول در غلظت‌های کم باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز نسبت به شاهد شدند. بنابراین می‌توان بیان کرد که این افزایش، ناشی از فعال‌شدن سلول‌ها از طریق جذب مناسب محلول غذایی و تورژسانس سلولی است (Palma et al., 2002). الکل‌ها در غلظت‌های بهینه به‌عنوان یک سیگنال عمل می‌کنند و از طریق کاهش پراکسیداسیون لیپید و القاء فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باعث افزایش عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده و بهبود کیفیت پس از برداشت آن‌ها می‌شوند. نتایج مشابه با یافته‌های پژوهش حاضر در گل‌های شاخه‌بریده آلسترومریا گزارش شد (Sadeghi et al., 2017). ژو و همکاران (Zhou et al., 2001) اثر مثبت ترکیب‌های شبه‌سیتوکینینی را در افزایش عمر پس از

کاهش وزن تر و درجه بریکس در ساقه برتری محسوسی نسبت به سایر تیمارها داشت. تیمار پروپانول دو درصد بالاترین فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز و کمترین تولید مالون دی‌آلدئید را داشت. بنابراین، پروپانول دو درصد می‌تواند به‌عنوان برترین تیمار در این پژوهش معرفی شود. این الکل با غلظت کمتر از چهار و شش درصد، بیشترین ماندگاری و کیفیت را در میخک رقم نلسون رقم زد. استفاده از سایر ترکیبات الکلی برای بررسی اثر آن‌ها روی عمر گلجای میخک رقم نلسون پیشنهاد می‌شود.

برداشت ژبره به‌وسیله بالا نگهداشتن میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها و کمک به سنتز پروتئین گزارش کردند. پژوهش حاضر، اثر مثبت ترکیب‌های ضد عفونی‌کننده و ضد میکروبی را بر افزایش فعالیت آنزیم‌ها نشان داد.

نتیجه‌گیری

پروپانول در دو غلظت دو و چهار درصد از نظر حفظ عمر گلجای، پروتئین گلبرگ، کلروفیل a، ماده خشک در گلبرگ و افزایش جذب آب و نیز از نظر کاهش تولید اتیلن، شاخص باز شدن گل، ممانعت از

References

1. Amini, Sh. (2018). Investigating the effect of thyme essential oil, ethanol and methanol on vase life and ethylene production in two types of cut flowers of carnation (*Dianthus caryophyllus*). M.Sc. Thesis, University of Tehran, Tehran, Iran. 129 p. (In Persian with English abstract)
2. Amini, Sh., Arab, M., Rahemi, M., & Rahimi, A.R. (2014). Effect of ethanol and methanol on some quantity and quality parameters of cut carnation (*Dianthus caryophyllus* cv. 'Sensi') flower. *Journal of Horticultural Science*, 28(2), 218-227. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.39401>
3. Anjum, M.A., Naveed, F., Shakeel, F., & Amin, S. (2001). Effect of some chemicals on keeping quality and vase life of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) cut flowers. *Journal of Research (Science)*, Bahauddin Zakariya University, Multan, Pakistan, 12(1), 1-7.
4. Arab, M., Khalighi, A., Arzani, K., & Naderi, R. (2006). Evaluation of the effect of cold storage temperature, 8-hydroxyquinoline sulfate and sucrose on vase life and quality of cut common stock flower (*Matthiola incana* L.) cv. Asanami. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 37(1), 83-92. (In Persian with English abstract)
5. Ashraf, M.Y., Azmi, A.R., Khan, A.H., & Ala, S.A. (1994). Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. *Acta Physiologiae Plantarum*, 16(3), 185-191.
6. Bagheri, H., Lotfalizadeh, H., & Soleimani, A.H. (2015). Effect of butanol, propanol and pentanol on the quality of cut carnation cv. 'Nelson'. *Biharean Biologist*, 9(1), 40-43.
7. Bayat, H., Azizi, M., Shour, M., & Vahdati Mashhadian, N. (2012). Effect of ethanol and essential oils on extending vase life of carnation cut flower (*Dianthus caryophyllus* cv. Yellow Candy). *Journal of Horticultural Science*, 25(4), 384-390. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1390i0.11602>
8. Blankenship, S., & Dole, J.M. (2003). 1-methylcyclo-propene: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 28, 1-25. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00246-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00246-6)
9. Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
10. Bruce, M.L., & Cosyrove, D.J. (1998). Acid, growth response and expansions in suspension cultures of bright yellow tobacco. *Plant Physiology*, 118, 907-916. <https://doi.org/10.1104/pp.118.3.907>
11. Chamani, A. (2005). *The effect of thidiazuron, 1-methylcyclopropene, nitric oxide, silver thiosulfate and ethylene on the physicochemical properties of rose cut flowers*. Ph.D. Thesis, University of Tehran, Iran, 195 p. (In Persian with English abstract)
12. Ezhilmathi, K., Singh, V.P., Arora, A., & Sairam, P.K. (2007). Effect of 5-sulfosalicylic acid on antioxidant activity in relation to vase life of *Gladiolus* cut flowers. *Plant Growth Regulators*, 51, 99-108. <https://doi.org/10.1007/s10725-006-9142-2>
13. Farokhzad, A., Khalighi, A., Mostofi, Y., & Naderi, R. (2005). Role of ethanol in the vase life and ethylene production in cut lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Mariachii. cv. Blue) flowers. *Agriculture Society Science*, 1, 309-312.
14. Geng, X.M., Guo, Lu, J., Hu, F.R., & Okubu, H. (2009). Effect of cold storage and different pulsing treatment on postharvest quality of cut lilly "Mantissa" flowers. *Faculty of Agriculture, Kyushu University*, 54, 41-45. <https://doi.org/10.5109/14035>
15. Gerailoo, S., & Ghasemnezhad, M. (2011). Effect of salicylic acid on antioxidant enzyme activity and petal senescence in 'Yellow Island' cut rose flowers. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 19(1), 183-193.

16. Giannopolitis, C., & Ries, S. (1997). Superoxididesmutase. I: Occurence in higher plant. *Plant Physiology*, 59, 309-314.
17. Gupta, J., & Dubey, R.K. (2018). Factors affecting post-harvest life of flower crops. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 7(1), 548-557. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.701.065>
18. Hashemabadi, D. (2006). *The effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) pretreatment in delaying the senescence of cut flowers of carnation (Dianthus caryophyllus) cv. 'Tempo'*. Ph.D. Thesis, Islamic Azad University, Sciences and Research Campus, Tehran, Iran. (In Persian with English abstract)
19. Hashemabadi, D. (2011). Comparison of Silver Nano-Particle and Silver Thiosulfate on Quality and Vase Life of Cut Carnation cv. "Tempo". Final Report of Research Proposal, Islamic Azad University, Rasht Branch, Rasht, Iran. 101 p. (In Persian with English abstract)
20. Hashemabadi, D., & Mostofi, Y. (2007). Determination of optimum concentration and treatment time of 1-MCP (1-methylcyclopropene) on vase life of cut carnation 'Tempo'. *Acta Horticulture*, 775, 197-204. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.755.24>
21. Heath, R.L., & Parker, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stiochiometry of fatty acid peroxidation. *Archive of Biochemistry and Biophysics*, 125, 189-198. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)
22. Heins, R.D. (1980). Inhibition of ethylene synthesis and senescence in carnation by ethanol. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 105, 141-144. <https://doi.org/10.21273/JASHS.105.1.141>
23. Heins, R., & Blakely, N. (1980). Influence of ethanol on ethylene biosynthesis and flower senescence of cut carnation. *Scientia Horticulturae*, 13, 361-369. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(80\)90094-1](https://doi.org/10.1016/0304-4238(80)90094-1)
24. Ichimura, K., Kawabata, Y., Kishimoto, M., Goto, R., & Yamada, K. (2003). Shortage of soluble carbohydrates is largely responsible for short vase life of cut "Sonia" rose flowers. *Journal of Japanese Society for Horticultural Science*, 72, 292-298. <https://doi.org/10.2503/jjshs.72.292>
25. In, B.C., Motomura, S., Inamoto, K., Doi, M., & Mori, G. (2007). Multivariate analysis of relation between preharvest environmental factors, postharvest morphological and physiological factors and vase life of cut 'Asomi Red' roses. *Journal of Japanese Society for Horticultural Science*, 76, 66-72. <https://doi.org/10.2503/jjshs.76.66>
26. Isvand, H.R., & Ashouri, P. (2010). *Physiology of Stress (translation)*. First Edition. Lorestan University Press, Lorestan , Iran. 288 p. (in Persian)
27. Jafari Marandi, S., & Majd, A. (2008). The effect of alcohol treatments on the development of vegetative meristem, the formation of flower components, changes in the number of flowering shoots, the development of embryos and the possibility of delaying senescence in carnation flowers *Dianthus caryophyllus* L. *Journal of Developmental Biology*, 1, 9-14. (In Persian with English abstract).
28. Jahanifar, E., Nazarideljou, M.J., & Aramideh, S. (2016). Water relations of flowering stem, microbial activity of preservative solution and postharvest quality of alstroemeria cut flower under peppermint's essential oil and sucrose treatments. *Journal of Crop Production and Processing*, 5(18), 221-232. <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.5.18.221>
29. Jones, R.B., & Hill, M. (1992). The effect of germicides on the longevity of cut flowers. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 118, 350-354. <https://doi.org/10.21273/JASHS.118.3.350>
30. Kamiab, F. (2016). Effects of different polyamines on vase life, ethylene production and some physiological traits of carnation (*Dianthus caryophyllus* cv. Red Corsa). *Journal of Crops Improvement*, 18(2), 275-288. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2016.56619>
31. Karimian, Z., & Tehranifar, A. (2011). Effect of essential oils, ethanol and methanol to extend the vase life of caranation (*Dianthus caryophyllus* L.) flowers. *Journal of Biology and Environmental Science*, 5(14), 91-94.
32. Kazemi, M., Hajizadeh, H., Gholami, M., Asadi, M., & Aghdasi, S. (2012). Efficiency of essential oils, citric acid, malic acid and nickel reduced ethylene production and extended vase life of cut *Lisianthus* flowers. *Research Journal of Botany*, 7(1), 14-18. <https://doi.org/10.3923/rjb.2012.14.18>
33. Khandan-Mirkohi, A., & Arabi, Z. (2018). Effect of ethylene absorbent zeolite application on keeping cut carnation (*Dianthus caryophyllus* L. 'Red') quality. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 48(4), 779-789. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.214517.1070>
34. Khosravi, M.T., Mehr Afarin, A., Nakhdi Badi, H., Haji Aghaei, R., & Khosravi, A. (2018). The effect of methanol and ethanol application on the function of the medicinal plant *Echinacea purpurea* L. in Karaj region. *Herbal Medicines Journal*, 2(2), 121-128. (In Persian with English abstract)
35. Kim, J.H., Lee, A.K., & Sub, J.K. (2005). Effect of certain pretreatment substances on vase life and physiological character in *Lilium* spp. *Acta Horticulturae*, 673, 307-314. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.673.39>
36. Liao, W., Zhang, M., Huang, G., & Yu, J. (2012). Hydrogen peroxide in the vase solution increases vase life and keeping quality of cut oriental × trumpet hybrid lily 'Manissa'. *Scientia Horticulturae*, 139, 32-38. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.02.040>

37. Lee, M., Lee, S., & Park K. (1997). Effect of spermine on ethylene biosynthesis in cut carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) flowers during senescence. *Journal of Plant Physiology*, 151, 68-73. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(97\)80038-7](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(97)80038-7)
38. Makvandi, M., Ramin, A.A., & Mobli, M. (2011). *Investigating the effect of different chemical treatments on improving the quality after harvesting and vase life of alstroemeria cut flowers*. Proceedings of the 7th Congress of Horticultural Sciences, Iran. 2435-2438. (In Persian with English abstract)
39. Mazumdar, B.C., & Majumder, K. (2003). *Methods on Physicochemical Analysis of Fruits*. University College of Agriculture, Calcutta University. p. 136-150.
40. Mohammadi Kabari, S.F., & Jadid Solimandarabi, M. (2019). Improving *Alstroemeria* vase life by plant extracts and 8-hydroxyquinoline sulfate. *Journal of Ornamental Plants*, 9(1), 1-11.
41. Moon, D.G., Ko, S.W., Kim, Y.H., & Choi, Y.H. (2004). Effect of water stress on soluble solids and acidity in various sized fruit of "satsuma" mandarin. *Proceedings of International Society for Citriculture*, 4, 674-678.
42. Mozaffari, V., & Asadollahi Kausar Rizi, Z. (2011). *Effect of manganese and salinity in perlite culture medium on some physiological characteristics of pistachio*. Proceedings of the 7th Congress of Horticultural Sciences, Iran. p. 2180-2183. (In Persian with English abstract)
43. Mutui, T.M., Emongor, V.E., & Hutchinson, M.J. (2001). Effect of accel on the vase life and postharvest quality of *Alstroemeria aurantiana* L. cut flowers. *African Journal of Science and Technology*, 2, 82-88.
44. Naing, A.H., Win, N.M., Han, J.S., Lim, K.B., & Kim, C.K. (2017). Role of nano-silver and the bacterial strain *Enterobacter cloacae* in increasing vase life of cut carnation 'Omea'. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1-12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01590>
45. Nasibi, F. (2011). Effect of different concentrations of sodium nitroprusside (SNP) pretreatment on oxidative damages induced by drought stress in tomato plant. *Journal of Plant Biology*, 9, 63-74. (In Persian with English abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20088264.1390.3.9.7.7>
46. Onozaki, T. (2018a). Breeding of carnations (*Dianthus caryophyllus* L.) for long vase life. *Breeding Science*, 68(1), 3-13. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.17091>
47. Onozaki, T. (2018b). *Dianthus*. In: Van Huylenbroeck, J. (ed.). *Ornamental Crops. Handbook of Plant Breeding*, vol. 11. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90698-0_15
48. Palma, J.M., Sandalio, L.M., Corpas, F.J., Romero, M.C., McCarthy, I., & Río, L.A. (2002). Plants proteases, protein degradation, and oxidative stress: Role of peroxisomes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40, 521-530. [https://doi.org/10.1016/S0981-9428\(02\)01404-3](https://doi.org/10.1016/S0981-9428(02)01404-3)
49. Pearson-Mims, C., & Lohr, V. (1990). Fluoride injury to cut 'Samantha' roses may be reduced by pulsing with calcium nitrate. *HortScience*, 25, 1270-1271. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.25.10.1270>
50. Petridou, M., Voyiatzy, C., & Voyiatzis, D. (2001). Methanol, ethanol and other compounds retard life senescence and improve the vase life and quality of cut *Chrysanthemum* flowers. *Postharvest Biology and Technology*, 23, 79-83. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(01\)00102-8](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(01)00102-8)
51. Petridou, M., Voyiatzy, C., & Voyiatzis, D. (1999). Aspirin, methanol and some antibacterial compounds prolongs the vase life of cut carnations. *Advances in Horticultural Science*, 13, 161-164.
52. Piechocki, R., & Salachna, P. (2019). Improvement of postharvest quality of cut amaranth (*Amaranthus tricolor* L.) foliage by ethanol. *World News of Natural Sciences*, 22, 151-158.
53. Podd, L.A., & Van Staden, J. (2002a). Physiological response and extension of vase life of cut carnation flowers treated with ethanol and acetaldehyde. I. chlorophyll content and carbohydrate status. *Plant Growth Regulation*, 38, 99-105. <https://doi.org/10.1023/A:1021267712167>
54. Podd, L.A., & Van Staden, J. (2002b). Physiological response and extension of vase life of cut carnation flowers treated with ethanol and acetaldehyde. II. Protein content and enzyme activity. *Plant Growth Regulation*, 38, 107-117. <https://doi.org/10.1023/A:1021219829005>
55. Podd, L.A., & Van Staden, J. (1999). The use of acetaldehyde to control carnation flower longevity. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28, 175-178. <https://doi.org/10.1023/A:1006246617729>
56. Pun, U.K., Rowarth, J.S., Barnes, M.F., Heyes, J.A., Rowe, R.N., & Dawson, C.O. (2001). The influence of exogenous acetaldehyde solution on the vase life of two carnations (*Dianthus caryophyllus* L.) cultivars in the absence or presence of exogenous ethylene. *Plant Growth Regulations*, 34, 267-272. <https://doi.org/10.1023/A:1013345908827>
57. Pun, U.K., Shimizu, H., Tanase, K., & Ichimura, K. (2005). Effect of sucrose on ethylene biosynthesis in cut spray carnation flowers. *Proceeding of VIIIth Postharvest Physiology Ornamentals, Acta Horticulturae*, 669, 171-174. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.669.21>
58. Ramtin, A., Naderi, R., Kalatejari, S., & Matiniazadeh, M. (2019). Comparison of plant growth regulators and exogenous ethylene effects on two types of cut carnation (*Dianthus caryophyllus* L.). *Journal of Ornamental Plants*, 9(1), 55-64. <https://dori.net/dor/20.1001.1.22516433.2019.9.1.6.9>

59. Sadeghi, A., Nasibi, F., Farahmand, H., & Hosseini, F. (2017). Effect of hydrogen peroxide treatment on improvement of the postharvest quality of cut *Alstroemeria* cut flowers. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 48(1), 123-131. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.117424.709>
60. Sadeghi Nasab, M. (2011). *The effect of ethanol and methanol on the vase life of cut flowers of carnation (Dianthus caryophyllus L.)*. M.Sc. Thesis, Gilan University, Rasht, Iran. 259 p. (in Persian)
61. Seven, V., & Jose, J.V.G. (2004). Sucrose loading decrease ethylene responsiveness in carnation (*Dianthus caryophyllus* cv. White Sim) petals. *Postharvest Biology and Technology*, 31, 305-312. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.09.010>
62. Sharif Hossain, A.B.M., Nasrollah Boyce, A., & Majid, H. (2008). Vase life extension and chlorophyll fluorescence yield of *Bougainvillea* flower as influenced by ethanol to attain maximum environmental beautification as ornamental components. *American Journal of Environmental Science*, 1(2), 203-210. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2008.625.630>
63. Shour, M., Khalighi, A., Omidbeigi, R., & Naderi, R. (2013). *The effects of gibberellin and silver thiosulfate on the opening of florets, durability and ethylene production in Polianthes tuberosa*. The First Festival and National Congress of Cut Flowers of Iran. (In Persian with English abstract)
64. Solgi, A. (2009). *Investigating the effect of silver nanoparticles and essential oils of garden thyme and Shirazi thyme on quality parameters after harvesting gerbera cut flowers (Gerbera jamesonii L.)*. Ph.D. Thesis, Tehran University, Tehran, Iran. (In Persian with English abstract)
65. Sood, S., Vayas, D., & Nagar, P.K. (2006). Physiological and biochemical studies during flower development in two loose species. *Scientia Horticulturea*, 108, 390-396. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.02.012>
66. Taha, A. (2020). The longevity and quality of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) cut flowers as affected by ethanol, methanol, citric acid and silver thiosulphate. *Journal of the Advances in Agricultural Researches*, 25(1), 100-111.
67. Tanazad, M., Sharifi-Sirchi, Gh.R., Mirzaalian-Dastjerdi, A.M., & Yousefzadi M. (2016). Improvement of stability traits and enzyme activity in Diana carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) cut flower in preservative solutions. *Plant Research Journal*, 29(1), 43-53. (In Persian with English abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1395.29.1.4.6>
68. Teixeira da Silva, J.A. (2003). The cut flower, postharvest condition. *Biological Science Journal*, 3, 406-442. <https://doi.org/10.3923/jbs.2003.406.442>
69. Van Meeteren, U., & Van Gelder, H. (1999). Effect of time since harvest and handling conditions on rehydration ability of cut chrysanthemum flowers. *Postharvest Biology and Technology*, 16, 169-177. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(99\)00020-4](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(99)00020-4)
70. Wu, M., Lorenzo, J.Z., Saltveit, M.E., & Ried, M.S. (1992). Alcohols and carnation senescence. *Horticultural Science*, 27, 136-138. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.2.136>
71. Zhou, H.W., Dong, L., Arie, R.B., & Lurie, S. (2001). The role of ethylene in the prevention of chilling injury in nectarines. *Plant Physiology*, 158, 55-61. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00126>

Study the Effect of some Biofertilizers on Growth, Leaf Nutrient Contents and Yield Properties of Apple (*Malus domestica* cv. Red delicious)

A. Salehi¹, F. Nekounam^{1*}, F. Razavi¹

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

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

Received: 06 March 2024
Revised: 19 June 2024
Accepted: 07 July 2024
Available Online: 07 July 2024

How to cite this article:

Salehi, A., Nekounam, F., & Razavi, F. (2026). Study the effect of some biofertilizers on growth, leaf nutrient contents and yield properties of apple (*Malus domestica* cv. Red delicious). *Journal of Horticultural Science*, 39(4), 567-582. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2024.87166.1329>

Introduction

Apple (*Malus domestica*) belongs to the Rosacea family and is one of the most important fruit trees in temperate regions. Apple fruit is a rich source of vitamins, sugars, organic acids, minerals, fibers, and bioactive compounds and is widely cultivated due to its pleasant taste, aroma, and texture. Due to the rising need for food and fiber per unit of land area, chemical fertilizers are becoming increasingly popular to increase yields from small plots of land. Chemical fertilizers pose significant health risks and can damage the environment when used excessively. As a result, research in this field increasingly focuses on identifying and evaluating more sustainable alternatives. One promising approach involves the use of biostimulants, which can enhance the effectiveness of conventional mineral fertilizers. Plant biostimulants contain some nutrients (marine plant extracts, humic acids, amino acids and other natural products such as saponins and compost teas) that stimulate plant growth, even when administered in small amounts. Foliar application of seaweed extracts at 0.2% recorded maximum no. of fruits/tree, fruit weight, and yield/tree in valencia orange.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of biofertilizers on growth, yield and leaf nutrient contents of apple under climatic conditions of Zanjan, the experiment was carried out in a completely randomized block design with three replicates in 2023. Different concentration of seaweed (Alg; 0.075 and 0.15%), amino acid (GF Amino; 0.1 and 0.2%), humic acid (HA; 0.3%), commercial fertilizer Homarang, (Homa fert; 0.5%), combined chemical fertilizer (nitrogen, zinc and boron (Combinat fert; 1% urea, 0.3% zinc chelate and 0.1% boric acid)) and distilled water as a control were sprayed on the trees at 40 days after full bloom stage until runoff using a mechanical mist sprayer, and repeated three times with an 30 days interval until the physiological ripening of fruits. The experiment was carried out on 10-year-old Red Delicious apple trees grafted on M9 rootstocks. Shoot length, chlorophyll index, fruit drop percentage, yield efficiency, leaf area, leaf dry matter, leaf macro and micro nutrient were measured. The analysis of variance (ANOVA) and least significant difference test ($P \leq 0.05$) used to compare means within each sampling date. The Statistical analysis and standard error calculation were carried out using SAS software (V. 9.3).

Results and Discussion

The results showed that the foliar application of bio and chemical fertilizers significantly increased growth and fruit yield. So that, the highest increase in shoot length (39%) and leaf area (74.30%) compared to the control was obtained with application of seaweed 0.075%. Also, seaweed 0.15%, amino acid 0.2%, humic acid and amino acid 0.1% caused a significant increase in leaf area (42.02, 35.57, 22.27 and 16.20%, respectively)



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

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.87166.1329>

compared to the control. Foliar spray of seaweed, amino acid and chemical fertilizer increased chlorophyll index. The highest increase in chlorophyll index (50%) compared to the control was obtained with application of combined chemical fertilizer at 130 days after full bloom. These results are in agreement with the outcomes of other experiments conducted with seaweed on apple and on other crops such as grapevine. Therefore, this represents a further evidence of a possible role of seaweed extracts in the reduction of chlorophyll degradation and in delaying leaf senescence. The highest amount of nitrogen (1.66%), potassium (1.03%) zinc ($150 \text{ mg.g}^{-1} \text{ DW}$) and boron ($82.5 \text{ mg.g}^{-1} \text{ DW}$) and the lowest amount of phosphorus (0.44%) were obtained with application of combined chemical fertilizer. The highest value of iron was observed in leaf of trees treated with seaweed 0.15%, humic acid and commercial biofertilizer. Based on the results, it was observed that the amino acid, seaweed and combined chemical fertilizer have the greatest effect in reducing fruit drop (36.97, 33.37, 29.07%, respectively) compared to control) and increasing yield efficiency (respectively 2.75, 2.73 and 2.8 compared to control with $0.22 \text{ fruits No.cm}^{-2} \text{ SCSA}$). These results partially are in agreement with another research performed on apple, where the use of a similar seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) was found able to induce a higher final yield. The hormonal components found in the extracts, particularly cytokinins, are assumed to be responsible for the increased yield in plants treated with seaweed. Previous studies mentioned that the application of biological fertilizers alone or in combination with the mineral fertilizers had positive influences on the leaf plate area, mean fruit weight and fruit chemical composition.

Conclusion

According to the results of this research, the use of biofertilizers, especially seaweed (0.15%) and amino acid (0.1%), are suitable and nature-friendly substitutes for chemical fertilizers and can play a significant role in increasing growth indices and yield of apples.

Keywords: Amino acid, Chlorophyll index, Fruit drop, Yield efficiency, Seaweed

مقاله پژوهشی

جلد ۳۹، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴، ص. ۵۸۲-۵۶۷

بررسی تأثیر برخی از کودهای زیستی بر خصوصیات رشدی، محتوای عناصر غذایی برگ و

عملکرد میوه سیب (*Malus domestica* cv. Red delicious)افسانه صالحی^۱ - فاطمه نکونام^{۱*} - فرهنگ رضوی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۷

چکیده

پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر محلول پاشی برخی از کودهای زیستی بر خصوصیات رشدی و عملکرد میوه سیب (*Malus domestica* cv. Red delicious) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در شرایط آب‌وهوایی زنجان انجام گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل محلول پاشی برخی جلبک دریایی (۰/۰۷۵ و ۰/۱۵ درصد)، اسیدآمینه (۰/۱ و ۰/۲ درصد)، اسیدهیومیک (۰/۰۳ درصد)، کود تجاری همارنگ (۰/۵ درصد)، کود شیمیایی ترکیبی (نیتروژن، روی و بور (اوره ۱ درصد، کلات روی ۰/۳ درصد و اسیدبوریک ۰/۱ درصد)) و محلول پاشی با آب مقطر (شاهد) بود. نتایج نشان داد که کاربرد برخی کودهای زیستی و شیمیایی به‌طور معنی‌داری رشد و عملکرد میوه را افزایش دادند. به‌طوری‌که بیشترین افزایش رشد شاخه سال جاری (۳۹ درصد) و سطح برگ (۷۴/۳۰ درصد) نسبت به شاهد با اعمال کود جلبک دریایی با غلظت ۰/۰۷۵ درصد به دست آمد. همچنین کود جلبک دریایی با غلظت ۰/۱۵ درصد، اسیدآمینه ۰/۲ درصد، اسیدهیومیک و اسیدآمینه ۰/۱ درصد باعث افزایش معنی‌دار سطح برگ (به‌ترتیب ۴۲/۰۲، ۴۳/۵۷، ۲۲/۲۷ و ۱۶/۲۰ درصد) نسبت به شاهد شدند. محلول پاشی جلبک دریایی، اسیدآمینه و ترکیب شیمیایی، شاخص کلروفیل را افزایش دادند. حداکثر افزایش شاخص کلروفیل (۵۰ درصد) نسبت به شاهد با کاربرد کود شیمیایی ترکیبی در ۱۳۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها به دست آمد. بیشترین مقدار نیتروژن (۱/۶۶ درصد)، پتاسیم (۱/۰۳ درصد)، روی (۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک) و بور (۸۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) و کمترین مقدار فسفر (۰/۴۴ درصد) با کاربرد برخی کود شیمیایی ترکیبی به دست آمد. بیشترین محتوای آهن در برگ درختان تیمار شده با کود جلبک دریایی ۰/۱۵ درصد، اسیدهیومیک و کود زیستی تجاری به دست آمد. براساس نتایج مشاهده شد که کاربرد اسیدآمینه، جلبک دریایی و کود شیمیایی ترکیبی بیشترین تأثیر را در کاهش ریزش میوه (به‌ترتیب ۳۶/۹۷، ۳۳/۳۷ و ۲۹/۰۷ درصد نسبت به شاهد) و افزایش کارایی عملکرد (به‌ترتیب ۲/۷۵ و ۲/۷۳ و ۲/۸ درصد) در مقایسه با ۰/۲۲ میوه در واحد سطح مقطع شاخه در شاهد) داشتند. براساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش می‌توان گفت که کاربرد کودهای زیستی به‌خصوص جلبک دریایی (۰/۱۵ درصد) و اسیدآمینه (۰/۱ درصد)، جایگزین‌های مناسب برای کودهای شیمیایی هستند و می‌توانند نقش به‌سزایی در افزایش شاخص‌های رشدی و عملکرد سیب بدون اثر مخرب بر محیط زیست داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: اسیدآمینه، جلبک دریایی، ریزش میوه، شاخص کلروفیل، کارایی عملکرد

مقدمه

محصول در مقایسه با سیستم‌های تولید رایج کمتر است. بخش کشاورزی ارگانیک به‌منظور افزایش عملکرد، به‌طور مداوم به‌دنبال شیوه‌های جدید زراعی جهت ادغام در مدیریت سیستم‌های کشت است (Soppelsa et al., 2018).

محرك‌های زیستی از جمله راهکارهای نوآورانه و امیدوارکننده برای بهبود پایداری و سودآوری کشاورزی ارگانیک است. مهم‌ترین محرك‌های زیستی گیاهی شامل اسیدهای هیومیک و فولویک، هیدرولیزهای پروتئین، عصاره جلبک‌های دریایی (Battacharyya et al., 2015)، قارچ‌های میکوریزا (Rouphael et al., 2015) و باکتری‌های محرك رشد گیاه (Ruzzi & Aroca, 2015) می‌باشند.

امروزه استفاده وسیع از کودهای شیمیایی سبب افزایش نگرانی در مورد سلامت انسان و محیط زیست شده است که با جایگزین کردن کودهای آلی می‌توان تا حدودی این نگرانی را کاهش داد. در کشاورزی ارگانیک، از جمله تولید سیب (*Malus domestica*) ارگانیک، به‌علت عدم استفاده از کودها و سموم شیمیایی عملکرد

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

(Email: nekounam@znu.ac.ir)

*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.87166.1329>

کشاورزی ارگانیک می‌تواند از محرک‌های زیستی استفاده کند، زیرا این مواد می‌توانند شکاف بین عملکرد در کشاورزی ارگانیک و معمولی را کاهش دهند (De Pascale et al., 2017). محرک‌های زیستی مانند مواد هیومیکی^۱ و هیدرولیزهای پروتئینی می‌توانند با تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (یعنی افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های شنی) و با تشکیل کمپلکس‌هایی با ریزمغذی‌ها، دسترسی به مواد مغذی را افزایش دهند (Canellas et al., 2015). علاوه بر این، استفاده از محرک‌های زیستی (مانند اسیدهای هیومیک، هیدرولیز پروتئین‌ها و عصاره جلبک‌های دریایی) می‌تواند رشدونمو ریشه را تقویت کنند و در نتیجه جذب مواد مغذی را بهبود دهند (Colla et al., 2017). همچنین افزایش فعالیت آنزیم‌های کلیدی (مانند نیترات ردوکتاز) به دنبال استفاده از مواد فعال زیستی (پروتئین هیدرولیز و عصاره جلبک دریایی) به ریشه و برگ نشان داده شده است (Schiavon et al., 2008). بنابراین افزایش جذب مواد مغذی توسط مواد محرک زیستی می‌تواند تحت تأثیر سازوکارهای مختلفی انجام شود. کودهای زیستی، رشد گیاهان را به- وسیله بهبود جذب و کارایی استفاده از مواد مغذی افزایش و تحمل گیاهان را در برابر تنش‌ها بهبود می‌بخشد (Amlani, 2022).

از طرفی، با توجه به اینکه بخش وسیعی از خاک‌های اکثر مناطق ایران آهکی است، در چنین شرایطی جذب برخی از عناصر پرمصرف و اکثر عناصر کم‌مصرف کاهش می‌یابد و کاربرد خاکی کودها با مشکل مواجه می‌شود. مصرف کودها به‌روش محلول‌پاشی ضمن حفظ جنبه‌های اقتصادی و اثربخشی سریع موجب حفظ محیط زیست، ممانعت از تخریب ساختمان فیزیکی و شیمیایی خاک و برهم خوردن تعادل مواد غذایی خاک می‌گردد که تمامی آن‌ها در راستای نیل به کشاورزی پایدار بسیار سودمند می‌باشند (Staki et al., 2015). کاربرد کودها به‌صورت محلول‌پاشی برگی کمتر از کاربرد خاکی آن‌ها موجب آلودگی محیط زیست می‌گردد (Lanauskas et al., 2006). درصد موفقیت جذب عناصر غذایی از طریق تغذیه برگی در حدود ۹۵ درصد و جذب عناصر در روش تغذیه از طریق ریشه بسته به شرایط شیمیایی و فیزیکی خاک بسیار متغیر و در حدود ۱۰ درصد است (Desouky et al., 2009).

اسیدهیومیک، نوعی ترکیب پلیمری طبیعی به همراه مواد آلی هتروژن است که دارای خواص محرک زیستی بوده و جذب مواد مغذی اصلی مورد نیاز گیاهان مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم و رشد بهتر گیاه را فراهم می‌کند (Pizzeghello et al., 2020). فرارا و همکاران (Ferrara et al., 2008) گزارش کردند که محلول‌پاشی اسیدهیومیک در انگور (*Vitis vinifera* cv. Italia)، اندازه حبه‌ها و

در نتیجه عملکرد میوه، مواد جامد محلول کل و میزان اسیدیته را افزایش داد. در پژوهشی دیگر عامری و تهرانی‌فر (Ameri & Tehranifar, 2012) مشاهده کردند که کاربرد اسیدهیومیک موجب افزایش محتوای نیتروژن، فسفر و کلروفیل برگ توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa* var. Camarosa) گردید. محلول‌پاشی اسیدهیومیک سبب کاهش خشک شدن سریع قطره‌های محلول غذایی در سطح برگ می‌شود که در نهایت می‌تواند در جذب سریع مواد غذایی تأثیر داشته باشد (Neri et al., 2002). محلول‌پاشی اسیدهیومیک در انگور 'رقم ایتالیا' سبب افزایش مواد جامد محلول، میزان اسیدیته و همچنین افزایش اندازه حبه‌ها و در نتیجه افزایش عملکرد شد (Ferrara et al., 2008).

عصاره جلبک دریایی سرشار از عناصر پرمصرف، کم‌مصرف و متابولیت‌های ثانویه است و به یکی از مهم‌ترین کودهای برگی برای محصولات میوه‌ای و سبزیجات تبدیل شده است (Jumadi et al., 2023). کاربرد عصاره جلبک دریایی به‌طور مؤثری رشد درختان سبب 'رقم جاناتان' را تحریک کرد و به‌طور قابل توجهی سطح برگ، محتوای کلروفیل برگ و میزان ماده‌سازی در برگ را بهبود بخشید (Soppelsa et al., 2018). کاربرد عصاره جلبک دریایی در انگور با بهبود سطح نیتروژن برگ، محتوای کلروفیل را افزایش داد و باعث بهبود عملکرد و وزن میوه شد (Sabir et al., 2014). استفاده از محرک‌های زیستی مانند جلبک دریایی در درختان سیب 'رقم جاناتان'، غلظت برخی از ریزمغذی‌ها (آهن و روی) را افزایش دادند (Soppelsa et al., 2019). همچنین شاه و همکاران (Shah et al., 2013) نیز گزارش نمودند که محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی باعث افزایش رشد و عملکرد گندم (*Triticum aestivum*) شد. سونارپی و همکاران (Sunarpi et al., 2010) در برنج (*Oryza sativa*) نشان دادند که محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی ارتفاع بوته، تعداد پنجه و تعداد برگ‌های برنج را افزایش داد.

اسیدهای آمینه نیز جزء کودهای زیستی هستند که با تحریک رشد گیاه باعث افزایش ماده خشک و تازه می‌شوند (Rouphael et al., 2017). هنگامی که اسیدهای آمینه از طریق سیستم ریشه یا تغذیه برگی استفاده می‌شوند، جذب مواد مغذی از جمله آهن و روی در برگ بهبود می‌یابد (Mohammadipour & Souri, 2019). محلول‌پاشی اسیدهای آمینه باعث افزایش زیست‌توده و بهره‌وری محصول می‌شود (Souri et al., 2018). عربلو و همکاران (Arablo et al., 2014) گزارش کردند که محلول‌پاشی برگی اسیدآمینه‌ها در دو رقم سیب، میزان کلروفیل کل را افزایش دادند.

با توجه به مطالب فوق، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی برگی تعدادی از کودهای زیستی در مقایسه با کود

هشت درصد پتاسیم می‌باشد، یک سطح کود تجاری همارنگ (۵/۰ درصد تولید شرکت فناوری آزما همارنگ - ساخت کشور ایران) به صورت مایع و با قابلیت حل آسان در آب می‌باشد که محتوای اسید آمینه، اسید فولیک و یک سری از عناصر غذایی ضروری شامل ۳/۵ درصد نیتروژن، ۵/۱ درصد پتاسیم محلول در آب، ۰/۰۳ درصد منیزیم محلول در آب، ۰/۹۱ درصد آهن محلول در آب، ۰/۰۳ درصد منگنز محلول در آب، ۳/۹ درصد کربن آلی می‌باشد، یک سطح کود شیمیایی ترکیبی حاوی عناصر غذایی نیتروژن، روی و بور (۱ درصد اوره، ۰/۳ درصد کلات روی و ۰/۱ درصد اسیدبوریک) و شاهد (محلول پاشی با آب مقطر) بود. حدود ۴۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها، محلول پاشی شروع و با فاصله ۳۰ روز تا زمان رسیدن فیزیولوژیکی میوه‌ها سه بار تکرار شد. برای افزایش بازده جذب، محلول پاشی هنگام غروب آفتاب و در ساعات خنک روز انجام گردید و تمام برگ‌های درخت به طور کامل خیس شد. آزمایش روی درختان ۱۰ ساله سیب رقم 'رِد دلشز' پیوند شده روی پایه‌های رویشی 'M9' انجام شد. مدیریت باغ از نظر آبیاری، نحوه کوددهی و هرس در تمام درختان یکسان بود.

شیمیایی ترکیبی حاوی نیتروژن، روی و بور در بهبود شاخص‌های رشدی، محتوای مواد معدنی و عملکرد سیب رقم رد دلشز در شرایط آب‌وهوایی زنجان انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال زراعی ۱۴۰۲ در باغ سیب دانشگاه زنجان با موقعیت جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۹ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۶۵۹/۴ متر از سطح دریا اجرا شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و یک درخت در هر تکرار اجرا شد. تیمارهای محلول پاشی شامل دو سطح جلبک دریایی (درصد، تولید شرکت آکادین پلنت - ساخت کشور کانادا) که حاوی ۹۳/۵ درصد عصاره جلبک دریایی *Ascophyllum nodosum* می‌باشد، دو سطح جی‌اف آمینواسید (۱/تولید شرکت گرین فرت کراپ - ساخت کشور چین) که حاوی ۱۵ درصد نیتروژن و ۴۵ درصد آمینو اسید کل و ۴۰ درصد آمینو اسید آزاد می‌باشد، یک سطح اسید هیومیک (تولید شرکت مرک - ساخت کشور آلمان) که دارای ۷۹ درصد اسید هیومیک، ۱۲ درصد اسید فولیک و

جدول ۱ - خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش
Table 1- Physical and chemical properties on the site of experimental field

بافت Texture	ظرفیت زراعی FC (%)	ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	کلسیم کربنات Ca(CO ₃) ₂ (%)	فسفر P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن N (%)
لوم رسی شنی Sandy clay loam	13	1.14	1.32	8.07	27.5	15	145	0.07

صفات مورد ارزیابی

به منظور ارزیابی رشد رویشی، طول شاخه‌های سال جاری در چهار جهت درخت اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها برحسب سانتی‌متر بیان شد. سطح برگ با دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (DELTA-T DEVICE LTD, ENGLAND) برحسب سانتی‌متر مربع محاسبه شد. جهت تعیین درصد ماده خشک، ۱۰ برگ از هر واحد آزمایشی توزین و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در آون تهویه‌دار قرار گرفته و مجدد توزین شدند و با استفاده از معادله (۱)، درصد وزن خشک برگ به دست آمد.

(۱) $100 \times (\text{وزن تر برگ} / \text{وزن خشک برگ}) = \text{درصد ماده خشک برگ}$
یک ماه بعد از هر محلول پاشی، شاخص کلروفیل برگ (۱۰ برگ از هر تکرار) (در سه مرحله) با دستگاه کلروفیل سنسج دستی (SPAD مدل CCM Opti Science-uk) اندازه‌گیری گردید.

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 محلول پاشی، سه هفته بعد از آن و در زمان برداشت شمارش گردید و با استفاده از معادله ۲ درصد ریزش میوه محاسبه شد. همچنین کارایی عملکرد براساس شاخص تعداد میوه در سطح مقطع شاخه (معادله ۳) محاسبه شد.

(۲)

$100 \times (\text{تعداد میوه شمارش شده} / \text{تعداد میوه ریزش یافته}) = \text{درصد}$

ریزش میوه‌ها

(۳)

سطح مقطع شاخه / وزن میوه یا تعداد میوه در شاخه = کارایی عملکرد

درصد و رسم نمودارها با کمک نرم افزار Excel و Sigma Plot 12.0 انجام گرفت.

نتایج و بحث

طول شاخه سال جاری

براساس نتایج مقایسه میانگین (شکل ۱)، مشاهده شد که محلول پاشی کود جلبک دریایی با غلظت ۰/۰۷۵ درصد باعث افزایش معنی دار طول شاخه های سال جاری (۳۹ درصد) نسبت به شاهد گردید. طول شاخه ها در سایر تیمارها در مقایسه با شاهد تحت تأثیر قرار نگرفت.

بسیاری از مزایای استفاده از عصاره جلبک دریایی به دلیل وجود هورمون های گیاهی به ویژه سیتوکینین ها است. سیتوکینین با افزایش تکثیر سلول ها در مریستم رأسی ساقه سبب تحریک رشد ساقه می شود (Ruban & Govindasamy, 2018). البته تنها دلیل تأثیر جلبک دریایی بر رشد طولی شاخه ها وجود هورمون ها نیست و براساس نتایج به دست آمده، محلول پاشی کود جلبک دریایی باعث افزایش سطح برگ (شکل ۲)، شاخص کلروفیل (شکل ۳) و محتوای بعضی از عناصر از جمله نیتروژن، آهن و فسفر (جدول ۲) شد. بر این اساس می توان گفت که مجموعه ای از عوامل باعث افزایش رشد رویشی در درختان تحت محلول پاشی جلبک دریایی شدند. اسیدهای آمینه باعث افزایش و تحریک رشد گیاه می شوند (Rouphael et al., 2017). ماگدا (Magda, 2012) این گونه استنباط کرد که اسیدهای آمینه با افزایش شدت فتوسنتز همراه با افزایش میزان کلروفیل باعث افزایش ارتفاع بوته و قطر ساقه در گیاهان زراعی شدند. همچنین محققان دیگر بیان داشتند که کاربرد اسید آمینه باعث افزایش ارتفاع بوته در گیاهان زراعی گردید (Noroozlo et al., 2019). علی و همکاران (Ali et al., 2015) گزارش کردند که محلول پاشی برگی توأم بور و روی احتمالاً با افزایش تولید هورمون اکسین و جلوگیری از اکسیداسیون IAA می تواند تأثیر مثبتی بر عملکرد و صفات رویشی گیاه گوجه فرنگی داشته باشد. البته در مطالعه حاضر، بررسی ضرایب همبستگی رابطه معنی داری بین طول شاخه و محتوای عناصر برگ و سایر صفات مورد مطالعه نشان نداد (جدول ۳).

سطح و درصد ماده خشک برگ

براساس نتایج حاصل از این پژوهش، تأثیر محلول پاشی کودهای زیستی و شیمیایی بر سطح برگ معنی دار شد، اما درصد ماده خشک برگ تغییر معنی داری نشان نداد. براساس نتایج مقایسه میانگین مشاهده شد که کاربرد کودهای زیستی به خصوص جلبک دریایی باعث افزایش معنی دار سطح برگ نسبت به شاهد شدند. بیشترین

برای اندازه گیری عناصر از نمونه های برگی استفاده شد و مجموع سه عنصر پرمصرف (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و سه عنصر کم مصرف (بور، روی و آهن) اندازه گیری گردید. برای اندازه گیری نیتروژن برگ، میزان پنج میلی لیتر از عصاره به دست آمده از روش هضم مرطوب به بالن تقطیر منتقل شد. دو میلی لیتر از محلول سود ۱۰ نرمال اضافه و قیف دهانه بالن تقطیر کاملاً شسته شد تا حجم محلول ۲۰ میلی لیتر گردد. ۱۰ میلی لیتر اسیدبوریک دو درصد و سه قطره مخلوط معرف ها (معرف بروموکروزول سبز به اضافه متیل قرمز) در ارلن مایر ۱۰۰ میلی لیتری ریخته شد و زیر مبرد دستگاه تقطیر قرار گرفت. عمل تقطیر تا تغییر رنگ محلول اسیدبوریک از صورتی به سبز انجام گردید. برای اطمینان از جمع آوری کل گاز آمونیاک، عمل تقطیر تا رسیدن حجم اسیدبوریک به ۶۰ میلی لیتر ادامه یافت. سپس محتویات بشر به ارلن انتقال داده شد و با اسیدسولفوریک یک درصد نرمال تیترو گردید، تا رنگ سبز به صورتی تبدیل شود. در نهایت، مقدار نیتروژن برگ به درصد بیان شد (Svecnjak & Rengel, 2006).

جهت اندازه گیری فسفر کل در برگ، میزان پنج میلی لیتر از محلول های عصاره و شاهد را به لوله آزمایش ۲۵ میلی لیتری منتقل و سپس میزان پنج میلی لیتر از محلول آمونیوم مولیبدات-وانادات به آن اضافه شده و به حجم رسانده شد. بعد از ۲۰ دقیقه، نمونه ها به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر^۱ (ساخت کشور ژاپن- کارخانه APEL- مدل PD-303) در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت گردید و مقدار فسفر به درصد گزارش شد (Jackson, 1958).

به منظور اندازه گیری پتاسیم کل در برگ های درختان تیمار شده، ابتدا دو میلی لیتر از سری محلول های استاندارد، نمونه شاهد و عصاره گیاه تهیه گردید و طبق روش هضم گیاه در بالن ۲۵ میلی لیتر ریخته و با آب مقطر به حجم رسانده شد. سپس به وسیله دستگاه فلیم فتومتر^۲ (ساخت کشور انگلیس - کارخانه GENWAY - مدل PFP7) پتاسیم آنالیز شد (Olsen et al., 1954) و برحسب درصد ماده خشک گیاهی گزارش گردید.

اندازه گیری روی و بور به روش جذب اتمی شعله ای در عصاره حاصل از سوزاندن خشک با اسید هیدروکلریک صورت گرفت که به ترتیب در طول موج های ۲۱۳/۹ و ۴۳۰ نانومتر اندازه گیری شدند (Emami, 1996).

در نهایت، آنالیز داده ها توسط نرم افزار آماری SAS 9.3، مقایسه میانگین ها به روش آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵

1- Spectrophotometer

2- Flame photometr

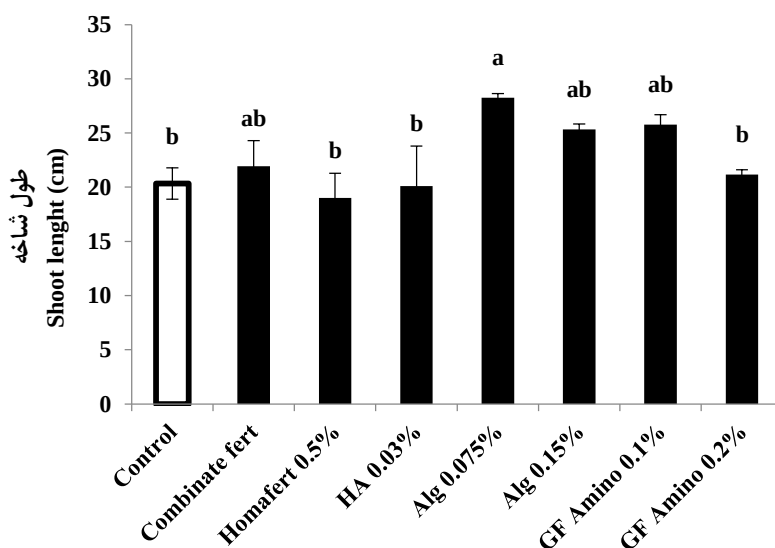
را افزایش را داد (Ma et al., 2017). البته در مطالعه حاضر، رابطه معنی‌داری بین محتوای رومی و سطح برگ مشاهده نشد (جدول ۳).

شاخص کلروفیل برگ

نتایج حاصل از بررسی تأثیر محلول‌پاشی کودهای زیستی و کود شیمیایی ترکیبی بر شاخص کلروفیل برگ نشان داد که در طول فصل رشد (از ۷۰ تا ۱۳۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها) شاخص کلروفیل افزایش یافت. به‌خصوص در ۱۳۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها، تأثیرگذاری تیمارها بیشتر مشهود بود. براساس نتایج حاصل از این پژوهش، تفاوت معنی‌داری بین تیمارها در مرحله اول (۷۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها) مشاهده نشد، اما در مراحل دوم (۱۰۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها) و به‌خصوص مرحله سوم (۱۳۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها)، شاخص کلروفیل در اثر کاربرد برگی کودها تفاوت معنی‌داری نشان داد (شکل ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین مشاهده شد که کود شیمیایی ترکیبی در هر سه مرحله (به‌خصوص در ۱۳۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها) باعث افزایش ۵۰ درصدی شاخص کلروفیل نسبت به شاهد شد. بعد از آن، محلول‌پاشی جلبک دریایی با غلظت ۰/۱۵ درصد و اسیدآمینه با غلظت ۰/۱ درصد (به‌ترتیب ۲۹/۶ و ۲۳/۷ درصد) بیشترین میزان شاخص کلروفیل را نسبت به شاهد دارا بودند. در کل تمام کودهای به‌کاربرده‌شده باعث افزایش شاخص کلروفیل نسبت به شاهد شدند.

سطح برگ (۲۷ سانتی‌متر مربع) با کاربرد جلبک دریایی با غلظت ۰/۰۷۵ درصد و کم‌ترین مقدار آن (۱۵/۴۹ سانتی‌متر مربع) در شاهد مشاهده شد. سایر کودهای زیستی شامل کود جلبک دریایی ۰/۱۵ درصد، اسیدهیومیک، اسیدآمینه ۰/۲ و ۰/۱ درصد به‌ترتیب با ۴۲/۰۲، ۳۵/۵۷ و ۲۲/۲۷ درصد باعث افزایش معنی‌دار سطح برگ نسبت به شاهد شدند، اما کود تجاری همارنگ و کود شیمیایی ترکیبی با وجود سطح برگ بیشتر تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند (شکل ۲).

نتایج این پژوهش با نتایج اسپینلی و همکاران (Spinelli et al., 2010) مطابقت دارد که گزارش کردند، سطح برگ توت‌فرنگی تحت تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی در شرایط گلخانه افزایش یافت. سولپسا و همکاران (Soppelsa et al., 2018) در پژوهشی روی سیب جانانان دریافتند که محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی به‌طور قابل توجهی سطح برگ، محتوای کلروفیل برگ و میزان آسیمیلات‌ها در برگ را افزایش و به‌طور مؤثری رشد درختان را بهبود بخشیدند که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. سبیر و همکاران (Sabir et al., 2014) نیز گزارش کردند که استفاده از ترکیب عصاره جلبک تأثیر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ داشت. محلول‌پاشی عنصر رومی، با تنظیم روزه‌ها، بهبود کارایی فتوسنتز، افزایش سنتز کلروفیل و همچنین افزایش سطح برگ گیاه، رشد محصول و عملکرد

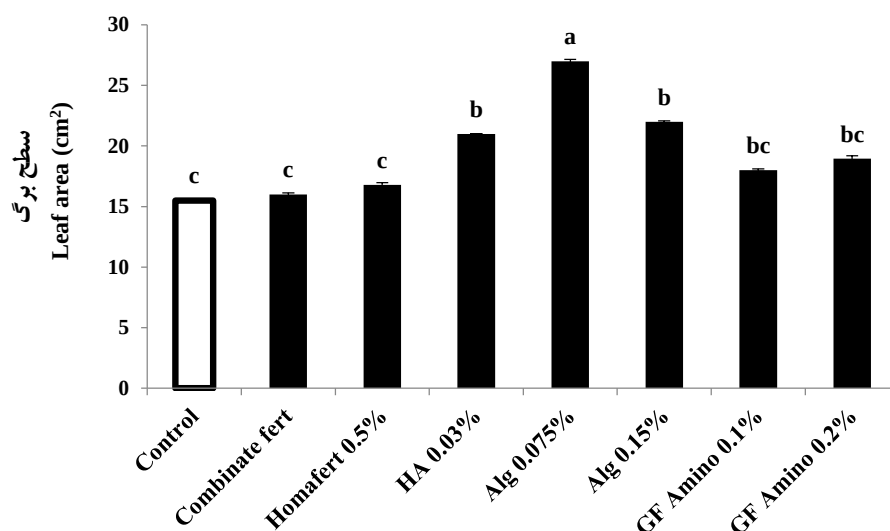


شکل ۱- تأثیر محلول‌پاشی کود شیمیایی و کودهای زیستی بر طول شاخه‌های سال جاری سیب رقم 'رِد دلشز'

Figure 1- The effect of foliar application of chemical fertilizer and biofertilizers on the shoot length of Red Delicious apple (DMRT, $p \leq 0.05$)

Combine fert: نیتروژن، روی و بور، Homafert: کود تجاری همارنگ، HA: اسیدهیومیک، Alg: جلبک دریایی و GF Amino: اسیدآمینه

Combine fert: nitrogen, zinc and boron, Homafert: Homarang commercial fertilizer, HA: humic acid, Alg: seaweed and GF Amino: amino acid



شکل ۲- تأثیر محلول پاشی کود شیمیایی و کودهای زیستی بر سطح برگ سیب رقم 'رد دلشیز'

Figure 2- The effect of foliar application of chemical fertilizer and biofertilizers on the leaf area of Red Delicious apple (DMRT, $p \leq 0.05$)

Combine fert: نیتروژن، روی و بور، Homafert: کود تجاری همارنگ، HA: اسیدهیومیک، Alg: جلبک دریایی و GF Amino: اسیدآمینو

Combine fert: nitrogen, zinc and boron, Homafert: homarang commercial fertilizer, HA: humic acid, Alg: seaweed and GF Amino: amino acid

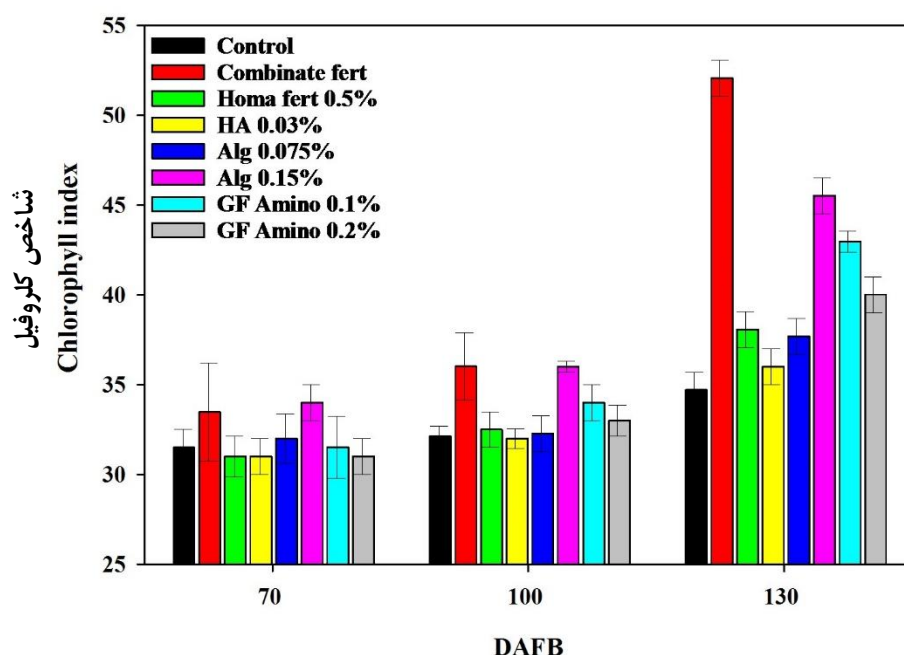
مقابل شاخص کلروفیل در تیمار مذکور بالاتر بود. به طور کلی براساس نتایج به دست آمده، وجود همبستگی منفی بین سطح برگ و شاخص کلروفیل ($r = -0.53$) مشهود است (جدول ۳) و با توجه به بحث صورت گرفته و در نظر گرفتن همزمان تغییرات سطح برگ و شاخص کلروفیل می توان چنین گفت که تمام تیمارهای تغذیه ای باعث افزایش سطح کلروفیل در برگ درختان سیب رقم رد دلشیز نسبت به شاهد شدند.

دبروملیسکا و همکاران (Dobromilska et al., 2008) در مطالعات خود نشان دادند که محلول پاشی عصاره جلبک دریایی باعث افزایش محتوای کلروفیل در گوجه فرنگی شد. از علل تأثیر مثبت عصاره جلبک بر افزایش محتوای کلروفیل می تواند وجود هورمون های رشد اکسین و جیبرلیک اسید در این کود باشد. وجود بتائین در عصاره جلبک دریایی نیز بر کاهش تخریب کلروفیل تأثیر مثبت داشت (Shahbazi et al., 2015). عربلو و همکاران (Arablo et al., 2014) گزارش کردند که محلول پاشی برگی اسیدآمینو در دو رقم سیب، میزان کلروفیل کل را افزایش داد.

گزارش شده است که کاربرد اسیدآمینو تأثیرات مثبتی بر محتوای مواد معدنی برگ و غلظت کلروفیل برگ داشت (Garcia et al., 2011). تحقیقات نشان داده اند که به دلیل اینکه اجزای سازنده پروتئین ها، اسیدآمینو ها هستند و رنگیزه های فتوسنتزی نیز از پروتئین

نتایج به دست آمده با یافته های سوپلا و همکاران (Soppelsa et al., 2018) و سایر محققان مطابقت دارد. چه بسا که با افزایش دما، طول روز و شدت نور در طول فصل رشد، کلروفیل سازی در گیاهان افزایش و با عبور از شرایط دمایی و نور ایده آل کلروفیل سازی کاهش و تخریب کلروفیل صورت می گیرد. در شرایط یکسان هرچه کلروفیل سازی در برگ ها بیشتر باشد، فتوسنتز بیشتری صورت خواهد گرفت و رشد و عملکرد گیاه بهبود خواهد یافت (Arablo et al., 2013). افزایش محتوای کلروفیل برگ در اثر کاربرد کود شیمیایی ترکیبی به احتمال زیاد تحت تأثیر نیتروژن موجود در کود حاصل شده است (Tegeder & Masclaux-Daubresse, 2018). کود ترکیبی حاوی یک درصد اوره بود که احتمالاً توسط برگ ها به سرعت جذب و درصدی از نیتروژن موجود در اوره وارد ساختار کلروفیل ها شده است. طبق نتایج جدول همبستگی (جدول ۳)، بین محتوای نیتروژن برگ و شاخص کلروفیل برگ رابطه مثبت و معنی داری ($r = 0.64$) مشاهده شد. البته با توجه به اینکه کود ترکیبی تأثیر معنی داری بر سطح برگ نداشته است، می توان گفت که تراکم کلروفیل ها در سطح برگ کمتری نسبت به سایر تیمارها مثل سطوح جلبک، اسیدآمینو و اسیدهیومیک صورت گرفته است. چه بسا که مشاهده می شود درختان تیمار شده با جلبک دریایی با غلظت ۰/۱۵، سطح برگ کمتری نسبت به درختان تیمار شده با ۰/۰۷۵ درصد جلبک دریایی داشتند، اما در

ساخته شده‌اند، کاربرد اسیدآمینة می‌تواند به‌طور مستقیم بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل‌ها اثر داشته باشد (Nahed et al., 2010) که نتایج این آزمایش نیز نشان داد محتوای کلروفیل با کاربرد اسیدآمینة افزایش پیدا کرد.



روزها بعد از شکوفایی کامل

شکل ۳- تأثیر محلول‌پاشی کود شیمیایی و کودهای زیستی بر شاخص کلروفیل برگ در سه مرحله ۷۰، ۱۰۰ و ۱۳۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها در سیب رقم 'رُد دلشز'

Figure 3- The effect of foliar application of chemical fertilizer and biofertilizers on the leaf chlorophyll index in three stages 70, 100, 130 days after full bloom (DAFB) in Red Delicious apple (Bars=±SE)

Combinate fert: نیتروژن، روی و بور، Homa fert: کود تجاری همارنگ، HA: اسیدهیومیک، Alg: جلبک دریایی و GF Amino: اسیدآمینة

Combinate fert: nitrogen, zinc and boron, Homa fert: homarang commercial fertilizer, HA: humic acid, Alg: seaweed and GF Amino: amino acid

درصد ریزش میوه و کارایی عملکرد

براساس نتایج به‌دست‌آمده مشاهده شد که کاربرد کودهای زیستی اسیدآمینة و جلبک‌دریایی و کود شیمیایی ترکیبی باعث کاهش معنی‌دار میزان ریزش میوه شد. اسیدهیومیک نیز با اثرگذاری کمتر باعث کاهش معنی‌دار ریزش میوه نسبت به شاهد گردید، اما کود تجاری همارنگ تأثیر معنی‌داری بر درصد ریزش میوه نسبت به شاهد نداشت. بیشترین ریزش میوه (۹۴/۰۴ درصد) مربوط به شاهد و کم‌ترین ریزش (۵۳/۶۸ درصد) مربوط به تیمار کود جلبک دریایی ۰/۱۵ درصد بود (شکل ۴).

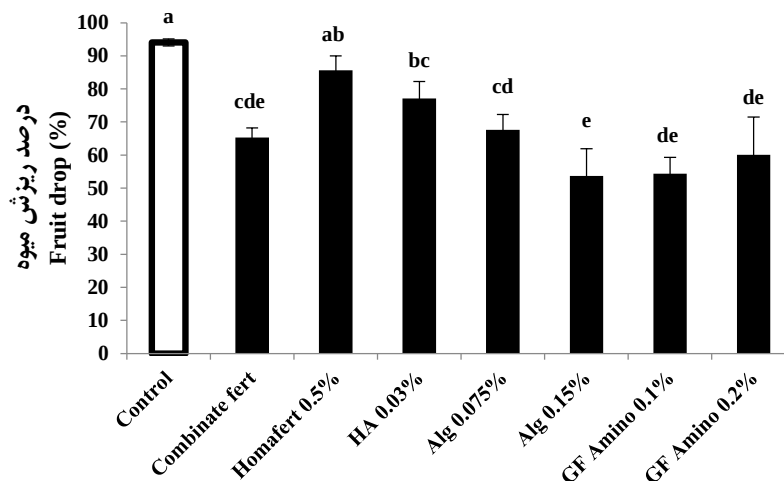
کارایی عملکرد درختان سیب تیمارشده با کودهای زیستی و شیمیایی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفت. طبق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، تمام تیمارهای محلول‌پاشی باعث افزایش کارایی عملکرد شدند. بیشترین مقدار کارایی عملکرد (۳/۰۳، ۲/۹ و ۲/۸ میوه در واحد سطح مقطع شاخه) به‌ترتیب مربوط به تیمارهای اسیدآمینة

۰/۱ درصد، جلبک دریایی ۰/۱۵ درصد و کود شیمیایی ترکیبی و کم‌ترین مقدار (۰/۲۲ میوه در واحد سطح مقطع شاخه) مربوط به تیمار شاهد بود. البته بین سطوح جلبک و اسیدآمینة تفاوت معنی‌داری از نظر کارایی عملکرد وجود نداشت. کود زیستی اسیدهیومیک نیز تأثیر معنی‌داری در افزایش کارایی عملکرد درختان سیب داشت، اما کود تجاری همارنگ با وجود افزایش کارایی عملکرد، تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت (شکل ۵).

نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های سایر محققان در این زمینه همخوانی دارد. خان و همکاران (Khan et al., 2022) گزارش کردند که استفاده از عصاره جلبک دریایی و اسیدهای آمینة باعث افزایش عملکرد و وزن انگور شد. اسیدهای آمینة می‌توانند به‌عنوان منبع کربن و انرژی به کار روند، یعنی اسیدهای آلی وارد چرخه کربس شده و طی تنفس انرژی تولید می‌کنند (Nahed et al., 2010). جوانمردی و ستار (Javanmardi & Sattar, 2016) در پژوهشی

برگ‌ها شده و موجب تقسیم سلولی و افزایش کلروفیل و رشد بهتر برگ‌های گیاه شده است. گزارش شده است که محلول‌پاشی اسیدهیومیک بر انگور رقم ایتالیا سبب افزایش محتوای مواد جامد محلول، میزان اسیدیته و همچنین افزایش اندازه حبه‌ها و در نتیجه افزایش عملکرد گردید (Ferrara et al., 2008).

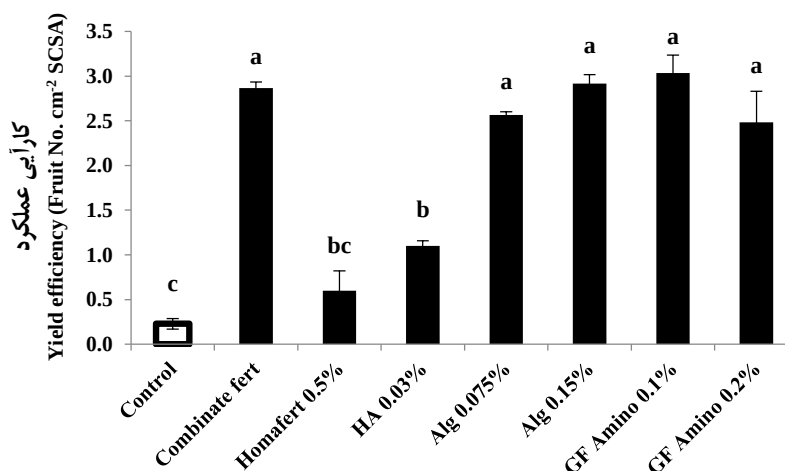
گزارش کردند که تیمار مخلوط اسیدآمینو و جلبک دریایی، عملکرد کل بوته را در بعضی از ارقام گوجه‌فرنگی افزایش داد و دلیل این امر را افزایش سطح برگ و محتوای کلروفیل برگ در تیمار اسیدآمینو و افزایش جذب عناصر غذایی و تنظیم‌کننده‌های رشد در اثر تیمار جلبک دریایی بیان کردند که باعث انتقال شیرخام با کیفیت به



شکل ۴- تأثیر محلول‌پاشی کود شیمیایی و کودهای زیستی بر درصد ریزش میوه سیب رقم 'رُد دلشز'

Figure 4- The effect of foliar application of chemical fertilizer and biofertilizers on the fruit drop percentage of Red Delicious apple (DMRT, $p \leq 0.05$)

Combine fert: نیتروژن، روی و بور، Homafert: کود تجاری همارنگ، HA: اسیدهیومیک، Alg: جلبک دریایی و GF Amino: اسیدآمینو.
Combine fert: nitrogen, zinc and boron, Homafert: homarang commercial fertilizer, HA: humic acid, Alg: seaweed and GF Amino: amino acid.



شکل ۵- تأثیر محلول‌پاشی کود شیمیایی و کودهای زیستی بر کارایی عملکرد براساس تعداد میوه در سطح مقطع شاخه سیب رقم 'رُد دلشز'

Figure 5- The effect of foliar application of chemical fertilizer and biofertilizers on yield efficiency based on the fruit number in shoot cross sectional area of Red Delicious apple (DMRT, $p \leq 0.05$)

Combine fert: نیتروژن، روی و بور، Homafert: کود تجاری همارنگ، HA: اسیدهیومیک، Alg: جلبک دریایی و GF Amino: اسیدآمینو.
Combine fert: nitrogen, zinc and boron, Homafert: homarang commercial fertilizer, HA: humic acid, Alg: seaweed and GF Amino: amino acid.

سطح بالای عناصر غذایی برگ در شاهد نسبت به تیمارهای تغذیه‌ای احتمالاً با عملکرد پایین میوه در درختان شاهد نسبت به تیمارهای تغذیه‌ای مرتبط است. میوه‌ها مخزن غالب و قوی هستند و نیاز به دریافت میزان بالایی از کربوهیدرات‌ها و مواد معدنی به‌خصوص در مراحل اولیه رشد دارند. هرچه تعداد میوه‌ها و بار درخت بیشتر باشد، کربوهیدرات‌ها و مواد معدنی بیشتری به میوه‌ها منتقل می‌شود (Meszaros et al., 2021). نیلسن و نیلسن (Neilsen & Neilsen, 2015) بیان کردند که میزان محصول یک عامل بسیار مهم و تأثیرگذار بر غلظت مواد مغذی برگ و میوه سیب شناخته شده است. محصول زیاد اغلب جذب مواد مغذی به‌خصوص پتاسیم درخت را تحریک می‌کند و منجر به کاهش پتاسیم برگ نسبت به غلظت پتاسیم میوه می‌شود. در پژوهش حاضر، محتوای پتاسیم برگ در کودهای زیستی نسبت به شاهد کاهش نشان داد که می‌توان علت را تأثیر عمده این کودها در افزایش طول شاخه، افزایش سطح برگ و افزایش کارایی عملکرد درختان سیب نسبت داد که با جذب زیاد پتاسیم از برگ باعث کاهش محتوای پتاسیم شده‌اند، که طبق بررسی ضرایب همبستگی، وجود رابطه منفی بین محتوای پتاسیم برگ و برخی از شاخص‌های رویشی مثل سطح برگ ($r = -0.56$) را می‌توان به این مسئله نسبت داد (جدول ۳). پوزشی و همکاران (Pozshi et al., 2011)، دلیل کاهش انباشت پتاسیم در تیمارهای روی در برگ انگور را چنین توجیه نمودند که در این تیمارها عنصر روی با افزایش طول سرشاخه سبب ایجاد رقت حاصل از توسعه سلول می‌گردد. همسو با این نتایج گزارش شده است که محلول‌پاشی اوره در افزایش غلظت نیتروژن برگی در درختان زیتون (*Olea europaea*) بسیار مؤثر بوده است (Fernandez-Escobar et al., 2011). همچنین اوره می‌تواند به جذب سایر مواد مغذی مانند روی و بور (Sanchez et al., 2005) که به‌صورت محلول‌پاشی استفاده می‌شوند، کمک می‌کند. به گفته برخی از محققان (Soppelsa et al., 2019)، عصاره جلبک دریایی بیان ژن ناقل نیتروژن را تنظیم می‌کند و تخصیص نیتروژن و انتقال اکسین را بهبود می‌بخشد. باتاکاریا و همکاران (Battacharyya et al., 2015) مشاهده کردند که عصاره جلبک دریایی تجمع نیتروژن را بهبود بخشید. براساس تحقیقات، تیمار برگ‌های گونه‌های گیاهی مختلف با محرک‌های زیستی، محتوای نیتروژن برگ را افزایش دادند (Cristiano et al., 2018). در پژوهش حاضر، محتوای نیتروژن تحت تأثیر کاربرد برگ‌های کودهای زیستی افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد پیدا نکرد. با توجه به اینکه تیمارهای مربوطه باعث افزایش سطح برگ نسبت به شاهد و همین‌طور نسبت به کود شیمیایی ترکیبی شده بودند، می‌توان عدم

بررسی ضرایب همبستگی بین صفات رویشی (جدول ۳) حاکی از وجود رابطه مثبت و معنی‌دار کارایی عملکرد با شاخص کلروفیل ($r = 0.53$) و طول شاخه ($r = 0.58$) و رابطه قوی و منفی با درصد ریزش میوه ($r = -0.90$) است. بر این اساس می‌توان گفت که یکی از اثرات مهم تیمارهای اعمال‌شده، تأثیر بر محتوای کلروفیل برگ و احتمالاً بهبود شرایط فتوسنتزی درختان بوده است. به‌طوری‌که علاوه بر بهبود رشد رویشی گیاه باعث افزایش کارایی عملکرد و کاهش معنی‌دار ریزش میوه شده است.

محتوای عناصر غذایی در برگ

همان‌طور که نتایج (جدول ۲) نشان می‌دهد، بیشترین مقدار نیتروژن (۱/۶۶ درصد) در برگ درختان محلول‌پاشی‌شده با کود ترکیبی (اوره، کلات روی و اسیدبوریک) در مقایسه با شاهد و سایر تیمارها حاصل شد. مقدار نیتروژن در تیمارهای اسیدهیومیک، جلبک-ها و اسیدهای آمینه مشابه شاهد بود و کمترین درصد نیتروژن برگ در تیمار کود تجاری همارنگ در مقایسه با شاهد و سایر تیمارها مشاهده شد.

براساس نتایج حاصل از این پژوهش (جدول ۲)، بیشترین مقدار پتاسیم (۱/۰۳ و ۰/۹۰ درصد) به‌ترتیب در تیمارهای کود ترکیبی و شاهد و کمترین مقدار (۰/۶۴ درصد) مربوط به تیمار اسیدآمینه ۰/۲ درصد بود.

براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۲)، محلول‌پاشی جلبک و اسیدآمینه باعث افزایش معنی‌دار محتوای فسفر نسبت به شاهد، کود ترکیبی، اسیدهیومیک و کود تجاری همارنگ شد. بیشترین محتوای فسفر (۱ و ۰/۸۲ درصد) به‌ترتیب در برگ درختان تیمارشده با جلبک ۰/۱۵ درصد و اسیدآمینه ۰/۱ درصد حاصل شد و کمترین مقدار فسفر (۰/۴۲ درصد) مربوط به تیمار اسیدهیومیک بود. کاربرد برگ‌های جلبک ۰/۱۵ درصد، اسیدهیومیک و کود همارنگ، محتوای آهن برگ را افزایش دادند، ولی تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشتند و در درختان محلول‌پاشی‌شده با اسیدآمینه کمترین مقدار آهن (۱۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) مشاهده شد.

بیشترین مقدار عنصر روی (۱۵۰ و ۱۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) به‌ترتیب در تیمارهای کود ترکیبی و کود همارنگ در مقایسه با شاهد و سایر تیمارها به دست آمد و بین تیمارهای اسیدهیومیک، جلبک و اسیدآمینه و شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۲). غلظت عنصر بور برگ در شاهد با تیمارهای محلول‌پاشی تفاوت معنی‌داری نشان نداد، اگرچه بیشترین مقدار بور در تیمار کود ترکیبی مشاهده شد.

معنی‌داری محتوای نیتروژن را به تراکم کمتر عنصر نیتروژن در سطح برگ بیشتر نسبت داد. چه بسا که کودهای زیستی تأثیر چشمگیری در افزایش طول شاخه‌های سال جاری، سطح برگ و شاخص کلروفیل داشتند. بررسی نتایج همبستگی بین محتوای نیتروژن برگ و صفات رویشی نشان داد که محتوای نیتروژن برگ با شاخص کلروفیل ($r=0/64$) و کارایی عملکرد ($r=0/58$) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت که احتمالاً حاکی از نقش مهم این عنصر در ساختار کلروفیل و در همین راستا بهبود فتوسنتز گیاه است که در نهایت باعث کاهش ریزش میوه و متعاقب آن افزایش کارایی عملکرد شده است (جدول ۳).

بسیاری از محققان (Rathore et al., 2009) مشاهده کردند که محرک‌های زیستی مبتنی بر عصاره جلبک دریایی، جذب فسفر توسط گیاهان را بهبود می‌بخشند که با یافته‌های این پژوهش همسو بود. تاران و کوز (Turan & Kose, 2004) گزارش کردند که محلول پاشی تاک‌های جوان با عصاره جلبک دریایی باعث افزایش جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز و مس توسط گیاه گردید که در این پژوهش، جلبک دریایی مقدار فسفر و

آهن را افزایش داد. فارایا و همکاران (Furuya & Umemiya, 2002) مشاهده کردند که استفاده از محرک‌های زیستی مبتنی بر اسیدآمین‌ها باعث افزایش جذب مواد مغذی توسط درخت هلو (*Prunus persica*) شد. براساس بررسی ضرایب همبستگی بین محتوای عنصر فسفر و صفات رویشی مشاهده شد که رابطه مثبت و معنی‌داری بین محتوای فسفر و طول شاخه ($r=0/50$) و کارایی عملکرد ($r=0/50$) و رابطه منفی معنی‌داری بین محتوای عنصر فسفر و ریزش میوه ($r=-0/55$) وجود داشت (جدول ۳).

در تیمار کود ترکیبی، فسفر نسبت به شاهد کاهش یافت. سدری و همکاران (Sedri et al., 2021) با محلول‌پاشی نیتروژن، روی و بور روی بوته‌های انگور گزارش کردند که کاربرد روی سبب کاهش غلظت فسفر در برگ‌های انگور شد. رسولی و ملکوتی (Rasouli & Malkouti, 2000) نتایج مشابه را با محلول‌پاشی روی در سیب گزارش نمودند. براساس نتایج جدول همبستگی نیز رابطه منفی معنی‌دار بین محتوای فسفر و روی برگ ($r=-0/51$) مشاهده شد که با گزارش‌های مطرح‌شده هم‌خوانی دارد.

جدول ۲- تأثیر محلول‌پاشی کود شیمیایی و کودهای زیستی بر محتوای عناصر درشت و ریزمغذی برگ در سیب رقم 'رُددلیش'

Table 2- The effect of foliar application of chemical fertilizer and bio-fertilizers on the leaf macro and micro nutrient contents of Red Delicious apple

تیمارها Treatments	عناصر پر مصرف Macronutrient (%)			عناصر کم مصرف Micronutrient (mg.kg ⁻¹ DW)		
	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	آهن Fe	روی Zn	بور B
شاهد Control	1.48 b	0.55 e	0.90 a	235 ab	100.5 c	70 ab
کود ترکیبی Combinate fert	1.66 a	0.44 f	1.03 a	235.60 ab	150 a	82.50 a
کود همارنگ ۰/۰۵٪ Homa fert 0.05%	1.34 c	0.56 de	0.81 b	245.50 a	131 ab	66 b
اسید هیومیک ۰/۰۳٪ HA 0.03%	1.40 bc	0.42 f	0.79 b	254.50 a	107 c	63 bc
عصاره جلبک ۰/۰۷۵٪ Alg 0.075%	1.42 bc	0.65 c	0.73 bc	224.75 abc	94.50 c	58 c
عصاره جلبک ۰/۱۵٪ Alg 0.15%	1.49 b	1.00 a	0.70 bc	256.33 a	99 c	61 bc
اسیدآمین‌ه جی‌اف ۰/۱٪ GF Amino 0.1%	1.46 b	0.81 b	0.66 bc	191 bc	95.5 c	67.50 b
اسیدآمین‌ه جی‌اف ۰/۲٪ GF Amino 0.2%	1.48 b	0.62 cd	0.64 c	180 c	114.50 bc	59.87 c

Combinate fert: نیتروژن، روی و بور، Homa fert: کود تجاری همارنگ، HA: اسید هیومیک، Alg: جلبک دریایی و GF Amino: اسیدآمین‌ه

Combinate fert: nitrogen, zinc and boron, Homa fert: homarang commercial fertilizer, HA: humic acid, Alg: seaweed and GF Amino: amino acid

جدول ۳- ضرایب همبستگی پیرسون بین محتوای عناصر غذایی برگ، صفات رویشی و عملکردی سیب رقم 'رد دلشز'

Table 3- Pearson's correlation coefficients between leaf nutrient contents, growth and yield properties of Red Delicious apple

	N	P	K	B	Fe	Zn	LE	DW	SL	Chl	FD	YE
N	1											
P	-0.38	1										
K	0.64**	-0.45	1									
B	0.51	-0.31	0.45	1								
Fe	-0.12	-0.29	-0.48	-0.10	1							
Zn	0.47	-0.51*	-0.48	0.36	-0.08	1						
LE	-0.35	0.43	-0.56*	-0.39	-0.11	-0.40	1					
DW	-0.36	0.36	-0.41	-0.37	0.05	-0.49	0.48	1				
SL	0.23	0.50*	-0.23	0.01	-0.35	-0.43	0.46	0.30	1			
Chl	0.64**	0.27	0.50	0.45	-0.21	0.48	-0.53*	-0.27	0.28	1		
FD	-0.40	-0.55**	-0.10	0.04	0.11	-0.26	-0.50	0.007	-0.46	-0.50	1	
YE	0.58*	0.50**	0.27	0.12	-0.21	0.28	0.45	-0.05	0.58*	0.53*	-0.90**	1

** : معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد؛ * : معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد در همبستگی پیرسون است.

LE: سطح برگ، DW: درصد ماده خشک، SL: طول شاخه، Chl: شاخص کلروفیل، FD: درصد ریزش میوه، YE: کارایی عملکرد.

** : significant at $p \leq 0.01$ (2-tailed); * : significant at $p \leq 0.05$ (2-tailed).

LE: Leaf area, DW: Dry weight, SL: Shoot length, Chl: Chlorophyll ratio, FD: Fruit drop percentage, YE: Yield efficiency.

و شاخص کلروفیل شدند. بنابراین این ترکیبات درصد ریزش میوه را به‌طور قابل توجهی کاهش دادند و باعث افزایش معنی‌دار کارایی عملکرد در مقایسه با شاهد شدند. کود تجاری همارنگ تأثیری بر رشد و بهبود عملکرد میوه نداشت. براساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش مشاهده می‌شود که ترکیب کود شیمیایی توانسته خصوصیات رشدی و عملکردی و محتوای عناصر غذایی داخل برگ را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دهد، اما با توجه به اینکه در کشاورزی امروز، هدف استفاده از ترکیبات دوستدار طبیعت و بالا بردن ارزش تغذیه‌ای محصولات و حفظ خاک و ریزجانداران و به عبارتی توسعه کشاورزی پایدار است؛ با توجه به نتایج می‌توان کودهای زیستی جلبک دریایی به‌خصوص سطح ۰/۱۵ درصد و اسیدآمین به‌خصوص سطح ۰/۱ درصد را به‌عنوان جایگزین مناسب کود شیمیایی در راستای افزایش بهبود خصوصیات رشدی و عملکردی درختان سیب رقم 'رد دلشز' پیشنهاد داد.

سپاسگزاری

نویسندگان بدینوسیله از آقای دکتر محمد بابا اکبری ساری عضو هیأت علمی گروه علوم خاک‌شناسی دانشگاه زنجان جهت همکاری در آنالیز خاک و عناصر غذایی گیاه تقدیر و تشکر می‌نمایند.

کودهای زیستی تأثیر معنی‌داری بر محتوای عناصر ریزمغذی روی و بور نداشتند، اما محتوای آهن برگ به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. بیشترین محتوای آهن در نتیجه کاربرد جلبک دریایی ۰/۱۵، اسیدهیومیک و کود همارنگ حاصل شد که با نتایج سوپلسا و همکاران (Soppelsa, et al., 2019) مطابقت دارد؛ آن‌ها از چندین محرک زیستی شامل (اسیدهیومیک، عصاره جلبک دریایی و اسیدآمین) استفاده کردند و دریافتند که این تیمارها، غلظت برخی از ریزمغذی‌ها (آهن و روی) را افزایش می‌دهند. چه بسا که کاربرد کودهای مربوطه با افزایش شدت فتوسنتز باعث انتقال کربوهیدرات بیشتری به ریشه‌ها شده باشند و لذا رشد و جذب عناصر غذایی توسط ریشه زیاد شود و در نتیجه غلظت عناصر در گیاه افزایش می‌یابد. براساس بررسی ضرایب همبستگی، رابطه معنی‌داری بین عناصر ریزمغذی (بور، روی و آهن) و شاخص‌های رویشی سیب رقم رددلشز در مطالعه حاضر مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از آزمایش می‌توان بیان نمود که محلول-پاشی کودهای زیستی و شیمیایی تأثیر معنی‌داری بر رشد و عملکرد درخت سیب نداشتند. کاربرد کودهای زیستی به‌خصوص جلبک دریایی و اسیدآمین باعث افزایش معنی‌دار رشد شاخه سال جاری، سطح برگ

References

1. Ali, M.R., Mehraj, H., & Jamal Uddin, A.F.M. (2015). Effects of foliar application of zinc and boron on growth and yield of summer tomato. *Journal of Bioscience Agriculture Research*, 6(1), 512-517.
2. Ameri, A., & Tehranifar, A. (2012). Effect of humic acid on nutrient uptake and physiological characteristic *Fragaria ananassa* var Camarosa. *Biology Environmental Science*, 6(16), 77-79. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1049.54>
3. Amlani, M., & Yetgin, S. (2022). Seaweeds: Bioactive components and properties, potential risk factors, uses, extraction and purification methods. *Marine Science and Technology Bulletin*, 11, 9-31. <https://doi.org/10.33714/masteb.1021121>
4. Arablo, M., Imani, A., Rasouli, M., & Shahmoradi, M. (2014). Foliar application of calcium chelated and amino acids on nutritional status, chlorophyll and leaf area surface of Golden Delicious and Granny Smith apple cultivars. *Modern Science of Sustainable Agriculture Journal*, 10(2), 43-52. (In persian with English abstract)
5. Battacharyya, D., Babgohari, M.Z., Rathor, P., & Prithivraj, B. (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.012>
6. Canellas, L.P., Olivares, F.L., Aguiar, N.O., Jones, D.L., Nebbioso, A., & Mazzei, P. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 15-27. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013>
7. Colla, G., Hoagland, L., Ruzzi, M., Cardarelli, M., Bonini, P., & Canaguier, R. (2017). Biostimulant action of protein hydrolysates: Unraveling their effects on plant physiology and microbiome. *Frontiers in Plant Science*, 8, 2202. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02202>
8. Cristiano, G., Pallozzi, E., Conversa, G., Tufarelli, V., & De Lucia, B. (2018). Effects of an animal-derived biostimulant on the growth and physiological parameters of potted snapdragon (*Antirrhinum majus* L.). *Frontiers in Plant Science*, 9, 861. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00861>
9. De Pascale, S., Roupahel, Y., & Colla, G. (2017). Plant biostimulants: innovative tool for enhancing plant nutrition in organic farming. *European Journal of Horticultural Science*, 82(6), 277-285. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2017/82.6.2>
10. Desouky, I.M., Haggag, L.F., & Hadi, E.S. (2009). Effect of boron and calcium nutrients sprays on fruit set, oil content and oil quality of some olive oil cultivars. *Agriculture Sciences*, 5, 180-185.
11. Dobromilska, R., Mikiciuk, M., & Gubarewicz, K. (2008). Evaluation of cherry tomato yielding and fruit mineral composition after using of Bio-algeen S-90 preparation. *Journal Elementol*, 13(4), 491-499.
12. Emami, A. (1996). Plant analysis methods. *Soil and Water Research Institute*, 2(982), 128.
13. Fernandez-Escobar, R., Garcia-Novelo, J., & Restrepo-Diaz, H. (2011). Mobilization of nitrogen in the olive bearing shoots after foliar application of urea. *Scientia Horticulturae*, 127(3), 452-454. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.10.006>
14. Ferrara, G., Pacifico, A., Simeone, P., & Ferrara, E. (2008). Preliminary study on the effects of foliar applications of humic acids on Italia table grape. *Proceedings of XXX O.I.V World Congress of Vine and Wine Budapest, 10-16 June. Bari University, Budapest, Hungary*. 79-87.
15. Furuya, S., & Umamiya, Y. (2002). The influence of chemical forms on foliar-applied nitrogen absorption for peach trees. *Acta Horticulturae*, 594, 97-103. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.594.8>
16. Garcia, A.L., Madrid, R., Gimeno, V., Rodriguez-Ortega, W.M., Nicolas, N., & Garcia-Sanchez, F. (2011). The effects of amino acids fertilization incorporated to the nutrient solution on mineral composition and growth in tomato seedlings. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(3), 852-861. <https://doi.org/10.5424/sjar/20110903-399-10>
17. Jackson, M.L. (1958). *Soil Chemical Analysis*, Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey. United States of America, p. 498.
18. Javanmardi, J., & Sattar, H. (2016). Evaluation of quantitative and qualitative characteristics of five greenhouse tomato cultivars in response to fertilizers containing seaweed extract and amino acids. *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology*, 7(1), 121-130.
19. Jumadi, O., Annisi, A.D., Djawad, Y.A., Bourgougnon, N., Amaliah, N.A., Asmawati, A., Manguntungi, A.B., & Inubushi, K. (2023). Brown algae (*Sargassum* sp) extract prepared by indigenous microbe fermentation enhanced tomato germination parameters. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 47, 102601. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102601>
20. Khan, A., Munir, M., Shaheen, T., Tassawar, T., Rafiq, M., & Malik, A. (2022). Supplemental foliar applied mixture of amino acid and seaweed extract improved vegetative growth, yield and quality of citrus fruit. *Scientia Horticulturae*, 296, 110903.
21. Lanauskas, J., Uselis, N., Valiuskaite, A., & Viskelis, P., (2006). Effect of foliar and soil applied fertilizers on strawberry healthiness, yield and berry quality. *Agronomy Research*, 4, 247-250.

22. Ma, D., Sun, D., Wang, C., Ding, H., Qin, H., Hou, J., Huang, X., Xie, Y., & Guo, T. (2017). Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 8, 860. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00860>
23. Magda, M.M.F. (2012). Nitrogen containing compounds and adaptation of plants to salinity stress. *Biologia Plantarum*, 43, 491-500.
24. Meszaros, M., Hnátková, H., Conka, P., & N ámestek, J. (2021). Linking mineral nutrition and fruit quality to growth intensity and crop load in apple. *Agronomy*, 11(3), 506. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030506>
25. Mohammadipour, N., & Souri, M.K. (2019). Beneficial effects of glycine on growth and leaf nutrient concentrations of coriander (*Coriandrum sativum*) plants. *Journal of Plant Nutrition*, 42, 1637-1644. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1628985>
26. Nahed, G., Abdel Aziz, A., Mazher, A.M., & Farahat, M.M. (2010). Response of vegetative growth and chemical constituents of *Thuja orientalis* L. Plant to foliar application of different amino acids at Nubaria . *Journal of American Science*, 6(3), 295-301.
27. Neilsen, G.H., & Denise Neilsen, D. (2015). The effect of deficit irrigation and crop load on leaf and fruit nutrition of fertigated 'Ambrosia'/'M.9' apple. *Hortscience*, 50(9), 1387-1393. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.9.1387>
28. Neri, D., Lodolini, E.M., Luciano, M., Sabbatini, P., & Savini, G. (2002). The persistence of humic acid droplets on leaf surface. *Acta Horticulture*, 594, 303-314. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.594.36>
29. Noroozlo, Y.A., Souri, M.K., & Delshad, M. (2019). Stimulation effects of foliar applied glycine and glutamine amino acids on lettuce growth. *The Open Agriculture Journal*, 4, 164-172. <https://doi.org/10.1515/opag-2019-0016>
30. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., & Dean, L.A. (1954). Estimation of Available Phosphorous in Soil by Extraction with Sodium Bicarbonate. *United States Department of Agriculture*, Cris 939. USA.
31. Pizzeghello, D., Schiavon, M., Francioso, O., Dalla Vecchia, F., Ertani, A., & Nardi, S. (2020). Bioactivity of size-fractionated and unfractionated humic substances from two forest soils and comparative effects on N and S metabolism, nutrition, and root anatomy of *Alium sativum* L. *Frontier in Plant Science*, 11, 01203. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01203>
32. Pozshi, R., Zabihi, H.R., Ramezani Moghadam, M.R., Rajabzadeh, M., & Mokhtari, A. (2011). Yield and yield components of grape (*Vitis vinefera* cv .peykani) as affected by foliar application of zinc, humic acid and acetic acid. *Journal of Horticultural Sciences (Agricultural Sciences and Engineering)*, 25(3), 351-360. (In persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JHORTS4.V1390I0.11380>
33. Rasouli, M.H., & Malkouti, M.J. (2000). Investigating the methods of using zinc sulfate to solve zinc deficiency, the concentration of mineral elements and the quality of apples in Selmas region. *Soil and Water Magazine, Special Issue of Horticulture*, 12(8), 64-75. (In persian)
34. Rathore, S.S., Chaudhary, D.R., Boricha, G.N., Ghosh, A., Bhatt, B.P., Zodape, S.T., & Patolia, J.S. (2009). Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions. *South African Journal of Botany*, 75, 351-355. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2008.10.009>
35. Roupheal, Y., Colla, G., Giordano, M., EL-Nakhel, C., Kyriacou, M.C., & De Pascale, S. (2017). Foliar applications of a legume-derived protein hydrolysate elicit dose-dependent increases of growth, leaf mineral composition, yield and fruit quality in two greenhouse tomato cultivars. *Scientia Horticulturae*, 226, 353-360. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.007>
36. Roupheal, Y., Franken, P., Schneider, C., Schwarz, D., Giovannetti, M., & Agnolucci, M., De Pascale, S., Bonini, P., & Colla, G. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 196, 91-108. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.002>
37. Ruban, P., & Govindasamy, C. (2018). Seaweed fertilizers in modern agriculture. *International Journal of Research Publications*, 14(1), 4-4. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13410.38088>
38. Ruzzi, M., & Aroca, R. (2015). Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 124-134. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.042>
39. Sabir, A., Yazar, K., Sabir, F., Kara, Z., Yazici, M.A., & Goksu, N. (2014). Vine growth, yield, berry quality attributes and leaf nutrient content of grapevines as influenced by seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) and nanosize fertilizer pulverizations. *Scientia Horticulturae*, 175, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.021>
40. Sanchez, E.E., & Righetti, T.L. (2005). Effects of postharvest soil and foliar application of boron fertilizer on the partitioning of boron in apple trees. *HortScience*, 40(7), 2115-2117. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.7.2115>
41. Schiavon, M., Ertani, A., & Nardi, S. (2008). Effects of an alfalfa protein hydrolysate on the gene expression and activity of enzymes of the tricarboxylic acid (TCA) cycle and nitrogen metabolism in *Zea mays* L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(24), 11800-11808. <https://doi.org/10.1021/jf802362g>

42. Sedri, M.H., Karami, F., & Avestan, S. (2021). Effect of nitrogen, zinc, boron, and magnesium and time of foliar application on quality and quantity of rainfed grapevine. *Iranian Journal of Soil Research*, 35(2), 135-154. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijsr.2021.354395.604>
43. Shah, M.T., Zodape, S.T., Chaudhary, D.R., Eswaran, K., & Chikara, J. (2013). Seaweed sap as an alternative liquid fertilizer for yield and quality improvement of wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 36, 192-200. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.737886>
44. Shahbazi, F., Seyyed Nejad, F., Salimi, M., & Gilani, A. (2015). Effect of seaweed extracts on the growth and biochemical constituents of wheat. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 8(3), 283-287.
45. Soppelsa, S., Kelderer, M., Casera, C., Bassi, M., Robatscher, P., Matteazzi, A., & Andreotti, C. (2019). Foliar applications of biostimulants promote growth, yield and fruit quality of strawberry plants grown under nutrient limitation. *Agronomy*, 9, 483. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090483>
46. Soppelsa, S., Kelderer, M., Casera, C., Bassi, M., Robatscher, P., & Andreotti, C. (2018). Use of biostimulants for organic apple production: Effects on tree growth, yield, and fruit quality at harvest and during storage. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1342. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01342>
47. Souri, M.K., Naiji, M., & Aslani, M. (2018). Effect of Fe-glycine aminochelate on pod quality and iron concentrations of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under lime soil conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49, 215-224. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1421655>
48. Spinelli, F., Fiori, G., Noferini, M., Sprocatti, M., & Costa, G. (2010). Anovel type of seaweed extract as a natural alternative to the use of iron chelates in strawberry production. *Scientia Horticulturae*, 125, 263-269. <https://doi.org/1016/j.scienta.2010.03.011>
49. Staki, M., Karimi Alawijeh, M., & Esfandiari, H. (2015). Apple Tree Cultivationguide. *Tehran Publication of Agricultural Education Research and Natural Resources Tak, Tehran, Iran*. 260 p.
50. Sunarpi, B., Jupri, J., Kurnianingsih, R., Indah Julisaniah, N., & Nikmatullah, N. (2010). Effect of seaweed extracts on growth and yield of rice plants. *Bioscience*, 2, 73-77. <https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n020204>
51. Svecnjak, Z., & Rengel, Z. (2006). Nitrogen utilization efficiency in canola cultivars at grain harvest. *Plant and Soil*, 283, 299-307. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-0020-5>
52. Tegeder, M., & Masclaux-Daubresse, C. (2018). Source and sink mechanisms of nitrogen transport and use-review. *New Phytologist Foundation*, 217, 35-53. <https://doi.org/10.1111/nph.14876>
53. Turan, M., & Kose, C. (2004). Seaweed extracts improve copper uptake of grapevine, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 54, 213-220. <https://doi.org/10.1080/09064710410030311>

Study Flowering and Effect of Various Hand Pollination Methods on Fertility of some Native *Salvia* Species of Iran

Gh. Esmaili¹, M. Azizi^{2*}, H. Aroiee², J. Vaezi³

- 1- Royesh Yakhte Neko Co (Royanak), Mahhalat City, Markazi Province, Iran
 - 2- Department of Horticulture Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
 - 3- Department of Biology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
- (*- Corresponding author's Email: azizi@um.ac.ir)

Received: 14 May 2019
Revised: 15 February 2023
Accepted: 10 March 2021
Available Online: 10 March 2021

How to cite this article:
Esmaili, Gh., Azizi, M., Aroiee, H., & Vaezi, J. (2026). Study flowering and effect of various hand pollination methods on fertility of some native *Salvia* species of Iran. *Journal of Horticultural Science*, 39(4), 583-595. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2021.61510.0>

Introduction

The genus *Salvia* L. (Lamiaceae) is one of the most interesting plant genera with a variety of annual, biennial, perennial and shrub forms. According to recent reports, there are 61 species of *Salvia* genus in Iran, among which 18 species are endemic. The use of *Salvia* species dates back to ancient times, and they are now being used for different purposes such as antimicrobial, anthelmintic, anti-inflammatory, tonic, carminative, digestive, Alzheimer's disease, antispasmodic as well as for traditional medicines and food industries. Compared to crop plants, the breeding programs of medicinal plants are still in nascent stages due to high biological and biochemical variations. Since breeding programs, especially in medicinal plants, are expensive, suitable mating can help reduce the costs of breeding programs. Understanding the flowering biology, reproductive systems and pollination mechanism is essential to management and protection of ecosystems and mating programs. Despite the high diversity of *Salvia* genus in Iran, there is a paucity of studies on reproductive biology.

Materials and Methods

seeds of seven *Salvia* species including *S. virgata* (with four accessions), *S. frigida*, *S. nemorosa*, *S. atropatana*, *S. macrosiphon*, *S. sclarea*, and *S. syriaca* were collected from different geographical regions. The seeds were treated by various methods such as washing, cold treatment (stratification), scarification (sand and sulfuric acid), Gibberellic acid (GA_3) and KNO_3 to enhance germination. The seedlings were produced at the greenhouse and after growing as high as 15 cm or reaching the 10-leaf stage, the seedlings were transferred to the farm. Plants phenology and flowering duration were recorded in the second year. Furthermore, some flower characteristics and pollinator were monitored. The Various pollination treatments were designed to investigate the breeding system of *Salvia* species including open pollination, spontaneous autogamy, geitonogamy, xenogamy, apomixis, and control. The self-incompatibility index (ISI) was calculated for each species in different pollination treatment.

Results and Discussion

The germination study exhibited that washing seeds for 24 h and applying 250 ppm GA_3 exerted the highest effect on seed germination. The seedlings in early growth stages required medium to high porosity (high permeability to water and air) like natural habitat, but they were sensitive to dry and high EC at these stages. The phenology studies were shown *Salvia virgata* (all accessions) and *S. nemorosa* flowered three months after



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

<https://doi.org/10.22067/jhs.2021.61510.0>

cultivation and other species flowered in the second year. The results showed that all species had long flowering periods ranging from 15 (*S. atropatana*) to 41 days (*S. virgata*). Increased flowering period led to the enhancement of flower over-lapping and the sharing of the pollen among different plants or species. Two species including *S. atropatana* and *S. syriaca* had heterostyly flowers (long-styled morph). The staminal-lever-mechanism was observed in all species. The results of manual pollination indicated that open pollination provided the best treatment with the highest average of seed set (73.63%) in all species. *Salvia virgata* (A_1) with a seed set of 90.3% was the best species, and *S. syriaca* with a seed set of 51.5% demonstrated the poorest performance in open pollination system. The seed set in the xenogamy treatment of different species and accessions was in the range of 10.2 (*S. syriaca*) to 32.5% (*S. frigida*). It was observed that seed set among different species in geitonogamy and spontaneous autogamy varied widely from 2.60 - 17.30% and 2.98 - 12.18%, respectively. In treatments with a wide variety of pollen sources, the fruit set was higher, indicating that the pollen limitation triggered low seed set.

Conclusion

Salvia species in the present study have a high potential for cultivation as medicinal and ornamental due to suitable adaptability and long flowering period. *Salvia* species were relatively self-incompatible that intention to the out-crossing and breeders can use in breeding programs as a valuable characteristic. The self-incompatible and specific structure in flower and pollination are the reasons for the diversity of this taxa.

Keywords: Flower biology, Heterostyly, Open pollination, Self-incompatibility

مطالعه گل‌دهی و تأثیر روش‌های مختلف گرده‌افشانی دستی در باروری برخی از گونه‌های

سالویا (*Salvia ssp.*) بومی ایرانقاسم اسماعیلی^۱ - مجید عزیزی^{۲*} - حسین آروئی^۳ - جمیل واعظی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۰

مقدمه

از پیش‌نیازهای هر برنامه اصلاحی، آشنایی با جزئیات گرده‌افشانی و باروری در گیاه می‌باشد. در پژوهش پیش رو، مراحل فنولوژیکی و برخی از خصوصیات گل و همچنین فرآیند باروری گل تحت تأثیر تیمارهای مختلف گرده‌افشانی دستی در شرایط کشت‌شده برخی از گونه‌های سالویا مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که تمام گونه‌ها دارای دوره گل‌دهی طولانی بین ۱۵ روز برای گونه *S. atropatana* و تا ۴۱ روز برای گونه *S. virgata* می‌باشند. گرده‌افشانی گل‌ها اغلب توسط زنبورها و مگس‌ها صورت می‌گیرد که نشان‌دهنده دگرگشی گونه‌ها می‌باشد. کمترین نرخ سازگاری در گونه‌های *S. atropatana* (۱۶/۶ درصد) و *S. syriaca* (۲۵ درصد) مشاهده شد. گونه *S. virgata* بیشترین میزان سازگاری (۹۱ درصد) را در شرایط آب‌وهوایی مشهد نشان داد. دو گونه *S. atropatana* و *S. syriaca* با فاصله ۷/۱ و ۵/۲ میلی‌متری بین نوک پرچم تا سطح کلاله دارای گل‌های هترواستیل بودند. نتایج گرده‌افشانی دستی نشان داد که بیشترین درصد تشکیل بذر در تمام گونه‌ها با میانگین ۷۳/۶۳ درصد از طریق گرده‌افشانی آزاد حاصل گردید. تشکیل بذر در تیمار اتوگامی خودبه‌خودی به‌شدت پایین و بین ۳ تا ۱۲/۲ درصد بود. تشکیل بذر در تیمار ژینوگامی در محدوده بین ۱۰/۲ درصد برای گونه *S. syriaca* و ۳۲/۵ درصد برای گونه *S. frigida* بود. گونه‌های مورد مطالعه دارای ناسازگاری نسبی یا شدید بودند که از عوامل دگرگشی در این گونه‌ها می‌باشد. نتایج نشان داد که تیمارهای با امکان دسترسی به منابع دانه‌گرده متنوع، موفقیت بیشتری در تشکیل بذر داشتند.

واژه‌های کلیدی: زیست‌شناسی گل، خودناسازگاری، گرده‌افشانی آزاد، هترواستیلی

مقدمه

جنس سالویا با بیش از ۱۰۰۰ گونه در سرتاسر جهان، بزرگ‌ترین جنس خانواده لابیاسه می‌باشد (Claßen-Bockhoff et al., 2003). در این جنس، گونه‌ها به شکل‌های رویشی یک‌ساله، دوساله، چندساله و درختچه‌ای وجود دارند. طبق آخرین گزارش‌ها، ۶۱ گونه از این جنس در ایران رویش دارد که ۱۸ گونه آن بومی می‌باشند (Jamzad, 2013). استفاده از گونه‌های سالویا به‌خصوص در درمان به‌زمان‌های بسیار دور برمی‌گردد و امروزه نیز با اهداف مختلفی مانند ضدباکتری و التهاب، درمان سرماخوردگی، مشکلات گوارشی، درمان بیماری

آلزایمر و به‌عنوان آنتی‌اکسیدان در مصارف دارویی و غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Bahadori et al., 2017). در دهه‌های اخیر، اصلاح گیاهان دارویی رشد چشمگیری داشته است. اصلاح گیاهان دارویی به‌دلیل تنوع زیست‌شناسی و بیوشیمیایی در مقایسه با محصولات رایج، هنوز در مراحل اولیه می‌باشد (Jorge et al., 2015). از آنجایی که برنامه‌های اصلاحی، به‌خصوص در گیاهان دارویی همراه با هزینه‌های بالا می‌باشند، بنابراین آشنایی با زیست‌شناسی گل‌دهی و انتخاب سیستم تلاقی مناسب باعث کاهش این هزینه‌ها می‌گردد (Nautiyal et al., Evans et al., 2003; Nebot et al., 2016; 2009). علاوه بر آن، درک عمیق نقش گرده‌افشانی و سیستم‌های گل‌دهی گیاهان در امنیت غذایی انسان‌ها و حیوانات، فرآیند تکامل گونه‌ها و حفاظت از گونه‌های در خطر انقراض می‌تواند باعث بازنگری در اهمیت آن شود (Campos et al., 2013; Gan et al., 2013).

۱- شرکت رویش یاخته نکو (رویانک)، شهر محلات، استان مرکزی، ایران
۲- گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*) نویسنده مسئول: Email: azizi@um.ac.ir

اگرچه برخی از گونه‌های زیرجنس *Audibertia* فاقد این سازوکار هستند (Ott et al., 2016). نقش سایر گرده‌افشان‌ها مثل پرندگان نیز در برخی از گونه‌های این جنس گزارش شده است (Sanchez et al., 2002). این تنوع در گرده‌افشان‌ها، یکی از عوامل تنوع درون و بین گونه‌ای در این جنس می‌باشد. سازوکارهای مختلفی از جمله کلیستوگامی، ژینوگامی، ژینوگامی و آپومیکیسی در تشکیل بذر گونه‌های سالویا گزارش شده است (Barrett et al., 2000; Jamzad, 2013)، اگرچه برخی معتقدند که بیشتر گونه‌های سالویا خودسازگار می‌باشند (ZhenQiao et al., 2009). دیگوگامی^۱، هرکوگامی^۲، ژینوداشیسی^۳ و خودناسازگاری از جمله عواملی هستند که دگرگشتی را در این جنس تسریع می‌کنند (Navarro, 1997; Takano, 2013).

تاکنون در مطالعات متعدد، جنبه‌های مختلف زیست‌شناسی گل‌دهی جنس سالویا شرح داده شده است که شامل بوم‌شناسی گرده‌افشانی در گونه‌های *Salvia verbenaca* L. (Navarro, 1997)، *Salvia brandegeei* Munz (Barrett et al., 2000)، *Salvia splendens* (Miyajima, 2001)، *Salvia nipponica* (Miyake & Sakai, 2005) و *Salvia haenkei* (Wester & Claßen-Bockhoff, 2006)، سازوکارهای انتقال دانه گرده (Wester & Claßen-Bockhoff, 2007)، تولید بذر در گونه *Salvia splendens* (Sanchez et al., 2002) و سیستم اصلاحی در گونه *S. smyrnaea* (Subaşı & G`üvensen, 2011) شرح داده شده است. علی‌رغم تنوع بالای این جنس در ایران، خلأ مطالعاتی فراوانی در زمینه زیست‌شناسی تولید مثلی این جنس و بسیاری از جنس‌های گیاهان دارویی وجود دارد.

در این پژوهش، بذر هفت گونه سالویا شامل *S. syriaca*، *S. S. macrosiphon*، *S. nemorosa*، *S. virgata*، *S. frigida* و *S. atropatana* از رویشگاه‌های طبیعی جمع‌آوری شدند. تمام گونه‌های مورد اشاره، تنوع زیادی از نظر خصوصیات ریخت‌شناختی، بیوشیمیایی و گرده‌افشانی دارند. بسیاری از این گونه‌ها به دلیل مشکلاتی مثل خشکسالی و چرای دام، نیاز به حفاظت و اهلی‌سازی دارند. در این پژوهش، زیست‌شناسی گل‌دهی و سیستم تولیدمثلی گونه‌های فوق در شرایط مزرعه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت.

در گیاهان گلدار، سیستم‌های باروری متنوع گرده‌افشانی از دگرگشتی اختیاری تا دگرگشتی اجباری وجود دارد (Qu & Widrechner, 2011). این تنوع تحت تأثیر برخی عوامل از جمله ساختار گل، شرایط محیطی، حضور یا عدم حضور گرده‌افشان‌ها و غیره می‌باشد (Castro et al., 2008a). بنابراین لازم است که مطالعات جامعی در مورد اثرات عوامل بوم‌شناختی بر زیست‌شناسی گل‌دهی، گرده‌افشان‌ها و برهم‌کنش گیاه، شرایط محیطی و گرده‌افشان‌ها صورت گیرد (Harder & Johnson, 2009). بنابراین علاوه بر ساختار گل از نظر زمان (همزمانی دانه گرده و مادگی) و مکان (ریخت‌شناسی گل و ساختار گل‌آذین)، حضور گرده‌افشان‌ها تأثیر مهمی در انتخاب سیستم تلاقی دارد (Castro et al., 2008b; Dudash & Fenster, 2001)، چراکه هرگونه کاهش در جمعیت گرده‌افشان‌ها به‌طور مستقیم باعث کاهش کمیت و کیفیت نتاج و تسریع خودگشتی در گونه‌های خودسازگار می‌گردد (Rodríguez-Pérez, 2005).

با توجه به تنوع در مدل‌های تولیدمثلی در گیاهان گلدار مثل دیگوگامی، تک و دو پایگی، هترواستیلی، خودناسازگاری و نرعقیمی، درک عمیق آن‌ها منجر به گزینش بهترین سیستم اصلاحی می‌گردد (Gaudeul & Till-Bottraud, 2004). هر یک از راهبردهای تولیدمثلی دارای مزایا و معایبی می‌باشند (Wright et al., 2013)، به‌عنوان مثال، خودگشتی منجر به تشکیل بذر در عدم حضور گرده‌افشان‌ها و حتی در شرایط محیطی نامساعد می‌گردد (Cursach Jorge et al., 2015 & Rita, 2012). این گیاهان به‌دلیل هموزیگوس بودن، فاقد ژن‌های کشنده می‌باشند و در مقابل خودگشتی مقاوم می‌باشند. از طرف دیگر، این گیاهان به‌دلیل عدم جریان‌ژنی، مقاومت پایین‌تری نسبت به شرایط محیطی متنوع دارند (Kalisz & Vogler, 2003; Pannell & Charlesworth, 2006; Barrett, 1998).

بسیاری از گونه‌های سالویا دارای گل‌های جذاب، نکتار فراوان و دوره گل‌دهی طولانی هستند (Silva et al., 2005). بنابراین زنبورها و مگس‌ها از عمده گرده‌افشان‌های این جنس می‌باشند (Celep et al., 2014). گونه‌های سالویا دارای سیستم گرده‌افشانی منحصربه‌فرد با نام Staminal-Lever-Mechanism می‌باشند که در آن به‌دلیل ساختار اهرم‌مانند پرچم‌های گل و خروج نوک کلاله از کاسه گل، در زمان فعالیت حشرات جهت جمع‌آوری شهد، منجر به حرکت روبه‌پایین پرچم‌ها و تماس با سطح پشتی حشرات می‌گردد. این سازوکار به‌نوعی یک سازگاری محیطی برای این جنس محسوب می‌گردد (Will et al., 2015; Claßen-Bockhoff et al., 2004; Will & Claßen-Bockhoff, 2017; Şenol et al., 2017).

1- Dichogamy

2- Hercogamy

3- Gynodioecious

مواد روش‌ها

مواد گیاهی و منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد طی دو سال ۹۵ و ۹۶ اجرا گردید. ارتفاع مزرعه ۱۰۳۹ متر از سطح دریا می‌باشد. بذر هفت گونه سالویا از مناطق رویشگاهی مختلف جمع‌آوری شده و نمونه‌های گیاهی در هرباریوم پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی شناسایی شدند (جدول ۱).

جوانه‌زنی بذور و تولید دانها

بذر تمامی گونه‌ها به روش‌های مختلف مانند شست‌وشو با آب روان، سرمادهی مرطوب، خراش‌دهی و اسیدجیبرلیک تیمار شدند.

جدول ۱- مشخصات محل جمع‌آوری گونه‌های سالویا

Table 1- The collected sites characteristics of *Salvia* species.

گونه Species	محل جمع‌آوری Collected location	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع محل جمع‌آوری Altitude (m)
<i>S. virgata</i> (A ₁)	Khorasan-e- Shomali-Darkesh	37°26'31''	56°45'08''	1239
<i>S. virgata</i> (A ₂)	Fars-Eghelid	30°30'45''	52°43'51''	2559
<i>S. virgata</i> (A ₃)	Isfahan-Fereydan	33°08'45''	50°16'22''	2360
<i>S. virgata</i> (A ₄)	Isfahan-Afous	33°00'14''	50°00'42''	2557
<i>S. frigida</i>	Azərbaycan-Targara	37°12'54''	44°51'33''	1995
<i>S. nemorosa</i>	Isfahan-Buin-e-Meyandasht	33°01'00''	50°20'16''	2330
<i>S. atropatana</i>	Khorasan-e-Shomali-Lojali	37°43'18''	57°54'42''	1723
<i>S. macrosiphon</i>	Khorasan-e-Razavi- Kalatenaderi	36°36'35''	59°54'54''	1821
<i>S. sclarea</i>	Khorasan-e- Shomali-Reein	37°23'11''	57°23'07''	1889
<i>S. syriaca</i>	Isfahan-Buin-e-Meyandasht	33°01'00''	50°20'16''	2699

فنولوژی گونه و ریخت‌شناسی گل

چرخه زندگی گونه‌ها در سال دوم شامل مرحله رزت، دوره گل‌دهی تا تشکیل بذر و خشک شدن بوته‌ها یاداشت شد. از هر گونه، حداقل ۱۰ گل از گیاهان مختلف انتخاب و زمان باز شدن و ریزش گل‌ها به‌صورت روزانه ثبت گردید. تصویر میکروسکوپی با بزرگمایی ۱۰x از گل‌های هر گونه تهیه شد. برخی از خصوصیات گل از قبیل طول پرچم و مادگی و فاصله بین نوک پرچم تا سطح کلالة توسط بینوکولار اندازه‌گیری گردید. همچنین گرده‌افشان‌های گل با بازدید گل‌ها در ساعات مختلف روز شناسایی گردید.

سیستم اصلاحی

برای مطالعه سیستم اصلاحی گونه‌های مختلف سالویا، تیمارهای مختلف گرده‌افشانی براساس روش گان و همکاران (Gan et al., 2013) و دافنی (Dafni, 1992) در طی بهار و تابستان سال ۱۳۹۶ اعمال گردید. بدین منظور، گل‌ها پیش از باز شدن در بوته‌های انتخاب‌شده به‌وسیله پارچه‌های مناسب که مانع ورود گرده‌افشان‌ها به

سپس بذرها به پتری‌دیش و ژرمیناتور با شرایط نوری ۱۶/۸ و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. روند جوانه‌زنی در یک دوره ۲۰ روزه مورد مطالعه قرار گرفت. در ادامه، بهترین تیمار جوانه‌زنی انتخاب و مجدداً بذور تیمار شده و به گلخانه با محیط کشت‌های مختلف مثل خاک، خاکبرگ، ماسه با نسبت‌های مختلف و پیت ماس، کوکوپیت و پرلیت با نسبت‌های مختلف منتقل گردید. دانها‌های با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر یا در مرحله ۱۰ برگی به زمین اصلی منتقل شدند. برای هر گونه، سه کرت با ابعاد ۱/۵ × ۱/۵ و تعداد ۱۲ گیاهچه کشت گردید. آبیاری غرقابی و سایر عملیات از جمله وجین علف‌های هرز در موارد لازم صورت گرفت.

آن شوند، پوشانده شدند. برای گرده‌افشانی دستی پوشش روی گل‌ها برداشته و تیمارهای زیر اعمال گردید: ۱- برای اتوگامی خودبه‌خودی، گل‌ها مجدداً بدون اخته‌کردن پوشانده شدند، ۲- برای بررسی امکان وجود آپومیکی در گونه‌های مورد مطالعه، ابتدا گل‌ها پیش از گرده‌افشانی به‌وسیله پنس و لوپ اخته و مجدداً پوشانده شدند، ۳- برای ژیتنوگامی، گل‌ها ابتدا اخته شده و در ادامه با گرده‌هایی که از گل‌های همان گیاه تهیه شده بودند تلاقی داده و مجدداً پوشانده شدند، ۴- ژیتنوگامی، در این تیمار گل‌ها اخته شده و به‌وسیله گرده حاصل از گیاه دیگر از همان گونه تلاقی و پوشانده شدند، ۵- گرده‌افشانی آزاد، بدون هیچ‌گونه محدودیت اجازه گرده‌افشانی به گل‌ها به‌وسیله گرده‌افشان‌ها داده شد.

قبل از ریزش بذرها، همه آن‌ها جمع‌آوری شدند و برای هر گونه و تیمار، تعداد بذر سالم (دارای آلبومن و جنین) و بذره‌ای پوک حاصل از هر گل ثبت گردید (در جنس سالویا گل‌ها چهار برچه‌ای بوده و هر گل پتانسیل تولید چهار بذر را دارا می‌باشد). علاوه‌بر آن شاخص

گل‌دهی نقش کلیدی در تعداد گرده‌افشان بازدیدکننده از گل و همچنین تشکیل بذر دارد (Castro et al., 2008a).

فنولوژی گونه‌ها و ریخت‌شناسی گل

روند فنولوژیکی گونه‌های مختلف در شکل ۱ ارائه شده است. تمام دانه‌ها در اوایل بهار به زمین اصلی انتقال داده شدند. دو گونه *S. nemorosa* و *S. virgata* سه ماه پس از انتقال به گل‌دهی رفتند، در صورتی که سایر گونه‌ها در سال دوم به گل رفتند. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است، تمام گونه‌ها نیازمند به تولید تعداد مشخصی برگ و طی مدت مشخص قبل از شروع گل‌دهی می‌باشند (۴۸ تا ۹۶ روز). تنوع وسیعی در طول دوره گل‌دهی گونه‌ها مشاهده شد. طولانی‌ترین (۴۱ روز) و کوتاه‌ترین (۱۵ روز) دوره گل‌دهی به ترتیب متعلق به دو گونه *S. virgata* و *S. atropatana* بود. افزایش دوره گل‌دهی منجر به افزایش شانس همزمانی باز شدن گل‌ها و در نهایت انتقال دانه گرده بین گیاهان و گونه‌های مختلف می‌گردد (Silva et al., 2005). فاصله بین نوک مادگی تا نوک پرچم‌ها بین صفر تا 0.33 ± 0.17 میلی‌متر بود (جدول ۲). به جز دو گونه *S. atropatana* و *S. syriaca*، در سایر گونه‌ها فاصله موجود بین نوک مادگی و نوک پرچم‌ها به دلیل بلوغ زودتر پرچم‌ها و آزادسازی دانه گرده قبل از بلوغ و رسیدن به حداکثر اندازه مادگی می‌باشد. به همین دلیل در برخی از مطالعات، گل‌دهی در سالوایاها به مراحل مختلف شامل باز شدن گل، مرحله نرینگی، مرحله دو جنسی و مرحله مادگی تقسیم‌بندی می‌شود (Ott et al., 2016).

تمام گونه‌ها دارای تعداد زیادی گل‌آذین در هر گیاه و هر گل‌آذین دارای تعداد زیادی گل‌آذین جانبی^۳ می‌باشد که در هرکدام بین سه تا هشت گل وجود داشت. گل‌ها دارای مادگی با خامه دوشاخه‌ای می‌باشد و تخمدان دارای چهار پرچه می‌باشد. گل‌ها دارای دو لوپ و دارای رنگ‌های متنوع می‌باشند (جدول ۱، شکل ۲). دو گونه *S. frigida* و *S. atropatana* به ترتیب با سه و چهار ماه کمترین طول دوره زندگی را داشتند و دو گونه *S. virgate* و *S. sclarea* با شش ماه بلندترین دوره رشد و زندگی را در سال دوم داشتند.

در تمام گل‌های بالغ، مادگی به‌طور قابل توجهی از پوشش گل خارج شده بودند و پرچم‌ها محتوی مقدار بسیار زیادی دانه گرده بودند (شکل I-۲). فاصله بین نوک مادگی و نوک پرچم‌ها پس از باز شدن گل‌ها ایجاد می‌شود، بنابراین هترواستیلی واقعی نمی‌باشد.

خودناسازگاری^۱ براساس تقسیم تعداد بذر تشکیل‌شده در تیمار ژیتنوگامی بر تعداد بذر تشکیل‌شده در تیمار ژنوگامی محاسبه گردید، بر این اساس اگر ISI بزرگ‌تر از یک باشد بیانگر خودناسازگاری، اگر بین ۰/۲ و یک باشد بیانگر خودناسازگاری نسبی و اگر کمتر از ۰/۲ باشد بیانگر خودناسازگاری شدید گونه مذکور می‌باشد.

آنالیز آماری

میانگین و انحراف معیار داده‌ها با نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ محاسبه گردید. تشکیل بذر در گونه‌های مختلف در گرده‌افشانی دستی با نرم‌افزار جامپ (JMP.8) آنالیز و مقایسه میانگین‌ها به‌وسیله آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد انجام گرفت ($p=0.05$).

نتایج و بحث

جوانه‌زنی بذر و تولید دانه‌ها

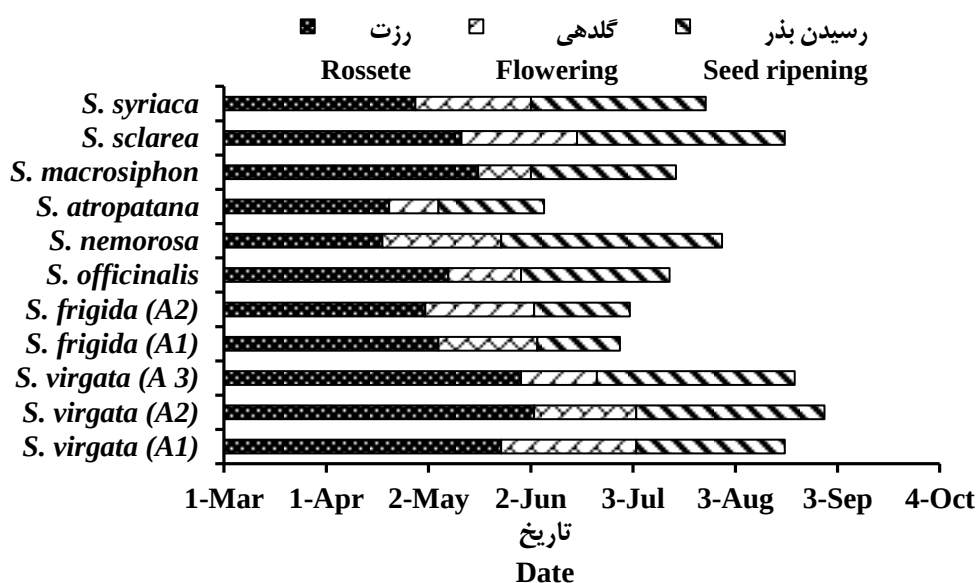
مطالعه جوانه‌زنی گونه‌های مختلف سالویا نشان داد که شست‌وشوی بذر با مدت ۲۴ ساعت و کاربرد اسیدجیبرلیک ۲۵۰ پی‌پی‌ام به مدت ۲۴ ساعت، بیشترین تأثیر را در افزایش جوانه‌زنی تمام گونه‌ها داشت (داده‌ها آورده نشده است). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این گونه‌ها دارای ترکیبات بازدارنده جوانه‌زنی و همچنین خواب^۲ می‌باشند. اغلب گیاهان در طبیعت جهت حفظ بقاء، سیستم‌های خواب مختلف دارند و اغلب این دسته بذور دارای برخی از ترکیبات بازدارنده جوانه‌زنی هستند که با شست‌وشو از بین می‌روند. نقش مثبت اسیدجیبرلیک در این پژوهش احتمالاً به دلیل نیاز سرمایی بذر می‌باشد. شرایط محیطی و تعادل هورمونی بذر نقش کلیدی در جوانه‌زنی بذور دارند (۳۲).

کاربرد محیط کشت‌های مختلف در تولید دانه‌ها نشان داد که این گونه‌ها (به‌خصوص در مراحل اولیه رویش) نیاز به محیط کشت سبک و با نفوذپذیری بالا دارند، همانند محیط رویشگاه‌های طبیعی این گونه‌ها، همچنین به خشکی و EC بالا در این مرحله بسیار حساس می‌باشند. در این پژوهش، میزان سازگاری گونه‌های مختلف پس از انتقال به مزرعه در دوره زمانی ۱۶ ماهه مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین سازگاری متعلق به گونه به‌میزان *S. virgata* (به میزان ۹۱/۶ درصد) و پس از آن گونه *S. nemorosa* (۸۳/۳ درصد) و کمترین سازگاری متعلق به گونه *S. atropatana* (۱۶/۶ درصد) می‌باشد. سازگاری گونه‌های مختلف به‌صورت قدرت رشد، تولید گل و بذور بارور تعریف شد. طول دوره

1- Self-Incompatibility Index

2- Dormancy

3- Verticillaster



شکل ۱- مقایسه مراحل فنولوژیکی مهم گونه‌های سالویا در سال دوم پس از انتقال دانه‌ها

Figure 1- Comparison of important phenology steps of *Salvia* species at second year life after seedling transplantation



شکل ۲- تصویر گل در گونه‌های مختلف سالویا

Figure 2- Flower pictures in various *Salvia* species

S. sclarea :H *S. macrosiphon* :G *S. nemorosa* :F *S. virgata*-A₄ :E *S. virgata*-A₃ :D *S. virgata*-A₂ :C *S. virgata*-A₁ :B *S. frigida* :A
 I: آزاد شدن دانه گرده پس از بلوغ بساک در گونه *S. nemorosa* (100x)
 A: *S. frigida*; B: *S. virgata* (A₁); C: *S. virgata* (A₂); D: *S. virgata* (A₃); E: *S. virgata* (A₄); F: *S. nemorosa*; G: *S. macrosiphon*; H: *S. sclarea*; I: The pollens release after anther maturation (100x, *S. nemorosa*)

اگرچه در دو گونه *S. syriaca* و *S. atropatana* فاصله ۷/۱ و ۵/۲ میلی‌متر بین نوک مادگی و نوک پرچم‌ها هترواستیلی مشاهده شد. در این پژوهش نرعیمی مشاهده نشد (جدول ۲). هرچند نیاز است که مطالعات گسترده‌تری در فصل گل‌دهی برای نتیجه‌گیری در مورد وضعیت جنسیت گل‌ها در این گونه‌ها انجام شود. نتایج مربوط به مشاهده گرده‌افشان‌ها نشان داد که زنبورها و مگس‌ها نقش عمده گرده‌افشانی و تشکیل بذر را در این گونه‌ها برعهده دارند. سایر حشرات مثل تعداد محدودی از گونه‌های پروانه‌ها و سوسک‌ها نیز مشاهده شدند، اما به نظر می‌رسید که سطح بدن این حشرات با پرچم‌ها و مادگی در تماس نبوده و بیشتر در جمع‌آوری دانه گرده یا شکار سایر حشرات نقش دارند.

به‌طور کلی، بیشتر گونه‌های سالویا به داشتن پرچم‌های متحرک و بازوی متحرک در پایه پرچم که باعث تماس بساک‌ها با سطح بدن حشرات می‌شود، شهرت دارند. این سازوکار در مطالعه حاضر نیز مشاهده شد، بدین صورت که با تلاش حشرات جهت نفوذ به داخل گل و جمع‌آوری شهد و با برخورد به بازویی که در قاعده پرچم‌ها وجود دارد باعث خم شدن پرچم‌ها به سمت پایین و تماس بساک با سطح پشتی حشرات می‌گردد (شکل ۳). سنول و همکاران (Şenol et al., 2017) تاکسون‌های مختلفی از حشرات مثل دویالان (Diptera) و Hymenoptera را برای گرده‌افشانی گونه *S. sclarea* معرفی کردند. اوتا و همکاران (Ott et al., 2016) در بررسی ساختار گل گونه *S. apiana* سیستم گرده‌افشانی اختصاصی برای این گونه معرفی کردند. در این گیاه، بیشترین مشاهده مربوط به زنبور عسل بود، اما زنبورهای بزرگ‌تر نقش مؤثرتری در گرده‌افشانی این گونه برعهده داشتند. بر طبق نتایج پژوهش‌های پیشین، گل‌های سالویا حشرات مختلفی را به سمت خود جلب می‌کنند که بیانگر منشأ^۱ هر گونه می‌باشد.

سیستم اصلاح

نتایج مربوط به تیمارهای مختلف گرده‌افشانی در جدول ۳ آورده شده است. نتایج آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ($p < 0.05$) بین تیمارهای مختلف گرده‌افشانی و گونه‌های سالویا وجود دارد. همان‌طور که مشخص است، بیشترین درصد تشکیل بذر برای همه گونه‌ها در گرده‌افشانی آزاد به دست آمد (بین ۵۱/۵ تا ۹۰/۸ درصد). مقایسه سایر تیمارها نشان داد که بیشترین درصد تشکیل بذر به‌ترتیب در تیمار ژینوگامی، ژیتنوگامی و اتوگامی خودبه‌خودی مشاهده شد. تشکیل بذر تیمار

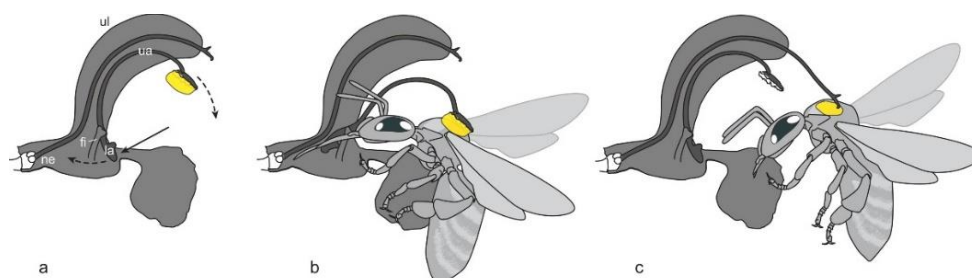
اتوگامی خودبه‌خودی بین ۲/۹۸ تا ۱۲/۲ درصد بود که نشان‌دهنده اهمیت گرده‌افشانی و احتمالاً خودناسازگاری در این گونه‌ها می‌باشد. در تیمار مربوط به بررسی آپومیکسی، هیچ‌گونه تشکیل بذر به‌جز در گونه *S. virgata* به‌میزان ۲/۸۹ درصد مشاهده نشد. البته برای نتیجه‌گیری قطعی درباره آن نیاز به مطالعات بیشتری می‌باشد. مقایسه تشکیل بذر در گونه‌های مختلف نشان داد که در سه ژنوتیپ شامل گونه *S. virgate* (جمعیت یک و دو) و گونه *S. macrosiphone* تشکیل بذر بیش از ۸۰ درصد بود. در این پژوهش، هیچ‌گونه همبستگی بین طول دوره گل‌دهی و تشکیل بذر مشاهده نشد، اما روشن است که با افزایش طول دوره گل‌دهی، شانس بازدید گل توسط گرده‌افشان‌ها و تشکیل بذر افزایش می‌یابد.

اگرچه در تمام گل‌ها، پتانسیل تشکیل چهار بذر در هر گل وجود دارد (چهار برجه)، اما این حالت تنها در تیمار گرده‌افشانی آزاد مشاهده شد و در سایر تیمارها بسیار کمتر از پتانسیل تئوری بود. بنابراین علاوه‌بر عامل گرده‌افشان سایر عوامل مثل ژنتیک گیاه و شرایط محیطی در گرده‌افشانی مؤثر و تشکیل بذر نقش دارند. در نتایج حاضر، تفاوت در بین جمعیت‌های مختلف یک گونه نیز مشاهده شد. بین جمعیت‌های مختلف گونه *S. virgata* بیشترین درصد تشکیل بذر در جمعیت یک و در تیمار گرده‌افشانی آزاد به دست آمد. بنابراین علی‌رغم کشت همه گونه و جمعیت‌ها در یک محل، شرایط جغرافیایی بر روی سیستم تلاقی و تکامل ساختار گل تأثیرگذار می‌باشد.

در پایان آزمایش گرده‌افشانی، شاخص خودناسازگار (ISI) برای همه گونه‌ها محاسبه شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که این شاخص در گونه‌های مختلف متفاوت می‌باشد. بر این اساس، گونه‌های *S. virgata* (جمعیت سوم)، *S. frigida* و *S. nemorosa* خودناسازگاری شدید دارند ($ISI < 0.2$). بیشتر گونه‌ها نسبتاً خودناسازگاری می‌باشند. نکته قابل توجه، تفاوت این شاخص در جمعیت‌های مختلف یک گونه (گونه *S. frigida* و *S. virgata*) می‌باشد که نشان‌دهنده نقش کلیدی منابع گرده در باروری گل‌ها می‌باشد. به‌طور کلی، بیشترین درصد تشکیل بذر در شرایط گرده‌افشانی آزاد تولید شد.

مقایسه تیمار ژیتنوگامی و ژینوگامی نشان داد در شرایطی که دانه گرده از منابع دیگر (گیاه دیگر از همان گونه) تأمین گردد به‌خصوص در گونه‌های خودناسازگار، شاخص تشکیل بذر افزایش می‌یابد. بنابراین منشأ دانه گرده به‌طور معنی‌داری تشکیل بذر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در پژوهش‌های پیشین، سطوح مختلفی از خودناسازگاری در گونه‌های سالویا گزارش شده است. در این مطالعه نیز تنوع در شاخص ISI مشاهده شد (جدول ۳). شاخص تشکیل بذر در تیمار

اتوگامی خودبه‌خودی بسیار پایین می‌باشد که احتمالاً به‌دلیل هترواستیلی از نوع دیکوگامی (بلوغ پرچم‌ها زودتر از مادگی اتفاق می‌افتد) در برخی از گونه‌ها می‌باشد و منجر به افزایش شانس دگرگشتی می‌گردد.



شکل ۳- سازوکار اختصاصی گرده‌افشانی دانه‌گرده در برخی از گونه‌های سالویا (Staminal-Lever-Mechanism)

Figure 3- Exclusive mechanism of pollination in some *Salvia* species. Longitudinal sections of flower

a: برش طولی گل شامل: نکتار (ne)، میله پرچم (fi)، بازوی پایینی پرچم (la)، بازوی بالای پرچم (ua) و لب بالای گل (ul); b: گرده‌افشان جهت جمع‌آوری نکتار، بازوی پایینی را به سمت پایین فشار می‌دهد که منجر به حرکت روبه‌پایین و تماس با سطح پشتی حشره می‌گردد و دانه‌های گرده در سطح بدن حشره قرار می‌گیرند؛ c: گرده‌افشان در بازدید از گل دیگر، دانه گرده موجود به کلاله گل جدید منتقل می‌شود.

a: Longitudinal section of a flower, including: Nectar (ne), Filament (fi), Lower lever arm (la), Upper lever arm (ua), Upper lip (ul); b: The pollinator has to push the lower lever arm backwards to reach the nectar. Thereby, the upper lever arms swing downwards and deposit pollen (black) on its body; c: The pollinator visits another flower, pollen may be transferred to the stigma.

(شکل اقتباس از Stöbbe et al., 2016)

(The figure adapted from Stöbbe et al., 2016)

جدول ۲- طول دوره گل‌دهی، سازگاری و شدت هترواستیلی در گونه‌های سالویا در شرایط آب‌وهوایی مشهد

Table 2- Flower duration, adaptation and heterostyly rate of different *Salvia* species at Mashhad weather condition

گونه Species	نرخ سازگاری پس از یک سال Ratio of adaptability after a year (%)	دوره گل‌دهی Flowering duration (Day)	تاریخ شروع گل‌دهی Date of start flowering	تاریخ اتمام گل‌دهی Date of end flowering	فاصله بین نوک پرچم تا سطح کلاله Distance between anther tip and stigma surface (mm)	طول پرچم Stamen length (mm)	طول مادگی Pistil length (mm)
<i>S. virgata</i> (A ₁)	65.0±5.7	40.7±2.5	30 April 2017	10 June 2017	2.5±0.08	11.1±0.2	16.1±0.2
<i>S. virgata</i> (A ₂)	91.0±2.4	30.7±2.9	16 May 2017	16 June 2017	2.4±0.12	11.1±0.2	18.0±0.5
<i>S. virgata</i> (A ₃)	65.3±2.5	22.7±2.5	8 May 2017	31 May 2017	2.1±0.21	12.0±0.3	17.9±0.3
<i>S. virgata</i> (A ₄)	74.7±2.1	26.0±2.2	10 May 2017	5 June 2017	2.1±0.08	12.0±0.2	17.2±0.3
<i>S. frigida</i>	32.3±2.1	32.7±2.6	8 May 2017	10 June 2017	2.0±0.26	10.0±0.2	16.0±0.2
<i>S. nemorosa</i>	83.3±3.9	35.0±2.4	22 April 2017	31 May 2017	1.1±0.08	9.1±0.2	24.9±0.5
<i>S. atropatana</i>	16.3±2.9	15.3±2.5	20 April 2017	5 May 2017	7.1±0.33	13.1±0.3	32.1±0.6
<i>S. macrosiphon</i>	33.3±1.2	15.7±0.5	20 May 2017	5 June 2017	0.5±0.05	11.0±0.3	28.1±0.2
<i>S. sclarea</i>	75.3±2.5	34.7±2.9	14 May 2017	18 June 2017	0.0±0.0	10.9±0.1	25.0±0.2
<i>S. syriaca</i>	25.0±4.1	35.3±1.2	26 April 2017	31 May 2017	5.2±0.37	9.0±0.3	20.9±0.5

* برابر با میانگین سه تکرار ± انحراف استاندارد.

* Values are means ± SE of three replicates.

جدول ۳- تأثیر تیمارهای مختلف گرده‌افشانی دستی بر تشکیل بذر در گونه‌های مختلف سالویا*

Table 2- The effect of different hand pollination treatment on *Salvia* seed set*

گونه Species	گرده‌افشانی آزاد Open pollination				اتوگامی خودبه‌خودی Spontaneous autogamy			
	تعداد گل تیمار شده Number of treated flowers	حداکثر بذر قابل تشکیل Max. seeds number	بذرهای کامل Full seeds (%)	بذرهای پوک Aborted seeds (%)	تعداد گل تیمار شده Number of treated flowers	حداکثر بذر قابل تشکیل Max. seeds number	بذرهای کامل Full seeds (%)	بذرهای پوک Aborted seeds (%)
<i>S. virgata</i> (A ₁)	38	152	90.3a*	5.9d	33	132	3.0d	1.5g
<i>S. virgata</i> (A ₂)	52	208	66.6d	6.8d	35	140	12.2a	2.8f
<i>S. virgata</i> (A ₃)	37	148	81.1b	9.4bc	70	280	6.8c	1.0g
<i>S. virgata</i> (A ₄)	20	80	66.5d	8.7c	57	228	12.1a	13.3a
<i>S. frigida</i>	37	148	75.7c	11.5b	55	220	9.1b	3.2ef
<i>S. nemorosa</i>	44	176	67.2d	17.0a	42	168	6.8c	4.6d
<i>S. atropatana</i>	28	112	76.9c	8.6c	32	128	4.3d	4.0de
<i>S. macrosiphon</i>	32	128	88.5a	5.9c	35	140	8.3b	10.7b
<i>S. sclarea</i>	42	168	75.5c	7.2cd	30	120	11.7a	7.5c
<i>S. syriaca</i>	55	220	51.5e	14.6a	42	168	3.4d	2.4f
ژیتوگامی Geitonogamy					ژینوگامی Xenogamy			
<i>S. virgata</i> (A ₁)	22	88	17.3a	2.2f	22	88	26.8b	3.3c
<i>S. virgata</i> (A ₂)	15	60	17.2a	5.0c	15	60	17.7de	3.8b
<i>S. virgata</i> (A ₃)	31	124	2.6f	3.3d	26	104	24.0c	0.0g
<i>S. virgata</i> (A ₄)	24	96	15.2b	0.0g	24	96	23.3c	1.0f
<i>S. frigida</i>	15	60	3.2f	6.0b	15	60	32.5a	0.0g
<i>S. nemorosa</i>	25	100	2.6f	2.0f	25	100	14.5fg	1.5e
<i>S. atropatana</i>	36	144	13.5c	2.8e	20	80	15.3ef	2.7d
<i>S. macrosiphon</i>	40	160	11.2d	0.0g	28	112	18.2d	5.5a
<i>S. sclarea</i>	38	152	8.6e	0.0g	22	88	12.2gh	0.0g
<i>S. syriaca</i>	35	140	2.8f	7.6a	18	72	10.2h	2.5d
آپومیکیسی Apomixis					رفتار تولیدمثلی ISI Fertilization behavior			
<i>S. virgata</i> (A ₁)	22	88	0	0	0.65	Relatively self-incompatible		
<i>S. virgata</i> (A ₂)	16	64	0	0	0.99	Relatively self-incompatible		
<i>S. virgata</i> (A ₃)	26	104	0	0	0.11	Severely self-incompatible		
<i>S. virgata</i> (A ₄)	26	104	2.89	0	0.65	Relatively self-incompatible		
<i>S. frigida</i>	31	124	0	0	0.10	Severely self-incompatible		
<i>S. nemorosa</i>	27	108	0	0	0.18	Severely self-incompatible		
<i>S. atropatana</i>	24	100	0	0	0.91	Relatively self-incompatible		
<i>S. macrosiphon</i>	22	88	0	0	0.61	Relatively self-incompatible		
<i>S. sclarea</i>	30	120	0	0	0.71	Relatively self-incompatible		
<i>S. syriaca</i>	18	72	0	0	0.28	Relatively self-incompatible		

* اعداد با حروف مشترک دارای اختلاف معنی‌داری (p = 0.05) با استفاده از آزمون LSD نمی‌باشند.

* Numbers followed by the same letters are not significantly different (P < 0.05) based on LSD test.

بارت و همکاران (Barrett et al., 2000) هترواستیلی را در گونه *S. brandegeei* گزارش کردند و اظهار داشتند که میزان آن به شرایط محیطی بستگی دارد. در مطالعه حاضر، دو گونه *S. atropatana* و *S. syriaca* دارای گل‌های هترواستیل از نوع پین^۲ بودند. بنابراین یکی از دلایل دگرگشتی در برخی از گونه‌های سالویا، حضور گل‌های هترواستیل می‌باشد. از آنجایی که هترواستیلی به‌نوعی عامل محدودکننده انتقال دانه گرده به کلاله همان گیاه می‌باشد بنابراین

گرده‌افشانی آزاد منجر به بازديد به تناوب گل توسط گرده‌افشان‌ها و در نهایت گرده‌افشانی و تشکیل بذر مؤثر می‌گردد. سنول و همکاران (Şenol et al., 2017) نیز بهترین تیمار (۹۸ درصد تشکیل بذر) را برای گونه *S. sclarea*، گرده‌افشانی آزاد معرفی کردند. در ده‌های اخیر، گزارش‌های محدودی از هترواستیلی در خانواده نعناعیان ارائه شده است. بیشتر به این دلیل که تصور می‌شد، این پدیده تنها در خانواده‌های گیاهی با گل‌های زیگومورف^۱ رخ می‌دهد.

نمی‌تواند در نرخ تشکیل بذر گونه تأثیرگذار باشد. بررسی سطح خودسازگاری در گونه *Salvia verbenac* نشان داد که این گونه خودسازگار بوده و نیازی به حضور گرده‌افشان‌ها ندارد (Navarro, 1997)، اگرچه در مطالعه دیگر روی گونه *Salvia verbenaca* عنوان شد که این گونه نیز خودسازگار می‌باشد، اما عدم حضور گرده‌افشان‌ها مهم‌ترین محدودیت در تشکیل بذر آن می‌باشد (Ott et al., 2016).

نتیجه‌گیری

گل، اندامی است که تأثیر مستقیم در جذب گرده‌افشان‌ها دارد و ساختار آن به‌شدت باروری آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. گونه‌های مورد مطالعه، سازگاری خوبی در شرایط آب‌وهوایی مشهد نشان دادند و به‌جهت دوره گل‌دهی طولانی علاوه‌بر کاربرد به‌عنوان گیاه دارویی می‌توان از آن‌ها در فضای سبز نیز استفاده کرد. در پژوهش حاضر، کاهش تشکیل بذر در گل‌های پوشانده‌شده به‌دلیل عدم گرده‌افشانی مؤثر می‌باشد، بنابراین برای باروری مؤثر، حضور گرده‌افشان‌ها به‌خصوص در گونه‌های خودسازگار اهمیت حیاتی دارد. خودسازگاری و ساختار خاص گل در گونه‌های سالویا منجر به دگرگشتی و ایجاد تنوع درون و بین گونه‌ای می‌گردد. حضور گل‌های خودسازگار به‌عنوان یک وسیله ارزان در برنامه‌های اصلاحی برای جلوگیری از خودگشتی و حذف پس‌روی خویش‌آمیزی استفاده می‌شود. نتایج این پژوهش کمک به درک عمیق‌تر از فرآیند گرده‌افشانی گونه‌ها و باعث فراهم شدن راهبردهای مؤثر در حفظ ذخایر ژنتیکی و بهبود فرآیند تولید می‌گردد.

اهمیت گرده‌افشان‌ها در این گونه از گیاهان کلیدی می‌باشد. هرچند در دهه‌های اخیر، عدم توجه به مسائل زیست‌محیطی منجر به تهدید برخی از این گرده‌افشان‌ها و به‌طور غیرمستقیم زادآوری گیاهان شده است (Miyajima, 2001). وجود فاصله مکانی بین پرچم‌ها و سطح دانه گرده در برخی از گونه‌های سالویا توسط سانچز و همکاران (Sanchez et al., 2002) نیز گزارش شده است. پدیده دیگری که تشکیل بذر را در برخی گونه‌های سالویا تحت تأثیر قرار می‌دهد، پروتاندری (فاصله زمانی بین بلوغ دانه گرده و پذیرش کلاله) می‌باشد. البته در برخی از گونه‌ها به‌دلیل تعداد زیاد گل، این فاصله زمانی در یک گل به‌وسیله سایر گل‌ها به شرط گرده‌افشانی مؤثر بی‌تأثیر می‌شود.

موفقیت تشکیل بذر در تیمارهای با تنوع دانه گرده نشان‌دهنده تأثیر محدودیت دانه گرده بر تشکیل بذر است و اینکه گرده‌افشانی در این گونه‌ها لازمه تولیدمثل مؤثر می‌باشد. در مطالعات قبلی نیز سطوح مختلفی از خودسازگاری در گونه‌های سالویا ارائه شده است. به‌عنوان مثال سوباسی و گونس (Subaşı & Güvensen, 2011) خودسازگاری نسبی را در گونه *Salvia smyrnaea* گزارش کردند یا گونه *Eriope blanchetii* متعلق به خانواده نعنائیان به‌عنوان گونه نسبتاً خودسازگار معرفی شده است. سنول و همکاران (Şenol et al., 2017) گونه *S. sclarea* را به‌عنوان گونه نسبتاً خودسازگار معرفی کردند (ISI = 0.49). در پژوهش مشابه دیگر بر روی گونه *Salvia splendens*، نرخ تشکیل بذر در گیاهان پوشانده‌شده (با محدودیت گرده‌افشانی) و گرده‌افشانی آزاد به‌ترتیب ۰/۷۶ و ۱/۳۰ بذر در هر گل گزارش شد (Miyajima, 1996). در گزارش دیگر، سانچز و همکاران (Sanchez et al., 2002) نتیجه گرفتند که منشأ دانه گرده

References

1. Bahadori, M.B., Dinparast, L., Zengin, G., Sarikurkcu, C., Bahadori, S., Asghari, B., & Movahhedin, N. (2017). Functional components, antidiabetic, anti-Alzheimer's disease, and antioxidant activities of *Salvia syriaca* L. *International Journal of Food Properties*, 20(8), 1761–1772. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1218893>
2. Barrett, S.C.H., Wilken, D.H., & Cole, W.W. (2000). Heterostyly in the Lamiaceae: The case of *Salvia brandegeei*. *Plant Systematics and Evolution*, 223(3–4), 211–219. <https://doi.org/10.1007/BF00985280>
3. Campos, C.C., Duarte, J.F., Tristão, R.A., & Borém, D.M.C. (2009). Floral biology and breeding mechanisms of *Tibouchina heteromalla* Cogn. in rocky outcrops in the south of Minas Gerais. *Brazilian Journal of Ecology*, 8(2), 85–97.
4. Castro, S., Silveira, P., & Navarro, L. (2008a). How flower biology and breeding system affect the reproductive success of the narrow endemic *Polygala vayredae* Costa (Polygalaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 157(1), 67–81. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2008.00784.x>
5. Castro, S., Silveira, P., & Navarro, L. (2008b). Effect of pollination on floral longevity and costs of delaying fertilization in the out-crossing *Polygala vayredae* Costa (Polygalaceae). *Annals of Botany*, 102(6), 1043–1048. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn184>
6. Celep, F., Atalay, Z., Dikmen, F., Doğan, M., & Classen-Bockhoff, R. (2014). Flies as pollinators of melittophilous *Salvia* species (Lamiaceae). *American Journal of Botany*, 101(12), 2148–2159. <https://doi.org/10.3732/ajb.1400422>

7. Charlesworth, D. (2006). Evolution of Plant Breeding Systems. *Current Biology*, 16(17), R726–R735. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.07.068>
8. Claßen-Bockhoff, R., Wester, P., & Tweraser, E. (2003). The staminal lever mechanism in *Salvia* L. (Lamiaceae) - A review. *Plant Biology*, 5(1), 33–41. <https://doi.org/10.1055/s-2003-37973>
9. Claßen-Bockhoff, R., Speck, T., Tweraser, E., Wester, P., Thimm, S., & Reith, M. (2004). The staminal lever mechanism in *Salvia* L. (Lamiaceae): A key innovation for adaptive radiation? *Organisms Diversity and Evolution*, 4(3), 189–205. <https://doi.org/10.1016/j.ode.2004.01.004>
10. Cursach, J., & Rita, J. (2012). Reproductive biology of *Ranunculus weyleri* (Ranunculaceae), a narrowly endemic plant from the Balearic Islands with disjunct populations. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 207(10): 726–735. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2012.07.004>
11. Dafni, A. (1992). Pollination Ecology: A Practical Approach. IRL Press at Oxford University Press, UK, 250 pp.
12. Dudash, M.R., & Fenster, C.B. (2001). The role of breeding system and inbreeding depression in the maintenance of an outcrossing mating strategy in *Silene virginica* (Caryophyllaceae). *American Journal of Botany*, 88(11), 1953–1959. <https://doi.org/10.2307/3558422>
13. Evans, M.E.K., Menges, E.S., & Gordon, D.R. (2003). Reproductive biology of three sympatric endangered plants endemic to Florida scrub. *Biological Conservation*, 111(2), 235–246. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00293-8](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00293-8)
14. Gan, X., Cao, L., Zhang, X., & Li, H. (2013). Floral biology, breeding system and pollination ecology of an endangered tree *Tetracentron sinense* Oliv. (Trochodendraceae). *Botanical Studies*, 54(1), 50. <https://doi.org/10.1186/1999-3110-54-50>
15. Gaudeul, M., & Till-Bottraud, I. (2004). Reproductive ecology of the endangered alpine species *Eryngium alpinum* L. (Apiaceae): Phenology, gene dispersal and reproductive success. *Annals of Botany*, 93(6), 711–721. <https://doi.org/10.1093/aob/mch098>
16. Harder, L.D., & Johnson, S.D. (2009). Darwin's beautiful contrivances: Evolutionary and functional evidence for floral adaptation. *New Phytologist*, 183(3), 530–545. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02914.x>
17. Jamzad, Z. (2013). A survey of Lamiaceae in the flora of Iran. *Rostaniha*, 14(1), 59–67. <https://doi.org/10.22092/botany.2013.101317>
18. Jorge, A., Loureiro, J., & Castro, S. (2015). Flower biology and breeding system of *Salvia sclareoides* Brot. (Lamiaceae). *Plant Systematics and Evolution*, 301(5), 1485–1497. <https://doi.org/10.1007/s00606-014-1169-7>
19. Kalisz, S., & Vogler, D.W. (2003). Benefits of autonomous selfing under unpredictable pollinator environments. *Ecology*, 84(11), 2928–2942. <https://doi.org/10.1890/02-0519>
20. Miyajima, D. (1996). Seed-producing system in *Salvias*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(3), 419–422. <https://doi.org/10.21273/JASHS.121.3.419>
21. Miyajima, D. (2001). Floral variation and its effect on self-pollination in *Salvia splendens*. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76(2), 187–194. <https://doi.org/10.1080/14620316.2001.11511349>
22. Miyake, Y.C., & Sakai, S. (2005). Effects of number of flowers per raceme and number of racemes per plant on bumblebee visits and female reproductive success in *Salvia nipponica* (Labiatae). *Ecological Research*, 20(4), 395–403. <https://doi.org/10.1007/s11284-004-0035-4>
23. Nautiyal, B.P., Nautiyal, M.C., Khanduri, V.P., & Rawat, N. (2009). Floral biology of *Aconitum heterophyllum* wall.: A critically endangered alpine medicinal plant of Himalaya, India. *Turkish Journal of Botany*, 33(1), 13–20. <https://doi.org/10.3906/bot-0805-8>
24. Navarro, L. (1997). Is the dichogamy of *Salvia verbenaca* (Lamiaceae) an effective barrier to self-fertilization? *Plant Systematics and Evolution*, 207(1–2), 111–117. <https://doi.org/10.1007/BF00985212>
25. Nebot, A., Cogoni, D., Fenu, G., & Bacchetta, G. (2016). Floral biology and breeding system of the narrow endemic *Dianthus morisianus* Vals. (Caryophyllaceae). *Flora*, 219, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2015.12.004>
26. Ott, D., Hühn, P., & Claßen-Bockhoff, R. (2016). *Salvia apiana* — A carpenter bee flower? *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 221, 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2015.12.008>
27. Pannell, J.R., & Barrett, S.C.H. (1998). Baker's Law Revisited: Reproductive Assurance in a Metapopulation. *Source: Evolution*, 52(3), 657–668. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1998.tb03691.x>
28. Qu, L., & Widrechner, M.P. (2011). Variation in the breeding system of *Prunella* variation in the breeding system. *Hortscience. HortScience*, 46(5), 688–692. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.5.688>
29. Rodríguez-Pérez, J. (2005). Breeding system, flower visitors and seedling survival of two endangered species of *Helianthemum* (Cistaceae). *Annals of Botany*, 95(7), 1229–1236. <https://doi.org/10.1093/aob/mci137>
30. Sanchez, L.A., Picado, A., Sommeijer, M.J., & Slaa, E.J. (2002). Floral biology, pollination ecology and seed production of the ornamental plant *Salvia splendens* Sello. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 77(4), 498–501. <https://doi.org/10.1080/14620316.2002.11511529>

31. Şenol, S.G., Eroğlu, V., Şentürk, O., Kaçmaz, F., & Avci, A.B. (2017). The pollination and reproduction success of *Salvia sclarea* Serdar. *Biological Diversity and Conservation*, 3, 130–135.
32. Silva, F.O., Da Viana, B.F., & Jacobi, C.M. (2005). Floral biology of *Eriope blanchetii* (Lamiaceae) in coastal sand dunes of NE Brazil. *Austral Ecology*, 30(3), 243–249. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2005.01443.x>
33. Stöbke, J., Schramme, J., & Claßen-Bockhoff, R. (2016). Training experiments with *Bombus terrestris* and *Apis mellifera* on artificial 'Salvia' flowers. *Flora*, 221, 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2015.12.007>
34. Subaşı, Ü., & Güvensen, A. (2011). Breeding systems and reproductive success on *Salvia smyrnaea*. *Turkish Journal of Botany*, 35, 681–687. <https://doi.org/10.3906/bot-1012-105>
35. Takano, A. (2013). Gynodioecy in *Salvia omerocalyx* Hayata (Lamiaceae). APG: *Acta Phytotaxonomica et Geobotanica*, 63(3), 149–153. <https://doi.org/10.18942/apg.kj00008609663>
36. Wester, P., & Claßen-Bockhoff, R. (2006). Hummingbird pollination in *Salvia haenkei* (Lamiaceae) lacking the typical lever mechanism. *Plant Systematics and Evolution*, 257(3–4), 133–146. <https://doi.org/10.1007/s00606-005-0366-9>
37. Wester, P., & Claßen-Bockhoff, R. (2007). Floral diversity and pollen transfer mechanisms in bird-pollinated *Salvia* species. *Annals of Botany*. Oxford University Press. pp. 401–421.
38. Will, M., Schmalz, N., & Claßen-Bockhoff, R. (2015). Towards a new classification of *Salvia* s.l.: (re)establishing the genus *Pleudia* Raf. *Turkish Journal of Botany*, 39(4), 693–707. <https://doi.org/10.3906/bot-1405-34>
39. Will, M., & Claßen-Bockhoff, R. (2017). Time to split *Salvia* s.l. (Lamiaceae) – New insights from Old World *Salvia* phylogeny. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 109, 33–58. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2016.12.041>
40. Wright, S.I., Kalisz, S., & Slotte, T. (2013). Evolutionary consequences of self-fertilization in plants. *Proceedings of the Royal Society B. Biological Sciences*, 280(1760), 20130133. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.0133>
41. ZhenQiao, S., JianHua, W., HongGang, W., FuJuan, Z., & LiWu, H. (2009). Studies of the floral biology, breeding characters of *Salvia miltiorrhiza*. *Acta Horticulturae Sinica*, 36, 905–910.

Evaluation of the Allelopathic Effects of some Plant Species on the Germination and Growth of Lettuce Seedlings (*Lactuca sativa* var. Great Lakes 366) using the Sandwich Method

S. Amini^{1,2*}, M. Shamshirkesh Shahri³

1- Badiiee Saffron Production Agricultural Company, Mashhad, Iran

2- Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran

3- Department of Plant Genetics and Production Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran

(*- Corresponding author's Email: s.amini@gau.ac.ir)

Received: 08 September 2024
Revised: 06 March 2025
Accepted: 22 March 2025
Available Online: 22 March 2025

How to cite this article:

Amini, S., & Shamshirkesh Shahri, M. (2026). Evaluation of the allelopathic effects of some plant species on the germination and growth of lettuce seedlings (*Lactuca sativa* var. Great Lakes 366) using the sandwich method. *Journal of Horticultural Science*, 39(4), 597-610. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.89712.1376>

Introduction

Invasion of weeds is one of the major factors in the reduction of yield of agricultural crops in the field conditions. The use of allelopathic plants is one of the methods for weed control. To date, numerous laboratory and field techniques have been developed to evaluate allelopathy in various plant species. Recently, advancements in allelopathy research have emerged with the introduction of innovative techniques and more effective bioassays. Researchers have shown that many challenges in allelopathy studies can be addressed through these improved methods. Traditional approaches have increasingly been replaced by newer techniques, such as the Sandwich method, which allows the allelopathic properties of different plants to be evaluated in a very short time using only a minimal amount of plant material.

Materials and Methods

Considering that there is a significant evidence of the presence of allelopathic compounds in invasive weeds as well as medicinal plants, therefore, in the current research, the main focus was on these two groups of plants for the selection. In this research, the allelopathic activity of 57 plant species (60 samples including leaf, stem, seed, rhizome, flower, gum) of 18 families was investigated using the Sandwich method. In this method, plant samples were first dried at 40 degrees Celsius and then weighed in three replicates with amounts of 10 and 50 mg. Special containers with 6 well were used for cultivation. The diameter of each well was 3 cm. In one row of the wells, 10 mg and 50 mg of plant sample powder were placed in the other row. Then 5 ml of 0.5% agar solution was added to the samples and after the agar cooled and coagulated, another 5 ml of agar solution was added to each well. In this way, the plant sample was placed between two layers of agar. Then, in each well, 5 seeds of lettuce (*Lactuca sativa*) variety Great Lakes 366 were planted vertically on the agar surface. This variety of lettuce has been selected as an indicator due to its high sensitivity to metabolites. Then the containers were sealed and placed in an incubator with a temperature of 25 degrees Celsius in the dark conditions. After 3 days, the percentage of seed germination was checked by measuring the length of lettuce radicle and hypocotyl. To make it easier to compare plants, data clustering was performed using Minitab software.



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

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.89712.1376>

Results and Discussion

Using this method, 59 plant samples were placed into 10 distinct clusters. The similarity of plants in each cluster was 85%. The findings revealed that the leaf residues of *Anethum graveolens* and a *Cynara cardunculus* clustered together based on their allelopathic activity, demonstrating the most significant growth-inhibitory effect at a concentration of 10 mg of the plant sample. The average percentage of inhibition of radicle and hypocotyl growth of lettuce seedlings caused by these two plants was reported to be 94.95 and 87.65 percent, respectively. Also, 13 plants including leaves of *Chenopodium album*, *Prangos ferulacea*, *Lepidium draba*, *Petroselinum crispum*, *Dianthus barbatus*, *Convolvulus arvensis*, *Narcissus tazetta*, *Heracleum persicum*, *Onosma dichroantha*, *Stellaria media*, *Brassica cretica*, *Ipomoea purpurea* and *Apium graveolense* Seeds were placed in one cluster. This group also had significant growth inhibitory effects. Although their inhibitory effects were always less than *Anethum graveolens* and a *Cynara cardunculus*. The average percentage of radicle and hypocotyl growth inhibition in these plants with 10 mg of dry plant sample was 79.76 and 62.27, respectively. This study demonstrated that both the leaf residue of *Hypericum perforatum* and *Hypericum scabrum* significantly enhanced the growth of lettuce seedlings. Even minimal amounts (10 mg of the dried plant sample) resulted in a remarkable increase in radicle growth by 14.65% and hypocotyl growth by 45.15%. Additionally, at amount of 50 mg, *Pistacia lentiscus* gum demonstrated exceptional efficacy, enhancing radicle growth by an impressive 90%. Among the plants studied in this study, *Cupressus sempervirens* leaf residues had an inhibitory effect on radicle growth but stimulated hypocotyl growth. *Centaurea behen* leaf residues only produced a growth-stimulating effect (43.3%) on hypocotyl growth at amount of 10 mg, and in other cases, they showed allelopathic effects in the form of growth inhibition.

Conclusion

This study confirms the reliability of the sandwich method for identifying allelopathic plants and assessing their properties. It efficiently evaluates a variety of plants with fewer samples and time. The results suggest that plant residues could be used in organic farming to control weeds. Further research is necessary to identify the specific allelopathic compounds involved.

Acknowledgement

The authors of this article would like to thank Mr. Mohammad Reza Joharchi, a faculty member of the Herbarium of Ferdowsi University of Mashhad, for his sincere cooperation in identifying the plants used in this study from a botanical perspective, confirming the Persian names, and matching them with scientific names.

Keywords: Growth inhibition, Growth stimulation, Medicinal plants, Weeds

مقاله پژوهشی

جلد ۳۹، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴، ص. ۵۹۷-۶۱۰

ارزیابی اثرات دگرآسیبی برخی گونه‌های گیاهی بر جوانه‌زنی و رشد دانه‌ها کاهو (*Lactuca sativa* var. Great lakes 366) با استفاده از روش ساندویچ

سمیه امینی^{۱،۲*} - مریم شمشیرکش شهری^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۰۲

چکیده

در تحقیق حاضر، فعالیت دگرآسیبی ۵۶ گونه گیاهی متعلق به ۱۸ خانواده با استفاده از روش ساندویچ ارزیابی شد. در ابتدا، نمونه‌های گیاهی در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید. برای کشت از ظروف شش خانه‌ای مخصوص استفاده شد. به یک ردیف از خانه‌ها ۱۰ میلی‌گرم و به ردیف دیگر ۵۰ میلی‌گرم نمونه گیاهی پودر شده به همراه پنج میلی‌لیتر محلول آگار ۰/۵ درصد اضافه گردید. بعد از منعقد شدن آگار، با اضافه کردن پنج میلی‌لیتر محلول دیگر آگار، نمونه گیاهی بین دو لایه از آگار قرار گرفت. سپس بر روی سطح آگار منعقد شده در هر یک از خانه‌ها پنج عدد بذر کاهو (*Lactuca sativa* L.) واریته Great Lakes 366 به صورت عمودی کشت شدند. درب ظروف بسته شده و در انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، در تاریکی قرار گرفتند. بعد از گذشت سه روز، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه دانه‌های کاهو اندازه‌گیری شد. سپس درصد بازدارندگی و درصد تحریک‌کنندگی رشد حاصل از هر گیاه محاسبه گردید. برای مقایسه راحت‌تر گیاهان، خوشه‌بندی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب انجام شد. با استفاده از این روش، ۵۶ گونه گیاهی در ۱۰ خوشه مجزا قرار گرفتند. بقایای برگی گیاه شوید و کنگر فرنگی از نظر فعالیت دگرآسیبی در یک خوشه قرار گرفتند و بیشترین اثر بازدارندگی رشد را در غلظت ۱۰ میلی‌گرم نمونه گیاهی ایجاد کردند. میانگین درصد بازدارندگی رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه دانه‌ها کاهو که توسط این دو گیاه ایجاد شد، به ترتیب ۹۴/۹۵ و ۸۷/۶۵ درصد گزارش شد. همچنین ۱۳ گیاه شامل برگ‌های گیاهان سلمک، جاشیر، ازمک، جعفری، گل میخک، پیچک صحرایی، نرگس، گلپر، زنگوله‌ای رنگین، علف قناری، کلم، نیلوفر و بذر گیاه کرفس در یک خوشه قرار گرفتند. این گروه نیز اثرات بازدارندگی رشد قابل توجهی داشتند. گرچه اثر بازدارندگی آن‌ها همواره کمتر از شوید و کنگر فرنگی بود. میانگین درصد بازدارندگی رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه در این گیاهان با مقدار ۱۰ میلی‌گرم نمونه گیاه خشک، به ترتیب ۷۹/۷۶ و ۶۲/۲۷ بود. نتایج این تحقیق نشان داد که پیکر رویشی گیاه هوفاریقون و گل راعی دیهیمی اثر تحریک‌کنندگی رشد بر دانه‌ها کاهو داشتند. این گیاهان حتی در مقادیر کم (۱۰ میلی‌گرم نمونه گیاه خشک) رشد ریشه‌چه را ۱۴/۶۵ درصد و رشد ساقه‌چه را ۴۵/۱۵ درصد افزایش دادند. صمغ گیاه مصطکی نیز در مقدار ۵۰ میلی‌گرم، رشد ریشه‌چه را تا ۹۰ درصد تحریک کرد. از بین گیاهان بررسی شده در این تحقیق، بقایای برگی گیاه سرو بر رشد ریشه‌چه اثر بازدارندگی داشت، ولی رشد ساقه‌چه را تحریک کرد. بقایای برگی گیاه گل گندم طلایی فقط در مقدار ۱۰ میلی‌گرم اثر تحریک‌کنندگی رشد (۴۳/۳ درصد) بر ساقه‌چه را ایجاد کرد و در سایر موارد اثرات دگرآسیبی را به صورت بازدارندگی رشد نشان دادند. با توجه به اثرات بازدارندگی رشد مشاهده شده در این گیاهان، می‌توان به طور مستقیم از بقایای آن‌ها به منظور جلوگیری از رشد علف‌های هرز، در کشاورزی ارگانیک استفاده کرد. همچنین لازم است که در آینده تحقیقاتی در زمینه شناسایی دقیق نوع ترکیب یا ترکیبات دخیل در ایجاد پدیده دگرآسیبی در این گیاهان اجرا شود.

واژه‌های کلیدی: بازدارندگی رشد، تحریک‌کنندگی رشد، علف‌های هرز، گیاهان دارویی

۱- شرکت کشاورزی تولیدی زعفران بدیعی، مشهد، ایران

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

۳- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

* - نویسنده مسئول: (Email: s.amini@gau.ac.ir)<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.89712.1376>

مقدمه

علف‌های هرز با روش‌های مختلفی از جمله روش مکانیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مهار می‌شوند. رایج‌ترین این روش‌ها، استفاده از علف‌کش‌های سنتزی می‌باشد. متأسفانه استفاده مکرر از این علف‌کش‌ها علاوه بر آلودگی‌های زیست‌محیطی منجر به گسترش هر چه بیشتر علف‌های هرز مقاوم شده است (Macias et al., 2003; Ofosu et al., 2023). تاکنون تلاش‌های گسترده‌ای برای یافتن جایگزینی مناسب برای این نوع از علف‌کش‌های صورت گرفته است. استفاده از ترکیبات طبیعی گیاهی یکی از این جایگزین‌ها می‌باشد. محققان بر این باورند که استفاده از آلوپاتی^۱ یا همان دگرآسیبی می‌تواند روشی جایگزین برای مدیریت علف‌های هرز باشد و در آینده با به‌کارگیری این روش، مصرف علف‌کش‌های سنتزی در خاک کاهش یافته و علف‌کش‌های زیستی جایگزین آن‌ها خواهند شد (Bais et al., 2003). تاکنون تعاریف متعددی از دگرآسیبی ارائه شده است، ولی جامع‌ترین تعریفی که می‌توان عنوان کرد عبارت است از: اثرات مثبت و منفی ترکیبات شیمیایی که عمدتاً در طی چرخه متابولیسم ثانویه در گیاهان، قارچ‌ها، ویروس‌ها و سایر ریزجانداران تولید شده و بر رشد و نمو بوم‌نظام‌های کشاورزی و بیولوژیکی (به‌استثنای پستانداران) مؤثر واقع می‌شوند (De' Albuquerque et al., 2011). مطالعه در زمینه دگرآسیبی با دشواری‌های ویژه‌ای همراه است. به‌عنوان مثال، یکی از رایج‌ترین روش‌های زیست‌سنجی به‌منظور بررسی دگرآسیبی، استفاده از روش پتری‌دیش می‌باشد. در این روش عصاره‌های گیاهی در شرایط آزمایشگاهی از نظر دگرآسیبی بررسی می‌شوند، ولی از آنجایی که طی فرآیند عصاره‌گیری، احتمالاً ترکیبات طبیعی به‌صورت تغییر یافته جمع‌آوری می‌شوند، مشخص نمی‌شود که ترکیبات استخراج‌شده دارای همان اثر و فعالیت باشند که ترکیبات اصلی دارا هستند. در نتیجه، ترکیبات دگرآسیب را نمی‌توان به‌درستی شناسایی کرد (Rashed Mohassel & Musavi, 2006). یکی دیگر از مشکلات اساسی در روش‌های آزمایشگاهی، عدم تطابق میزان فعالیت مواد دگرآسیب در شرایط آزمایشگاهی با شرایط محیطی است (Akhov et al., 2000). در تحقیقات مزرعه‌ای و گلدانی که یکی دیگر از روش‌های مطالعات دگرآسیبی می‌باشند، تداخل اثرات دگرآسیبی با عوامل رقابتی، مشکل‌ساز شده و تفکیک این عوامل بسیار دشوار می‌باشد (El-Khatib et al., 2004). در نتیجه به‌علت پیچیدگی مسئله، تحقیقات مزرعه‌ای کمی توانسته است به‌طور یقین دگرآسیبی را از انواع دیگر تداخل تفکیک کند (Bais & Kaushik, 2010). روش دیگر در مطالعات دگرآسیبی، استفاده از کشت هیدروپونیک می‌باشد. علی‌رغم اینکه این روش ابزار جالبی در زمینه

مطالعات دگرآسیبی محسوب می‌شود، اما از جمله مشکلات مربوط به آن، وقت‌گیر بودن و همچنین هزینه‌های راه‌اندازی تأسیسات آن می‌باشد (De' Albuquerque et al., 2011). اخیراً پیشرفت‌های فنی در زمینه مطالعات دگرآسیبی صورت گرفته است. به‌وسیله این روش‌ها، بسیاری از مشکلات موجود قابل حل می‌باشند (Fujii & Hiradate, 2007). از جمله این روش‌ها می‌توان به روش ساندویچ^۲، دیش‌پک^۳، پلنت باکس^۴ و ریزوسفر^۵ اشاره کرد. روش ساندویچ از جمله روش‌هایی است که برای بررسی اثرات دگرآسیبی بقایای گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از این روش می‌توان تعداد زیادی گیاه را با در اختیار داشتن حداقل نمونه گیاهی در مدت زمانی کوتاه بررسی کرد. فوجی و همکاران (Fujii et al., 2003) با استفاده از این روش، بقایای ۲۳۹ گیاه دارویی را از نظر ویژگی‌های دگرآسیبی ارزیابی کردند. همچنین گروه دیگری از محققان، اثرات دگرآسیبی ۳۸ گونه گیاهی را با استفاده از روش ساندویچ، دیش‌پک و پلنت باکس مقایسه کردند (Fujii et al., 2003). در سال ۲۰۱۹ نیز از روش‌های ساندویچ و دیش‌پک برای ارزیابی ویژگی دگرآسیبی ۷۳ گونه گیاهی استفاده شد (Khan et al., 2019). امینی و همکاران (Amini et al., 2016) با استفاده از روش ساندویچ، اثرات دگرآسیبی ۶۸ گونه گیاهی را بررسی کردند. همچنین در تحقیقی دیگر با استفاده از این روش اثرات دگرآسیبی ۵۵ گونه گیاه دارویی و علف‌هرز مقایسه شدند (Amini et al., 2018). در پژوهش حاضر، ویژگی دگرآسیبی ۵۶ گونه گیاهی به‌خصوص گیاهان دارویی و معطر و همچنین علف‌های هرز و بعضی از گیاهان خودرو و زینتی متعلق به ۱۸ خانواده با استفاده از روش ساندویچ ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در تابستان ۱۳۹۹ در قالب روشی آزمایشگاهی تحت عنوان روش ساندویچ در آزمایشگاه گروه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند اجرا شد. از آنجایی که شواهد قابل ملاحظه‌ای مبنی بر وجود ترکیبات دگرآسیب در علف‌های هرز مهاجم و همچنین گیاهان دارویی وجود دارد، بنابراین در این تحقیق برای انتخاب گیاهان مورد بررسی، بیشتر بر روی این دو گروه از گیاهان تمرکز شده است. ۵۶ گونه گیاهی مورد نظر در فصل بهار و تابستان از مناطق مختلف جمع‌آوری شد و پس از شناسایی، در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک گردید. نام علمی، نام فارسی و اندام‌های

2- Sandwich method

3- Dish pack

4- Plant box

5- Rhizosphere

1- Allelopathy

به‌طور چشم‌گیری افزایش بازدارندگی رشد را بر دانه‌ها کاهو نشان دادند، یکی از احتمالاتی که می‌تواند در ایجاد این بازدارندگی قوی نقش داشته باشد، وجود غلظت بالای بعضی از عناصر و یا ترکیباتی دیگر غیر از ترکیبات دگرآسیب و یا تغییر pH محیط کشت و در نتیجه مرگ گیاهچه می‌باشد (Amini et al., 2016). بنابراین در گزارش این تحقیق به ارائه نتایج دگرآسیبی حاصل از ۵۰ میلی گرم نمونه گیاهی خشک پرداخته شده است، ولی برای خوشه‌بندی و معرفی نهایی گیاهان مشکوک به وجود ترکیبات دگرآسیب، بیشتر بر روی مقدار ۱۰ میلی گرم تأکید شده است.

نتایج حاصل از مرحله تجزیه خوشه‌ای، در شکل ۱ و جدول ۲ ارائه شده است. در شکل ۱، محلی که خط افقی روی نمودار، خطوط عمودی را قطع کرده است، یک خوشه محسوب می‌شود و گیاهان مشترک با آن نقطه در یک خوشه قرار می‌گیرند. گیاهان قرارگرفته در هر خوشه از نظر ویژگی‌های دگرآسیبی به‌میزان ۸۵ درصد به یکدیگر شبیه می‌باشند. نتایج حاصل از خوشه‌بندی نشان داد که ۵۹ نمونه گیاه بررسی‌شده در این تحقیق با مقایسه رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه دانه‌ها کاهو در ۱۰ خوشه مجزا قرار گرفتند.

همان‌طور که در جدول ۲ ارائه شده است، گیاهان موجود در خوشه ۵ دارای بالاترین درصد بازدارندگی رشد می‌باشند. این خوشه شامل بقایای برگی دو گیاه شوید (*Anethum graveolens*) و کنگر فرنگی (*Cynara cardunculus*) است (شکل ۱). بقایای برگ‌های خشک‌شده این گیاهان در هر دو مقدار ۱۰ و ۵۰ میلی گرم، اثرات بازدارندگی شدیدی بر رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه دانه‌ها کاهو اعمال کردند. این دو گیاه حتی در مقادیر بسیار کم (۱۰ میلی گرم گیاه خشک)، اثرات بازدارندگی شدیدی بر رشد ریشه‌چه (۹۴/۹۵ درصد) و ساقه‌چه (۸۷/۶۵) نشان دادند (جدول ۲). علاوه بر خوشه ۵، گیاهان موجود در خوشه ۴ شامل بقایای برگی گیاهان سلمک (*Chenopodium album*)، جاشیر (*Prangos ferulacea*)، از مک (*Lepidium draba*)، جعفری (*Petroselinum crispum*)، گل میخک (*Dianthus barbatus*)، پیچک صحرایی (*Convolvulus arvensis*)، نرگس (*Narcissus tazetta*)، گلپر (*Heracleum persicum*)، زنگوله‌ای رنگین (*Onosma dichroantha*)، علف قناری (*Stellaria media*)، کلم (*Brassica cretica*)، نیلوفر (*Ipomoea purpurea*) و بذر گیاه کرفس (*Apium graveolense*) نیز اثرات بازدارندگی رشد قابل توجهی داشتند، اگرچه اثر بازدارندگی آن‌ها همواره کمتر از خوشه ۵ بود. میانگین درصد بازدارندگی رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه دانه‌ها کاهو تحت تأثیر این گیاهان با مقدار ۱۰ میلی گرم نمونه گیاه خشک، به ترتیب ۷۹/۷۶ و ۶۲/۲۷ گزارش شد.

استفاده‌شده از هر گیاه در جدول ۱ ذکر شده است. برای انجام آزمایش از ظروف شش خانه‌ای پلاستیکی که قطر هر خانه آن ۳/۵ سانتی‌متر بود، استفاده گردید. در یک ردیف از خانه‌ها، ۱۰ میلی گرم و در ردیف دیگر، ۵۰ میلی گرم نمونه گیاه خشک قرار گرفت. سپس پنج میلی‌لیتر آگار (۰/۵ درصد وزنی/حجمی) با دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد روی نمونه‌ها ریخته شد. بعد از گذشت ۴۵ دقیقه که آگار سرد و منعقد شد، پنج میلی‌لیتر دیگر آگار به نمونه‌ها اضافه گردید. با این روش، نمونه گیاهی در بین دو لایه آگار قرار گرفته و مواد مؤثره آن به درون آگار انتقال یافت. سپس به آرامی و به کمک پنس در هر یک از خانه‌ها پنج عدد بذر کاهو (*Lactuca sativa* Var. Greate Lack 366) به‌صورت عمودی در آگار فرو برده شد، به‌صورتی که یک سوم انتهایی بذرها در آگار قرار گرفت. این رقم از کاهو به‌علت حساسیت بالا به مواد شیمیایی، شاخص مناسبی برای تحقیقات دگرآسیبی می‌باشد. در نهایت، درب ظروف بسته شد و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در درون انکوباتور و در شرایط تاریکی به مدت سه روز قرار گرفتند. برای تهیه نمونه شاهد از آگار بدون نمونه گیاهی استفاده شد. بعد از سه روز، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه بذور کاهو با استفاده از کاغذ میلی‌متری اندازه‌گیری و ثبت شد (Amini et al., 2016; Fujii et al., 2003; Amini et al., 2018).

آنالیز آماری

این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بررسی شد. نتایج اولیه مربوط به درصد بازدارندگی یا تحریک‌کنندگی رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهو با استفاده از نرم‌افزار اکسل به دست آمد (جدول ۱). سپس برای مقایسه راحت‌تر گیاهان با یکدیگر، خوشه‌بندی (کلاستر کردن) آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب^۱ به‌روش Average انجام شد (جدول ۲ و شکل ۱). گیاهان قرارگرفته در هر خوشه از میزان شباهت ۸۵ درصد برخوردار می‌باشند.

نتایج و بحث

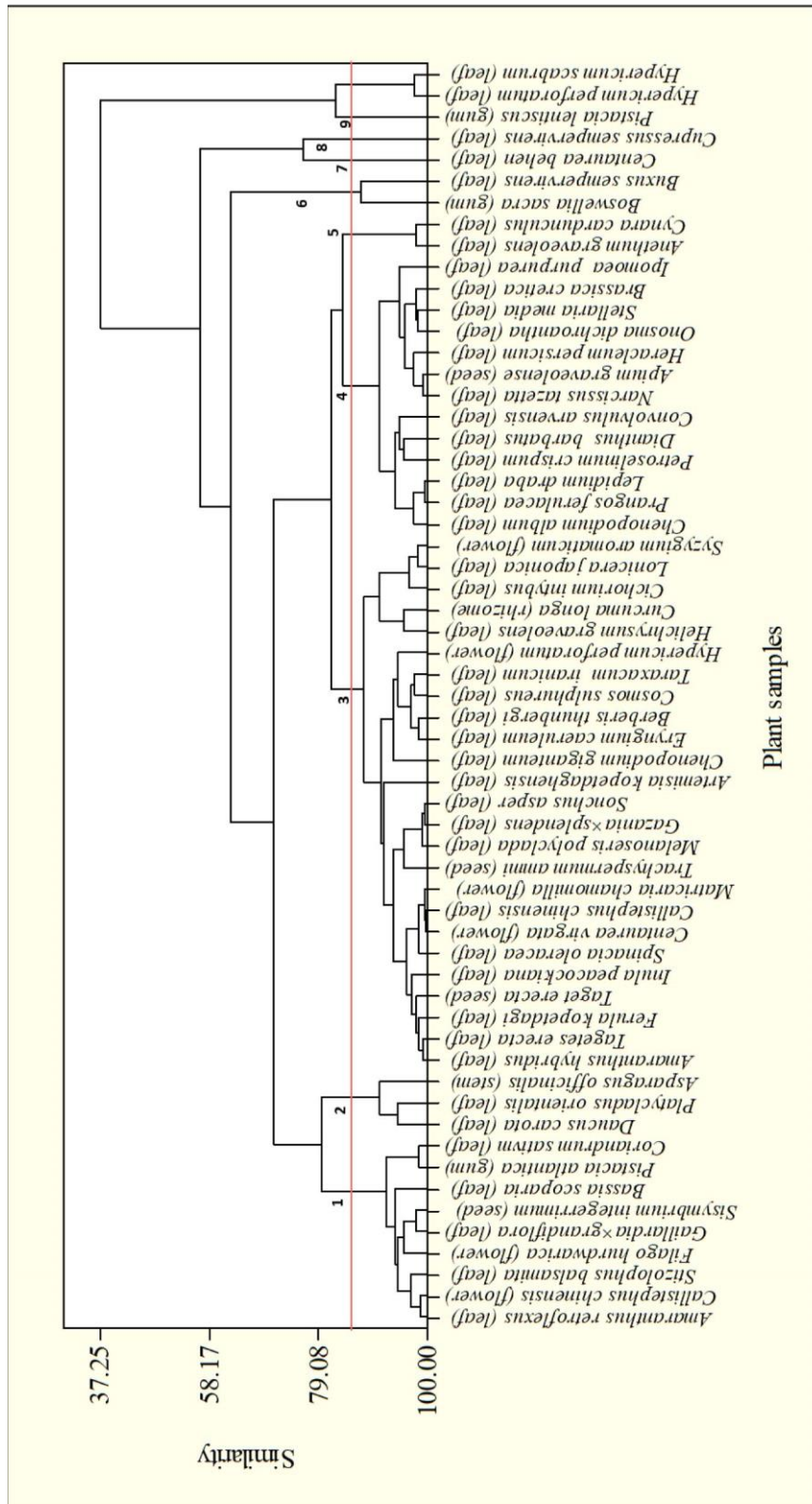
جدول ۱ شامل نتایج اولیه مربوط به گیاهان بررسی‌شده در این تحقیق می‌باشد. در این جدول، اثرات دگرآسیبی اندام یا اندام‌های گیاهان مختلف (برگ، ساقه، بذر، ریزوم، گل و صمغ) به‌مقدار ۱۰ و ۵۰ میلی گرم نمونه گیاهی خشک، بر رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه دانه‌ها کاهو به‌صورت درصد ارائه شده است. اعداد منفی ارائه‌شده در این جدول نشان‌دهنده اثرات دگرآسیبی به‌صورت تحریک‌کنندگی رشد و اعداد مثبت بیانگر اثرات دگرآسیبی به‌صورت بازدارندگی می‌باشند. از آنجایی که تعداد بسیار زیادی از گیاهان، در غلظت ۵۰ میلی گرم

جدول ۱- اثرات دگرآسیبی ۵۶ گونه گیاهی (۵۹ نمونه) بر رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه دانه‌های کاهو (*Lactuca sativa* L.)
Table 1- Allelopathic effects of 56 plant species (59 samples) on *Lactuca sativa* L. seedling radicle and hypocotyl growth

ردیف Row	خانواده Family	نام علمی Scientific name	نام فارسی Persian name	نمونه گیاهی Plant sample	۱۰ میلی گرم نمونه خشک گیاه 10 mg of dried plant sample			۵۰ میلی گرم نمونه خشک گیاه 50 mg of dried plant sample			معیار Criteria
					درصد یازداری Inhibitory percentage of radicle growth	رشد ریشه‌چه Inhibitory percentage of hypocotyl growth	درصد یازداری Inhibitory percentage of radicle growth	درصد یازداری Inhibitory percentage of hypocotyl growth	درصد یازداری Inhibitory percentage of hypocotyl growth	درصد یازداری Inhibitory percentage of hypocotyl growth	
1	Amaranthaceae	<i>Amaranthus retroflexus</i>	تاج‌خروس هرز	Leaf	48.3		15.7	79.3	57.3		
		<i>Amaranthus hybridus</i>	تاج‌خروس رنگین	Leaf	68.7		46.3	79.3	59.3		
		<i>Bassia scoparia</i>	چاروی فروزی	Leaf	36.7		15.3	75.3	53.7		
		<i>Chenopodium album</i>	سلمک	Leaf	79.7		62.7	95.7	86.3	*	
		<i>Chenopodium giganteum</i>	سلمک درخت	Leaf	73.3		26.7	92.0	61.7		
2	Amaryllidaceae	<i>Spinnacia oleracea</i>	اسفناج	Leaf	71.0		41.0	90.0	64.0		
		<i>Narcissus tazetta</i>	نرگس	Leaf	75.3		61.7	96.7	89.7	*	
		<i>Pistacia atlantica</i>	بنه	Gum	30.7		25.0	50.7	48.0		
3	Anacardiaceae	<i>Pistacia lentiscus</i>	مصطکی	Gum	-12.3		-10.7	-90.0	-30.0	R++	
		<i>Anethum graveolens</i>	شوید	Leaf	93.3		87.0	96.0	95.0	**	
		<i>Apium graveolense</i>	کرفس	Seed	75.0		63.0	95.7	92.7	*	
4	Apiaceae	<i>Trachyspermum ammi</i>	زیتان	Seed	57.0		50.3	86.0	81.7		
		<i>Coriandrum sativum</i>	گشنیز	Leaf	32.6		27.0	70.7	49.0		
		<i>Daucus carota</i> L. var. <i>Sativus</i>	هویج فرنگی	Leaf	26.3		-23.3	68.7	37.0		
		<i>Ferula kopetdagi</i>	کهای که دانی	Leaf	67.0		49.3	92.0	82.0		
		<i>Eryngium caeruleum</i>	بوقناق	Leaf	65.6		35.6	34.7	57.0		
		<i>Heracleum persicum</i>	گلبر	Leaf	77.6		58.3	92.3	92.7	*	
		<i>Petroselinum crispum</i>	جعفری	Leaf	92.0		74.0	97.0	97.0	*	
		<i>Prangos ferulacea</i>	چاشیر	Leaf	83.6		65.6	92.0	81.7	*	
		<i>Asparagus officinalis</i>	مارچوبه	Stem	23.7		0.0	70.7	52.7		
		<i>Helichrysum graveolens</i>	اقستلین	Leaf	48.6		48.6	83.3	69.6		
5	Asparagaceae	<i>Artemisia kopetdaghensis</i>	درمنه که دانی	Leaf	78.6		40.6	92.6	76.0		
		<i>Sizolophus balsamita</i>	گل گندم مرهمی	Leaf	43.0		19.6	80.0	56.7		
		<i>Centaurea belen</i>	گل گندم طلالی	Leaf	45.0		-43.3	91.6	79.3	H+	
		<i>Centaurea virgata</i>	گل گندم بوتانی	Flower	68.6		40.6	92.7	80.3		
		<i>Melanoseris polyclada</i>	کاهو منقاری پرشانه	Leaf	60.0		43.6	85.3	66.0		
		<i>Cichorium intybus</i>	کاستی	Leaf	54.0		30.7	84.0	59.9		
		<i>Callistephus chinensis</i>	گل مینا	Flower	46.6		17.3	57.0	35.0		
		<i>Callistephus chinensis</i>	گل مینا	Leaf	68.3		40.6	86.6	71.6		
		<i>Cynara cardunculus</i>	ککثر فرنگی	Leaf	96.6		88.3	95.3	91.3	**	
		<i>Inula peacockiana</i>	سوزنگی	Leaf	70.3		52.0	66.3	50.0		

	<i>Filago hordwarica</i>		Flower	45.6	27.3	78.6	54.0
	<i>Gaillardia × grandiflora</i>	رستا زیا	Leaf	39.6	27.0	75.0	57.3
	<i>Gazania × splendens</i>	گازیا	Leaf	61.3	42.6	81.3	56.0
	<i>Cosmos sulphureus</i>	گل ستاره‌ای	Leaf	65.3	28.0	77.0	51.6
	<i>Matricaria chamomilla</i>	بابونه آلمانی	Flower	68.6	39.6	91.0	65.3
	<i>Sonchus asper</i>	شیرتیگ	Leaf	61.6	41.6	93.0	82.0
		گل جعفری	Leaf	68.0	47.3	88.0	78.6
	<i>Tagetes erecta</i>	قاصدک	Seed	70.7	45.7	82.3	58.6
	<i>Taraxacum officinale</i>	زردک ژاپنی	Leaf	62.0	30.6	78.6	61.6
7	<i>Berberidaceae</i>			66.0	32.7	69.3	40.7
8	<i>Boraginaceae</i>	رنگه‌ای رنگین	Leaf	75.7	51.0	66.3	40.7
	<i>Onosma dichroantha</i>	کلم	Leaf	78.0	53.7	86.0	67.3
	<i>Brassica cretica subsp. cretica</i>	آرمک	Leaf	82.7	66.0	93.3	67.7
9	<i>Brassicaceae</i>	خاکشیر خراسانی	Seed	38.0	23.0	42.3	24.3
	<i>Lepidium draba</i>						
	<i>Sisymbrium integririmum</i>	کندر	Gum	20.7	93.0	36.7	13.3
10	<i>Burseraceae</i>	شمشاد	Leaf	40.0	97.0	26.3	22.0
11	<i>Buxaceae</i>	پیچ اسن‌الدوله ژاپنی	Leaf	53.3	39.3	91.7	82.0
12	<i>Caprifoliaceae</i>	غلف قاری	Leaf	74.3	54.0	93.6	79.0
13	<i>Caryophyllaceae</i>	گل میخک	Leaf	89.6	65.3	93.7	93.0
	<i>Dianthus barbatus</i>	میخک (قرنفل)	Flower	52.3	35.6	85.3	73.3
14	<i>Myrtaceae</i>	نیلوفر	Leaf	68.7	59.3	74.7	69.0
	<i>Syzygium aromaticum</i>	پیچک صحرایی	Leaf	84.7	75.0	90.0	81.0
15	<i>Convulvaceae</i>	سرو	Leaf	80.0	-28.0	15.0	-13
	<i>Ipomoea purpurea</i>	سرو خمری	Leaf	24.7	-12.3	63.0	47.0
16	<i>Cupressaceae</i>	هوفارئون	Leaf	-16.3	-46.3	14.3	-23.7
	<i>Cupressus sempervirens</i>	گل راعی دیهیمی	Flower	62.0	21.0	86.3	67.7
17	<i>Hypericaceae</i>	زردچوبه	Leaf	-13	-44.0	-53	-40.7
	<i>Hypericum perforatum</i>						
	<i>Hypericum scabrum</i>						
18	<i>Zingiberaceae</i>		Rhizome	41.7	51.3	76.3	64.7
	<i>Curcuma longa</i>						

***: very intense inhibitory effect, *: inhibitory effect of growth, H⁺: stimulation of hypocotyl growth, ++: intense stimulation of growth, R⁺⁺: very intense stimulation of radical growth



شکل ۱- دندروگرام حاصل از انجام تجزیه خوشه‌ای به روش Average برای ۵۹ نمونه گیاهی با میزان شباهت ۸۵ درصد

Figure 1- Dendrogram of cluster analysis by Average method for 59 plant samples with 85% similarity

جدول ۲- نتایج حاصل از خوشه‌بندی ۵۶ گونه گیاهی (میزان شباهت گیاهان قرارگرفته در یک خوشه معادل ۸۵ درصد می‌باشد)

Table 2- Results of clustering for 56 plant species (similarity level between plants in each cluster is 85%)

شماره خوشه Cluster	تعداد گیاه در هر خوشه Number of plants per cluster	میانگین درصد بازدارندگی رشد ریشه‌چه Average percentage of radicle growth inhibition (10 mg plant samples)	میانگین درصد بازدارندگی رشد ساقه‌چه Average percentage of hypocotyl growth inhibition (10 mg plant samples)	میانگین درصد بازدارندگی رشد ریشه‌چه Average percentage of radicle growth inhibition (50 mg plant samples)	میانگین درصد بازدارندگی رشد ساقه‌چه Average percentage of hypocotyl growth inhibition (50 mg plant samples)
1	9	39.9	21.91	67.65	48.36
2	3	24.9	-11.86	67.46	45.56
3	25	63.32	40.04	382.19	66.44
4	13	79.76	62.27	89.76	79.83
5	2	94.95	87.65	95.65	93.15
6	2	30.35	95	31.5	17.65
7	1	45	-43.3	91.6	79.3
8	1	80	-28	15	-13
9	1	-12.3	-10.7	-90	-30
10	2	-14.65	-45.15	-19.35	-32.2

دگرآسیبی بقایای برگ‌های این گیاه در شرایط مزرعه‌ای گزارش شده است (Pakhshan & Maulood Shireen, 2012). در شرایط آزمایشگاهی نیز عصاره پیکر رویشی این گیاه در غلظت ۲/۵ درصد محرک رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه دانه‌ها ذرت بود، درحالی‌که در غلظت پنج درصد اثرات بازدارندگی بر رشد این گیاه داشت (Dorina, 2019). گروهی از محققان، اثر دگرآسیبی پودر حاصل از بذر گیاه شویید را بر مهار علف هرز گل جالیز (*Orobancha crenata*) به اثبات رساندند. نتایج این تحقیق نشان داد که اضافه کردن پودر بذر این گیاه به خاک می‌تواند به صورت انتخابی از رشد این علف هرز مهاجم ممانعت کند و حتی قدرت مهارکنندگی آن در مقادیر ۳۵ تا ۴۰ گرم پودر بذر شویید به هر کیلوگرم خاک در مقایسه با استفاده از علف‌کش گلیفوسات^۲ (با غلظت ۰/۳۷۵ میلی‌لیتر در لیتر) مؤثرتر خواهد بود. محققان اثرات دگرآسیبی مشاهده‌شده در این گیاه را به ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی نسبت دادند (Messiha et al., 2024). به‌طور کلی، اسانس به‌دست‌آمده از پیکره رویشی این گیاه حاوی ۱۳ ترکیب شناخته‌شده است. اصلی‌ترین اجزاء موجود در اسانس این گیاه به‌ترتیب شامل کارون^۳، ترانس دی‌هیدروکارون^۴، آلفا‌فلاندرن^۵ و لیمون^۶ می‌باشند (Sharopov et al., 2013). مایریستیسین^۷ نیز از دیگر ترکیبات شناخته‌شده موجود در این گیاه می‌باشد (Vokk et al., 2011) و جالب اینکه مایریستیسین، در لیست ترکیبات دگرآسیب قرار دارد (Zhao et al., 2020; Ilori & Ilori, 2012). در تحقیقی،

گیاهان موجود در خوشه‌های ۷ و ۸ اثرات دگرآسیبی را هم به‌صورت تحریک‌کنندگی و هم بازدارندگی رشد دانه‌ها کاهو نشان دادند. هر یک از این خوشه‌ها حاوی یک گیاه بود. بقایای برگ‌های گیاه گل گندم طلایی (*Centaurea behen*) که در خوشه ۷ قرار گرفت، در مقدار ۱۰ میلی‌گرم نمونه گیاهی اثرات تحریک‌کنندگی رشد را بر ساقه‌چه دانه‌ها کاهو اعمال کرد (۴۳/۳ درصد) و در بقیه موارد، مقدار ۵۰ میلی‌گرم بر رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه و همچنین مقدار ۱۰ میلی‌گرم بر رشد ریشه‌چه، اثر بازدارندگی داشت. بقایای برگ‌های گیاه سرو (*Cupressus sempervirens*) که در خوشه ۸ قرار گرفته است، اثر تحریک‌کنندگی رشد را فقط بر ساقه‌چه دانه‌ها کاهو نشان داد و بر ریشه‌چه اثر ممانعت‌کنندگی رشد داشت. خوشه‌های ۹ و ۱۰ اثرات دگرآسیبی را در هر دو مقدار ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم به‌صورت تحریک‌کنندگی رشد نشان دادند. صمغ گیاه مصطکی (*Pistacia lentiscus*) از نظر ویژگی‌های دگرآسیبی در خوشه ۹ قرار گرفت. این نمونه گیاهی هم بر رشد ریشه‌چه و هم رشد ساقه‌چه اثر تحریک‌کنندگی داشت. به‌خصوص صمغ این گیاه در مقدار ۵۰ میلی‌گرم توانست رشد ریشه‌چه دانه‌ها کاهو را تا ۹۰ درصد افزایش دهد. بقایای برگ‌های دو گیاه هوفاریقون (*Hypericum perforatum*) و گل راعی دیهیمی (*Hypericum scabrum*) در خوشه ۱۰ قرار گرفتند. این دو نمونه گیاهی در هر دو مقدار ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم هم بر رشد ریشه‌چه و هم بر رشد ساقه‌چه دانه‌ها کاهو اثر تحریک‌کنندگی رشد داشتند. این دو گیاه حتی در غلظت بسیار کم (۱۰ میلی‌گرم نمونه گیاه خشک) توانایی تحریک رشد ریشه‌چه (۱۴/۶۵ درصد) و ساقه‌چه (۴۵/۱۵ درصد) را به‌مقدار زیادی داشتند.

یکی از گیاهانی که در این تحقیق اثر بازدارندگی شدیدی بر رشد دانه‌ها کاهو نشان داد، گیاه شویید بود. شویید یا شبت، گیاهی یک‌ساله متعلق به خانواده چتریان می‌باشد (Al-Snafi, 2014). اثرات

- 1- Broomrape
- 2- Glyphosate
- 3- Carvone
- 4- Trans dihydrocarvone
- 5- α -phellandrene
- 6- Limonene
- 7- Myristicin

اثرات دگرآسیبی چهار جزء اصلی اسانس برخی از گیاهان دارویی که قبلاً اثرات علف‌کشی آن‌ها ثابت شده بود، مورد بررسی قرار گرفت. این اجزاء شامل کارواکرول^۱، تیمول، کارون و لیمون بودند. محققان در این تحقیق گزارش کردند که کارواکرول، تیمول و کارون می‌توانند حتی در غلظت‌های بسیار پایین از رشد علف‌های هرز جلوگیری کنند، درحالی‌که لیمون از جمله ترکیباتی بود که اثرات علف‌کشی نشان نداد (Azirak & Karaman, 2008). اگرچه گروه دیگری از محققان، اثرات بازدارندگی رشد علف‌های هرزی که در مجاورت اسانس به‌دست‌آمده از پوست میوه مرکبات قرار گرفته بودند را ناشی از وجود لیمون در اسانس مرکبات معرفی کردند (Ribeiro & El Sawi et al., 2019 Lima, 2012;). لیمون یک مونوترپن می‌باشد که در گیاهانی غیر از خانواده مرکبات نیز یافت شده و اثرات دگرآسیبی آن به‌صورت جلوگیری از رشد علف‌های هرز ثابت شده است (Miri et al., 2013). از دیگر ترکیبات شناسایی‌شده در پیکر رویشی گیاه شوید، ترکیب آلفا‌فلاندرون می‌باشد. این ترکیب در درخت دارویی *Sassafras albidum* نیز شناسایی شده است. این درخت بومی آمریکای شمالی است که محققان علت رشد یک‌دست و یکپارچه آن را در مناطق رشدیافته، وجود ترکیبات دگرآسیب در ریشه و بقایای برگی این درخت معرفی کرده‌اند. یکی از این ترکیبات، آلفا‌فلاندرون می‌باشد که از جوانه‌زنی و رشد بذور سایر درختان جنگلی جلوگیری می‌کند (Gant & Clebsch, 1975). آلفا‌فلاندرون از جمله ترکیباتی است که در بقایای برگی گیاه اوکالپتوس (*Eucalyptus globulus*) نیز شناسایی شده است و اثر دگرآسیبی آن بر جوانه‌زنی بذر کاهو به اثبات رسیده است (Puig et al., 2018).

وجود فنل‌ها^۲ و فلاونوئیدها^۳ نیز در گیاه شوید گزارش شده است. اصلی‌ترین این ترکیبات در این گیاه شامل اسیدگالیک^۴ و کاتچین^۵ می‌باشد (Al-Snafi, 2014). ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها جزء ترکیبات دگرآسیب طبقه‌بندی می‌شوند و گروه مهمی از این ترکیبات را تشکیل می‌دهند. این ترکیبات به‌دلیل داشتن جایگاه‌های فعال و متنوع، توانایی به‌کارگیری در ساخت علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها را دارند و از آن‌ها به‌صورت صنعتی در راستای تولید آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها استفاده می‌شود (Li et al., 2010). اثرات دگرآسیبی کاتچین، به‌صورت علف‌کشی گزارش شده است. این ترکیب از طریق افزایش تولید رادیکال‌های آزاد منجر به مرگ سلول‌ها می‌گردد (Bais & Kaushik, 2010).

از دیگر گیاهانی که در این تحقیق اثرات دگرآسیبی شدیدی به‌صورت بازدارندگی رشد نشان داد، پیکر رویشی گیاه کنگر فرنگی بود. گزارش‌هایی پیرامون اثرات دگرآسیبی این گیاه بر جلوگیری از رشد برخی از علف‌های هرز ارائه شده است (Scavo et al., 2018; Chinchilla et al., 2014). کاربرد عصاره حاصل از پیکر رویشی این گیاه، اثر بازدارندگی بر جوانه‌زنی و رشد شش گونه علف‌هرز نشان داشت. محققان رابطه مستقیمی بین غلظت عصاره این گیاه و شدت مهار علف‌های هرز گزارش کردند. همچنین نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که میزان اثرگذاری عصاره این گیاه تحت تأثیر گونه علف‌هرز نیز قرار می‌گیرد. محققان، شناسایی ترکیبات دگرآسیب موجود در این گیاه را در راستای فرموله کردن علف‌کش‌های جدید بسیار امیدوارکننده توصیف کرده‌اند (Scavo et al., 2018). بیش از دو درصد برگ‌های این گیاه را ترکیبات فنلی تشکیل می‌دهند که عمدتاً شامل اسید کلروژنیک^۶، سینارین^۷ و اسید کافئیک^۸ می‌باشد (Miri et al., 2013). ترکیبات فنلی باعث افزایش نفوذپذیری غشاء شده و به‌دنبال آن محتویات درون سلول به خارج آن ترواش کرده و در نتیجه منجر به افزایش پراکسیداسیون غشاء سلولی می‌شود و در نهایت رشد بافت‌های گیاهی کاهش یافته و منجر به مرگ گیاه می‌شود. این ترکیبات همچنین مانع جذب مواد غذایی از محیط اطراف ریشه شده و از رشد طبیعی گیاه جلوگیری می‌کنند. ترکیبات فنلی با ایجاد تغییر در ساختار سلول‌ها، از تقسیم سلولی ممانعت کرده و در نتیجه مانع طویل شدن ریشه گیاهان می‌شوند. *Delonix regia* از جمله درختان زینتی است که محققان ویژگی‌های دگرآسیبی بسیار قوی مشاهده‌شده در آن را ناشی از وجود ترکیبات فنلی می‌دانند. از جمله این ترکیبات می‌توان به اسیدکافئیک اشاره کرد. اخیراً در برخی از مطالعات گزارش شده است که ترکیبات فنلی می‌توانند از غشاء سلولی عبور کرده و بر فعالیت برخی از آنزیم‌ها اثرگذار باشند. اسیدکافئیک از جمله ترکیباتی است که از فعالیت آنزیم فسفوریلاز^۹ ممانعت می‌کند. این ترکیب در غلظت بسیار پایین باعث افزایش تولید رادیکال‌های آزاد و در نتیجه تغییر در فعالیت برخی از آنزیم‌ها می‌گردد که در نتیجه باعث کاهش ریشه‌زایی و توقف رشد ریشه در گیاه می‌شود (Li et al., 2010). از دیگر ترکیبات شناسایی‌شده در گیاه کنگر فرنگی، اسید کلروژنیک می‌باشد، این ترکیب نیز از جمله ترکیبات فنلی است که در لیست ترکیبات دگرآسیب قرار دارد (Miri et al., 2013).

6- Chlorogenic acid
7- Cynarin
8- Caffeic acid
9- Phosphorylase

1- Carvacrol
2- Phenols
3- Flavonoids
4- Gallic acid
5- Catechin

بود که حتی استفاده از هورمون‌های محرک جوانه‌زنی از جمله اسید جیبرلیک (GA_3) و بنزیل‌آدنین (BA) نیز نتوانستند بذره‌های کاهو را به جوانه‌زنی تحریک کنند (Juntilla, 2006). اثرات دگرآسیبی گیاه گلپر به‌صورت نمادندکشی نیز گزارش شده است. محققان قدرت نمادندکشی این گیاه را به وجود کومارین‌ها نسبت داده‌اند (Wang et al., 2008). بقایای رویشی گیاه جعفری از دیگر نمونه‌های گیاهی بود که در این تحقیق اثرات بازدارندگی نسبتاً شدیدی بر رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه دانه‌ها کاهو نشان داد. محققان اثرات علف‌کشی این گیاه بر علف‌هرز *Lippidium draba* را به اثبات رسانده‌اند (Ravlic et al., 2014). گیاه جاشیر که در این تحقیق اثر دگرآسیبی آن به‌صورت ممانعت‌کنندگی از رشد دانه‌ها کاهو با روش ساندویچ به اثبات رسید، اثرات علف‌کشی و قارچ‌کشی آن در دو مرحله رویشی و زایشی نیز توسط سایر محققان به اثبات رسیده است. محققان گزارش کردند که آلفا پاین^۴ از جمله ترکیباتی است که در این گیاه در مرحله رویشی در ایجاد پدیده دگرآسیبی نقش داشته و همچنین ترکیب آنتول^۵ در مرحله زایشی در ایجاد این پدیده مؤثر است (Razavi, 2012). از جمله نمونه‌های گیاهی که در این تحقیق به‌عنوان آللوپات قوی معرفی شد، برگ گیاه کلم بود. کلم متعلق به خانواده Brassicaceae می‌باشد. در حال حاضر، اثرات دگرآسیبی چندین گونه متعلق به این جنس گزارش شده است. محققان قدرت علف‌کشی گیاهان این جنس را وابسته به ترکیب ایزوتیوسیانات^۶ معرفی کرده‌اند (Uremis et al., 2009). گیاه ازمک که در این تحقیق جزء گیاهان دگرآسیب معرفی شده است، به‌عنوان یک علف‌هرز شناخته می‌شود و حاوی ترکیبات دگرآسیبی است که در ایجاد اثرات علف‌کشی نقش دارند (Miri et al., 2013). محققان ثابت کردند که پیکره رویشی اندام‌های هوایی این گیاه در مقایسه با ریشه‌ها، قدرت دگرآسیبی قوی‌تری دارند و از رشد گیاه زراعی *Hordeum vulgare* ممانعت می‌کنند. نتایج این گزارش پیشنهاد می‌کند که با توجه به اینکه میزان بازدارندگی رشد حاصل از بقایای این گیاه به‌شدت وابسته به غلظت عصاره حاصل از آن می‌باشد، بنابراین جمع‌آوری بقایای این علف‌هرز از سطح مزارع قبل از کشت در افزایش درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهان زراعی مؤثر می‌باشد (Azadbakht et al., 2018). علف هرز سلمک، علف قناری، پیچک‌صحرایی و نیلوفر از دیگر علف‌های هرزی بودند که در این تحقیق با استفاده از روش ساندویچ اثرات دگرآسیبی آن‌ها به‌صورت بازدارندگی رشد، ثابت شد. محققان ترکیبات فنلی موجود در علف قناری را مسئول ایجاد قدرت تهاجمی آن معرفی کرده‌اند. از

لوتولین^۱ و آپی‌جینین^۲ نیز از جمله ترکیبات فنلی شناخته‌شده در این گیاه می‌باشند (Zhu et al., 2004). محققان اثرات دگرآسیبی این دو ترکیب را بر جوانه‌زنی بذر کاهو بررسی کرده‌اند. آن‌ها گزارش کردند که آپی‌جینین اثر دگرآسیبی را به‌صورت بازدارندگی نشان می‌دهد، درحالی‌که لوتولین اثر بازدارندگی نداشت (Liu et al., 2011).

برگ‌های گیاه نرگس یکی از ۱۳ نمونه گیاهی است که در خوشه ۴ قرار گرفت. این نمونه گیاهی اثرات بازدارندگی نسبتاً شدیدی بر رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه دانه‌ها کاهو اعمال کرد. اثرات دگرآسیبی برگ و پیاز این گیاه در تحقیقی آزمایشگاهی-گلخانه‌ای به اثبات رسیده است. نتایج این تحقیق نشان داد که عصاره آبی حاصل از برگ و پیاز این گیاه می‌تواند از جوانه‌زنی بذور و رشد دو گونه علف هرز *Agropyron repens* و *Avena fatua* ممانعت کند. طول ریشه، ارتفاع بوته و میزان کلروفیل در این علف‌های هرز تحت تأثیر غلظت عصاره حاصل از گیاه نرگس قرار گرفت (Bayat et al., 2020). پیاز این گیاه حاوی آلکالوئید نارسیکلاسن^۳ می‌باشد که می‌تواند با تأثیرگذاری بر روی ناقلین هورمون‌های گیاهی از قبیل هورمون اکسین، بر مقدار هورمون‌های موجود در گیاهان مؤثر واقع شده و بدین طریق اثرات دگرآسیبی به‌صورت علف‌کشی ایجاد کند (Hu et al., 2015). با خوشه‌بندی اثرات دگرآسیبی حاصل از گیاهان بررسی‌شده در این تحقیق، بذر گیاه کرفس نیز در خوشه ۴ قرار گرفت. همان‌طور که ذکر شد، این خوشه اثرات بازدارندگی نسبتاً شدیدی بر دانه‌ها کاهو داشت. اثرات دگرآسیبی این گیاه در سال ۱۹۹۲ به اثبات رسیده است. محققان نشان دادند که بقایای رویشی شامل برگ‌ها و ریشه کرفس در شرایط مزرعه‌ای از جوانه‌زنی بذر و رشد گیاه کاهو ممانعت می‌کند و در ایجاد اثرات دگرآسیبی به‌صورت علف‌کشی نقش دارد. عواملی از جمله بافت خاک، نوع اندام و مقدار بقایای گیاه کرفس در اثربخشی دگرآسیبی این گیاه مؤثر می‌باشد (Shilling et al., 1992). در تحقیق حاضر، بقایای برگی گیاه گلپر نیز اثرات بازدارندگی نسبتاً شدیدی بر رشد دانه‌ها کاهو نشان داد. نتایج این تحقیق بر نتایج حاصل از تحقیق جونتیل (۲۰۰۶) منطبق است. نتایج این تحقیق نشان داد که چنانچه بذره‌های کاهو و بذره‌های گلپر در یک پتری‌دیش در کنار هم برای جوانه‌زنی قرار گیرند، جوانه‌زنی بذور کاهو کاهش یافته و چنانچه در مواردی جوانه‌زنی صورت گیرد نیز طول ریشه‌چه و ساقه‌چه دانه‌های کاهو به‌شدت کاهش خواهد یافت. مهار جوانه‌زنی در بذره‌های کاهو به حدی شدید

4- α -pinene
5- Anethol
6- Isotiosianat

1- Luteolin
2- Apigenin
3- Narciclasin

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که پیکر رویشی گیاه شوید و کنگرفرنگی، بیشترین بازدارندگی رشد را بر دانه‌های کاهو اعمال کردند. برگ‌های گیاهان سلمک، جاشیر، ازمک، جعفری، گل میخک، پیچک‌صحرایی، نرگس، گلپر، زنگوله‌ای رنگین، علف‌قناری، کلم، نیلوفر و بذر گیاه کرفس نیز بازدارندگی نسبتاً شدیدی داشتند. بقایای برگ‌های گیاهان هوفاریقون و گل‌راعی دهیمی و صمغ مصطکی، رشد دانه‌های کاهو را به‌شدت تحریک کردند. برگ‌های گیاه گل‌گندم طلایی و سرو، اثرات دگرآسیبی را هم به‌صورت تحریک‌کنندگی و هم به‌صورت بازدارندگی رشد نشان دادند. انطباق نتایج حاصل از این تحقیق با یافته‌های سایر محققان، بیانگر دقت روش ساندویچ در شناسایی گیاهان دگرآسیب و بررسی ویژگی‌های دگرآسیبی آن‌ها می‌باشد. با این مزیت که با مصرف حداقل نمونه گیاهی در بازه زمانی کوتاه، ویژگی دگرآسیبی تعداد زیادی گیاه را می‌توان در مقایسه با سایر روش‌ها ارزیابی کرد. به‌طور کلی با توجه به اثرات فیتوتوکسینی گیاهان معرفی‌شده در این گزارش، لازم است در آینده تحقیقاتی در زمینه شناسایی دقیق نوع مواد دگرآسیب موجود در این گیاهان انجام شود.

سپاسگزاری

بدینوسیله نویسندگان این مقاله از جناب آقای مهندس محمدرضا جوهرچی، عضو هیأت علمی هرباریوم دانشگاه فردوسی مشهد بابت همکاری صمیمانه در زمینه شناسایی گیاهان مورد استفاده در این تحقیق از منظر گیاهشناسی، تأیید اسامی فارسی و انطباق آن‌ها با اسامی علمی تشکر و قدردانی می‌نمایند.

جمله عواملی که بر میزان این ترکیبات و در نتیجه قدرت بازدارندگی آن مؤثر بود، مرحله رشدی این علف‌هرز معرفی شد. نتایج این گروه تحقیقاتی نشان داد که علف‌قناری در مراحل اولیه رشد، ترکیبات فنلی کمتری به خاک اضافه می‌کند، درحالی‌که با افزایش سن، میزان این ترکیبات و در نتیجه قدرت دگرآسیبی و قدرت تهاجمی آن افزایش می‌یابد (Inderjit & Dakshini, 1998). اثر دگرآسیبی عصاره آبی حاصل از بقایای رویشی این علف‌هرز بر جوانه‌زنی بذر تربچه (*Raphanus sativus* var. *radicula*) در آزمایشگاه بررسی شده است. نتایج این تحقیق حاکی اثرات دگرآسیبی به‌صورت بازدارندگی از جوانه‌زنی بذور و رشد دانه‌های تربچه می‌باشد (Zandi et al., 2018). نتایجی از اثرات دگرآسیبی علف‌هرز سلمک نیز توسط محققان گزارش شده است. وجود ترکیبات دگرآسیب در این گیاه تأیید شده و علت قدرت تهاجمی مشاهده‌شده در این علف‌هرز، مرتبط با وجود این ترکیبات می‌باشد (Reinhardt et al., 2013). در یک آزمایش گلدانی، اثرات دگرآسیبی عصاره آبی حاصل از بقایای رویشی این علف‌هرز بر شاخص‌های رشدی گیاه گندم (*Triticum aestivum*) شامل ارتفاع بوته، تعداد پنجه، طول سنبله و عملکرد دانه بررسی شد. نتایج نشان داد که کاربرد عصاره این علف‌هرز در غلظت‌های پایین (۲۵ درصد)، اثر محرک بر صفات مذکور داشته، درحالی‌که غلظت‌های بالا (۵۰ و ۷۵ درصد) باعث سرکوب این شاخص‌ها گردید (Majeed et al., 2012). ویژگی دگرآسیبی علف‌های هرز پیچک‌صحرایی و نیلوفر نیز توسط سایر محققان تأیید شده است. قدرت تهاجمی این گیاهان و ممانعت از رشد گیاهان زراعی به‌وجود ترکیبات دگرآسیب مرتبط می‌باشد (Gao et al., 2010; Golubanova & Ilieva, 2014).

References

1. Akhova, L.S., Musienko, M.M., & Shakun, M. (2000). The activity of deltoside saponin form *Allium nutans* in model system. *Allelopathy Journal*, 7(1), 99-104.
2. Al-Snafi, A.E. (2014). The pharmacological importance of *Anethum graveolens* review. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6(4), 11-13.
3. Amini, S., Azizi, M., Joharchi, M.R., & Moradinezhad, F. (2016). Evaluation of allelopathic activity of 68 medicinal and wild plant species in iran by sandwich method. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 3(2), 243-253. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2016.62923>
4. Amini, S., Hemmati, Kh., & Norouzi, H. (2018). Evaluation of allelopathic effects in some plant species by sandwich method. *International Journal of Plant Protection*, 32(1), 91-99. (In Persian with English abstract)
5. Azadbakht, A., Fesahat, A., & Seyed, M. (2018). Evaluation of germination characteristics and growth of barley (*Hordeum vulgare*) under the allelopathic effects of aqueous extracts of leaves and roots of weed pimperweed (*Lepidium draba* L.). *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 14(1), 49-61.
6. Azirak, S., & Karaman, S. (2008). Allelopathic effect of some essential oils and components on germination of weed species. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B*, 58(1), 88-92. <http://dx.doi.org/10.1080/09064710701228353>
7. Bais, H.P., & Kaushik, S.H. (2010). Catechin secretion and phytotoxicity. *Communicative & Integrative Biology*, 3(5), 468-470. <http://dx.doi.org/10.4161/cib.3.5.12559>

8. Bais, H.P., Vepachedu, R., Gilroy, S., Callaway, R.M., & Vivanco, J.M. (2003). Allelopathy and exotic plant invasion: from molecules and genes to species interactions. *Science*, 301, 1377–1380. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1083245>
9. Bayat, H., Naseri Moghaddam, A., & Aminifard, M.H. (2020). Allelopathic effects of narcissus (*Narcissus tazetta* L.) extract on germination, growth and physiological characteristics of couch grass (*Agropyron repens*) and wild oat (*Avena fatua*). *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 6(4), 457–469. (In Persian with English abstract). <http://dx.doi.org/10.22124/jms.2020.3925>
10. Chinchilla, N., Duraan, A.G., Carrera, C., Ayuso, J., & Macias, F.A. (2014). Operation allelopathy: an experiment investigating an alternative to synthetic. *Agrochemicals*, 91, 570–574. <http://dx.doi.org/10.1021/ed4000074>
11. De' Albuquerque, M.B., Santos, R.C.D., & Ima, L.M. (2011). Allelopathy an alternative tool to improve cropping systems a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 31, 379–395. <http://dx.doi.org/10.1051/agro/2010031>
12. Dorina, B. (2019). Allelopathic potential of dill on germination and growth parameters of maize seedlings. *Annals of the University of Craiova – Agriculture, Montanology, Cadastre Series*, XLIX, 50–55.
13. El Sawi, S.A., Ibrahim, M.E., El-Rokiek, K.G., & El-Din, S.A.S. (2019). Allelopathic potential of essential oils isolated from peels of three citrus species. *Annals of Agricultural Sciences*, 64(1), 89–94. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aos.2019.04.003>
14. El-Khatib, A.A., Hegazy, A.K., & Gala, H.K. (2004). Does allelopathy have a role in the ecology of *Chenopodium murale*? *Annales Botanici Fennici Journal*, 41, 37–45.
15. Fujii, Y., & Hiradate, S. (2007). Allelopathy New Concepts and Methodology. Science Publisher, USA, 398 p.
16. Fujii, Y., Parvez, S.H. Parvez, M.M., Ohmae, Y., & Iida, O. (2003). Screening of 239 medicinal plant species for allelopathic activity using the sandwich method. *Weed Biology and Management*, 3, 233–241. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1444-6162.2003.00111.x>
17. Gant, R.E., & Clebsch, E.E.C. (1975). The allelopathic influences of *Sassafras albidum* in old-field succession in tennessee. *Journal of Ecology*, 56(3), 604–615. <http://dx.doi.org/10.2307/1935494>
18. Gao, R.Y., Shi, L.R., & Guo, X.L. (2010). Study on allelopathic effects of *Ipomoea Purpurea* on wheat seeds. *Journal of Triticeae Crops*, 6, 1132–1134.
19. Golubanova, I., & Ilieva, A. (2014). Allelopathic effects of water extracts of *Sorghum halepense* (L.) Pers *Convolvulus arvensis* L and *Cirsium arvense* Scop on early seedling growth of some leguminous crops. *Pesticides and Phytomedicine*, 29(1), 35–43. <http://dx.doi.org/10.2298/pif1401035g>
20. Hu, Y., Na, X., Li, J., Yang, L., You, J., Liang, X., Wang, J., Peng, L., & Bi, Y. (2015). Narciclasine a potential allelochemical affects subcellular trafficking of auxin transporter proteins and actin cytoskeleton dynamics in *Arabidopsis* roots. *Planta*, 242(6), 1349–1360. <http://dx.doi.org/10.1007/s00425-015-2373-6>
21. Ilori, O.J., & Ilori, O.O. (2012). Allelochemicals: Types activities and usage in pest control. *Science Education*, 3(1), 106–110.
22. Inderjit, & Dakshini, K.M.M. (1998). Allelopathic interference of chickweed *Stellaria media* with seedling growth of wheat (*Triticum aestivum*). *Canadian Journal of Botany*, 76(7), 1317–1321. <http://dx.doi.org/10.1139/b98-159>
23. Juntilla, O. (2006). Allelopathy in *Heracleum laciniatum*: Inhibition of lettuce seed germination and root growth. *Physiologia Plantarum*, 33(1), 22–27. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1399-3054.1975.tb03758.x>
24. Khan, S., Shinwari, M.I., Ali, Kh.W., Rana, T., Kalsoom, S., & Khan, S.A. (2019). Allelopathic potential of 73 weed species in Pakistan. *Revista de Biología Tropical*, 67(6), 1418–1430. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v67i6.34787>
25. Li, Zh., Wang, Q., Ruan, X., Pan, C.D., & Jiang, D.A. (2010). Phenolics and plant allelopathy. *Molecules*, 15, 8933–8952. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules15128933>
26. Liu, Y., Zhang, Ch., Wei, Sh., Cui, H., & Huang, H. (2011). Compounds from the subterranean part of Johnson grass and their allelopathic potential. *Weed Biology and Management*, 11(3), 160–166. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1445-6664.2011.00416.x>
27. Macias, F.A., Galindo, J.C.G., & Molinillo, J.M.G. (2003). Allelopathy: Chemistry and Mode of Action of Allelochemicals. CRC Press, United States, 410 p.
28. Majeed, A., Chaudhry, Z., & Muhammad, Z. (2012). Allelopathic assessment of fresh aqueous extracts of *Chenopodium album* L. for growth and yield of wheat (*triticum aestivum* l.), *Pakistan Journal of Botany*, 44(1), 165–167.
29. Messiha, N.K., Ahmed, S.A.A., El-Masry, R.R., & El-Dabaa, M.A.T. (2024). The allelopathic influence of *Anethum graveolens* seed powder in controlling *Orobanche crenata* infesting *Vicia faba* and its effect on the crop growth and yield. *Journal of Crop Protection*, 13(4), 361–371. <https://doi.org/10.48311/jcp.2024.1678>
30. Miri, A., Sharifi Rad, J., Sharifi Rad, M., & Teixeira da Silva, J.A. (2013). Allelopathic activity of medical plant *Cardaria draba* (*Lepidium draba* L.). *Annals of Biological Research*, 4(6), 76–79.

31. Ofosu, R., Agyemang, E.D., Marton, A., Paztor, G., Taller, J., & Kazinczi, G. (2023). Herbicide resistance: Managing weeds in a changing world. *Agronomy*, 13(6), 1-16. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy13061595>
32. Pakhshan, M., & Maulood Shireen, A.A., (2012). The Allelopathic effect of dill plant (*Anethum graveolens* L.) residues on the growth and chemical content of two types of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. *Journal of Cell Science*, 23(3), 1-12.
33. Puig, C.G., Goncalves, R., Valentao, P., Andrade, P., Roger, M.R., & Pedrol, N. (2018). The consistency between phytotoxic effects and the dynamics of allelochemicals release from *eucalyptus globulus* leaves used as bioherbicide green manure. *Journal of Chemical Ecology*, 44(5), 658-670. <http://dx.doi.org/10.1007/s10886-018-0983-8>
34. Rashed Mohassel, M., & Musavi, S.K. (2006). Weed Management Principles, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 566 p. (In persian).
35. Ravlic, M., Balicevic, R., & Lucic, I. (2014). Allelopathic effect of parsley (*Petroselinum crispum* Mill) cogermination water extracts and residues on hoary cress (*Lepidium draba* (L) Desv). *Journal Poljoprivreda/Agriculture*, 20(1), 22-26.
36. Razavi, S.M. (2012). Chemical composition and some allelopathic aspects of essential oils of (*Prangos ferulacea* L. Lindl) at different stages of growth. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14, 349-356.
37. Reinhardt, C.F., Meissner, R., & Wyk, L.J.V. (2013). Allelopathic effects of *Chenopodium album* L and *Chenopodium polyspermum* L. on another weed and two crop species. *South African Journal of Plant and Soil*, 14, 165-168. <http://dx.doi.org/10.1080/02571862.1997.10635102>
38. Ribeiro, J.P.N., & Lima, M.I.S. (2012). Allelopathic effects of orange (*Citrus sinensis* L.) peel essential oil. *Acta Botanica Brasiliica*, 26(1), 256-259. <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-33062012000100025>
39. Scavo, A., Restuccia, A., Pandino, G., Onofri, A., & Mauromicale, G. (2018). Allelopathic effects of *Cynara cardunculus* L. leaf aqueous extracts on seed germination of some Mediterranean weed species. *Italian Journal of Agronomy*, 13(2), 119-125. <https://doi.org/10.4081/ija.2018.1021>
40. Sharopov, F.S., Wink, M., Gulmurodov, I.S., Isupov, S.J., Zhang, H., & Setzer, W.N. (2013). Composition and bioactivity of the essential oil of *Anethum graveolens* L. from tajikistan. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 3(2), 125-130.
41. Shilling, D.G., Dusky, J.A., Mossier, M.A., & Bewick, T.A. (1992). Allelopathic potential of celery residues on lettuce. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(2), 308-312. <http://dx.doi.org/10.21273/jashs.117.2.308>
42. Uremis, I., Arslan, M., Uludag, A., & Kemal Sangun, M. (2009). Allelopathic potentials of residues of 6 *Brassica* species on johnson grass (*Sorghum halepense* (L) Pers). *American Journal of Botany*, 8(15), 3497-3501.
43. Vokk, R., Lougas, T., Mets, K., & Kravets, M. (2011). Dill (*Anethum graveolens* L) and parsley (*Petroselinum crispum* (Mill) Fuss) from Estonia: Seasonal differences in essential oil composition. *Agronomy Research*, 9, 515-520.
44. Wang, X.B., Li, G.H., Li, L., Zheng, L.J., Huang, R., & Zhang, K.Q. (2008). Nematicidal coumarins from *Heracleum candicans*. *Natural Product Research*, 22(8), 666-671. <http://dx.doi.org/10.1080/14786410701766463>
45. Zandi, P., Barabasz-Krasny, B., Stachurska-Swakon, A., Pula, J., & Mozdzen, K. (2018). Allelopathic effects of *Stellaria media* (L.) Vill. on germination and early stages of growth of *Raphanus sativus* var. *Radicula*. *Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis Studia Naturae*, 3, 90-99.
46. Zhao, Y., Yang, Y.H., Wang, K.B., Fan, L.M., Su, F.W., & Ye, M. (2020). Chemical composition and allelopathic potential of essential oil isolated from *Origanum vulgare*. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*, 31(7), 2257-2263. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202007.032>
47. Zhu, X., Zhang, H., & Lo, R. (2004). Phenolic compounds from the leaf extract of artichoke (*Cynara scolymus* L) and their antimicrobial activities bottom of form. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(24), 7272-7278. <http://dx.doi.org/10.1021/jf0490192>

Supplementary LED Light Impact (type and duration) on Some Physiological Traits and Hypericine content of *Hypericum perforatum*

E. Ghafourian Hozouri Esfahan^{1,2}, M. Azizi^{1,2*}

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

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

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

How to cite this article:

Received: 24 June 2019

Revised: 15 February 2023

Accepted: 10 March 2021

Available Online: 10 March 2021

Ghafourian Hozouri Esfahan, E., & Azizi, M. (2026). Supplementary LED light impact (type and duration) on some physiological traits and hypericine content of *Hypericum perforatum*. *Journal of Horticultural Science*, 39(4), 611-629. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2021.61538.0>

Introduction

Medicinal plants are very important in modern healthcare, and the demand for them continues to grow. However, greenhouse production of medicinal plant transplants faces several challenges, including limited light availability. LED lighting has been introduced as a solution to this problem. An LED lamp, or LED light bulb, is an electric light used in fixtures that produces illumination through one or more light-emitting diodes (LEDs). LED lamps have a lifespan many times longer than equivalent incandescent lamps, and are significantly more efficient than most fluorescent lamps. Experiments revealed surprising performance and production of vegetables and ornamental plants under LED light sources. Many plant species have been assessed in greenhouse trials to make sure that the quality of biomass and biochemical ingredients of such plants is at least comparable with those grown in field conditions. Plant performance of mint, basil, lentil, lettuce, cabbage, parsley, and carrot was evaluated by assessing overall plant health, vigor, and the effectiveness of LED lighting in promoting growth. Profuse flowering was also observed in selected ornamental species, including primula, marigold, and stock.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of supplementary LED light on the growth parameters and the amount of active ingredient in *Hypericum perforatum* L. "Topaz" cultivar, a research was conducted as two independent experiments. The research was set up in a completely randomized design with three replications. The first experiment experienced the extended of day length with 4 hours at the end of the day (started from sunrise to sunset). LED treatments were started at 10 cm height of the transplants. The second experiment examined the light types. In this order the considered treatments consisted of four levels of red light (L_1), blue light (L_2), combination of 67% red light and 33% blue light (L_3), white (L_4), 100% natural light (L_5), with an intensity equal to (200 fc). Measurement of traits in the first experiment was carried out at flowering stage. Shoots fresh and dry weights, number of black nodes, days to flowering, leaf area, total chlorophyll, antioxidant activity, total phenol, plant height and hypericine percentage were determined within both experiments.

Results and Discussion

The results showed that the simple effect of supplementary combination red and blue light (started from sunrise to sunset) on growth, morphological, physiological and biochemical traits was significant at 1% probability level. The highest plant dry weight was detected in L_3 in the first and second harvests respectively (8.63 g, 66.29 g). Also, the highest percentage of Hypericine in the first harvest was obtained for L_3 (0.17%). Measurement of the traits in the second experiment was carried out at the seedling stage. Results showed that the



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2021.61538.0>

simple effect of supplementary combination light (sun exposure and day length increased for 4 hours) had a significant effect ($p \leq 0.01$) on growth rate, physiological, morphological and biochemical properties. So that the lowest number of days to flowering (early flowering) was obtained from L₃ treatment (101 day), and the highest percentage of Hypericin was related to L₃ treatment (0.156%). Black node numbers and total phenol content were increased by 27 and 53 % with supplementary light treatments respectively. Antioxidant activity was also raised and enhanced from 33 % to 75 % with LED light application. Plant height and total chlorophyll content were enhanced from 13 to 23 cm and 12 to 22 mg/g FW as well. Regarding studied traits and the obtained results of the both experiments, the positive effect of applying LED light, red and blue on the growth and biochemical properties, especially the Hypericine percentage and yield of St. John's wort is quite evident. Different reactions were observed in response to supplementary light treatments for St. John's wort. Most of the enhancements observed were mainly due to optimized photosynthesis activities and more metabolic production processes.

Conclusion

Regarding studied traits and the obtained results of the both experiments, the positive effect of applying LED light, red and blue on the growth and biochemical properties, especially the Hypericine percentage and yield of St. John's wort is quite evident. It seems that a combination of red and blue light could be suggested for solving the light limitations and increasing the medicinal plant production for future.

Keywords: Supplementry light, light quality, *Hypericum perforatum*, Hypericine

اثر نور تکمیلی (طیف و طول دوره نوردهی) LED بر برخی از صفات فیزیولوژیکی و میزان هایپریرسین در گل راعی (*Hypericum perforatum* L.)

الهه غفوریان حضوری اصفهان^{۱,۲} - مجید عزیزی^{۱,۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۰

چکیده

به منظور بررسی تأثیر نور مکمل LED، بر خصوصیات رشدی و میزان ماده مؤثره در گیاه دارویی گل راعی (*Hypericum perforatum* L.) رقم توپاز، تحقیقی در قالب دو آزمایش مستقل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی اجرا شد. در هر دو آزمایش، تأثیر چهار طیف نوری توأم با نور خورشید شامل نور قرمز (L_1)، آبی (L_2)، ۶۷ درصد نور قرمز و ۳۳ درصد نور آبی (L_3)، سفید (L_4)، ۱۰۰ درصد نور طبیعی (L_5)، با شدت مساوی به میزان ۲۰۰ فوت شمع با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر نور مکمل (از طلوع تا غروب خورشید) بر صفات رشدی و بیوشیمیایی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. بیشترین وزن خشک بوته به ترتیب در برداشت اول و دوم مربوط به تیمار L_3 (۸/۶۳۸ گرم و ۶۶/۹۲۳ گرم) بود. همچنین بیشترین درصد هایپریرسین در برداشت اول مربوط به نور ترکیبی (تیمار L_3) و برابر ۰/۱۷ درصد براساس وزن خشک به دست آمد. در آزمایش دوم، نور تکمیلی پس از غروب خورشید به منظور افزایش طول روشنایی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر طیف های نور مکمل (به مدت چهار ساعت افزایش طول روز) تأثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد بر صفات رشدی و بیوشیمیایی داشت. کمترین تعداد روز تا گل دهی مربوط به تیمار L_3 (۱۰۱ روز) به دست آمد که در مقایسه با شاهد شش روز زودتر بود. همچنین بیشترین میزان هایپریرسین مربوط به تیمار L_3 (۰/۲۶ درصد) بود. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، تأثیر مثبت نور LED به ویژه طیف ترکیبی نور قرمز و آبی بر خصوصیات رشدی و بیوشیمیایی و میزان هایپریرسین در گیاه دارویی گل راعی کاملاً مشهود بود و بنابراین می توان از این تیمار برای بهبود کیفیت این گیاه مورد استفاده در صنایع داروسازی استفاده نمود.

واژه های کلیدی: طول روز، کیفیت نور، گل راعی، مواد مؤثره، LED

مقدمه

گیاهان دارویی طی قرون متمادی تنها منبع قابل دسترس بشر جهت درمان بوده و تا چند دهه اخیر به عنوان منبع اصلی تأمین دارو در نظر گرفته می شدند (Arrieta et al., 2001). در حال حاضر نیز در برخی از کشورها، بخش پراهمیت سیستم درمانی به شمار آمده و مصرف آن ها نیز در مقایسه با سایر داروهای شیمیایی رونق افزون تری دارد (Word Health Organization Review, 1998). تنوع اقلیمی و شرایط اکولوژیک مختلف باعث تنوع و غنای گیاهان دارویی در سراسر ایران شده است. از سویی، مصرف گیاهان دارویی یکی از شاخص های مهم بهداشتی کشورهای پیشرفته نیز محسوب

می گردد. طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی، امروزه بیش از ۸۰ درصد مردم جهان، برای درمان بیماری ها از داروهای گیاهی استفاده می کنند و تقریباً یک چهارم داروهای تهیه شده دنیا دارای منشأ گیاهی هستند (Omid Beigi, 1999).

گل راعی (*Hypericum perforatum* L.) متعلق به تیره گل راعی^۳ می باشد. این خانواده گیاهی شامل ۵۰ جنس و ۱۲۰۰ گونه است. جنس *Hypericum*، بزرگ ترین جنس متعلق به این خانواده است (Azizi & Omid Beigi, 2000a). به طور کلی، گونه های موجود در ایران به پنج جنس *Androsaemum*، *Campylosporus*، *Hypericum*، *Taeniocarpium* و *Hirtella* تعلق دارند (Iran Flora, 2000) و تنها گونه باارزش آن گونه *perforatum* می باشد (Azizi & Omid Beigi, 2000b). از این گیاه در طب سنتی به عنوان ضدالتهاب و ورم برونش ها، درمان آسیب مجاری صفراوی،

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

۲- پژوهشکده گیاهان دارویی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(Email: azizi@um.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/jhs.2021.61538.0>

سرمایه‌گذاری معمولی، میگردن، سردرد، سیاتیک، زخم معده، اگزما، یرقان، مالاریا، به‌طور موضعی جهت بریدگی و سوختگی، عفونت‌های میکروبی و ویروسی و نیز به‌عنوان ضدافسردگی، ادرارآور، ضد درد و ضد عفونی و ترمیم‌کننده زخم استفاده می‌شود (Zargari, 1993; Salehi Sourmaghi, 2007; Bruneton, 1995; Singh & Pal, 2006; Dias, 2003).

ارتباط نزدیکی بین ویژگی‌های نور و تولید متابولیت‌های ثانویه گیاهان دارویی وجود دارد و نقش آن در تولید فرآورده‌های مذکور، در تحقیقات اثبات شده است. فعالیت گیاهان در سنتز متابولیت‌های دارویی، تحت تأثیر وضعیت‌های مختلف نوری تغییر می‌کند. طیف، شدت و مدت روشنایی، هریک به‌تنهایی می‌تواند تأثیر عمده‌ای بر وضعیت متابولیت‌های ثانویه بر جای بگذارد (Omid Beigi, 1999). نور یکی از عوامل مهم در فتوسنتز است، شدت و طیف‌های نوری اثرات مهمی در کیفیت و کمیت، عملکرد و سرعت رشد محصولات کشاورزی دارد (Shakeri & Farzane, 2010). تراکم بالای گیاه در واحد سطح باعث کمبود نور شده و در نتیجه، جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه ضعیف خواهد بود (Currey & Lopez, 2013). نور و درجه حرارت مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر رویش گیاهان دارویی هستند که تأثیر عمده‌ای بر کمیت و کیفیت مواد مؤثره آن‌ها می‌گذارد (Hoenecke et al., 1992). در سال‌های اخیر، لامپ‌های LED به‌عنوان منابع جدید نور برای تولید گیاه در محیط‌های کنترل‌شده و همچنین تحقیقات فیزیولوژی گیاهی مورد توجه قرار گرفته‌اند. از مزیت‌های این لامپ‌ها نسبت به دیگر منابع نوری مرسوم می‌توان به بهره‌وری بالا، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، حجم کم، عمر طولانی، تولید پایین انرژی حرارتی، شدت و کیفیت نوری قابل تنظیم و عاری بودن از اشعه مضر فرابنفش اشاره نمود (Li et al., 2013). کاربرد نور مکمل در فصل زمستان و اوایل بهار موجب افزایش کیفیت محصول می‌شود (Currey & Lopez, 2013). اخیراً پژوهشگران سعی داشته‌اند تا با کاربرد طیف‌های نور LED به‌شکل تک طیف و یا ترکیبی به نتایج خوبی در زمینه پرورش گیاهان دست پیدا کنند. کاهش نور در طول رویش گیاه استاکیس (*Stachys byzantine* K.Koch) سبب کاهش اندازه گل‌ها و در نهایت مقدار اسانس موجود در آن‌ها شده است (Aalipoor et al., 2015). نتایج تحقیقات برنث (Bernath, 2000) نیز نشان داد که فعالیت گیاهان در سنتز متابولیت‌های دارویی تحت تأثیر وضعیت‌های مختلف نوری تغییر می‌کند، به‌طوری‌که در بسیاری از گیاهان افزایش زمان نوردهی باعث افزایش ترکیبات و تغییر در ساختار اسانس می‌شود. در مطالعه‌ای به‌منظور بررسی تأثیر نور بر ویژگی‌های ریخت‌شناختی و تعداد گرهک‌های حاوی هاپیرسین در برگ‌های گیاه گل راعی مشخص گردید که نور به‌عنوان یک عامل محیطی، نقش بسزایی بر این

صفات دارد (Donald & Gawienowski, 2001). همچنین این نوع لامپ‌ها در سیستم‌های عمودی نسبت به سایر لامپ‌ها گزینه بسیار مناسب‌تری می‌باشند (Al-Chalabi, Malek, 2015).

با توجه به رشد روزافزون استفاده از گیاهان دارویی و داروهای گیاهی، ضرورت تولید نشاء گیاهان دارویی با کیفیت و دارای درصد بالایی از مواد مؤثره در شرایط کنترل‌شده احساس می‌شود. به این منظور، تحقیق حاضر با بررسی تأثیر طیف‌های مختلف نور LED و نیز طول مدت تابش آن‌ها همزمان با نور خورشید و یا بعد از غروب خورشید بر خصوصیات رشدی و بیوشیمیایی به‌ویژه میزان مواد مؤثره گیاه دارویی گل راعی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل اجرای طرح

این پژوهش در قالب دو آزمایش مستقل به‌صورت طرح بلوک کامل تصادفی با پنج تیمار نوری و سه تکرار اجرا گردید. آزمایش‌ها به‌صورت گلدانی و انتقال به زمین اصلی جهت بررسی ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاه دارویی گل راعی (*Hypericum perforatum* L. در سال ۱۳۹۶ در گلخانه و زمین تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. متوسط دما ۲۵- ۲۰ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۵۵ درصد، عرض جغرافیایی منطقه ۳۶/۲ درجه شمالی، طول جغرافیایی ۵۹/۴ درجه شرقی و ارتفاع ۹۹۹/۲ متر از سطح دریا بود. ترکیب خاک گلدان‌ها مخلوطی از خاک باغچه، ماسه، خاک برگ و کوکوپیت به نسبت مساوی بود. گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۲۰ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر انتخاب شدند. تیمارهای نوری شامل نور قرمز، نور آبی، ۳۳ درصد نور آبی و ۶۷ درصد نور قرمز، نور سفید و نور طبیعی (شاهد) بود. شدت نور در تمامی مراحل در سطح گیاهان مساوی و برابر با ۲۰۰ فوت شمع بود. صفحات نوری توسط لامپ‌های ال ای دی با قدرت بالا^۱ آماده و بر روی پایه فلزی مستقر گردید. شدت نور با استفاده از دستگاه نورسنج ساخت شرکت MarMonix اندازه‌گیری شد. طول دوره نوردهی در این آزمایش، به‌وسیله یک تایمر (فتوسل) که با طلوع خورشید روشن و با غروب خورشید خاموش شدند، کنترل گردید.

آزمایش اول

جهت بهبود سرعت و درصد جوانه‌زنی، ابتدا بذور گل راعی رقم توپاز به‌مدت ۲۴ ساعت شست‌وشو شدند. سپس بذور با کمی ماسه بادی مخلوط و به‌صورت سطحی در گلدان‌ها کشت و بلافاصله آبیاری شدند. پس از ۱۲ روز جوانه‌زنی صورت گرفت و سپس در

بوته در هر دو برداشت به صورت کرت خردشده در زمان مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

آزمایش دوم

جهت بهبود سرعت و درصد جوانه زنی، ابتدا بذور گل راعی به مدت ۲۴ ساعت شست و شو شدند. سپس بذور با کمی ماسه بادی مخلوط و به صورت سطحی در گلدانها کشت و بلافاصله آبیاری گردید. تیمارهای نوری پس از رسیدن ارتفاع گیاهچه به ۱۰ سانتی متر، اعمال شدند. در این آزمایش با غروب خورشید، لامپها روشن و طول روز به مدت چهار ساعت افزایش پیدا کرد. این گیاهان بعد از سه ماه به زمین اصلی منتقل شدند. در هر کرت به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ سانتی متر، چهار گیاهچه کشت شد.

سطح برگ با استفاده از نرم افزار Image J اندازه گیری شد. برای اندازه گیری صفات ریخت شناختی در مرحله تمام گل، گیاهان از فاصله ۱۰ سانتی متر از سطح زمین برداشت شده و سپس به آزمایشگاه منتقل گردید. برای اندازه گیری وزن تر، بلافاصله نمونه ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند. نمونه های بخش هوایی در اتاق خشک کن در دمای ۲۵ درجه سانتی گرد قرار گرفته و بعد از خشک شدن کامل با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند.

مرحله چهار برگی نشاها به تعداد چهار گیاه در هر گلدان تنک شدند. اعمال تیمارهای نوری پس از رسیدن ارتفاع گیاهچه ها به ۱۰ سانتی متر آغاز شدند. اعمال تیمار نوردهی به مدت ۹۰ روز ادامه یافت و در نهایت در مرحله قبل از گل دهی به زمین اصلی منتقل شدند. قبل از انتقال نشاها به زمین اصلی، نمونه های برگ برای اندازه گیری میزان کلروفیل، کاروتنوئید، ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی اکسیدانی نیز جمع آوری و به آزمایشگاه منتقل شد. در زمین اصلی برای هر تیمار سه کرت به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ سانتی متر آماده گردید و در هر کرت تعداد چهار نشاء کشت شد. آبیاری و مهار علف های هرز به طور معمول در زمین اصلی اعمال شد. اندازه گیری سایر صفات در مرحله گل دهی کامل صورت گرفت. قبل از برداشت، صفاتی مانند ارتفاع بوته، تعداد ساقه گل دهنده در بوته و فاصله میان گره اندازه گیری شد. سپس برداشت در مرحله تمام گل و از فاصله ۱۰ سانتی متر بالاتر از سطح زمین صورت گرفت و بلافاصله پس از انتقال به آزمایشگاه، وزن تر و سطح برگ آنها اندازه گیری شد. سپس نمونه ها در هوای آزاد و دور از نور خورشید خشک شدند و وزن خشک نمونه ها اندازه گیری گردید. نمونه های خشک شده در محلی تاریک و خنک تا زمان اندازه گیری های بیوشیمیایی نگهداری شدند. لازم به ذکر است که با توجه به رشد مجدد گیاهان، برداشت در دو مرحله (چین اول و دوم) صورت گرفت و داده های صفات وزن تر، وزن خشک و ارتفاع



شکل ۱- ترکیبات نوری مورد استفاده در آزمایش

Figure 1- Light combination treatments used in this experiment

۶۶۶ و ۴۷۰ نانومتر و با استفاده از معادله های ۱، ۲، ۳ و ۴ گزارش شد (Dere et al., 1998).

$$\text{Chl a} = 15 \text{ Chl a} = 15.65 A_{666} - 7.340 A_{653} \quad (1)$$

$$\text{Chl b} = 27.05 A_{653} - 11.21 A_{666} \quad (2)$$

$$\text{Chl total} = C_a + C_b \quad (3)$$

$$C_{x+c} = 1000A_{470} - 2.860 C_a - 129.2 C_b / 245 \quad (4)$$

که در آنها، Chl a، Chl b، Chl total، و Cx+c به ترتیب غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید می باشد.

اندازه گیری های فیتوشیمیایی

محتوای کلروفیل: یک گرم نمونه تازه برگ وزن گردید و سپس درون هاون چینی همراه با ۱۰ میلی لیتر متانول ۹۶ درصد کوبیده شد و به درون لوله فالکون منتقل گردید. بعد از سانتریفیوژ نمونه در دور ۲۰۰۰، محلول رویی آن جدا شد و کلروفیل a، b و کاروتنوئید با استفاده از اسپکتروفتومتر به ترتیب در طول موج ۶۵۳

ترکیبات فنلی: برای اندازه‌گیری ترکیبات فنلی از روش فولین سیکالتو استفاده شد (Gao et al., 2000). بدین منظور، ابتدا از نمونه‌های خشک عصاره‌گیری گردید. جذب نمونه‌های عصاره‌گیری‌شده در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت شد. میزان ترکیبات فنلی براساس منحنی استاندارد اسیدگالیک و به‌صورت میلی‌گرم هم‌ارز اسیدگالیک^۱ در هر گرم وزن تر نمونه بیان شد.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی: میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌روش خنثی شدن DPPH تعیین شد. جهت اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی از روش بورتیس و بوکر (Burits & Bucar, 2000) استفاده گردید. قرائت اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر صورت گرفت.

میزان هاپیریسین: جهت تعیین میزان هاپیریسین از روش ارائه‌شده توسط عزیزی و امیدبگی (Azizi & Omid Beigi, 2000b) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه آماری داده‌های حاصل از صفات اندازه‌گیری‌شده با استفاده از نرم‌افزار JMP8 صورت گرفت. برای مقایسه میانگین از آزمون LSD استفاده شد. نمودارها به‌وسیله نرم‌افزار Excel ترسیم گردید.

نتایج و بحث

آزمایش اول

وزن تر بخش هوایی

طیف نور اثر معنی‌داری بر وزن تر بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد در برداشت اول و دوم داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر طیف نور نشان داد که تیمار نوری L_3 (قرمز- آبی) در هر دو برداشت بیشترین و تیمار نوری L_1 (قرمز) کمترین میزان وزن تر بخش هوایی را داشتند (شکل ۲). اثر متقابل طیف نور و زمان برداشت بر میزان وزن تر بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین طیف نور زمان برداشت بر میزان وزن تر بخش هوایی نشان داد که وزن تر (بخش هوایی) برداشت دوم (T_2) نسبت به برداشت اول (T_1) با اختلاف معنی‌دار بیشتر مشاهده شد (شکل ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل طیف نور در زمان برداشت نیز نشان داد که بیشترین میزان وزن تر بخش هوایی با اختلاف معنی‌دار در تیمار L_3T_2 (۱۶۸/۷۲ گرم) به دست آمد (شکل ۲).

کمترین میزان وزن تر بخش هوایی با اختلاف معنی‌دار در تیمار L_1T_1 (۱۵/۴۵ گرم) مشاهده شد (شکل ۲). استفاده از ترکیب نور قرمز

و آبی موجب رشد بهتر گیاه از نظر وزن تر بخش هوایی در مقایسه با کاربرد نور قرمز به‌تنهایی گردید که مشابه نتایج راندال و لوپز (Randall & Lopez, 2014) در گیاه اطلسی (*Petunia*) بود. بیشترین وزن تر گیاه در ترکیب نور LED قرمز و آبی در گیاه داوودی گزارش شد (Kim et al., 2004). در پژوهشی دیگر نیز بیشترین وزن تر کاهو (*Lactuca sativa* L.) رشدیافته تحت تیمار ترکیب نور قرمز و آبی به دست آمد (Johkan et al., 2010).

وزن خشک بخش هوایی

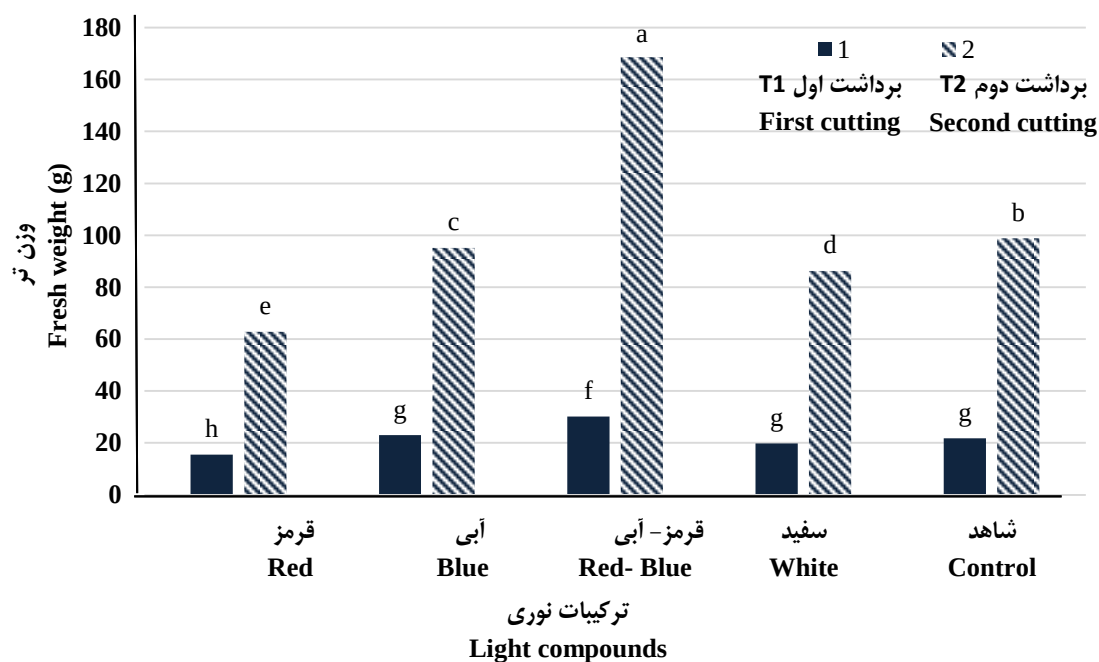
اثر طیف نور بر میزان وزن خشک بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد در برداشت اول و دوم معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین طیف نور طیف نور در برداشت اول و دوم نشان داد که بیشترین وزن خشک بخش هوایی در تیمار L_3 (قرمز- آبی) و کمترین میزان وزن خشک بخش هوایی در تیمار L_1 (قرمز) مشاهده شد (شکل ۳). زمان برداشت نیز اثر معنی‌دار بر میزان وزن خشک بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد داشت، به‌طوری‌که مقایسه میانگین طیف نور زمان برداشت بر میزان وزن خشک بخش هوایی نشان داد که وزن خشک (بخش هوایی) برداشت دوم (T_2) نسبت به برداشت اول (T_1) با اختلاف معنی‌دار بیشتر مشاهده شد (شکل ۳).

اثر متقابل طیف نور و زمان برداشت بر میزان وزن خشک بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (شکل ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل طیف نور و زمان برداشت نشان داد که بیشترین میزان وزن خشک بخش هوایی با اختلاف معنی‌دار در تیمار L_3T_2 (۶۶/۹۲ گرم) و کمترین میزان وزن خشک در تیمار L_1T_1 (۵/۶۹ گرم) مشاهده شد (شکل ۳).

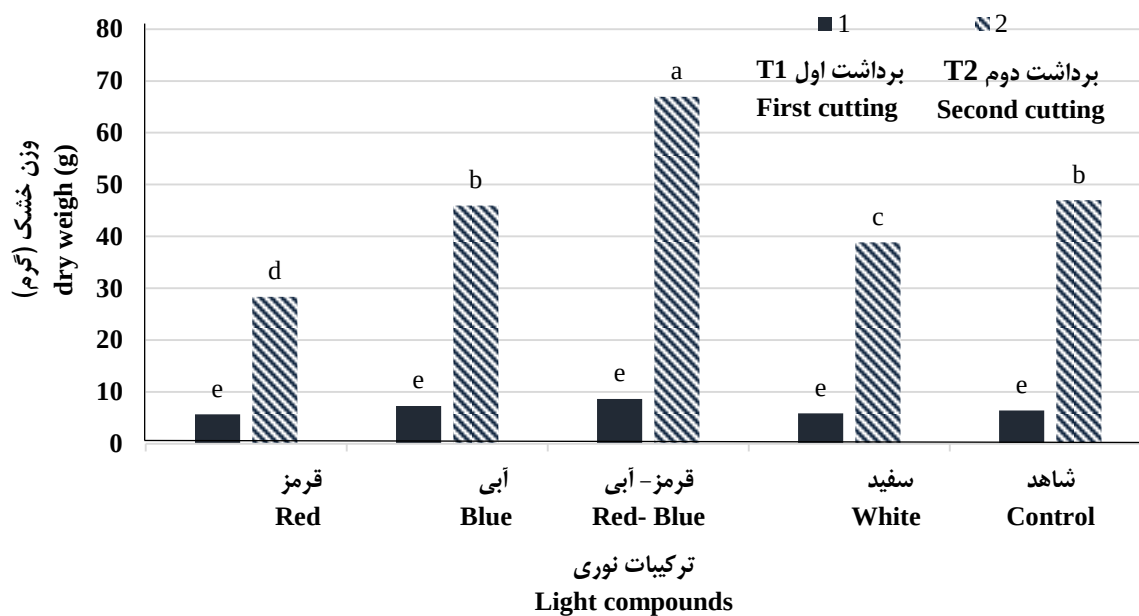
سطح برگ

طیف نور سبب تغییر معنی‌دار سطح برگ در آزمایش اول در سطح احتمال یک درصد شد (جدول ۱). مقایسه میانگین طیف نور بر میزان سطح برگ نشان داد که بیشترین میزان سطح برگ در تیمار نوری L_3 (قرمز- آبی) و کمترین سطح برگ مربوط به تیمار L_1 (قرمز) بود (شکل ۴). افزایش سطح برگ در کاربرد ترکیب نور قرمز و آبی در برگ‌های کاهو، تربچه، سویا، گندم و گیاه رز مطرح شده است (Samuoliene et al., 2011; Terfa et al., Stutte et al., 2009). از مسائل قابل توجه در این آزمایش، بدشکلی برگ‌های گل راعی رشدکرده تحت تیمار نور قرمز (L_1) بود که برگ‌ها ریز و کوچک مانده و رشد گیاه محدود شد، این امر در نتایج مربوط به کمترین میزان سطح برگ کاملاً مشهود است.

1- Galic Acid Equivalent (GAE)



شکل ۲- اثر متقابل طیف نور × زمان برداشت (اول و دوم) در وزن تر بخش هوایی گل راعی در سطح بوته
Figure 2- the interaction effects of light quality ×harvest time on *Hypericum* fresh weigh (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۳- اثر متقابل طیف نور × زمان برداشت بر وزن خشک بخش هوایی گل راعی
Figure 3- The interaction effects of light spectrum ×harvest time on *Hypericum* dry herb weight (LSD, $p \leq 0.05$)

جدول ۱- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات مربوط به تأثیر نور مکمل بر گل راعی در آزمایش اول
Table 1- ANOVA for the *Hypericum perforatum* traits under supplementary light in the first experiment

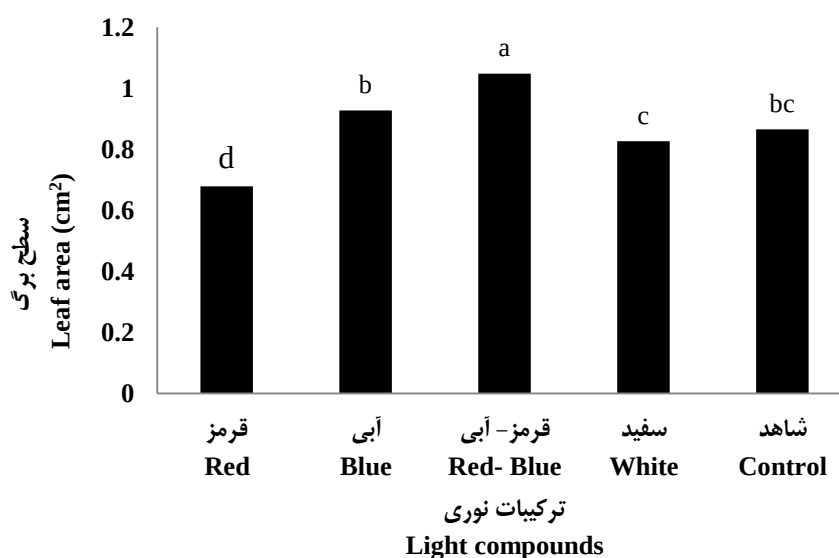
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل کل Total chlorophyll	سطح برگ Leaf area	تعداد روز تا گل‌دهی Days to flowering	تعداد گرهک سیاه Black node number	هایپریسین Hypericine
تکرار Replication	2	0.986	0.003	1.86	9.276	0.00032
نور Light	4	41.849**	0.055**	204.86**	92.67**	0.0035**
خطای آزمایش Error	8	0.98	0.003	7.27	3.014	0.00036

** و *: به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح یک و پنج درصد می باشد.
** and *: significant at the 1% and 5% of probability levels, respectively.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مربوط به تأثیر نور مکمل بر وزن تر و خشک گل راعی در آزمایش اول
Table 2- ANOVA for the fresh and dry weight of *Hypericum perforatum* under supplementary light in first experiment

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن خشک Dry weight	وزن تر Fresh weight
نور Light	4	350.79**	3020.17**
خطای عامل اصلی Main plot error	10	5.88	6.21
زمان Time	1	1191.88**	48420.2**
اثر متقابل نور × زمان Light × time	4	254.18**	1780.15**
خطای عامل فرعی Sub plot error	10	6.17	3.98

** و *: به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح یک و پنج درصد می باشد.
** and *: significant at the 1% and 5% of probability levels, respectively.

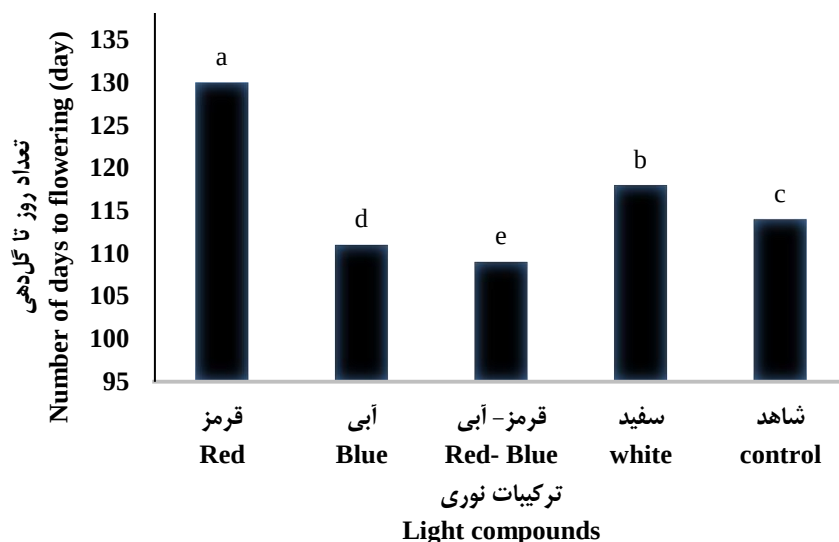


شکل ۴- اثر طیف نور بر متوسط سطح هر برگ گل راعی

Figure 4- Light quality effect on the mean leaf area of *Hypericum perforatum* (LSD, $p \leq 0.05$)

تعداد روز تا گلدهی

طیف نور اثر معنی‌دار بر گل‌دهی آزمایش اول در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین طیف نور نیز نشان داد که بیشترین مدت زمان از اعمال تیمار نوری تا گل‌دهی مربوط به تیمار نور L_1 (۱۳۰ روز) و کمترین مدت زمان گل‌دهی مربوط به تیمار



شکل ۵- اثر طیف نور بر تعداد روز تا گل‌دهی در گل راعی

Figure 5- Light quality effect on the days to flowering of *Hypericum perforatum* (LSD, $p \leq 0.05$)

درصد هایپریرسین

درصد هایپریرسین به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) تحت تأثیر طیف نور LED قرار گرفت (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر طیف نور نشان داد که تیمار نوری L_3 با اختلاف معنی‌دار بیشترین میزان درصد هایپریرسین را به خود اختصاص داد. کمترین میزان درصد هایپریرسین نیز در تیمار L_4 مشاهده شد (شکل ۹). بنابراین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق، تیمار ترکیب نور LED قرمز و آبی نه‌تنها باعث بهبود شاخص‌های رشدی گیاه گل راعی می‌شود، بلکه بر میزان درصد ماده مؤثره این گیاه نیز مؤثر است. جدول آنالیز واریانس نشان می‌دهد که طیف‌های نور LED بر میزان هایپریرسین معنی‌دار بود. مقایسه میانگین داده به‌دست‌آمده نشان داد که بیشترین میزان هایپریرسین در گیاهان تیمار شده با نور ترکیبی قرمز-آبی (۱۷/۰ درصد) به دست آمد.

این نتایج نشان می‌دهد که از نظر میزان هایپریرسین بین تیمار ترکیبی قرمز و آبی با نور قرمز اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. کمترین میزان هایپریرسین برابر (۰/۰۹ درصد) در گیاهان تیمار شده با نور سفید به دست آمد. همچنین بین شاهد و گیاهان تیمار شده با نور سفید از نظر میزان هایپریرسین اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

تعداد گرهک سیاه در برگ

تأثیر طیف‌های مختلف نور LED بر تعداد گرهک سیاه در برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر طیف نور بر این صفت نشان داد که بیشترین تعداد گرهک سیاه مربوط به تیمار L_3 و L_2 (به‌ترتیب ۳۳ و ۳۱ گره در هر برگ) بود و کمترین میزان گرهک سیاه در تیمار L_4 (۱۹ گره در هر برگ) مشاهده شد (شکل ۶). با توجه به نتایج آزمایش‌ها چنین برمی‌آید که حضور ترکیب نور قرمز و آبی در افزایش میزان گرهک‌های سیاه مملو از هایپریرسین مؤثر است، اما تفاوت در نحوه و مدت زمان اعمال نور می‌تواند نتایج متفاوتی را به همراه داشته باشد.

کلروفیل کل

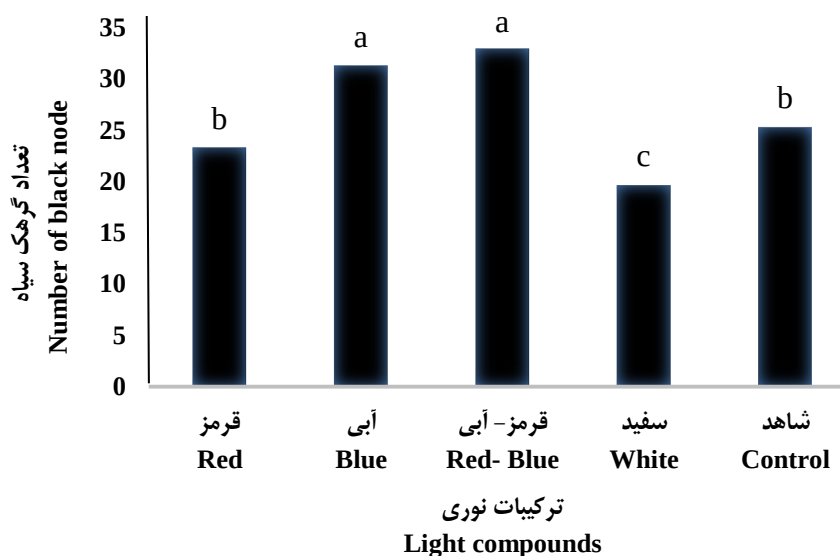
طیف نور اثر معنی‌داری بر میزان کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر طیف نور نشان داد که تیمار نوری L_3 منجر به بیشترین میزان کلروفیل کل گردید، درحالی‌که گیاهان تیمار شده با نور قرمز (L_1) کمترین میزان کلروفیل کل را به خود اختصاص داد (شکل ۸).

آزمایش دوم

وزن تر بخش هوایی

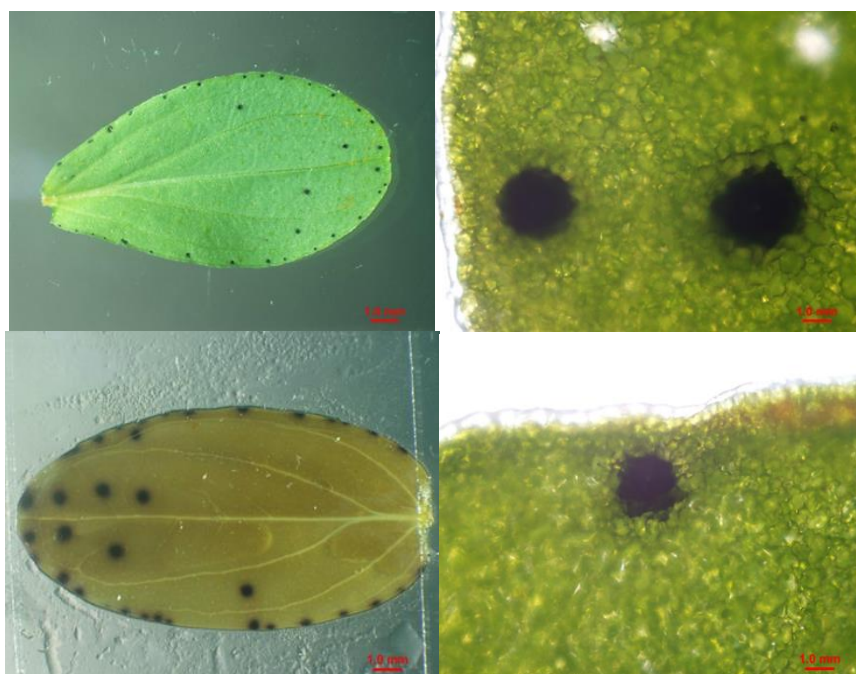
طیف نور اثر معنی داری بر وزن تر بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین طیف نور نشان داد که بیشترین وزن تر بخش هوایی در تیمار L_3 و کمترین وزن تر بخش

هوایی در تیمارهای L_4 و L_5 مشاهده شد (شکل ۱۰). افزایش میزان حضور نور و در نتیجه افزایش انتگرال نور روزانه می تواند منجر به افزایش خصوصیات رشد رویشی در گیاهان گردد (Oh et al., 2010).



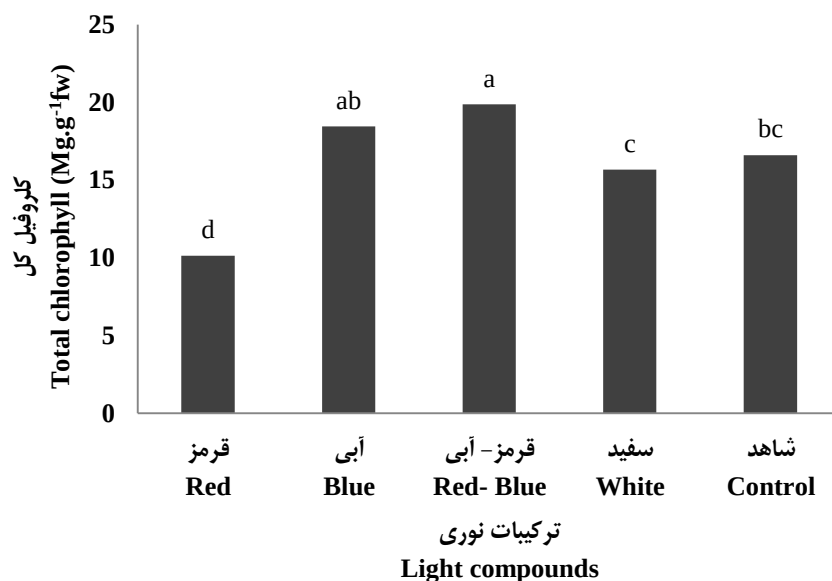
شکل ۶- اثر طیف نور بر تعداد گرهک سیاه در هر برگ گل راعی در سطح بوت

Figure 6- Light quality effect on the leaf black nodes number per plant of *Hypericum perforatum* (LSD, $p \leq 0.05$)



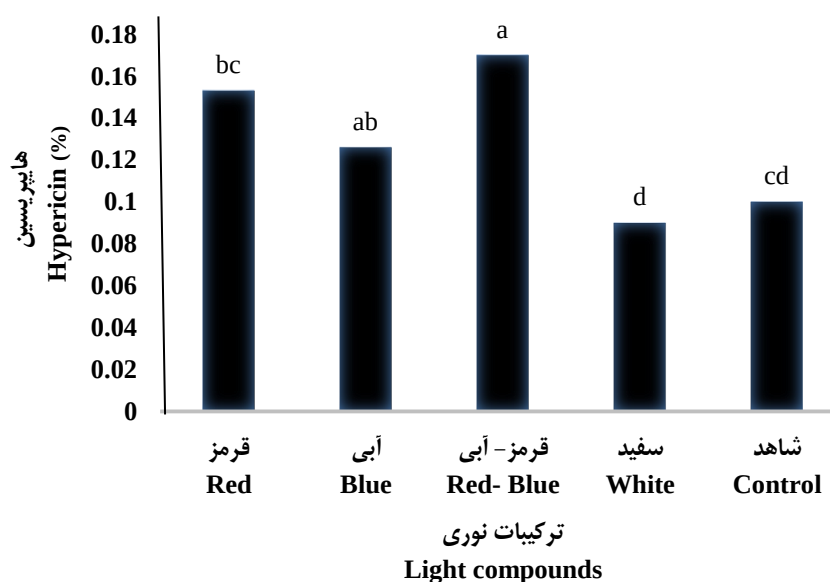
شکل ۷- گرهک های سیاه در برگ گل راعی

Figure 7- Black nodes in *Hypericum perforatum* leaf



شکل ۸- اثر طیف نور بر محتوی کلروفیل کل برگ گل راعی

Figure 8- Light quality effect on the total chlorophyll content of *Hypericum perforatum* leaf (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۹- اثر طیف نور بر میزان هایپریسین برگ گل راعی

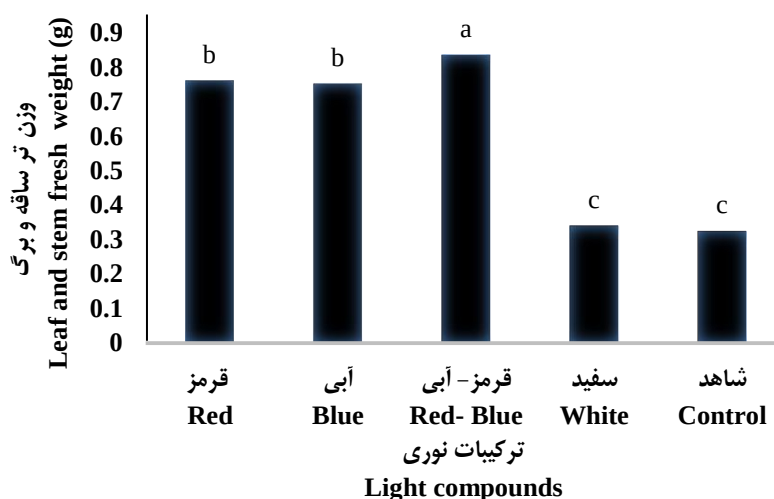
Figure 9- Light quality effect on the hypericin content of *Hypericum perforatum* leaf (LSD, $p \leq 0.05$)

طول ساقه

طیف نور سبب تغییر معنی‌دار طول ساقه در سطح احتمال یک درصد شد (جدول ۳). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، صفت ارتفاع گیاه تحت تأثیر ترکیبات نور قرار گرفت، به‌طوری‌که بیشترین طول ساقه مربوط به تیمار نوری L_3 و کمترین ارتفاع مربوط به تیمار L_1 بود (شکل ۱۲).

وزن خشک بخش هوایی

طیف نور اثر معنی‌داری بر وزن خشک بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین طیف نور نشان داد که بیشترین وزن خشک بخش هوایی در تیمار L_3 و کمترین وزن خشک بخش هوایی در تیمار L_4 و L_5 مشاهده شد و دو تیمار دیگر شامل تیمار L_1 ، L_2 تفاوت معنی‌داری از نظر وزن خشک بخش هوایی نداشتند (شکل ۱۱).



شکل ۱۰- اثر طیف نور بر وزن تر بخش هوایی در سطح نشاء گل راعی

Figure 10- Light quality effect on the transplant fresh aerial weight of *Hypericum perforatum* leaf (LSD, $p \leq 0.05$)

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر تیمارهای نوری بر صفات رویشی و ریخت‌شناختی گل راعی

Table 3- Analysis of variance from light impact on some growth and morphological traits of *Hypericum perforatum*

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	هایپریرسین Hypericine	فنل کل Total phenol	آنتی‌اکسیدان Antioxidant	تعداد گرهک سیاه Black node number	طول ساقه Plant height	وزن خشک بخش هوایی Shoot dry weight	وزن تر بخش هوایی Shoot fresh weight
تکرار Replication	2	0.000046	1.083	9.386	1.27	0.221	0.000217	0.0002
نور Light	4	0.010**	13.601**	528.966**	52.01**	44.171**	0.0067**	0.186**
خطای آزمایش Error	8	0.0002	0.852	15.798	0.765	1.449	0.00012	0.00115

** و * به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح یک و پنج درصد می‌باشد.

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

تعداد گرهک سیاه در برگ

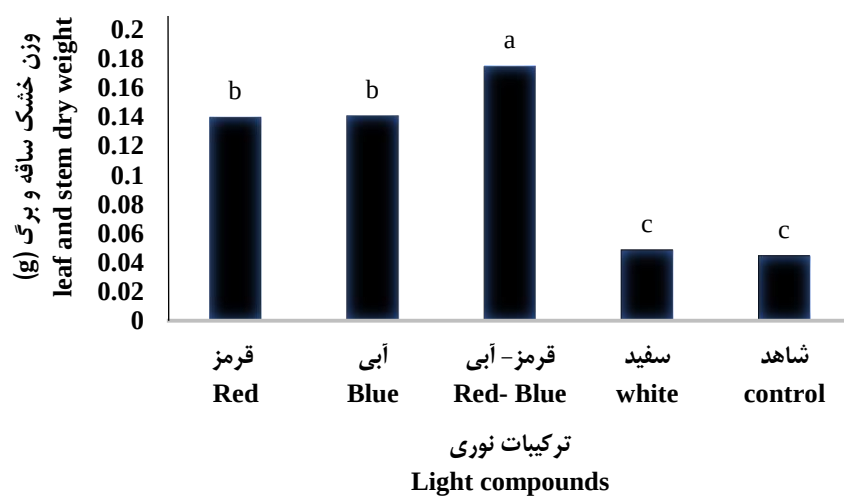
تعداد گرهک سیاه در برگ در سطح احتمال یک درصد در آزمایش دوم (افزایش طول روز به مدت چهار ساعت) معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین طیف نور نشان داد که بیشترین تعداد گرهک سیاه در تیمار قرمز - آبی (L_3)، و آبی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و کمترین میزان گرهک سیاه نیز در تیمار قرمز (L_1) و شاهد (L_5) به دست آمد (شکل ۱۳). با توجه به نتایج آزمایش‌ها چنین بر می‌آید که حضور ترکیب نور قرمز و آبی در افزایش میزان گرهک‌های سیاه مملو از هایپریرسین مؤثر است، اما تفاوت در نحوه و مدت زمان اعمال نور می‌تواند نتایج متفاوتی را به همراه داشته باشد. حضور نور مکمل همراه نور LED سفید کمترین میزان گرهک سیاه را در آزمایش اول در بر دارد، درحالی‌که با توجه به نتایج آزمایش دوم، افزایش طول روز به مدت چهار ساعت به وسیله نور LED سفید باعث افزایش میزان گرهک‌های سیاه می‌شود.

میزان ترکیبات فنلی

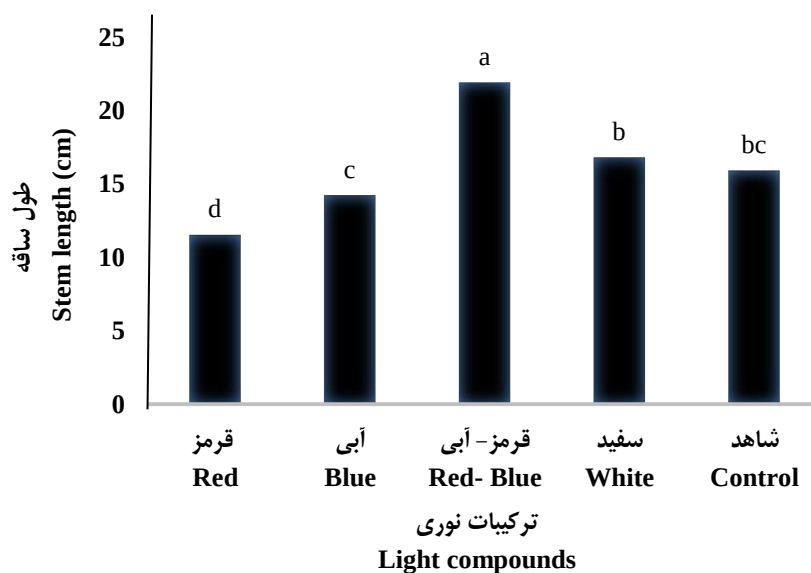
طیف نور اثر معنی‌دار بر میزان ترکیبات فنلی در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین طیف نور نشان داد که تیمار L_3 بالاترین میزان ترکیبات فنلی و تیمار L_5 پایین‌ترین میزان را دارا بود (شکل ۱۴). در گیاه توت فرنگی نیز نور قرمز، میزان ترکیبات فنلی را افزایش داد (Choi et al., 2015).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

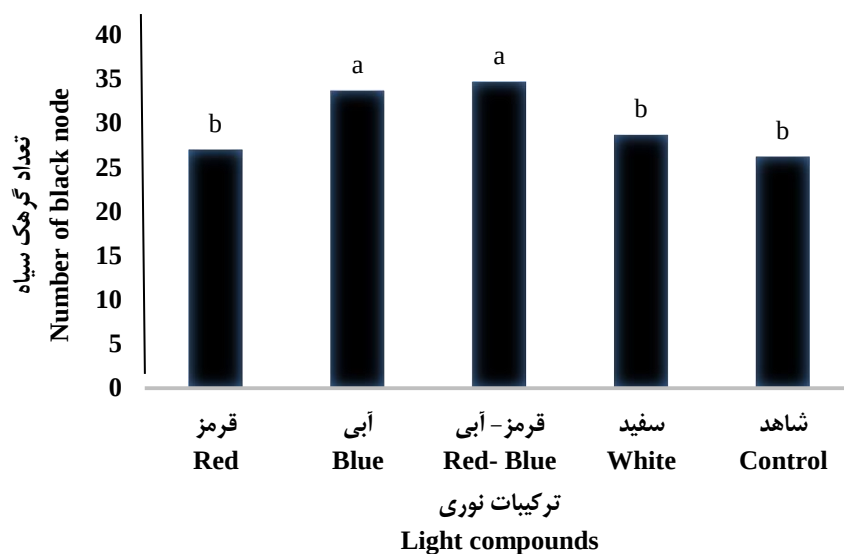
طیف نور اثر معنی‌داری بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۳). بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به تیمار L_3 و کمترین مربوط به تیمار L_4 مشاهده شد (شکل ۱۵).



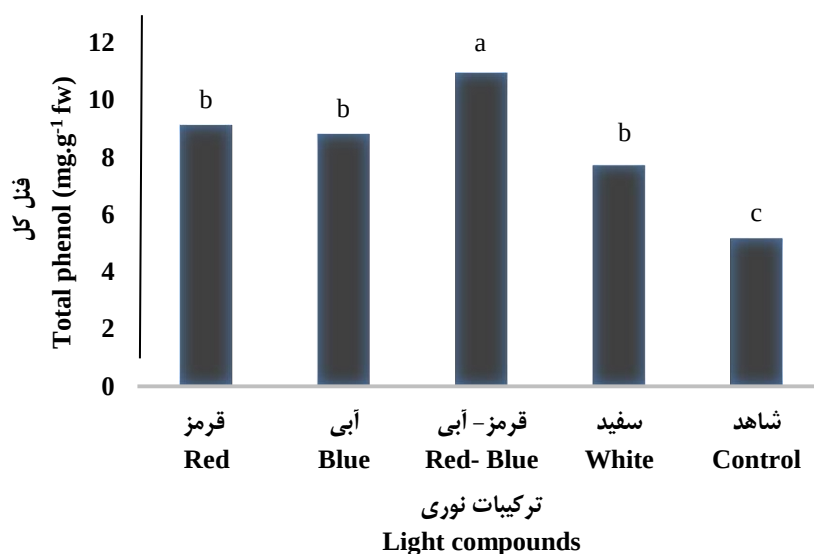
شکل ۱۱- اثر طیف نور بر وزن خشک بخش هوایی در سطح نشاء گل راعی
Figure 11- Light quality effect on the transplant stem and leaf dry weight of *Hypericum perforatum* leaf (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۱۲- اثر طیف نور بر طول ساقه در مرحله نشاء گل راعی
Figure 12- Light quality effect on the transplant height of *Hypericum perforatum* leaf (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۱۳- اثر طیف نور بر متوسط تعداد گرهک سیاه در هر برگ گل راعی
Figure 13- Light quality effect on the number of leaf black nodes of *Hypericum* transplant (LSD, $p \leq 0.05$)

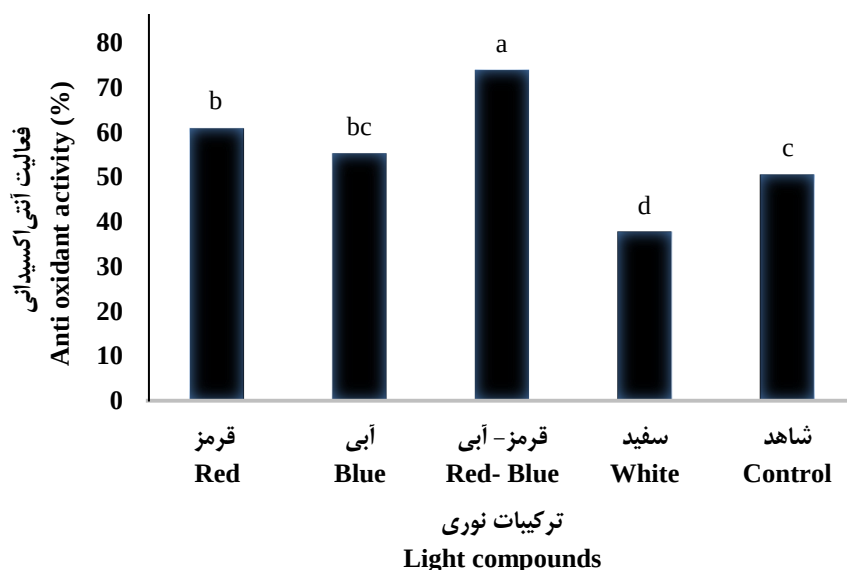


شکل ۱۴- اثر طیف نور بر میزان ترکیبات فنلی کل در نشاء گل راعی
Figure 14- Light quality effect on the transplant total phenolic compounds (mg GAE.g⁻¹FW) of *Hypericum perforatum* leaf (LSD, $p \leq 0.05$)

درصد هایپرپیرسین

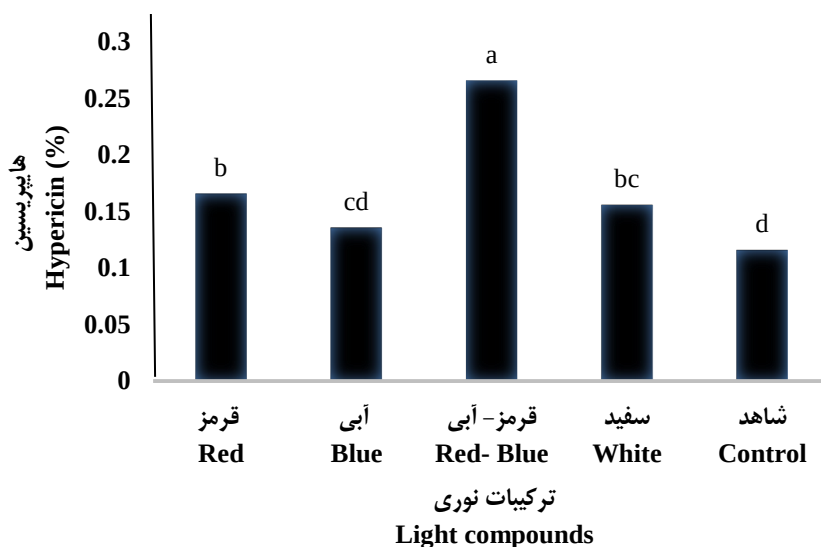
در این آزمایش، درصد هایپرپیرسین به طور معنی داری تنها تحت تأثیر نور LED ترکیبی قرمز و آبی (L_3) با اختلاف نسبت به تیمارهای دیگر در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین طیف نور نشان داد که تیمار نوری L_3 با اختلاف معنی دار بیشترین میزان درصد هایپرپیرسین را به خود اختصاص داد.

کمترین میزان درصد هایپرپیرسین نیز در تیمار L_5 مشاهده شد (شکل ۱۶). بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق، تیمار ترکیب نور LED قرمز و آبی نه تنها باعث بهبود شاخص های رشدی گیاه گل راعی می شود، بلکه بر میزان درصد ماده مؤثره این گیاه نیز مؤثر است.



شکل ۱۵- اثر طیف نور بر فعالیت آنتی اکسیدانی در سطح نشاء گل راعی

Figure 15- Light quality effect on the transplant antioxidant activity of *Hypericum perforatum* leaf (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۱۶- اثر طیف نور بر درصد هایپرئیسین در سطح نشاء گل راعی

Figure 16- Light quality effect on the transplant hypericin percentage of *Hypericum perforatum* leaf (LSD, $p \leq 0.05$)

شده است (Goins et al., 1998). به نظر می‌رسد که نور آبی، تحریک‌کننده ژن‌هایی است که بیان آن باعث تمایز یابی مریستم به سرآغازهای گل می‌شوند (Hoenecke et al., 1992). نور قرمز عامل تبدیل فیتوکروم Pr به شکل فعال فیتوکروم یعنی Pfr است (Baba-Kasai et al., 2014). فعالیت فیتوکروم‌ها همراه با کریپتوکروم‌ها در رشد رویشی و گل‌انگیزی گیاهان نقش دارند (Takemiya et al., 2005). در این آزمایش، به‌کارگیری نور قرمز به‌تنهایی به‌عنوان نور مکمل منجر به دیرگل‌دهی گیاهان در مقایسه با سایر تیمارهای نوری گردید. محققانی همچون کنت (Kenneth,

به‌کارگیری نور قرمز در کنار نور آبی در مقایسه با کاربرد هر یک از این تیمارها به‌تنهایی نتیجه بهتری در افزایش وزن خشک برگ-های سوزنی گیاهچه‌های کاج نروژی (*Picea abies* (L.) H. Karst.) و کاج اسکاتلندی (*Pinus sylvestris* L.) به همراه داشت (Riikonen et al., 2016). همچنین در گیاه مریم‌گلی، کاهو، تربچه و اسفناج ترکیب نور قرمز و آبی باعث افزایش وزن خشک بخش هوایی شد (Yorio et al., 2001; Heo et al., 2002). در گیاه آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh) نیز بدشکلی برگ‌های نمونه‌هایی که تحت نور تمام قرمز رشد کرده بودند، گزارش

آبی موجب رشد بهتر گیاه از نظر وزن تر بخش هوایی در مقایسه با کاربرد نور قرمز به تنهایی گردید که مشابه نتایج راندال و لوپز (Randall & Lopez 2014) در گیاه اطلسی بود. بیشترین وزن تر گیاه در ترکیب نور LED قرمز و آبی در گیاه داوودی گزارش شد (Kim et al., 2004). در کاهو نیز بیشترین وزن تر از کاهوی رشد یافته تحت تیمار ترکیب نور قرمز و آبی به دست آمد (Johkan et al., 2010). در گیاه اسطوخودوس، وزن خشک شاخه‌های این گیاه با افزایش انتگرال نور روزانه دو برابر شد (Fausey et al., 2005). وجود نور آبی و قرمز در ترکیبات نوری در مطالعات روی گیاه گل جعفری (*Tagetes L.*)، کاهو، بادمجان (*Solanum melongena L.*) و گیاه داوودی (*Chrysanthemum*) سبب افزایش ارتفاع شد (Kim et al., 2004; Hirai et al., 2002; Jeong et al., 2014; et al., 2006). در این آزمایش، کاربرد نور قرمز باعث کاهش ارتفاع گل راعی شد که با نتایج فوکودا و اولسن (Fukuda & Olsen, 2011) در رابطه با گیاه اطلسی همخوانی دارد. اثر نور آبی و قرمز بر تغییر ارتفاع گیاه اطلسی ناشی از اثر نور آبی تحریک کریپتوکرومها است که این تأثیر منجر به تولید پیام‌هایی می‌گردد که تولید جیبرلین و در نتیجه افزایش ارتفاع ساقه را تحریک می‌کند و باعث تغییر در میزان حضور نور آبی در محیط و افزایش یا کاهش آن منجر به بروز تغییر در ترشح جیبرلین و در نتیجه تغییر ارتفاع گیاه می‌گردد (Fukuda & Olsen, 2011).

در مطالعه باتیس و همکاران و اوزونیس و همکاران (Bantis et al., 2016; Ouzounis et al., 2015a, b)؛ اضافه کردن نور LED آبی همراه با نور طبیعی باعث افزایش متابولیت‌های ثانویه در گیاه ریحان شد. ترکیب نور قرمز و نور LED آبی باعث افزایش میزان فنل کل در گیاه ریحان شد (Bantis et al., 2016). ترکیب نور قرمز و آبی در افزایش آنتوسیانین برگ کاهوی قرمز مؤثر بود (Stutte et al., 2009). فان و همکاران (Fan et al., 2013) نشان دادند که گوجه‌فرنگی می‌تواند تحت ترکیب نور قرمز و آبی، میوه کامل با محتوای متابولیکی بالایی نسبت به شرایط نور طبیعی تولید کند. نور LED قرمز میزان آنتی‌اکسیدان‌های گیاه نخودفرنگی را به صورت معنی‌دار تا دو برابر افزایش می‌دهد (Wu et al., 2007). ترکیب نور قرمز و آبی در افزایش میزان آنتوسیانین مؤثر بود (Choi et al., 2015). همچنین در کلم (Lefsrud et al., 2008) گزارش کردند که میزان ترکیبات آنتوسیانین گیاه که از انواع آنتی‌اکسیدان‌ها محسوب می‌شوند تحت نور قرمز LED افزایش یافت. مطالعه حیدرزاده و همکاران (Heydarizade et al., 2013) روی گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha × piperita L.*) نشان داد که از نظر درصد و

فوکودا و اولسن (Fukuda & Olsen, 2011) و گوتام (Gautam et al., 2015) اظهار کردند که کاهش میزان نور قرمز دور در محیط و نور قرمز به تنهایی، منجر به تأخیر و یا جلوگیری از گل‌دهی می‌شود که مطابق با نتایج به دست آمده در این آزمایش بود. نتایج این آزمایش نشان داد که نور آبی به همراه قرمز، گل‌دهی را سرعت می‌بخشد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نور آبی در تحریک گل‌دهی این گیاه نقش مؤثری دارد. تأثیر نور آبی و قرمز بر گل‌دهی به دلیل اثر آن‌ها بر عملکرد رنگدانه‌های فیتوکروم B و کریپتوکرومها است (Fukuda & Olsen, 2011). نسبت نور قرمز به آبی بسیار مهم است و نسبت ۳ به ۱ در ترکیب قرمز و آبی رشد قابل قبولی را در گیاه توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa Duchesne*) نسبت به هر کدام به تنهایی تضمین کرد (Folta & Childers, 2008). طیف‌های مختلف نور LED بر رشد و تکامل گیاهان تأثیر می‌گذارد (Whitelam & Halliday, 2007). نور آبی LED سبب افزایش میزان کلروفیل در گیاه نخود فرنگی (*Lathyrus oleraceus* Lam.) شد (Wu et al., 2007). ترکیب نور LED قرمز و آبی در افزایش میزان کلروفیل گیاه توت‌فرنگی مؤثر واقع شد و عملکرد میوه را افزایش داد (Choi et al., 2015).

اخیراً مشخص شده است که هر دو نور قرمز و آبی می‌توانند با تأثیر بر تولید سایر متابولیت‌های ثانویه، تجمع آن‌ها را در بافت‌های مختلف گیاهان افزایش دهند (Urbonaviciute et al., 2008). تحقیقات لفسرود و همکاران (Lefsrud et al., 2008) نشان داد که کلم‌هایی (*Brassica oleracea*) که تحت نورهای LED پرورش یافته بود، نور قرمز منجر به افزایش معنی‌دار لوتئین و گلیکوزینولات در برگ گردید.

گزارش‌هایی وجود دارد که نشان می‌دهد نور آبی نیز می‌تواند تولید برخی از متابولیت‌های گیاه را افزایش دهد. به عنوان مثال، پارک و همکاران (Park et al., 2013) در گیاه جینسینگ (*Panax ginseng C.A.Mey.*) گزارش کردند که نور آبی منجر به افزایش ترکیبات اسید وانیلیک، اسید کوماریک و اسید فرولیک گردید. برخی از متابولیت‌ها که در اثر نورهای تک موج افزایش پیدا می‌کنند، ممکن است ارزش‌های اقتصادی خاصی نیز داشته باشند. در جلبک (*Haematococcus pluvialis*) (Katsuda et al., 2006) نیز با استفاده از نور آبی LED توانستند ترکیبی به نام آستاگزانتین را افزایش دهند. آستاگزانتین یکی از ترکیبات مؤثر علیه سرطان محسوب می‌شود که به عنوان افزودنی غذایی (رنگ) نیز قابل مصرف است. اضافه کردن نور LED آبی همراه با نور طبیعی باعث افزایش متابولیت‌های ثانویه در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum L.*) شد (Bantis et al., 2016; Ouzounis et al., 2015a, b)؛ استفاده از ترکیب نور قرمز و

عملکرد اسانس، تیمار ترکیب نور قرمز و آبی نسبت به شرایط مزرعه-ای برتری داشت.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج صفات مشترک، در هر دو آزمایش، تأثیر مثبت اعمال نور LED ترکیب قرمز و آبی بر خصوصیات رشدی به ویژه درصد هاپیریسین گیاه دارویی گل راعی کاملاً مشهود بود. بنابراین اعمال نور مکمل قرمز - آبی در سطح نشاء به صورت افزایش طول

روز، با توجه به صرف انرژی کمتر و اثرات مشابه در مقایسه با آزمایش اول (افزایش خصوصیات رشدی و درصد ماده مؤثره) قابل توصیه می باشد. در آزمایش دوم، مقایسه گیاهان شاهد با گیاهان تحت تیمار نوری نشان داد که افزایش مدت زمان حضور نور (افزایش طول روز) منجر به افزایش معنی دار صفات رویشی و بیوشیمیایی گیاه دارویی گل راعی گردید و بهترین نتایج مربوط به کاربرد ترکیب نور قرمز و آبی به مدت چهار ساعت بعد از غروب خورشید در مقایسه با سایر تیمارهای نوری با اختلافی معنی دار حاصل شد.

References

1. Aalipoor, N., Mahdavi, N., Mahmoodi, M., & Ghelichnia, H. (2015). Environmental conditions effect on essential oil quality and quantity of *Stachys laxa*. *Plant Research*, 28(3), 213–219.
2. Al-Chalabi, M. (2015). Vertical farming: Skyscraper sustainability. *Sustainable Cities and Society*, 18, 74–77. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.06.003>
3. Arrieta, J., Reyes, B., Calzada, F., Cedillo-Rivera, R., & Navarrete, A. (2001). Amoebicidal and giardicidal compounds from the leaves of *Zanthoxylum liebmannianum*. *Fitoterapia*, 72(3), 295–297. [https://doi.org/10.1016/S0367-326X\(00\)00297-5](https://doi.org/10.1016/S0367-326X(00)00297-5)
4. Azizi, M., & Omid Beigi, R. (2000a). Study of some environmental and physiological factors on yield and amount of active ingredients of *Hypericum* in field and *in vitro* conditions. PhD Thesis. pp. 180. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Persian)
5. Baba-Kasai, A., Hara, N., & Takano, M. (2014). Tissue-specific and light-dependent regulation of phytochrome gene expression in rice. *Plant, Cell and Environment*, 37, 2654–2666. <https://doi.org/10.1111/pce.12354>
6. Bantis, F., Ouzounis, T., & Radoglou, K. (2016). Artificial LED lighting enhances growth characteristics and total phenolic content of *Ocimum basilicum*, but variably affects transplant success. *Scientia Horticulturae*, 198, 277–283. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.11.014>
7. Bernath, J. (2000). *Medicinal and aromatic plants*. Budapest: Mezo Publishing. pp. 667
8. Bruneton, J. (1995). *Pharmacognosy, Phytochemistry, Medicinal Plants*. Lavoisier Publ. Londres, New York, pp. 405–466.
9. Burits, M., & Bucar, F. (2000). Antioxidant activity of *Nigella sativa* essential oil. *Phytotherapy Research*, 14(5), 323–328. [https://doi.org/10.1002/1099-1573\(200008\)14:5<323::AID-PTR621>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/1099-1573(200008)14:5<323::AID-PTR621>3.0.CO;2-Q)
10. Choi, H.G., Moon, B.Y., & Kang, N.J. (2015). Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber. *Scientia Horticulturae*, 189, 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.022>
11. Currey, J., & Lopez, R.G. (2013). Cutting of impatient, *Pelargonium* and *Petunia* propagated under light-emitting diodes and high-pressure sodium lamp have comparable growth morphology, gas exchange and post transplant performance. *HortScience*, 48(4), 428–434. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.4.428>
12. 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.
13. Dias, A.C. (2003). The potential of *in vitro* cultures of *Hypericum perforatum* and of *Hypericum androsaemum* to produce interesting pharmaceutical compounds. In *Hypericum: The genus Hypericum*. p. 137. Amsterdam: Harwood Academic Publishers.
14. Donald, P.B., & Gawienowski, M.C. (2001). Differential effects of light and nitrogen on production of hypericins and leaf glands in *Hypericum perforatum*. *Plant physiology and Biochemistry*, 39(12), 1075–1081. [https://doi.org/10.1016/S0981-9428\(01\)01326-2](https://doi.org/10.1016/S0981-9428(01)01326-2)
15. Fan, X.X., Xu, Z.G., Liu, X.Y., Tang, C.M., Wang, L.W., & Han, X. L. (2013). Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Scientia Horticulturae*, 153, 50–55. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.01.017>
16. Fausey, B.A., Heins, R.D., & Cameron, A.C. (2005). Daily light integral affects flowering and quality of greenhouse-grown *Achillea*, *Gaura*, and *Lavandula*. *HortScience*, 40(1), 114–118. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.1.114>
17. Folta, K.M., & Childers, K.S. (2008). Light as a growth regulator: Controlling plant biology with narrow band width solid-state lighting systems. *HortScience*, 43, 1957–1964. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1957>

18. Fukuda, N., & Olsen, J.E. (2011). Effects of light quality under red and blue light emitting diodes on growth and expression of FBP28 in *Petunia*. *Acta Horticulturae*, 907, 361–366. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.907.59>
19. Gao, X., Bjork, L., Trajkovski, V., & Uggla, M. (2000). Evaluation of antioxidant activities of rosehip ethanol extracts in different test systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 80, 2021–2027. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200011\)80:14%3C2021::AID-JSFA745%3E3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200011)80:14%3C2021::AID-JSFA745%3E3.0.CO;2-2)
20. Gautam, P., Terfa, M.T., Olsen, J.E., & Torre, S. (2015). Red and blue light effects on morphology and flowering of *Petunia* × *hybrida*. *Scientia Horticulturae*, 184, 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.01.004>
21. Goins, G.D., Yorio, N.C., Sanwo-Lewandowski, M.M., & Brown, C.S. (1998). Life cycle experiments with *Arabidopsis* grown under red light-emitting diodes (LEDs). *Life Support and Biosphere Science: International Journal of Space Science and Engineering*, 5, 143–149.
22. Heo, J., Lee, C., Chakrabarty, D., & Paek, K. (2002). Growth responses of marigold and salvia bedding plants as affected by monochromic or mixture radiation provided by a light-emitting diode (LED). *Plant Growth Regulation*, 38(3), 225–230. <https://doi.org/10.1023/A:1021523832488>
23. Heydarizade, P., Zahedi, M., & Sabzalian, M. (2013). LED light effects on yield, essential oil percentage and antioxidant enzymes activity in peppermint (*Mentha piperita*). *Journal of Agricultural Sciences*, 25(4), 13–24. (In Persian)
24. Hirai, T., Amaki, W., & Watanabe, H. (2006). Action of blue or red monochromatic light on stem internodal growth depends on plant species. V International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture, 711. pp. 345–350. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.711>
25. Hoenecke, M.E., Bula, R.J., & Tibbitts, T.W. (1992). Importance of blue photon levels for lettuce seedling grown under red-light-emitting diodes. *HortScience*, 27(5), 427–430. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.5.427>
26. Iran Flora. (2000). Hypericaceae Family (Guttiferae), No. 27, Research Institute of Forests and Rangelands. (In Persian)
27. Jeong, S.W., Hogewoning, S.H., & Ieperen, W.V. (2014). Responses of supplemental blue light on flowering and stem extension growth of cut *Chrysanthemum*. *Scientia Horticulture*, 165, 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.11.006>
28. Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S., & Yoshihara, T. (2010). Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *HortScience*, 45, 1809–1814. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.12.1809>
29. Katsuda, T., Shimahara, K., Shiraishi, H., Yamagami, K., Ranjbar, R., & Katoh, S. (2006). Effect of flashing light from blue light emitting diodes on cell growth and a staxanthin production of *Haematococcus pluvialis*. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 102, 442–446. <https://doi.org/10.1263/jbb.102.442>
30. Kenneth, E. (1992). Light-quality effects on *Arabidopsis* development. Red, blue and far-red regulation of flowering and morphology. *Physiologia Plantarum*, 86(3), 439–444. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb01341.x>
31. Kim, H.H., Goins, G.D., Wheeler, R.M., & Sager, J.C. (2004). Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red-and blue-light-emitting diodes. *HortScience*, 39(7), 1617–1622. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.7.1617>
32. Lefsrud, M.G., Kopsell, D.A., & Sams, C. (2008). Irradiance from distinct wave-length light emitting diodes affect secondary metabolites in kale. *HortScience*, 43, 2243–2244. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.2243>
33. Li, H., Tang, C., & Xu, Z., (2013). The effects of different light qualities on rapeseed (*Brassica napus* L.) plantlet growth and morphogenesis *in vitro*. *Scientia Horticulturae*, 150, 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.009>
34. Lopez, R.G., & Runkle, E.R. (2008). Photosynthetic daily light integral during propagation influences rooting and growth of cuttings and subsequent development of New Guinea impatiens and petunia. *HortScience*, 43, 2052–2059. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.2052>
35. Oh, W., Runkle, E.S., & Warner, R.M. (2010). Timing and duration of supplemental lighting during the seedling stage influence quality and flowering in petunia and pansy. *Hort Science*, 45(9), 1332–1337. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.9.1332>
36. Omid Beigi, R. (1999). Production and Processing of Medicinal Plants. 4th Ed. Astan Qods Razavi Press, Mashhad, Iran. In Persian.
37. Ouzounis, T., Fretté, X., Ottosen, C.O., & Rosenqvist, E. (2015). Spectral effects of LEDs on chlorophyll fluorescence and pigmentation in *Phalaenopsis* ‘Vivien’ and ‘Purple Star’. *Physiologia plantarum*, 154(2), 314–327. <https://doi.org/10.1111/ppl.12300>

38. Park, S.Y., Lee, J.G., Cho, H.S., Seong, E.S., Kim, H.Y., Yu, C.Y., & Kim, J.K. (2013). Metabolite profiling approach for assessing the effects of colored light-emitting diode lighting on the adventitious roots of ginseng ('*Panax ginseng*'CA Mayer). *Plant Omics*, 6(3), 224.
39. Randall, W.C., & Lopez, R.G. (2014). Comparison of supplemental lighting from high-pressure sodium lamps and light-emitting diodes during Bedding plant seedling production. *HortScience*, 49(5), 589–595. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.5.589>
40. Riikonen, J., Kettunen, N., Gritsevich, M., Hakala, T., Sarkka, L., & Tahvonen, R. (2016). Growth and development of Norway spruce and Scots pine seedlings under different light spectra. *Environmental and Experimental*, 121, 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.06.006>
41. Salehi Sourmaghi, M.H. (2007). Medicinal herbs and plants therapy. Tehran: Donyayeh Taghzyeh.
42. Samuoliene, G., Sirtautas, R., Brazaityte, A., Sakalauskaite, J., Sakalauskiene, S., & Duchovskis, P. (2011). The impact of red and blue light emitting diode illumination on radish physiological indices. *Central European Journal of Biology*, 6(5), 821-828. <https://doi.org/10.2478/s11535-011-0059-z>
43. Shakeri, M., & Farzane, A. (2010). *The effects of light quality and quantity (light management) on growth and yield of greenhouse plants*. The Preocceeding of the First National Hydroponic and Greenhouse Productions. Isfahan Industrial University, Isfahan, Iran.
44. Singh, A., & Pal, A. (2006). Hypericin-A naphthodianthrone from *Hypericum perforatum*. *European Journal of Clinical Pharmacology*, 62, 225-33.
45. Stutte, G.W., Edney, S., & Skerritt, T. (2009). Photoregulation of bioprotectant content of red leaf lettuce with light-emitting diodes. *HortScience*, 44(1), 79-82. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.1.79>
46. Takemiya, A., Inoue, S.I., Doi, M., Kinoshita, T., & Shimazaki, K.I. (2005). Phototropins promote plant growth in response to blue light in low light environments. *The Plant Cell*, 17(4), 1120-1127. <https://doi.org/10.1105/tpc.104.030049>
47. Terfa, M.T., Solhaug, K.A., Gislerod, H.R., Olsen, J.E., & Torre, S. (2013). A high proportion of blue light increases the photosynthesis capacity and leaf formation rate of *Rose × hybrida* but does not affect time to flower opening. *Physiologia Plantarum*, 148, 146-159. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01698.x>
48. Urbonaviciute, A., Samuoliene, G., Brazaityte, A., Ulinskaite, R., Jankauskiene, J., Duchovskis, P., & Zukauskas, A. (2008). The possibility to control the metabolism of green vegetables and sprouts using light emitting diode illumination. *Sodininkyste ir Darzininkyste*, 27, 83-92.
49. Whitelam, G., & Halliday, K. (2007). *Light and Plant Development*. Blackwell Publishing, Oxford, p. 313.
50. World Health Organization. (1998). *Regulatory situation of herbal medicines*. Geneva: World Health Organization.
51. Wu, M.C., Hou, C.Y., Jiang, C.M., Wang, Y.T., Wang, C.Y., Chen, H.H., & Chang, H.M. (2007). A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. *Food Chemistry*, 101(4), 1753-1758. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.010>
52. Yorio, N.C., Goins, G.D., Kagie, H.R., Wheeler, R.M., & Sager, J.C. (2001). Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *HortScience*, 36(2), 380-383. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.36.2.380>
53. Zargari A. (1993). *Medical Plants*. 6th ed. Tehran: Tehran University of Medical Sciences. 440 p.

Effect of Red and Blue LED Lights on Morphological and Physiological Characteristics of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.)

F. Esmaeili¹, H. Bayat¹, H. Nastari Nasrabadi^{2*}, M.H. Aminifard¹

1- Department of Horticulture Science and Engineering, College of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

2- Department of Horticulture Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Animal Science, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran

(*- Corresponding author's Email: nastari@tjamcaas.ac.ir)

Received: 31 October 2024
Revised: 30 July 2025
Accepted: 17 August 2025
Available Online: 18 August 2025

How to cite this article:

Esmaeili, F., Bayat, H., Nastari Nasrabadi, H., & Aminifard, M.H. (2026). Effect of red and blue LED lights on morphological and physiological characteristics of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). *Journal of Horticultural Science*, 39(3), 631-646. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90559.1387>

Introduction

Light plays a fundamental role in plant growth and development, significantly influencing photosynthesis and overall plant yield. Various light characteristics, including intensity, quality, and duration, have critical effects on plant biological processes. The light spectrum can significantly impact plant metabolism throughout the growth period. The use of LED light not only provides the necessary wavelengths but also reduces energy loss and allows precise control over the photosynthetic photon flux. LED lighting can be utilized to optimize plant growth and yield in greenhouse and growth chamber environments. Blue and red light are the primary wavelengths involved in carbon dioxide fixation and photosynthesis, exerting a significant influence on plant growth (Cosgrove, 1981; Kasajima *et al.*, 2008). *Hyssopus officinalis*, a perennial plant belonging to the Lamiaceae family, is well known for its antimicrobial, antioxidant, and anti-inflammatory properties. This study evaluates LED light as an alternative to natural sunlight in controlled environments. Previous research has shown that changes in light quality can significantly affect growth parameters such as plant height, stem length, leaf length and width, leaf area, and fresh and dry biomass. Optimizing light conditions can enhance plant production in closed environments, offering economic and scientific potential for the cultivation of medicinal plants. The objective of this research was to investigate the effects of different LED light spectra on the growth, physiological, and morphological characteristics of *Hyssopus officinalis*.

Materials and Methods

To investigate the growth and physiological characteristics of *Hyssopus officinalis*, an experiment was conducted using a completely randomized design with three replications and six LED light treatments. The seeds were sourced from Glass Garden Company. The growing medium consisted of a mixture of 40% cocopeat, 40% perlite, and 20% vermiculite to provide optimal conditions for plant growth. In the growth chamber, the light treatments included white (control), 100% red, 100% blue, red:blue (70:30), red:blue (30:70), and red:blue (50:50). White light served as the control treatment. The LED lamps used in this experiment were 24-watt wall washers with different light spectra, covering wavelengths from 400 to 700 nm. The light intensity was set at $250 \pm 10 \mu\text{mol photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. The photoperiod was maintained at 16 hours of light and 8 hours of darkness, with day and night temperatures of 25°C and 20°C, respectively. Following germination, the plants were irrigated daily with a half-strength Hoagland nutrient solution. Once the plants reached the four-leaf stage, they were supplied with a full-strength Hoagland solution every other day (20 g in 10 liters of distilled water) at a rate of 100 cc per pot. After five months, morphological and physiological parameters were evaluated. Measurements included stem, root, and leaf length; leaf width; leaf area; root volume; internode length; number of lateral



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

<https://doi.org/10.22067/jhs.2021.61538.0>

branches; fresh and dry weight of roots, stems, and leaves; total plant fresh and dry weight; and chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and essential oil yield. Data analysis was performed using SAS statistical software, and mean comparisons were conducted using the LSD test at a significance level of $p \leq 0.05$.

Results and Discussion

The results showed that different light spectra had a significant effect on the growth and physiological characteristics of the hyssop plant at the 5% and 1% probability levels. The highest fresh and dry weight of shoot, root, and total plant was recorded under red light. The highest amounts of chlorophyll a (1.11 mg.g^{-1} fresh weight) and chlorophyll b (1.89 mg.g^{-1} fresh weight) were observed in plants grown under red: blue (70:30) and red: blue (30:70) light combinations, respectively. The highest (1.10 mg.g^{-1} fresh weight) and lowest (1.01 mg.g^{-1} fresh weight) of carotenoid content were found under the red: blue (70:30) and the red: blue (30:70) light combinations, respectively. The maximum essential oil (1.71%) recorded under red: blue (30:70) combination. The highest and the lowest antioxidant activity levels were recorded in the red: blue (50:50) and control light treatments, respectively.

Conclusion

The results showed that different light spectra significantly influenced the morphological and physiological characteristics of *Hyssopus officinalis*. Red light increased morphological and growth characteristics properties. These findings suggested that optimizing light spectra can significantly affected the growth and development of *Hyssopus officinalis*, and further studies could explore these mechanisms. The results of this study showed that use of modern agricultural methods with artificial lighting systems improved the growth and physiological indices of Hyssop (*Hyssopus officinalis*). The application of 100% red light and 30:70 red-blue light combinations is recommended.

Keywords: Growth, Leaf area, Light quality, Total chlorophyll

اثر نورهای مختلف LED قرمز و آبی بر خصوصیات ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی گیاه زوفا (*Hyssopus officinalis* L.)

فاطمه اسماعیلی^۱id - حسن بیات^۱id - حسین نستری نصر آبادی^۲id* - محمد حسین امینی فرد^۱id

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۶

چکیده

نور، منبع اصلی انرژی برای فرآیند فتوسنتز و عامل مهمی برای رشد و نمو گیاه محسوب می‌شود. امروزه با استفاده از لامپ‌های LED، شرایط برای مطالعه طیف‌های مختلف نور و بهبود رشد و تولید انبوه گیاهان در محیط‌های کنترل شده فراهم می‌شود. مطالعه حاضر با هدف بررسی خصوصیات ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی گیاه زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) در واکنش به تیمارهای مختلف نوری LED شامل سفید، قرمز:آبی (۷۰:۳۰)، قرمز:آبی (۳۰:۷۰)، قرمز:آبی (۵۰:۵۰)، آبی ۱۰۰ درصد و قرمز ۱۰۰ درصد با شدت نوری 10 ± 250 میکرومول فوتون بر مترمربع در ثانیه ساطع شده از لامپ‌های LED در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۲ در آزمایشگاه مجتمع آموزش عالی تربت‌جام انجام شد. نتایج نشان داد که طیف‌های مختلف نوری تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه زوفا داشتند. در نور قرمز، بیشترین میزان وزن تر و خشک شاخساره، ریشه و کل گیاه ثبت شد، بیشترین میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و اسانس در گیاهان رشد یافته در محیط نوری ترکیب قرمز:آبی (۳۰:۷۰) به دست آمد. کمترین میزان آنتی‌اکسیدان در تیمار شاهد مشاهده شد. تیمار ترکیبی نور قرمز:آبی (۷۰:۳۰) باعث افزایش ۳۰ درصد کاروتنوئید نسبت به شاهد گردید. بیشترین و کمترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی به ترتیب در تیمارهای نوری قرمز:آبی (۵۰:۵۰) و شاهد ثبت گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از روش‌های نوین کشاورزی با سیستم‌های نوردهی مصنوعی سبب بهبود شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه زوفا شده و کاربرد نور قرمز ۱۰۰ درصد و ترکیب قرمز:آبی (۷۰:۳۰) به دلیل افزایش کارایی تولید و حصول حداکثر عملکرد گیاه، از نظر اقتصادی و اجرایی قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: رشد، سطح برگ، کلروفیل کل، کیفیت نور

مقدمه

زوفا گیاهی علفی چندساله با نام علمی *Hyssopus officinalis* L. متعلق به خانواده نعنائیان (Lamiaceae) است و همانند سایر گونه‌های این خانواده از جمله آویشن (*Thymus vulgaris* L.) و مرزنجوش (*Origanum majorana* L.) دارای ترکیبات فعال بیولوژیکی متعددی در اسانس و عصاره می‌باشد که امروزه در صنایع دارویی و غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بسیاری از موارد،

ترکیبات فنلی موجود در اسانس و عصاره این گیاهان قادرند با مهار رادیکال آزاد، کاهش التهاب و افزایش ایمنی بدن تأثیرات درمانی قابل توجهی داشته باشد. علاوه بر این، برخی از این ترکیبات اثرات مثبتی بر سلامت سیستم عصبی و کاهش استرس نشان داده‌اند (Fathiazad et al., 2011). با رشد جمعیت و افزایش تقاضا جهت تولید غذا، افزایش راندمان تبدیل انرژی فتوسنتزی به عنوان یک راه حل اساسی برای افزایش تولید محصولات کشاورزی پیشنهاد مناسبی است. نور که منبع انرژی فتوسنتز و مهم‌ترین طیف نوری محیط است، نقش اساسی و ویژه‌ای در فعالیت‌های فتوسنتزی، ریخت‌زایی نوری^۲ و تنظیم رشد دارد (Chen et al., 2004). شدت، مدت و کیفیت نور برای گیاهان اهمیت فراوان دارد. کلروفیل‌ها

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

۲- گروه علوم و مهندسی باغبانی، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران
(Email: nastari@tjamcaas.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/jhs.2021.61538.0>

نور قرمز: آبی (۷۵:۲۵) و بیشترین غلظت کلروفیل b را در گیاهان رشد یافته تحت نور آبی گزارش کردند. استفاده از لامپ‌های LED در تولید گیاهان گلخانه‌ای به‌طور فزاینده‌ای رایج شده است. هدف این پژوهش، بررسی پاسخ ریخت‌شناختی و رشدی گیاه زوفا با استفاده از طیف‌های مختلف نور با توجه به امکان تنظیم و کنترل شرایط نوری در این محیط‌ها است. بررسی اثرات طیف‌های نوری مختلف و انتخاب بهترین شرایط نوری برای کشت گیاهان در محیط‌های کنترل شده می‌تواند اطلاعات مفیدی ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

برای بررسی ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه زوفا، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و شش تیمار نوری در اتاقک رشد^۱ در سال ۱۴۰۲ در مجتمع آموزش عالی تربت جام انجام شد. بذرها از شرکت گلس گاردن تهیه شده و به‌طور مستقیم در گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۱۴ سانتی‌متر و قطر ۱۰ سانتی‌متر، حاوی بستر کوکوپیت (۴۰ درصد)، پرلایت (۴۰ درصد) و ورمی‌کلایت (۲۰ درصد) کشت شدند. داخل اتاقک رشد، تیمارهای نوری LED شامل نور سفید (White)، قرمز ۱۰۰ درصد (Red)، آبی ۱۰۰ درصد (Blue)، قرمز ۷۰:آبی ۳۰ (R70:B30)، قرمز ۳۰:آبی ۷۰ (R30:B70) و قرمز ۵۰:آبی ۵۰ (R50:B50) به کار رفت. در این آزمایش، نور سفید به‌عنوان شاهد (کنترل) در نظر گرفته شد. شدت نور برابر با $250 \pm$ میکرومول فوتون بر مترمربع در ثانیه تنظیم گردید. طول دوره روشنایی در روز ۱۶ ساعت و در تاریکی ۸ ساعت بود و دمای روز و شب به‌ترتیب ۲۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. والواشرهای ۲۴ وات LED با طیف‌های مختلف نوری در محفظه‌های به‌طول دو متر، عرض ۱/۵ متر و ارتفاع یک متر جهت اعمال تیمارهای نوری به کار برده شد. فاصله لامپ با گیاهان ۲۵ سانتی‌متر انتخاب گردید و برای توزیع یکنواخت نور در سطح گیاهان در مراحل مختلف رشد به‌وسیله گیره‌های فلزی قابل تنظیم بود. برای پخش یکنواخت نور و جلوگیری از ورود نور به بیمار دیگر، از رفکتور (پارچه عایق) در اطراف هر محفظه استفاده شد. پس از جوانه‌زنی، تغذیه روزانه با محلول غذایی هوگلند ۵۰ درصد انجام گردید. بعد از آنکه گیاهان به مرحله چهار برگی رسیدند با محلول غذایی کامل هوگلند به‌مقدار ۱۰۰ سی‌سی به‌صورت روز در میان (۲۰ گرم در ۱۰ لیتر آب مقطر) تغذیه گردید و تیمارها به‌مدت پنج ماه بر روی گیاهان اعمال شدند.

رنگدانه‌های اصلی جذب نور در گیاهان عالی می‌باشند که طول موج بین ۷۰۰-۴۰۰ nm را جذب کرده و در فعالیت فتوسنتزی مصرف می‌کنند (Davis & Burns, 2016). براساس آزمایش‌های انجام‌شده، کیفیت نور می‌تواند بر رشد و نمو گیاه تأثیرگذار باشد (Schuerger et al., 1997; Bantis et al., 2016). بنابراین، یک منبع نوری با بیشترین کارایی در تبدیل انرژی که منجر به تنظیم طیف نوری می‌شود، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با پیشرفت علم و دست‌ورزی در ویژگی‌های نوری LED، امکان بررسی تأثیر طیف‌های مختلف نور بر بهبود فتوسنتز و تنظیم فرآیندهایی فیزیولوژی گیاهان فراهم شده است (Mitchell et al., 2012; Kim et al., 2019). نور LED با طول موج‌های مشخص می‌تواند نور مورد نیاز گیاهان را تأمین کند، و همچنین باعث هدر رفتن انرژی و طول عمر طولانی، اندازه کوچک و تنظیم دقیق شار فتون فتوسنتزی شود. از LED ها می‌توان به‌عنوان منبع نور برای رشد و عملکرد بهتر گیاه در گلخانه و اتاقک‌های رشد استفاده کرد و هر گیاه در معرض طیف نور خاصی، واکنش‌های متفاوتی از خودشان نشان می‌دهد (Wu et al., 2007).

فلورسانس کلروفیل a به انتشار مجدد انرژی نوری جذب‌شده توسط مولکول‌های کلروفیل a اشاره دارد. اگرچه میزان انرژی از دست‌رفته در فرآیند فتوسنتز از طریق فلورسانس تنها حدود سه تا پنج درصد از کل انرژی جذب‌شده را شامل می‌شود، اما همین مقدار اندک از انرژی اتلافی، اطلاعات ارزشمندی را در اختیار قرار می‌دهد. بنابراین، اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل a در سیستم فتوسنتزی در واقع روشی برای سنجش انرژی کوانتومی نوری است که در فرآیند فتوسنتز مورد استفاده قرار نگرفته و یا به‌صورت گرما دفع شده است (Kalaji et al., 2012; Kalaji et al., 2016). نور آبی و قرمز، طول موج‌های اصلی برای تثبیت دی‌اکسیدکربن و فتوسنتز هستند و تأثیر زیادی بر رشد گیاهان دارند (Cosgrove, 1981; Kasajima et al., 2008). بیشترین مقدار فتوسنتز خالص در طیف ترکیبی نور قرمز:آبی و کمترین مقدار در نور آبی و آبی فراقمرز در گل داوودی (*Chrysanthemum morifolium* Ramat) مشاهده شد (Kim et al., 2004). نور قرمز باعث بهبود ارتفاع گیاه قاصدک (*Taraxacum officinale* F.H. Wigg) شد (Manivannan et al., 2015). همچنین، هرناندز و کوبوتا (Hernández & Kubota, 2015) دریافتند که استفاده از ترکیب نور قرمز:آبی (۷۵:۲۵) در مقایسه با استفاده از نور قرمز و آبی به‌تنهایی، در گیاهچه خیار (*Cucumis sativus* L) با افزایش بیشتر نور آبی سبب کاهش ارتفاع و وزن تر و خشک گیاه شد. راماکریشنا و همکاران (Ramakrishna et al., 2011) نشان دادند که کیفیت نور تأثیر زیادی بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی دارد و بیشترین غلظت کلروفیل a و کلروفیل کل در تیمار

اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه

اندازه‌گیری طول میان‌گره، طول ریشه، ارتفاع گیاه، عرض و طول برگ با استفاده از خط‌کش صورت گرفت. قطر ساقه با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر به وسیله کولیس اندازه‌گیری شد. حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج حاوی مقدار مشخصی آب محاسبه گردید، به این صورت که اختلاف بین حجم اولیه و حجم آب پس از قرار گرفتن ریشه تعیین گردید (Clark et al., 1999). برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک اندام هوایی، ریشه، برگ و ساقه، پس از خارج کردن بوته از خاک، ریشه‌ها با آب مقطر شست‌وشو داده شدند تا هیچ‌گونه ذرات خاک باقی نماند و سپس ریشه از قسمت طوقه گیاه جدا شد. پس از شمارش تعداد انشعابات جانبی، وزن تر برگ، ریشه، ساقه و شاخساره به وسیله ترازوس دیجیتال اندازه‌گیری گردید. همچنین برای اندازه‌گیری سطح برگ هر گیاه از دستگاه سطح برگ سنج (CI-202 Area Meter) استفاده شد.

سنجش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای اندازه‌گیری کلروفیل ۲۰۰ میلی‌گرم از برگ تازه بالغ با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون چینی ساییده، سپس به مدت پنج دقیقه با ۴۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. میزان جذب محلول رویی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۴-۶۴۵-۴۷۰ نانومتر قرائت شد و میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید طبق معادله‌های ۱ تا ۴ برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تر محاسبه شد (Lichtenthaler & Wellburn, 1988).

$$Chl_a \text{ (mg/g)} = (12/21 \times A_{664}) - (2/81 \times A_{645}) \quad (1)$$

$$Chl_b \text{ (mg/g)} = (20/13 \times A_{645}) - (5/03 \times A_{664}) \quad (2)$$

$$Chl_t \text{ (mg/g)} = (17/32 \times A_{645}) + (7/18 \times A_{664}) \quad (3)$$

$$Carotenoid \text{ (mg/g)} = ((100 \times A_{470}) - (3/27 \times Chl_a) - (104 \times Chl_b))/229 \quad (4)$$

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ در گیاهانی که تحت تیمارها مختلف قرار گرفته، یک یا دو برگ بالغ انتخاب شد و به ۲۰ قطعه به ابعاد ۵×۵ میلی‌لیتر تقسیم گردید و بلافاصله به وسیله ترازوی دیجیتال مقدار وزن آن یادداشت شد، سپس به داخل لوله فالکون ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر انتقال یافت. بعد گذشت ۲۴ ساعت وزن آماس اندازه‌گیری شد. در آخر، نمونه‌ها در آون با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت برای اندازه‌گیری وزن خشک قرار گرفتند. محتوای نسبی آب برگ با استفاده از معادله ۵ محاسبه گردید (Gindaba et al., 2004).

(۵)

$$RWC = (\text{وزن خشک} - \text{وزن آماس}) / (\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})$$

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

برای تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی از روش توانایی مهار رادیکال آزاد DPPH استفاده شد. برای این منظور ۲۰۰ میکرولیتر از عصاره تهیه‌شده با ۱/۸ میلی‌لیتر آب مقطر و یک میلی‌لیتر محلول DPPH ۰/۱ میلی‌مولار مخلوط گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق و در تاریکی قرار گرفتند و در نهایت جذب آن‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. برای تهیه محلول شاهد نیز تمامی مراحل تهیه محلول نمونه تکرار شد، فقط به جای عصاره از متانول ۸۰ درصد استفاده گردید. درصد مهار رادیکال آزاد DPPH نیز از معادله ۶ به دست آمد (Chen et al., 2013).

(۶)

$$100 \times (\text{جذب شاهد} / \text{جذب نمونه}) - 1 = \text{درصد مهار کنندگی}$$

درصد اسانس

با استفاده از سیستم تقطیر با آب، مقدار اسانس تعیین شد. ۵۰ گرم اندام هوایی خشک‌شده گیاه از هر تکرار وزن شده و اسانس‌گیری به مدت چهار ساعت با دستگاه کلونجر انجام گرفت. میزان اسانس به صورت درصد حجمی وزنی (%v/w) محاسبه شد. عملکرد اسانس نیز از حاصل ضرب درصد اسانس و وزن خشک شاخساره در گلدان به دست آمد (British Pharmacopoeia, 1988).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌ها با استفاده از برنامه آماری SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و میانگین‌ها به وسیله آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

شاخص‌های ریخت‌شناختی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای مورد مطالعه اثر معنی‌داری بر صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۱).

بیشترین (۷۶/۹۳ سانتی‌متر) و کمترین (۳۵/۱۷ سانتی‌متر) مقدار ارتفاع گیاه به ترتیب در تیمارهای نور قرمز و نور سفید به دست آمد، در تیمار نور قرمز، ارتفاع گیاه نسبت به شاهد (نور سفید) ۱۱۸ درصد افزایش یافت و بین سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). براساس مقایسه میانگین داده‌ها مشخص گردید که

کمترین حجم ریشه به ترتیب در تیمار نوری قرمز:آبی (۷۰:۳۰) (۲۰/۰ میلی‌لیتر) و تیمار نور سفید (۲۰/۰ میلی‌لیتر) به دست آمد، در حالی که بیشترین مقدار (۷۲/۰ میلی‌لیتر) در تیمار ترکیب نوری قرمز:آبی (۳۰:۷۰) ثبت شد (جدول ۳). بیشترین (۳۲/۱۷ سانتی‌متر) طول ریشه در تیمار نور قرمز به دست آمد که نسبت به شاهد ۳۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کمترین (دو میلی‌متر) و بیشترین (۴/۶۷ میلی‌متر) مقدار قطر ساقه در تیمار نور سفید و آبی مشاهده شد (جدول ۳) و در بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بیشترین (۳/۷۷ سانتی‌متر) و کمترین (۱/۵۳ سانتی‌متر) طول میان‌گره به ترتیب در تیمارهای نور قرمز و ترکیبی نور قرمز:آبی (۵۰:۵۰) به دست آمد (جدول ۳). طول دم‌برگ بین ۰/۵ تا ۱/۲۳ سانتی‌متر متغیر بود، به طوری که بیشترین (۱/۲۳ سانتی‌متر) و کمترین (۰/۵ سانتی‌متر) طول دم‌برگ به ترتیب در تیمار نور قرمز و ترکیب نوری قرمز:آبی (۳۰:۷۰) مشاهده شد (جدول ۳). کمترین (۱/۵۰ میلی‌متر) طول برگ در تیمار ترکیبی نور قرمز:آبی (۳۰:۷۰) به دست آمد (جدول ۳) که نسبت به شاهد مقدار ۱۸ درصد کاهش داشت. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کمترین (۰/۴۳ میلی‌متر) عرض برگ در تیمار ترکیب نور قرمز:آبی (۳۰:۷۰) و بیشترین مقدار آن (۱/۰۷ میلی‌متر) در تیمار نور قرمز به دست آمد و بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). کمترین (۳ عدد) و بیشترین (۱۲/۶۷ عدد) تعداد انشعابات جانبی در گیاهان رشد یافته در محیط تیمارهای ترکیبی نور قرمز:آبی (۳۰:۷۰) و نور قرمز ثبت شد (جدول ۳). طبق نتایج به دست آمده، تیمار نور آبی کمترین (۱۲۹/۵۶ سانتی‌متر مکعب) میزان سطح برگ را داشت (جدول ۳).

سیگنال‌های نوری باعث تنظیم ساختار و فیزیولوژی گیاه می‌شوند و رشد، عملکرد و پاسخ اولیه گیاهان به شرایط نور بستگی دارد (Raju et al., 2013; Muneer et al., 2014). فاکتورهای ریخت‌شناختی و رشدی گیاه در این آزمایش تحت تأثیر طیف‌های مختلف نور قرار گرفتند. نورهای ترکیبی قرمز و آبی باعث بهبود شاخص‌های رشدی نسبت به نورهای قرمز و آبی تک‌طیف شدند. نور قرمز و آبی حاوی طول‌موج‌های اصلی نور برای رشدونمو گیاهان هستند (Kozai et al., 2016). در این پژوهش، افزایش نور آبی منجر به کاهش رشد شد، در حالی که افزایش نور قرمز باعث بهبود و افزایش عامل‌های رشدی در گیاه زوفا گردید.

ناینا و همکاران (Nanya et al., 2012) گزارش کردند که درصد بالای نور آبی باعث کاهش ارتفاع و زیست‌توده در گیاه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) شد، در حالی که درصد بالای نور قرمز موجب افزایش ارتفاع و زیست‌توده در این گیاه گردید. همچنین باتشاور و همکاران (Batschauer et al., 2007) و نیشیمورا و

همکاران (Nishimura et al., 2007) بیان کردند که نور قرمز نسبت به نور آبی تأثیر بیشتری بر افزایش طول گیاه دارد. لو و همکاران (Lu et al., 2012) نیز گزارش کردند که گیاهان گوجه‌فرنگی تحت تأثیر نور آبی، رشد ضعیف‌تری نسبت به سایر نورها داشتند که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. در گیاه گل انگشتانه (*Digitalis purpurea* L.)، صفات رشدی گیاهان رشد یافته تحت تیمار ترکیب نوری قرمز ۸۰ درصد و آبی ۲۰ درصد در مقایسه با گیاهان تیمار شده با نور قرمز حداکثر بودند (Verma et al., 2018). همچنین نور قرمز باعث بهبود ارتفاع گیاه قاصدک شد (Manivannan et al., 2015). در مطالعه حاضر، بیشترین طول و عرض برگ در محیط با ترکیب نوری قرمز:آبی به دست آمد. در مطالعات متعدد گزارش شده است که استفاده ترکیبی از نور قرمز و آبی اثرات هم‌افزایی ایجاد می‌کند و باعث بهبود ویژگی‌های رشدی گیاهان می‌شود. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های قبلی هم‌خوانی دارد (Hogewoning et al., 2010; Savvides et al., 2012; Stutte et al., 2009) و همکاران (Li et al., 2017) نشان داد که استفاده از نورهای قرمز و ترکیب قرمز:آبی، در مقایسه با نور سفید، به طور معنی‌داری باعث افزایش ارتفاع گیاه و قطر ساقه در گیاه گوجه‌فرنگی شد. با این حال، رشد ریشه در نور قرمز کاهش یافت. همچنین هراندز و کوبوتا (Hernández & Kubota, 2015) دریافتند که استفاده از ترکیب نور قرمز:آبی در مقایسه با استفاده از نور قرمز و آبی به تنهایی، در گیاهچه خیار با افزایش بیشتر نور آبی سبب کاهش ارتفاع و وزن تر و خشک گیاه شد. در مورد گیاه *Dracaena fragrans* گزارش شده است که نور سفید باعث افزایش طول ریشه گردید (Vinterhalter et al., 1990). اما در گیاه کنگر فرنگی (*Cynara scolymus* L.)، بیشترین رشد ریشه در نور قرمز مشاهده شد (Rabara et al., 2017).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که کیفیت نور بر صفات رویشی گیاه زوفا در سطح یک درصد از نظر آماری معنی‌دار شد (جدول ۲). بررسی نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۱-IV) نشان داد که بیشترین (۲۰/۲۱ گرم) وزن تر شاخساره در طیف نور قرمز و کمترین آن (۳/۳۴ گرم) در طیف نور سفید ثبت شد. مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۱-IV) نشان داد که وزن خشک شاخساره بین ۰/۴۵ تا ۳/۱۶ سانتی‌متر متغیر است. بیشترین (۳/۱۶ سانتی‌متر) و کمترین (۰/۴۵ سانتی‌متر) وزن خشک به ترتیب در تیمار نور تک‌طیف قرمز و سفید گزارش شد. براساس مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۱-I) بیشترین (۱۰/۴۱ گرم) وزن تر برگ و کمترین (۲/۰۹ گرم) آن به ترتیب در تیمار تک‌طیف قرمز و سفید مشاهده شد. طبق نتایج به دست آمده مشخص گردید (شکل ۱-I) که گیاهان پرورش یافته در تیمارهای نوری قرمز و آبی، بیشترین وزن خشک برگ را با مقادیر ۱/۶۲ و

افزایش سهم نور آبی، وزن تر و خشک گیاه به‌طور قابل توجهی کاهش یافت (Hernández & Kubota., 2015). هتو و همکاران (Heo et al., 2006) اعلام کردند که استفاده از نور ترکیبی قرمز و آبی در گیاهان گل ابری (*Gypsophila paniculata* L.)، همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) و مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) منجر به افزایش وزن خشک شاخساره شد.

شاخص‌های فیزیولوژیکی

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۴) اثرات تیمارهای مختلف نوری بر محتوای کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و درصد اسانس در سطح احتمال یک درصد و بر محتوای کلروفیل a و آنتی‌اکسیدان در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شدند و مشخص گردید که تیمارهای مختلف نوری اثر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ نداشت.

مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که کمترین (۰/۶۳ میلی‌گرم) میزان کلروفیل a در محیط نور تک‌طیف قرمز و بیشترین میزان کلروفیل a در ترکیب نوری قرمز:آبی (۳۰:۷۰) به دست آمد، اما اختلاف معنی‌داری با شاهد (نور سفید) نشان نداد (شکل ۳-I). کمترین (۰/۹۵ میلی‌گرم) میزان کلروفیل b در تیمار نوری قرمز مشاهده شد. در تیمار نور تک‌طیف نور قرمز، مقدار کلروفیل b گیاه زوفا نسبت به شاهد به‌مقدار ۴۸ درصد کاهش یافت (شکل ۳-II). بیشترین (۲/۹۹ میلی‌گرم) میزان کلروفیل کل در محیط نوری قرمز:آبی (۳۰:۷۰) و کمترین (۱/۵۷ میلی‌گرم) میزان کلروفیل کل در نور قرمز مشاهده شد (شکل ۳-III). گیاهان رشدیافته در ترکیب نوری قرمز:آبی (۷۰:۳۰) و قرمز:آبی (۳۰:۷۰) به‌ترتیب بیشترین (۱/۱۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین (۱/۰۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) میزان کاروتنوئید را داشتند، تیمار ترکیب نوری قرمز:آبی (۷۰:۳۰) نسبت به شاهد به‌مقدار سه درصد افزایش داشت (شکل ۳-IV).

کلروفیل‌ها و کاروتنوئید، رنگدانه‌های اصلی هستند که نور قرمز و آبی را بیشتر جذب کرده و انرژی مورد نیاز گیاه را تأمین می‌کنند (Suetsugu et al., 2014). ترکیب نور قرمز و آبی بر رنگدانه‌های فتوسنتزی تأثیر می‌گذارد (Wang Hernandez & Kubota, 2015; et al., 2016; Hogewoning et al., 2010). راماکریشنا و همکاران (Ramakrishna et al., 2011) نشان دادند که کیفیت نور تأثیر زیادی بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی داشت و بیشترین غلظت کلروفیل a و کلروفیل کل در تیمار نور قرمز:آبی و بیشترین غلظت کلروفیل b را در گیاهان رشدیافته تحت نور آبی گزارش شد.

۱/۴۱ گرم داشتند، درحالی‌که گیاهان پرورش‌یافته در تیمار نوری سفید کمترین (۰/۲۸ گرم) وزن خشک برگ را نشان دادند. طبق شکل ۱-II بیشترین (۹/۸۰ گرم) وزن تر ساقه گیاه زوفا در تیمار تک طیف قرمز و کمترین (۱/۲۴ گرم) وزن تر ساقه در تیمار نور شاهد (نورسفید) مشاهده شد. کمترین (۰/۱۷ گرم) وزن خشک ساقه متعلق به تیمار نوری شاهد (نور سفید) بود که با تیمار ترکیبی نور قرمز:آبی (۳۰:۷۰) اختلاف معنی‌داری نداشت، درحالی‌که بیشترین (۱/۵۴ گرم) مقدار در تیمار نور قرمز به دست آمد (شکل ۱-II). براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۱-III)، بیشترین (۲/۳۶ گرم) وزن تر ریشه در تیمار نوری قرمز و کمترین (۰/۲۳ گرم) مقدار آن در طیف نوری شاهد (سفید) مشاهده شد. طبق نتایج (شکل ۱-III)، بیشترین مقدار وزن خشک ریشه در تیمار نوری آبی (۰/۵۲ گرم) و تیمار نوری قرمز (۰/۴۵ گرم) به دست آمد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد (شکل ۱-V) که گیاهان تحت طیف نوری قرمز، بیشترین وزن تر کل گیاه را با مقدار ۲۲/۵۷ گرم و طیف نوری سفید کمترین وزن تر را با مقدار ۳/۵۷ گرم داشت. براساس نتایج به‌دست‌آمده (شکل ۱-V)، بیشترین (۳/۶۱ گرم) مقدار وزن خشک کل گیاه زوفا در تیمار نور قرمز مشاهده شد. بیشترین (۲۱۵/۱۴ سانتی‌مترمکعب) سطح برگ در تیمار ترکیبی نور قرمز:آبی (۳۰:۷۰) و کمترین (۱۸۵/۱۰ سانتی-مترمکعب) آن در تیمار نور تک طیف آبی گزارش گردید. همچنین ترکیب نور قرمز:آبی (۳۰:۷۰) نسبت به شاهد ۱۶٪ افزایش داشت (شکل ۲).

نور قرمز باعث افزایش وزن تر و خشک گیاهان می‌شود. همچنین نور آبی تأثیر قابل توجهی بر زیست‌توده دارد (Wang et al., 2009; Savvides et al., 2012; Johkan et al., 2010; Son & Oh, 2013). نور قرمز به بهبود افزایش وزن گیاه چای چینی (*Camellia sinensis*) کمک کرد (Ryu et al., 2012). در چنار شرقی (*Platanus orientalis* L.)، استفاده از نور ترکیبی قرمز: آبی نسبت به نور سفید منجر به افزایش وزن ساقه شد (Arena et al., 2016). همچنین در داوودی نیز نتایج نشان داد که نور قرمز: آبی باعث افزایش وزن تر و خشک گیاه گردید (Kim et al., 2004). سبزه‌علیان و همکاران (Sabzalian et al., 2014) گزارش کردند که از میان انواع طیف‌های نوری شامل سفید، قرمز، آبی و ترکیبی از قرمز و آبی، نور ترکیبی قرمز و آبی بیشترین تأثیر را در افزایش رشدونمو، تقویت فعالیت‌های فتوسنتزی و افزایش وزن تر گیاهان نعنای (*Mentha spicata* L.)، ریحان (*Ocimum basilicum* L.) و عدس (*Lens culinaris* Medik) داشت. در یک مطالعه دیگر، زمانی که در گیاهچه‌های خیار از نور ترکیبی قرمز و آبی به‌جای استفاده جداگانه از نور قرمز و آبی بهره گرفته شد، نتایج نشان داد که با

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف نوری LED بر برخی از خصوصیات ریخت‌شناختی گیاه زوفا
Table 1- ANOVA for the effect of different LED light treatments on some morphological characteristics of *Hyssopus officinalis*

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares						
		ارتفاع گیاه Plant height	حجم ریشه Root volume	ریشه Root length	قطر ساقه Stem diameter	طول میان‌گره Internode length	طول دم‌برگ Petiole length	عرض برگ Leaf width
تیمار Treatment	5	575.35**	0.12**	127.15**	2.62**	2.28**	0.21*	0.40**
خطا آزمایش Experimental error	12	25.71	0.02	12.47	0.04	0.41	0.05	0.07
ضرب تغییرات CV (%)	-	0.26	0.56	0.32	0.29	0.40	0.35	0.18

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

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف نوری LED بر برخی از خصوصیات رویشی گیاه زوفا
Table 2- ANOVA for the effect of different LED light treatments on the vegetative characteristics of *Hyssopus officinalis*

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares									
		وزن تر شاخساره Shoot fresh weight	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن تر برگ Leaf fresh weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن تر ساقه Stem fresh weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	وزن تر کل گیاه Total fresh weight	وزن خشک کل گیاه Total dry weight
تیمار Treatment	5	109.58**	2.70**	1.91**	0.06**	27/54**	0.79**	29.05**	0.64**	138.46**	3.46**
خطا آزمایش Experimental error	12	3.18	0.08	0.05	0.003	05.1	03.0	0.78	0.04	2.80	0.08
ضرب تغییرات CV (%)	-	0.55	0.55	0.73	0.46	0.58	0.55	0.82	0.61	0.69	0.46

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

15.07^{ns}

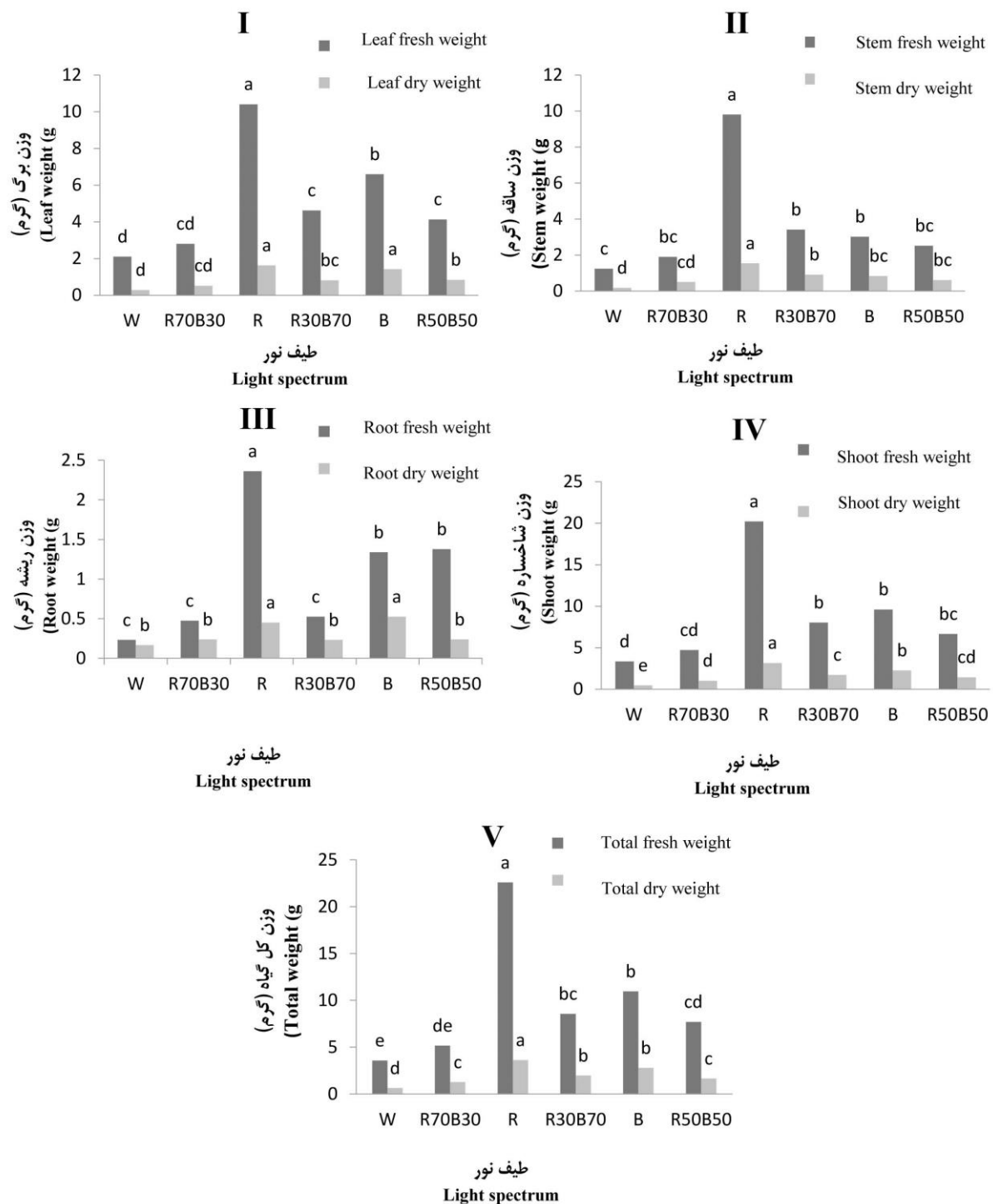
7.86

0.04

جدول ۳- اثر تیمارهای مختلف نوری LED بر برخی از خصوصیات ریخت‌شناختی آب گیاه زوفا
Table 3- The effects of different LED light treatments on some morphological characteristics of *Hyssopus officinalis*

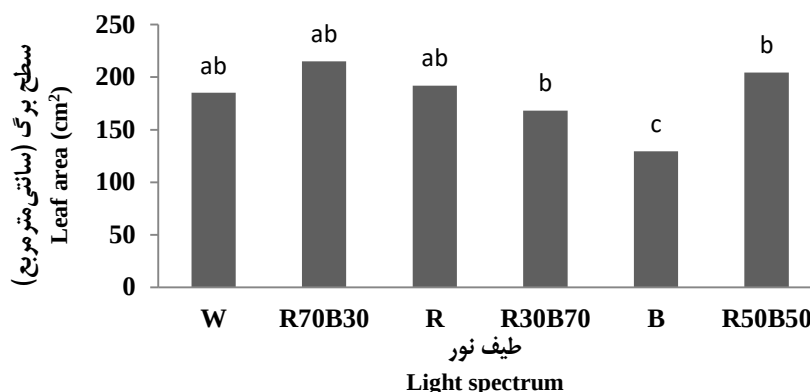
طیف نور Plant height	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	حجم ریشه Root volume (ml)	طول ریشه Root length (cm)	قطر ساقه Stem diameter (cm)	طول میان‌گره Internode length (cm)	طول دم‌برگ Petiole length (cm)	طول برگ Leaf length (cm)	عرض برگ Leaf width (cm)	تعداد انشعابات The number of branches (number)	سطح برگ Leaf area (cm ²)	محتوی نسبی آب برگ Leaf relative water content (%)
سفید White	35.17c*	0.20c	23.50b	2.00c	3.03ab	1.13ab	2.17a	0.83b	5.00c	185.10ab	70.28a
قرمز ۷۰ نانومتر R70B30	52.57b	0.72 a	13.33c	3.00bc	1.63c	0.50c	1.53a	0.43c	3.00d	215.14ab	68.06a
قرمز ۱۰۰ نانومتر R100	76.93a	0.43b	32.17a	3.67ab	3.77a	1.23a	2.33a	1.07a	12.67a	192.04ab	72.09a
قرمز ۲۰۰ نانومتر R30B70	51.83b	0.20c	17.64bc	4.00ab	1.90bc	0.80bc	2.17a	0.77b	7.33b	168.00b	68/64a
آبی ۱۰۰ نانومتر B100	45.90b	0.37bc	18.73bc	4.67a	2.47bc	0.77bc	2.40a	0.80b	8.00b	129.56c	68/62a
قرمز ۵۰ نانومتر R50B50	47.90b	0.33bc	18.40bc	4.00ab	1.57c	0.93ab	2.60a	0.77b	6.33bc	171.00b	65.40a
حداقل اختلاف معنی‌داری LSD	9.02	0.21	62.82	1.15	1.11	0.37	0.43	0.21	1.91	65.30	4.98

* در هر ستون میانگین‌ها دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.
* In each column, means with at least one similar letter do not have a significant difference based on LSD test at p≤0.05.



شکل ۱- تأثیر طیف‌های مختلف نوری LED بر خصوصیات رویشی شامل وزن تر (LSD=1.80) و خشک برگ (I)(LSD=0.30)، وزن تر (LSD=1.56) و خشک ساقه (II)(LSD=0.64)، وزن تر (LSD=0.37) و خشک ریشه (III)(LSD=0.09)، وزن تر (LSD=3.15) و خشک شاخساره (IV)(LSD=0.50)، وزن تر (LSD=2.96) و خشک کل گیاه (V)(LSD=0.50) در گیاه زوفا

Figure 1- The effect of different LED light spectra on the growth characteristics include leaf fresh (LSD=1.80) and dry (LSD=0.30) weights(I), stem fresh (LSD=1.56) and dry (LSD=0.64) weights (II), root fresh (LSD=0.37) and dry (LSD=0.09) weights (III), shoot fresh (LSD=3.15) and dry (LSD=0.50) weights (IV), and total fresh (LSD=2.96) and dry (LSD=0.50) weights of whole plant (V) of *Hyssopus officinalis*



شکل ۲ - تأثیر طیف‌های مختلف نوری LED بر سطح برگ (LSD=37/56) گیاه زوفا

Figure 2- The effect of different LED light spectra on the Leaf area (LSD=37/56) of *Hyssopus officinalis*

ریحان را تحت تأثیر طیف نورهای ترکیبی قرمز و آبی گزارش کردند. براساس این یافته‌ها، در مطالعه حاضر نیز بیشترین میزان رنگدانه‌های کلروفیل در نورهای ترکیبی قرمز و آبی مشاهده شد. افزایش میزان کلروفیل منجر به افزایش فتوسنتز می‌شود (Evans, 1988). در این مطالعه، گیاهانی که تحت تأثیر نور ترکیبی قرمز:آبی (۳۰:۷۰) قرار گرفتند، بالاترین سطح رنگدانه‌های فتوسنتزی را نشان دادند. این وضعیت باعث افزایش ظرفیت فتوسنتزی و بهبود شاخص‌های رشدی آن‌ها شد.

وانگ و همکاران (Wang et al., 2009) به این نتیجه رسیدند که ترکیب نور قرمز و آبی تأثیر مثبتی بر رشد و عملکرد گیاه داشت. همچنین گزارش شد که طیف آبی باعث تغییر در تراکم، رشد و کاهش سنتز کلروفیل می‌شود (Kinoshita et al., 2001). با استفاده از طیف‌های ترکیبی آبی و قرمز، میزان کلروفیل گیاه افزایش یافت (Hosseini et al., 2019; Wu et al., 2007). حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2019) نیز افزایش تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی، کارایی انتقال الکترون و شاخص‌های رشد واریته‌های سبز و بنفش

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف نوری LED بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه زوفا

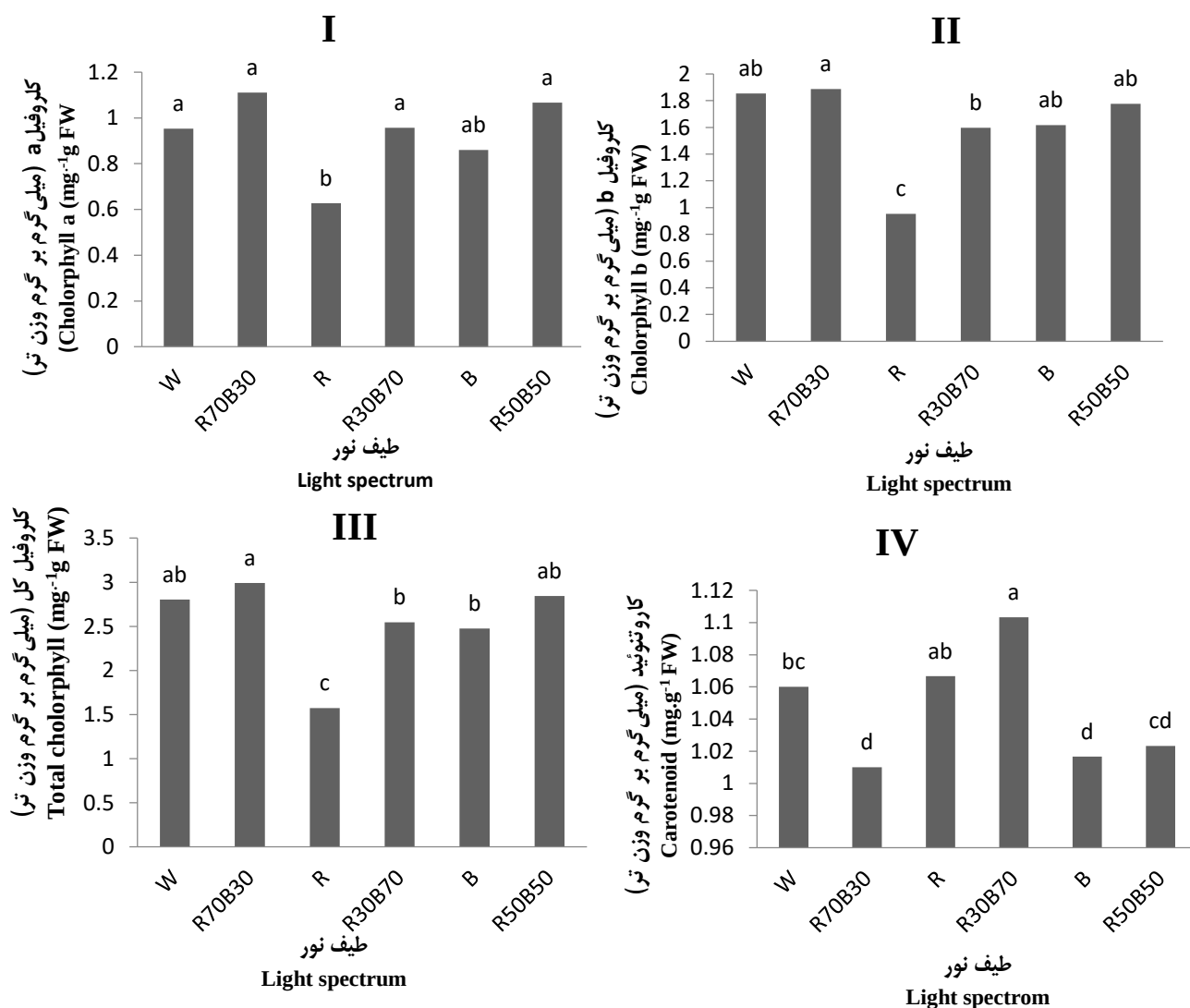
Table 4- ANOVA for the effect of different LED light treatments on the phytochemical characteristics of *Hyssopus officinalis*

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares					
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid	آنتی‌اکسیدانی Antioxiant activity	درصد اسانس Essential oil
تیمار Treatment	5	0.09*	0.36**	0.78**	0.004**	6.74**	0.57**
خطا آزمایش Experimental error	12	0.03	0.02	0.08	0.001	2.08	0.01
ضریب تغییرات CV (%)	-	0.22	0.21	0.20	0.03	0.02	0.40

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

خود روی تأثیر LED بر گیاه ژینوار (*Gymura bicolor*) نشان دادند که با افزایش ۱۵ درصدی نور آبی به ۳۰ درصد، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و تجمع آنتوسیانین و فلاونوئیدها افزایش یافت. همچنین گزارش شده است که تیمار نوری قرمز:آبی (۳۰:۷۰) در دو واریته ریحان باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان فنل کل و آنتوسیانین شد (Hosseini et al., 2019).

کمترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شاهد (نور سفید) (۸۷/۱۶ درصد) و تیمار تک‌طیف آبی (۸۸/۳۲ درصد) ثبت شد، در تیمار ترکیب نوری قرمز:آبی (۵۰:۵۰) بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۹۰/۹۵) به دست آمد که نسبت به شاهد چهار درصد افزایش یافت (شکل ۴). در پژوهش کاپور و همکاران (Kapoor et al., 2018) بر روی گیاه *Rhodiola imbricate*، بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در طیف نور سفید گزارش شد. رن و همکاران (Ren et al., 2014) در آزمایش

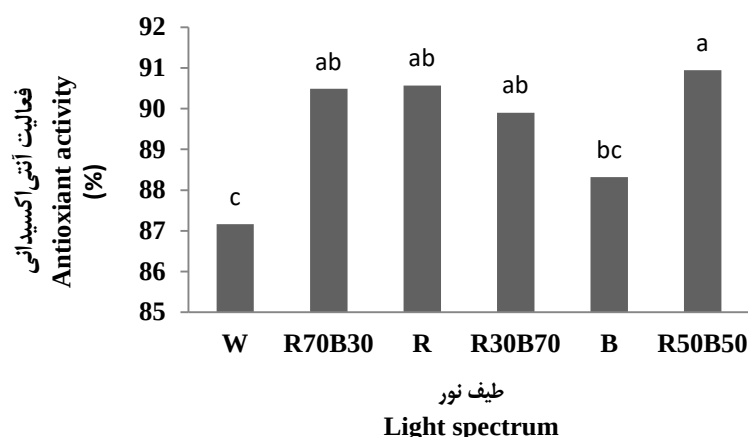


شکل ۳- تأثیر طیف‌های مختلف نوری LED بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی کلروفیل a (I)(LSD=0.30)، کلروفیل b (II)(LSD=0.21)، کلروفیل کل (III)(LSD=0.47) و کاروتنوئید (IV)(LSD=0.05) گیاه زوفا

Figure 3- The effect of different LED light spectra on the photosynthetic pigment contents: chlorophyll (LSD=0.30) a (I), chlorophyll (LSD=0.21) b (II), total chlorophyll (LSD=0.47)(III) and carotenoid (LSD=0.05)(IV) of *hyssopus officinalis*

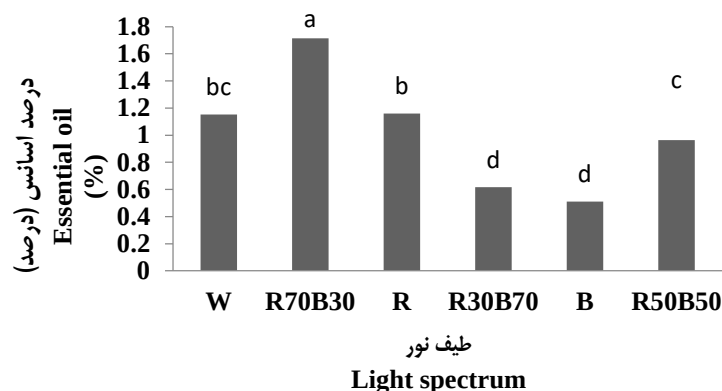
و آبی می‌توانند با تأثیر بر متابولیت‌های اولیه، تجمع این ترکیبات را در بافت گیاه افزایش دهند (Urbonaviciute et al., 2008). نور آبی نیز تولید برخی متابولیت‌ها را افزایش می‌دهد. برای مثال، پارک و همکاران (Park et al., 2013) گزارش کردند که نور آبی در گیاه جینسینگ موجب افزایش ترکیباتی نظیر اسیدوانیلیک، اسیدکوماریک و اسیدفرولیک شد.

بیشترین (۱/۷۱ درصد) مقدار اسانس در گیاهان پرورش‌یافته تحت تیمار ترکیب نوری قرمز:آبی (۳۰:۷۰) و کمترین مقدار اسانس در تیمارهای نوری آبی (۰/۵۱ درصد) و تیمار ترکیب نوری قرمز:آبی (۷۰:۳۰) (۶۲ درصد) ثبت گردید (شکل ۵). اسانس‌های گیاهی به‌عنوان متابولیت‌های ثانویه، نقش مهمی در دفاع گیاهان و جلب حشرات دارند. اگرچه تحقیقات محدودی در مورد تأثیر نورهای LED بر تولید اسانس انجام شده، نتایج اولیه نشان داده‌اند که نورهای قرمز



شکل ۴- تأثیر طیف‌های مختلف نوری LED بر فعالیت آنتی اکسیدانی (LSD=1/17) گیاه زوفا

Figure 4- The effect of different LED light spectra on the antioxidant activity (LSD=1.17) of *Hyssopus officinalis*



شکل ۵- تأثیر طیف‌های مختلف نوری LED بر درصد اسانس (LSD=0.17) گیاه زوفا

Figure 5- The effect of different LED light spectra on the essential oil content (LSD=0.17) of *Hyssopus officinalis*

نتیجه‌گیری

باین‌حال، پیش از کاربرد سیستم‌های نوری، لازم است که طیف نوری مناسب برای هر گونه گیاهی به‌طور دقیق مشخص شود. این موضوع می‌تواند به بهینه‌سازی تولید گیاه کمک کند و نیاز به تحقیق بیشتر در این زمینه را ضروری می‌سازد.

نتایج این مطالعه نشان داد که طول موج قرمز در بین طیف‌های مختلف نور، تأثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های ریخت‌شناختی و رشدی گیاه دارد. ترکیب نور قرمز و آبی با نسبت ۳۰:۷۰ باعث افزایش محتوای کلروفیل، درصد اسانس و درصد آنتی‌اکسیدان در گیاهان شد.

References

1. Arena, C., Tsonev, T., Doneva, D., De Micco, V., Michelozzi, M., Brunetti, C., Calfapietra, C., & Loreto, F. (2016). The effect of light quality on growth, photosynthesis, leaf anatomy and volatile isoprenoids of a monoterpene-emitting herbaceous species (*Solanum lycopersicum* L.) and an isoprene-emitting tree (*Platanus orientalis* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 130, 122-132. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.05.014>
2. Batschauer, A., Banerjee, P., & Pokorny, R. (2007). *Cryptochromes*. Blackwell Publishing, Oxford
3. Bantis, F., Ouzounis, T., & Radoglou, K. (2016). Artificial LED lighting enhances growth characteristics and total phenolic content of *Ocimum basilicum*, but variably affects transplant success. *Scientia Horticulturae*, 198, 277-283. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.11.014>
4. *British Pharmacopoeia*. (1988). (Vol. 2). London: H.M.S.O, p. 137-138.

5. Chen, M., Chory, J., & Fankhauser, C. (2004). Light signal transduction in higher plants. *Annual Review of Genetics*, 38, 87-117. <https://doi.org/10.1146/annurev.genet.38.072902.092259>
6. Chen, S., Shen, X., Cheng, S., Li, P., Du, J., Chang, Y., & Meng, H. (2013). Evaluation of garlic cultivars for polyphenolic content and antioxidant properties. *Plos One*, 8(11), 1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079730>
7. Cosgrove, D.J. (1981). Rapid suppression of growth by blue light: Occurrence, time course, and general characteristics. *Plant Physiology*, 67, 584-590. <https://doi.org/10.1104/pp.67.3.584>
8. Clark, L.J., Whalley, W.R., & Barraclough, P.B. (1999). How do roots penetrate strong soli. *Plant and Soli*, 217(1-2), 107-116. <https://doi.org/10.1023/A:1026140122848>
9. Davis, P.A., & Burns, C. (2016). Photobiology in protected horticulture. *Journal of Food and Energy Security*, 5, 223-238. <https://doi.org/10.1002/fes3.97>
10. Evans, J.R. (1988). Acclimation by the thylakoid membranes to growth irradiance and the partitioning of nitrogen between soluble and thylakoid proteins. *Functional Plant Biology*, 15(2), 93-106. <https://doi.org/10.1071/PP9880093>
11. Fathiazad, F., Mazandarani, M., & Hamedeyazdan, S. (2011). Phytochemical analysis and antioxidant activity of *Hyssopus officinalis* L. from Iran. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 1(2), 63. <https://doi.org/10.5681/apb.2011.009>
12. Gindaba, J., Rozanov, A., & Negash, L. (2004). Response of seedlings of two *Eucalyptus* and three deciduous tree species from Ethiopia to severe water stress. *Forest Ecology and Management*, 201, 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.07.009>
13. Hernandez, R., & Kubota, C. (2015). Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. *Environmental and Experimental Botany*, 121(1), 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.04.001>
14. Heo, J.W., Lee, C.W., & Paek, K.Y. (2006). Influence of mixed LED radiation on the growth of annual plants. *Journal of Plant Biology*, 49, 286-290. <https://doi.org/10.1007/BF03031157>
15. Hosseini, A., Mehrjerdi, M.Z., Aliniaiefard, S., & Seif, M. (2019). Photosynthetic and growth responses of green and purple basil plants under different spectral compositions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25, 741-752. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00647-7>
16. Hogewoning, S.W., Trouwborst, G., Maljaars, H., Poorter, H., van Leperen, W., & Harbinson, J. (2010). Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. *Journal of Experimental Botany*, 61(11), 3107-3117. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq132>
17. Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S.N., & Yoshihara, T. (2010). Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seed quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *Horticultural Science*, 45, 1809-1814. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.12.1809>
18. Kalaji, H.M., Carpentier, R., Allakhverdiev, S.I., & Bosa, K. (2012). Fluorescence parameters as early indicators of light stress in barley. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 112, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2012.03.009>
19. Kalaji, H.M., Jajoo, A., Oukarroum, A., Brestic, M., Zivcak, M., Samborska, I.A., Cetner, M.D., Łukasik, I., Goltsev, V., & Ladle, R.J. (2016). Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38, 102-111. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2113-y>
20. Kasajima, S.Y., Inoue, N., Mahmud, R., & Kato, M. (2008). Developmental responses of wheat cv. Norin 61 to fluence rate of green light. *Plant Production Science*, 11, 76-81. <https://doi.org/10.1626/pp.11.76>
21. Kapoor, S., Raghuvanshi, R., Bhardwaj, P., Sood, H., Saxena, S., & Chaurasia, O.P. (2018). Influence of light quality on growth, secondary metabolites production and antioxidant activity in callus culture of *Rhodiola imbricata* Edgew. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 183, 258-265. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.04.018>
22. Kim, H.J., Lin, M.Y., & Mitchell, C.A. (2019). Light spectral and thermal properties govern biomass allocation in tomato through morphological and physiological changes. *Journal of Environmental and Experimental Botany*, 157, 228-240. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.10.019>

23. Kim, S.J., Hahn, E.J., Heo, J.W., & Paek, K.Y. (2004). Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth, and leaf stomata of *Chrysanthemum* plantlets *in vitro*. *Scientia Horticulturae*, 101(2), 143-151. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.10.003>
24. Kinoshita, T., Doi, M., Suetsugu, N., Kagawa, T., Wada, M., & Shimazaki, K.I. (2001). Phot1 and phot2 mediate blue light regulation of stomatal opening. *Nature*, 414, 656. <https://doi.org/10.1038/414656a>
25. Kozai, T., Niu, G., & Takagaki, M. (2016). *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*. Amsterdam / Boston: Academic Press. xxvi + 405.
26. Li, Y., Xin, G., Wei, M., Shi, Q., Yang, F., & Wang, X. (2017). Carbohydrate accumulation and sucrose metabolism responses in tomato seedling leaves when subjected to different light qualities. *Scientia Horticulturae*, 225, 490-497. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.053>
27. Lichtenthaler, H.K., & Rinderle, U. (1988). The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants. *CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 19, 29-85. <https://doi.org/10.1080/15476510.1988.10401466>
28. Lu, N., Maruo, T., Johkan, M., Hohjo, M., Tsukagoshi, S., Ito, Y., & Shinohara, Y. (2012). Effects of supplemental lighting with light-emitting diodes (LEDs) on tomato yield and quality of single-truss tomato plants grown at high planting density. *Environmental Control in Biology*, 50(1), 63-74. <https://doi.org/10.2525/ecb.50.63>
29. Manivannan, A., Soundararajan, P., Halimah, N., Ko, C.H., & Jeong, B.R. (2015). Blue LED light enhances growth, phytochemical contents, and antioxidant enzyme activities of *Rehmannia glutinosa* cultured *in vitro*. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 56(1), 105-113. <https://doi.org/10.1007/s13580-015-0114-1>
30. Mitchell, C., Both, A.J., Bourget, M., Burr, J., Kubota, C., Lopez, R., Morrow, R., & Runkle, E. (2012).
31. LEDs: The future of greenhouse lighting. *Chronica Horticulturae*, 52, 1-9.
32. Muneer, S., Kim, E.J., Park, J.S., & Lee, J.H. (2014). Influence of green, red and blue light emitting diodes on multiprotein complex proteins and photosynthetic activity under different light intensities in lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, 15, 4657-4670. <https://doi.org/10.3390/ijms15034657>
33. Nanya, K., Ishigami, Y., Hikosaka, S., & Goto, E. (2012). Effects of blue and red light on stem elongation and flowering of tomato seedlings. *Acta Horticulturae*, 956, 261-266. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.29>
34. Nishimura, T., Zobayed, S.M.A., Kozai, T., & Goto, E. (2007). Medicinally important secondary metabolites and growth of *Hypericum perforatum* L. plants as affected by light quality and intensity. *Environmental Control in Biology*, 45(2), 113-120. <https://doi.org/10.2525/ecb.45.113>
35. Park, S.Y., Lee, J.G., Cho, H.S., Seong, E.S., Kim, H.Y., Yu, C.Y., & Kim, J.K. (2013). Metabolite profiling approach for assessing the effects of colored light-emitting diode lighting on the adventitious roots of ginseng (*Panax ginseng* C. A. Mayer). *Plant Omics Journal*, 6, 224-230.
36. Rabara, R.C., Behrman, G., Timbol, T., & Rushton, P.J. (2017). Effect of spectral quality of monochromatic LED lights on the growth of Artichoke seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 8, 190. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00190>
37. Raju, S., Shah, S., & Gajbhiye, N. (2013). Effect of light intensity on photosynthesis and accumulation of sennosides in plant parts of senna (*Cassia angustifolia* Vahl.). *Indian Journal of Plant Physiology*, 3, 285-289. <https://doi.org/10.1007/s40502-013-0038-7>
38. Ramakrishna, A., Dayananda, C., Giridhar, P., Rajasekaran, T., & Ravishankar, G.A. (2011). Photoperiod influences endogenous indoleamines in cultured green alga *Dunaliella bardawil*. *Indian Journal of Experimental Biology*, 49, 234-240.
39. Ren, J., Guo, S., Xu, C., Yang, C., Ai, W., Tang, Y., & Qin, L. (2014). Effects of different carbon dioxide and LED lighting levels on the anti-oxidative capabilities of *Gynura bicolor* DC. *Advances in Space Research*, 53(2), 353-361. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2013.11.019>
40. Ryu, J.H., Seo, K.S., Choi, G.L., Rha, E.S., Lee, S.C., Choi, S.K., Kong, S.Y., & Bae, C.H. (2012). Effects of LED light illumination on germination, growth and anthocyanin content of dandelion

- (*Taraxacum officinale*). *The Korean Journal of Plant Resources*, 25(6), 731-738. <https://doi.org/10.7732/kjpr.2012.25.6.731>
41. Sabzalain, M.R., Heydarizadeh, P., Zahedi, M., Boroomand, A., Agharokh, M., Sahba, M.R., & Schoefs, B. (2014). High performance of vegetables, flowers, and medicinal plants in a red-blue LED incubator for indoor plant production. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 879-886 <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0209-6>
 42. Savvides, A., Fanourakis, D., & Van Ieperen, W. (2012). Co-ordination of hydraulic and stomatal conductances across light qualities in cucumber leaves. *Journal of Experimental Botany*, 63, 1135-1143. <https://doi.org/10.1093/jxb/err348>
 43. Schuerger, A.C., Brown, C.S., & Stryjewski, E.C. (1997). Anatomical features of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light. *Annals of Botany*, 79, 273-282. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0341>
 44. Son, K.H., & Oh, M.M. (2013). Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes. *Horticultural Science*, 48, 988-995. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.8.988>
 45. Stutte, G.W., Endey, S., & Skerritt, T. (2009). Photoregulation of bioprotectant content of red leaf lettuce with light-emitting diodes. *Journal of HortiScience*, 44, 79-82. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.1.79>
 46. Suetsugu, N., Takami, T., Ebisu, Y., Watanabe, H., Iiboshi, C., Doi, M., & Shimazaki, K. (2014). Guard cell chloroplasts are essential for blue light-dependent stomatal opening in *Arabidopsis*. *Plos One*, 9, e108374. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108374>
 47. Urbonaviciute, A., Samuoliene, G., Brazaityte, A., Ulinskaite, R., Jankauskiene, J., Duchovskis, P., & Zukauskas, A. (2008). The possibility to control the metabolism of green vegetables and sprouts using light emitting diode illumination. *Sodininkyste ir Darzininkyste*, 27, 83-92.
 48. Verma, S.K., Gantait, S., Jeong, B.R., & Hwang, S.J. (2018). Enhanced growth and cardenolides production in *Digitalis purpurea* under the influence of different LED exposures in the plant factory. *Scientific Reports*, 8, 18009. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36113-9>
 49. Vinterhalter, D., Grubišić, D., Vinterhalter, B., & Konjević, R. (1990). Light-controlled root elongation in *in vitro* cultures of *Dracaena fragrans* Ker-Gawl. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 22, 1-6. <https://doi.org/10.1007/BF00043691>
 50. Wang, H., Gu, M., Cui, J., Shi, K., Zhou, Y., & Yu, J. (2009). Effects of light quality on CO₂ assimilation, chlorophyll-fluorescence quenching, expression of Calvin cycle genes and carbohydrate accumulation in *Cucumis sativus*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 96, 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2009.03.010>
 51. Wang, J., Lu, W., Tong, Y., & Yang, Q. (2016). Leaf morphology, photosynthetic performance, chlorophyll fluorescence, stomatal development of lettuce (*Lactuca sativa* L.) exposed to different ratios of red light to blue light. *Frontiers in Plant Science*, 7, 250. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00250>
 52. Wu, M.C., Hou, C.Y., Jiang, C.M., Wang, Y.T., Wang, C.Y., Chen, H.H., & Chang, H.M. (2007). A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. *Food Chemistry*, 101, 1753-1758. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.010>

The Effect of Foliar Application of Sodium Selenite and Calcium Nitrate on Nitrate Accumulation in Spinach (*Spinacia oleracea* L.) in Shahrekord Region

A. Farahmandi¹, B. Haghighati², B. Madani^{3*}

1- Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Bou Ali Sina, Hamedan, Iran

2- Soil and Water Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrekord, Iran

3- Horticulture Crops Research Department, Natural Resources Research and Education Center of Chaharmahal and Bakhtiari, AREEO, Shahrekord, Iran

(*- Corresponding author's Email: babakmadani2010@gmail.com)

Received: 02 December 2024

Revised: 12 April 2025

Accepted: 01 June 2025

Available Online: 01 June 2025

How to cite this article:

Farahmandi, A., Haghighati, B., & Madani, B. (2026). The effect of foliar application of sodium selenite and calcium nitrate on nitrate accumulation in spinach (*Spinacia oleracea* L.) in Shahrekord region. *Journal of Horticultural Science*, 39(3), 647-662. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91050.1397>

Introduction

High nitrate concentration in vegetables is a major threat to human health. Selenium is an essential element for human health due to its effect on plant growth and development and its presence in antioxidant systems. The consumption of vegetables has been emphasized by nutritionists and is increasing due to their high nutritional value, as well as the provision of fiber and antioxidant compounds. For this reason, many vegetables, especially fresh vegetables, are considered to be essential as daily food for human. To solve the problem of nitrate accumulation in crops, it is recommended to provide solutions such as: selenium element feeding or using ammonia-based fertilizers. Selenium is essential as a cofactor for the formation of essential enzymes glutathione peroxidases, which are present in all living tissues. This enzyme reduces cellular peroxides and prevents harmful oxidation in the cell. Reactive oxygen species such as hydroperoxides and hydrogen peroxide are also deactivated by these enzymes. On the other hand, calcium nitrate is one of the important fertilizers in agriculture, which helps to improve the growth and quality of products, especially vegetables, due to its nitrogen and calcium content. The use of calcium nitrate can help reduce problems such as fruit rot and increase plant resistance to diseases and various types of stresses.

Materials and Methods

This research was conducted at the Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research Center, Shahrekord, in 2022–2023. The experiment was conducted in a completely randomized block design with 7 treatments in three replications. The treatments included sodium selenite at three levels (5.0, 1.0, and 1.5 mM) and calcium nitrate at three levels (5, 10, and 20 mM) and the control treatment. Each experimental unit contained 3 plants. After foliar spraying and applying treatments with sodium selenite and calcium nitrate, plant samples were collected and transferred to the laboratory. After two months of spinach growth (early July), various plant growth parameters were evaluated, including fresh and dry weight of roots and shoots, leaf area, plant height, and number of leaves. Several biochemical traits were also measured, such as chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoids, antioxidant capacity, total phenolic content, total flavonoid content, nitrate content, nitrate reductase activity, and selenium concentration in the leaves. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) in the Statistical Analysis System (SAS) version 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Mean comparisons were performed using Duncan's multiple range test at a significance level of $p \leq 0.05$.



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

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91050.1397>

Results and Discussion

Based on the results, foliar application of sodium selenite and calcium nitrate had a significant effect on the amount of chlorophylls a, b, total and carotenoids. The results showed an increase in the amount of chlorophyll a, b and total and total carotenoid with increasing the amount of calcium nitrate. Also, the highest levels of chlorophylls a, b and total and total carotenoids were obtained for the treatments of sodium selenium 1 and 1.5 mM. Moreover, the lowest amount of chlorophylls a, b and total and total carotenoids were obtained for the control and 0.5 mM. The highest amount of total phenols, antioxidant activities were observed in the treatment of 20 mM calcium nitrate and 1.5 mM sodium selenite. Also, the highest content of nitrate reductase enzyme activity was obtained in the treatment of 20 mM calcium nitrate and 1.5 mM sodium selenite. The highest amount of nitrate was obtained in the control treatment and the highest amount of selenium was obtained for the treatment of 1.5 mM sodium selenite.

Conclusion

In this study, the effect of foliar application of sodium selenium and calcium nitrate on nitrate accumulation in spinach was investigated. In general, the results of this research showed that although selenium is not an essential element for plants, it can be used in different concentrations, especially in a concentration of 1.5 mM with the concentration of calcium nitrate by 20 mM to increase chlorophyll pigments in leaves. According to the results, foliar application of sodium selenite had a reducing effect on nitrate accumulation and an increasing effect on nitrate reductase enzyme activity and selenium accumulation inside the spinach plant. Therefore, foliar application of 1.5 mM sodium selenite is recommended for the production of spinach with the maximum amount of antioxidant compounds, selenium and the minimum amount of nitrate accumulation which can be effective in increasing the growth of the plant, and as a result, increasing amount of photosynthesis and carbon fixation, which ultimately leads to increasing the growth rate of spinach.

Keywords: Antioxidant activity, Biochemical, Carotenoid, Nitrate reductase enzyme, Treatment

مقاله پژوهشی

جلد ۳۹، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴، ص. ۶۶۲-۶۴۷

تأثیر محلول پاشی سدیم سلنیت و کلسیم نیترات بر تجمع نیترات اسفناج

(Spinacia oleracea L.) در منطقه شهر کرد

افسانه فرحمندی^۱ - بیژن حقیقی^۲ - بابک مدنی^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱

چکیده

غلظت زیاد نیترات در سبزیجات، تهدید بزرگی برای سلامت انسان می‌باشد. سلنیوم با تأثیر بر رشد و نمو گیاهان و به‌خاطر حضور در سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی، یک عنصر اساسی برای سلامتی انسان است. در این پژوهش تأثیر محلول پاشی سدیم سلنیت و نیترات کلسیم روی برخی خصوصیات رشد و بیوشیمیایی، ذخیره نیترات و سلنیوم و فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز در برگ گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) مورد بررسی قرار گرفت. تیمارها شامل محلول پاشی کلسیم نیترات در سه سطح (۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار)، محلول پاشی سدیم سلنیت در سه سطح شامل (۰.۵، ۱ و ۱.۵ میلی‌مولار) و شاهد (آب مقطر) می‌باشد. پس از گذشت مرحله‌ی رشدی گیاه (مرحله‌ی ۸ تا ۱۰ برگی)، شاخص‌های رشد و بیوشیمیایی، میزان نیترات و سلنیوم و فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز اندازه‌گیری شد. براساس نتایج به‌دست آمده، محلول پاشی سدیم و کلسیم نیترات بر میزان کلروفیل‌های a، b، کل و کاروتنوئید معنی‌دار بود. بیشترین میزان فنل کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز در تیمار ۲۰ میلی‌مولار کلسیم نیترات و ۱/۵ میلی‌مولار سدیم سلنیت مشاهده شد. بالاترین میزان نیترات در تیمار شاهد و بیشترین میزان سلنیوم نیز در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار سدیم سلنیت بود. براساس نتایج به دست آمده، کاربرد سلنیت سدیم باعث کاهش تجمع نیترات و فعالیت بهتر آنزیم نیترات ردوکتاز و غلظت سلنیوم در گیاه اسفناج شد. بنابراین محلول پاشی ۱/۵ میلی‌مولار سدیم سلنیت در اسفناج برای نیل به حداکثر میزان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، سلنیوم و حداقل میزان انباشت نیترات توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم نیترات ردوکتاز، بیوشیمیایی، تیمار، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، کاروتنوئید

مقدمه

ضروری انسان به شمار می‌آیند (Song et al., 2024). سبزی‌ها دارای فیبر، مواد معدنی، رنگدانه‌های مهم نظیر آنتوسیانین و کاروتنوئید، ویتامین‌هایی نظیر A و C و همچنین مقادیر زیادی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی می‌باشند. رنگیزه‌های موجود در سبزی‌ها سبب ایجاد تنوع رنگ و ظاهر جذاب می‌شود (Dinnella et al., 2016). سبزی‌ها به‌عنوان یک منبع خوب مواد معدنی و فیبر در رژیم غذایی انسان اهمیت دارند، مصرف سبزی‌ها باعث سلامتی می‌شود، و از طرفی دارای میزان چربی کمی هستند و همچنین دارای میزان آب زیاد می‌باشند که این ویژگی‌ها باعث شده سبزی‌ها دارای حجم زیاد و کالری کمی باشند. به‌علاوه سبزی‌ها دارای میزان فسفر، پتاسیم و منیزیم بالایی هستند و سدیم کم از دیگر ویژگی‌های خوب سبزیجات است (Bian et al., 2020). اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) که جزء سبزیجات برگ‌ی دسته‌بندی شده است به‌لحاظ تازه‌خوری و حتی فرآوری‌شده بسیار ارزشمند است و مصرف سالانه آن در دنیا

سبزی‌ها مهم‌ترین محصولات کشاورزی هستند که از نظر تولید و مصرف در ایران از اهمیت بسیار بالایی برخوردار هستند. مصرف سبزی‌ها به‌دلیل ارزش غذایی بسیار بالای آن‌ها و همچنین تأمین مواد فیبری و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی همواره توسط متخصصان امور تغذیه مورد تأکید بوده و رو به افزایش است. به همین دلیل، بسیاری از سبزی‌ها به‌ویژه سبزی‌های تازه، جزو غذاهای اصلی روزانه و

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران
۲- بخش آب و خاک، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران
۳- بخش زراعی-باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران
(*) نویسنده مسئول: Email: babakmadani2010@gmail.com
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91050.1397>

روبه افزایش است. معرفی ارقام امیدبخش و با کیفیت باعث شده تا امروزه، این سبزی مفید، در سبد غذایی انسان‌ها جای خود را باز کند و علاقه زیادی را به خود جلب نماید. این سبزی از نظر سطح زیرکشت در بین سایر سبزی‌ها در رتبه بیستم قرار دارد. درحالی‌که از نظر مواد معدنی و ارزش غذایی پس از کلم بروکلی (*Brassica oleracea* var. *Italica*) در جایگاه دوم می‌باشد (Brkic et al., 2017). در برگ گیاه اسفناج نه تنها احتمال تجمع نیترات زیاد است، بلکه ممکن است حاوی اگزالات نیز باشد که میزان تجمع آن‌ها در اندام‌های هوایی از شاخس‌های تعیین‌کننده کیفیت اسفناج می‌باشد (Zhu et al., 2018). اسفناج نیز همچون سایر سبزیجات برگی، به مقادیر زیادی از نیتروژن برای رشد مطلوب نیازمند است. تغذیه نیتروژنی نه تنها عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه ظاهر برگ، بزرگ شدن انبساط (بزرگ و پیر شدن) و در نتیجه کیفیت محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. افزایش کاربرد نیتروژن یا مصرف زیاد کودهای شیمیایی برای تولید اسفناج موجب افزایش تجمع نیترات در بخش‌های هوایی این گیاه می‌شود (Zhang et al., 2021). نیتروژن عنصر فراوان در گیاه است و نقش مهمی در ساختمان پروتئین، کلروفیل، اسید نوکلئیک و هورمون‌های رشد گیاه دارد. گیاهان نیتروژن مورد نیاز خود را به صورت NO_3 و NH_4 جذب می‌کنند، که این افزایش جذب باعث افزایش ترکیبات نیتروژنی در گیاه شده و به دنبال آن سلامتی انسان با مصرف این گیاهان به خطر می‌افتد (Uddin et al., 2021). موقعی که میزان جذب نیترات از میزان مصرف آن بالاتر رود، نیترات در گیاه به‌خصوص در مریستم رشد جمع می‌گردد، به‌طوری‌که تجمع بیش از حد نیترات به‌عنوان یک مشکل در اکثر محصولات زراعی به‌خصوص سبزیجات برگی شناخته شده است (Keller et al., 2020). برای حل مشکل تجمع نیترات در محصولات زراعی، ارائه راه حل‌هایی از جمله مصرف کودهای پتاسیمی به‌خصوص سولفات پتاسیم و کودهای ریزمغذی مانند سولفات روی و تغذیه عنصر سلنیوم یا استفاده از کودها با پایه آمونیاکی توصیه می‌شود. سازمان بهداشت جهانی نیاز روزانه یک فرد بالغ به مصرف سلنیوم را حدود ۵۰ میکروگرم اعلام کرده است. سلنیوم به‌عنوان کوفاکتوری برای ایجاد آنزیم‌های ضروری گلوکاتایون پراکسیدازها که در تمامی بافت‌ها زنده وجود دارد، ضروری می‌باشد. این آنزیم، پراکسیدهای سلولی را کاهش می‌دهد و از اکسایش زیان‌آور در سلول جلوگیری می‌کند. گونه‌های واکشگر اکسیژن مانند هیدرو پراکسیدها و پراکسید هیدروژن نیز توسط همین آنزیم‌ها غیرفعال می‌شوند. از طرفی، تیوردوکسین ردوکتاز، آنزیم دیگری است که نقش منحصربه‌فرد سلنیوم را در فیزیولوژی انسان مشخص می‌کند. این آنزیم باعث جلوگیری از سرطان‌های خاص، کاهش بیماری‌ها و

افزایش ایمنی بدن می‌شود (Bian et al., 2020). از طرفی، کلسیم نیترات یکی از کودهای مهم در کشاورزی است که به دلیل داشتن نیتروژن و کلسیم به بهبود رشد و کیفیت محصولات به‌ویژه سبزیجات کمک می‌کند. نیتروژن یک عنصر ضروری برای رشد گیاهان است و کلسیم نیز به تقویت دیواره سلولی گیاهان و بهبود ساختار خاک کمک می‌کند. استفاده از کلسیم نیترات می‌تواند به کاهش مشکلاتی مانند پوسیدگی میوه‌ها و افزایش مقاومت گیاهان در برابر بیماری‌ها و انواع تنش‌ها کمک نماید (Nasrollahzadeh et al., 2017). طبق گزارش‌های اخیر، مصرف سلنیوم نه تنها باعث افزایش ظرفیت فتوسنتز و وزن تر و خشک در گیاه می‌شود، بلکه روی کاهش انباشت نیترات و افزایش کیفیت و عملکرد گیاه مؤثر می‌باشد (Lei et al., 2018). افزایش سلنیوم روی کلم بروکلی باعث افزایش ارتفاع گیاه گردید (Takeda et al., 2016). تیمار کلسیم نیترات باعث کاهش تجمع نیترات در گیاه سبب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) شد (Ebrahimi et al., 2020). باتوجه به اهمیت تجمع نیترات در سبزیجات و به خطر افتادن جامع بشری، این پژوهش بر آن شد تا با محلول‌پاشی سدیم سلنیت و کلسیم نیترات، تأثیر این عناصر روی میزان انباشت نیترات و برخی ویژگی‌های غذایی در گیاه اسفناج (*SpinaciaOleracea* L.) را مورد مطالعه قرار دهد.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایش

این تحقیق در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری شهرستان شهرکرد در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱ انجام گرفت. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هفت تیمار در سه تکرار اجرا گردید. تیمارها بصورت سدیم سلنیت در سه سطح (۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار) و شاهد (آب مقطر) منظور گردید. کشت به‌صورت مستقیم بذر در زمین اصلی در تاریخ ۱۵ اردیبهشت انجام شد. بذرهای اسفناج با تراکم کشت ۳۱ بوته (به‌خاطر تعادل بین رشد مطلوب برگ‌ها و جلوگیری از رقابت بیش از حد) در مترمربع و فاصله ردیف‌ها پنج تا هشت سانتی‌متر در نظر گرفته شد. خاک منطقه از نوع لومی رسی با pH ۴/۷ و $\text{EC } 3/5 \text{ (dS.m}^{-1}\text{)}$ بود. آبیاری به‌صورت نشتی با فواصل هر سه روز یک‌بار انجام گردید. زمان کاشت بذرها در اواسط اردیبهشت (با توجه به کاهش خطر سرمازدگی بهاره و رسیدن به دمای بهینه جوانه‌زنی اسفناج (۱۰ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد) انجام شد. محلول‌پاشی گیاهان در سه مرحله اعمال شد: ۱- مرحله چهار تا شش برگی (۲۰ روز پس از کاشت) در تاریخ ۵ خرداد، ۲- مرحله رشد سریع

برگ، ارتفاع گیاه، تعداد برگ و برخی صفات بیوشیمیایی مانند میزان کلروفیل‌ها a، b و کل و کاروتنوئیدها، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، میزان فنل کل، فلاونوئید کل، میزان نیترات، فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز و میزان عنصر سلنیوم در برگ بود.

برخی ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه که طبق روش‌های مرسوم در مؤسسه تحقیقات آب و خاک اندازه‌گیری گردید در **جدول‌های ۱ و ۲** ارائه شده است.

رویشی (۳۵ روز پس از کاشت) در تاریخ ۲۰ خرداد و ۳- مرحله پیش از برداشت (۵۰ روز پس از کاشت) در تاریخ ۵ تیر. محلول پاشی در ساعات اولیه صبح جهت جذب بهینه انجام شد، بعد از محلول پاشی و اعمال تیمارها با سدیم سولیت و کلسیم نیترات و پس از گذشت دوره رشد گیاهان، نمونه‌های گیاهی در مرحله بلوغ فیزیولوژیک (۸ تا ۱۰ برگی در تاریخ ۱۰ تیر) برداشت گردید و به آزمایشگاه انتقال داده شد (۵۵ تا ۶۰ روز پس از کاشت). شاخص‌های رشدی گیاه مورد ارزیابی قرار گرفتند که شامل وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی، سطح

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of the soil at the experimental site

عمق Depth (cm)	اسیدیته Acidity (soil reaction)	قابلیت هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS.m ⁻¹)	کل مواد خنثی شونده Total neutralizable (%substances)	کربن آلی Organic carbon (%)	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	نیترات Nitrate	سلنیوم Selenium	بافت Texture
(mg.kg ⁻¹ soil)											
0-30	7.7	1.71	47	0.40	14	322	553	239	30	0.5	رسی-لومی Clay- loam

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی آب محل انجام آزمایش

Table 2- Physical and chemical properties of the water at the experimental site

خصوصیات Characteristics	قابلیت هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS.m ⁻¹)	اسیدیته Acidity (soil reaction)	کلر Cl	کلسیم + منیزیم Ca+Mg	بی‌کربنات HCO	سدیم Na	سدیم قابل تبادل SAR
(meq.L ⁻¹)							
آب آبیاری Irrigation water	3.5	7.4	7.5	36	4.5	12	2.78

لیتر با استفاده از روش جکسون و همکاران (Jackson et al., 2019) طبق معادله ۱ محاسبه گردید.

$$\text{Chla (mg.l}^{-1}\text{)} = (12.7 \times \text{A663}) - (2.69 \times \text{A645}) \quad (۱)$$

$$\text{Chlb (mg.l}^{-1}\text{)} = (25.8 \times \text{A645}) - (4.68 \times \text{A663})$$

$$\text{Chltotal (mg.l}^{-1}\text{)} = (20.21 \times \text{A645}) + (8.02 \times \text{A663})$$

$$\text{Carotenoids (mg.l}^{-1}\text{)} = (1000 \text{ A470} - 2.27 \text{ Chla} - 81.4 \text{ Chlb})/227$$

که در آن‌ها، A663، A645 و A470 به ترتیب میزان قرائت شده جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر می‌باشند. در نهایت غلظت رنگیزه‌ها در نمونه‌های برگ به کمک معادله ۲ و بر حسب میلی گرم در گرم وزن تر برگ محاسبه شد.

$$\text{رنگیزه برگ (میلی گرم در گرم وزن تر)} = \frac{\text{Cx} \times \text{V} \times \text{D}}{\text{Ws} \times 1000} \quad (۲)$$

که در آن، Cx: بیانگر غلظت محاسبه شده هر رنگیزه در عصاره (میلی گرم در لیتر)، Ve: حجم کل عصاره (میلی لیتر)، D: فاکتور رقت، و Ws: وزن تر نمونه برگ (گرم) است.

تعیین غلظت کلروفیل

برای اندازه‌گیری غلظت کلروفیل‌ها a، b و کل و کاروتنوئید کل، ۰/۱۲۵ گرم بافت برگ تازه با ۱۰ میلی لیتر استون ۸۰ درصد و ۰/۱ گرم کلسیم کربنات برای خنثی نمودن حالت اسیدی مایع درون سلولی و ممانعت از تخریب کلروفیل در یک هاون چینی ساییده شد تا به صورت توده یکنواختی درآمد. پس از سانتریفیوژ کردن عصاره حاصل (۱۰ هزار دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه)، محلول رویی برداشته شد و جذب نور توسط آن در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر (مقدار جذب نور کلروفیل a در بیشترین طول موج)، ۶۴۵ نانومتر (بالاترین مقدار جذب نور کلروفیل b) و ۴۷۰ نانومتر (بالاترین مقدار جذب نور کاروتنوئیدها) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر Varian، مدل CARY۱۰۰ و با استفاده از استون ۸۰ درصد به عنوان blank قرائت گردید. غلظت هر یک از رنگیزه‌ها در عصاره بر حسب میلی گرم در

اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به‌منظور سنجش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی برگ اسفناج

به‌منظور سنجش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از روش جزویاک و همکاران (Jóźwiak et al., 2016) استفاده گردید. ماده اصلی در سنجش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی DPPH بود. برای تهیه محلول ۶۰ میکرومولار DPPH، ۰/۰۲۴ گرم از این ماده را با متانول ۸۵ درصد به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده، سپس ۰/۰۷۵ میلی‌لیتر از قسمت رویی عصاره برگ با استفاده از سمپلر برداشته و داخل لوله آزمایش ریخته شد. به هرکدام از نمونه‌های موجود در لوله آزمایش ۲/۹۲۵ میلی‌لیتر DPPH افزوده شده و از متانول ۸۵ درصد به‌عنوان بلانک استفاده شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل کر ۱۰۰ واریان آمریکا) تعیین گردید. درصد بازدارندگی نمونه‌ها با استفاده از معادله ۳ محاسبه گردید.

$$AA(\%) = \left(1 - \left(\frac{AO}{AI}\right)\right) \times 100 \quad (3)$$

که در آن، AO: جذب نمونه، AI: جذب DPPH و AA: ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (درصد) است.

اندازه‌گیری فنل کل

اندازه‌گیری غلظت فنل کل با استفاده از روش فولین-سیکالتو (Lopes et al., 2017) انجام شد. مقدار ۰/۳ میلی‌لیتر عصاره میوه و برگ در تاریکی توسط سمپلر جدا کرده و درون لوله آزمایش ریخته شد و سپس ۱/۵ میلی‌لیتر فولین ۱۰ درصد به آن اضافه گردید و بعد از گذشت پنج دقیقه، ۱/۲ میلی‌لیتر سدیم کربنات هفت درصد به آن اضافه شد و به‌مدت ۹۰ دقیقه روی شیکر با ۱۱۰ دور در دقیقه در دمای اتاق و در تاریکی قرار گرفت و در انتها به آن شش میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد تا حجم نهایی به ۱۰ میلی‌لیتر رسید. در نهایت با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (شیمادزو، ژاپن) میزان جذب نور نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت گردید با استفاده از اسیدگالیک به‌عنوان منحنی استاندارد محتویات فنلی کل در بافت میوه و برگ به‌وسیله واکنش فولین سیکالتو تعیین گردید با استفاده از منحنی استاندارد اسیدگالیک، مجموع فنل به‌صورت میلی‌گرم اسیدگالیک در ۱۰۰ گرم وزن تازه بیان شد (معادله ۴).

$$= \frac{\text{غلظت در فرمول منحنی استاندارد}}{1000} \times \frac{\text{حجم نمونه (۳ میلی لیتر)}}{\text{وزن تر نمونه (۰/۳ گرم)}} \times 100 \quad (4)$$

محتوای فنل کل میوه و برگ (میلی‌گرم اسیدگالیک در ۱۰۰ گرم وزن‌تر)

اندازه‌گیری فلاونوئید کل

برای اندازه‌گیری غلظت فلاونوئید کل از روش لو پز و همکاران (Lopes et al., 2017) استفاده شد. بدین ترتیب، جهت اندازه‌گیری فلاونوئید کل ۰/۲۷۵ میلی‌لیتر از عصاره میوه و برگ با ۸۲۵

میکرولیتر آب مقطر به حجم ۱/۱ میلی‌لیتر رسانده شد، سپس ۰/۳ میلی‌لیتر سدیم نیتريت پنج درصد به محلول اضافه گردید، پس از سپری شدن مدت زمان پنج دقیقه ۰/۶ میلی‌لیتر آلومینیوم کلرید ۱۰ درصد به محلول اضافه شد. بعد از شش دقیقه، دو میلی‌لیتر سدیم هیدروکسید (سود) یک مولار به همراه یک میلی‌لیتر آب مقطر به محلول اضافه گردید و شدت جذب محلول در طول موج ۵۱۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر در مقابل بلانک آب مقطر قرائت شد. برای محاسبه غلظت فلاونوئید کل، منحنی استاندارد رسم گردید و غلظت فلاونوئید کل در میوه و برگ برحسب میکروگرم روتین (کوئرتستین ۳-روتینوزید) در ۱۰۰ گرم وزن‌تر بیان شد (معادله ۵). برای تهیه استاندارد، ابتدا مقدار یک میلی‌گرم کوئرتستین در مقداری سود ۰/۱ نرمال حل شد و حجم نهایی محلول به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد.

$$\text{حجم نمونه (۳ میلی لیتر)} \times \frac{\text{غلظت در فرمول منحنی استاندارد}}{1000} \times 100 \quad (5)$$

= محتوای فلاونوئید کل میوه و برگ (میلی‌گرم کوئرتستین در ۱۰۰ گرم وزن‌تر)

اندازه‌گیری نیترات

برای اندازه‌گیری نیترات از روش اسید سولفو سالیسیلیک-سود (روش کاتالدو) استفاده شد. عصاره‌گیری نیترات در آب داغ و در محلول دو درصد اسیداستیک صورت گرفت. ابتدا ۰/۵ گرم ماده تر گیاهی توزین و در هاون چینی به همراه ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر کوبیده و در در لوله آزمایش ریخته شد، سپس به مدت ۴۰ دقیقه در بن‌ماری ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از سانتریفیوژ، ۰/۲ میلی‌لیتر از عصاره رویی را برداشته و ۰/۸ میلی‌لیتر معرف سولفو سالیسیلیک پنج درصد (W/V) که از حل شدن پنج گرم اسیدسالیسیلیک در ۱۰۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ (۹۶ درصد) تهیه شده بود، اضافه گردید و خوب به هم زده شد. بعد از خنک شدن نمونه‌ها (۲۰ دقیقه) به آن‌ها ۱۹ میلی‌لیتر سود (NaOH) دو نرمال اضافه گردید. پس از آنکه نمونه‌ها کاملاً سرد شدند، مقدار جذب آن‌ها در طول موج ۴۱۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر قرائت گردید و با رسم منحنی واسنجی برای محلول‌های استاندارد، غلظت نیترات در عصاره تعیین شد و در نهایت با جای‌گذاری در نرم‌افزار Excel غلظت نیترات بر حسب میلی‌گرم در وزن تر در گیاه محاسبه شد (Jalali & Salehi Chegini, 2020).

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز

سنجش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز به‌روش کوپيجانو و همکاران (Quijano et al., 2017) صورت گرفت. بدین منظور ۰/۵ گرم ماده تر اندام هوایی وزن و با پنج میلی‌لیتر محلولی که غلظت

مطابق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر محلول پاشی تیمار سدیم سولفات و کلسیم نیترات بر کلروفیل‌های a، b و کل و کاروتنوئید کل در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین‌ها اثر محلول پاشی کلسیم نیترات نشان داد که با افزایش میزان نیترات، افزایش مقدار کلروفیل‌های a، b و کل و کاروتنوئید کل مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان کلروفیل‌های a، b و کل و کاروتنوئید کل، در تیمارها سدیم سولفات ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار و کمترین میزان در شاهد و ۰/۵ میلی‌مولار به دست آمد. محلول پاشی سدیم سولفات به خوبی توانست میزان رنگی‌های فتوسنتز برگ‌های گیاه اسفناج را افزایش دهد. براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میزان کلروفیل‌های a، b و کل و کاروتنوئید کل به ترتیب با میانگین‌های ۱/۳۸، ۰/۵۷۷، ۱/۹۶، ۰/۴۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر از تیمار ۱/۵ میلی‌مولار سدیم سولفات و ۲۰ میلی‌مولار کلسیم نیترات به دست آمد و کمترین میزان آن‌ها در شاهد مشاهده شد (شکل ۱ و ۲ و ۳ و ۴).

با افزایش غلظت سدیم و نیترات میزان کلروفیل‌های a، b و کل و کاروتنوئید کل گیاه اسفناج افزایش یافت، اما این افزایش در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار سدیم سولفات و ۲۰ میلی‌مولار کلسیم نیترات قابل توجه بود و با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان داد. این نتایج در تطابق با نتایج مظفریان و همکاران (Mozafariyan et al., 2017) می‌باشد که گزارش کردند، محتوای کلروفیل برگ‌ها گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) کشت‌شده و با محلول ۷ و ۱۰ میکرومولار سدیم سولفات تغذیه شدند، افزایش یافت. افزودن سدیم سولفات تحت شرایط شوری به خاک باعث افزایش شاخص‌های کلروفیل و کاروتنوئید شد (Astaneh et al., 2018). در واقع یکی از مهم‌ترین عامل مؤثر بر میزان تجمع نیترات در گیاهان میزان فتوسنتز است. به‌طور کلی در مطالعه حاضر، محلول پاشی غلظت‌های بالای سدیم سولفات و کلسیم نیترات اثر افزایشی روی میزان کلروفیل و کاروتنوئید برگ‌های اسفناج نشان دادند.

تأثیر تیمار سدیم سولفات و کلسیم نیترات بر محتوای فنل

کل، فلاونوئید کل و میزان فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول پاشی تیمار سدیم سولفات و کلسیم نیترات بر میزان فنل کل گیاه اسفناج در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۴).

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها اثر افزایشی در محتوای فنل کل گیاه در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار سدیم سولفات و ۲۰ میلی‌مولار کلسیم نیترات در شکل ۴ قابل مشاهده می‌باشد.

پتاسیم نیترات در آن ۱۵۰ میلی‌مولار، پروپانول ۰/۳ درصد و بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار بود ساییده گردید و در لوله آزمایش قرار داده شد. لوله‌ها در آون ۳۰ درجه به مدت یک ساعت قرار گرفتند. سپس محلول صاف گردید. یک میلی‌لیتر از محلول مذکور برداشته شد و ۰/۵ میلی‌لیتر سولفانیل آمید (۰/۵ گرم سولفانیل آمید در ۵۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک سه مولار) به آن اضافه گردید و بلافاصله بعد از تکان دادن، ۰/۵ میلی‌لیتر نفتیل اتیلن دی‌آمین (۰/۲ گرم نفتیل اتیلن دی‌آمین در ۵۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک سه مولار) برای تولید رنگ صورتی به نمونه‌ها اضافه شد. پس از گذشت ۲۰ دقیقه محلول رنگی با پنج میلی‌لیتر آب مقطر رقیق شد و به مدت سه دقیقه با دور ۲۰۵۰ سانتریفیوژ گردید تا مایع شفاف به دست آمد. سپس جذب در ۵۴۰ نانومتر خوانده شد. بلانک شامل یک میلی‌لیتر عصاره گیاهی، ۰/۵ میلی‌لیتر نفتیل اتیلن دی‌آمین و ۵/۵ میلی‌لیتر آب مقطر بود. برای یافتن غلظت نیتريت حاصل از احیای نیترات تحت آنزیم نیترات ردوکتاز از غلظت‌های متفاوت سدیم نیتريت برای رسم منحنی استاندارد استفاده شد. فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز برحسب میکرومول نیتريت در میلی‌گرم وزن تر در دقیقه محاسبه گردید.

اندازه‌گیری سلینیوم

سنجش میزان سلینیوم نمونه‌ها توسط دستگاه ICP-OES (مدل ۷۳۰۰ ساخت کمپانی پرکین المر آمریکا) انجام گرفت. برای اندازه‌گیری سلینیوم ابتدا نمونه‌های گیاهی هضم گردید، به این صورت که مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم از پودر گیاهی داخل لوله‌های آزمایش ریخته شد و دو سی سی اسید نیتريك غلیظ ۶۵ درصد و دو سی سی پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد به آن‌ها اضافه گردید. پس از پوشاندن سر لوله‌ها با فویل، نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند. سپس به آون با دمای ۱۱۰ درجه منتقل و به مدت ۲۰ دقیقه نگه داشته شدند. پس از سرد شدن، نمونه‌ها توسط کاغذ صافی صاف شده و با آب دیونیزه به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شدند (Jalali & Salehi, 2020).

آنالیز داده‌ها و تجزیه آماری

پس از اطمینان از نرمال‌سازی داده‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک نرم‌افزار آمار (SAS) نسخه (۹/۴) و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن، در سطح احتمال یک درصد و رسم نمودارها با استفاده از Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

تأثیر تیمار کلسیم نیترات و سدیم سولفات بر محتوای کلروفیل‌های a، b و کل و کاروتنوئید کل در اسفناج

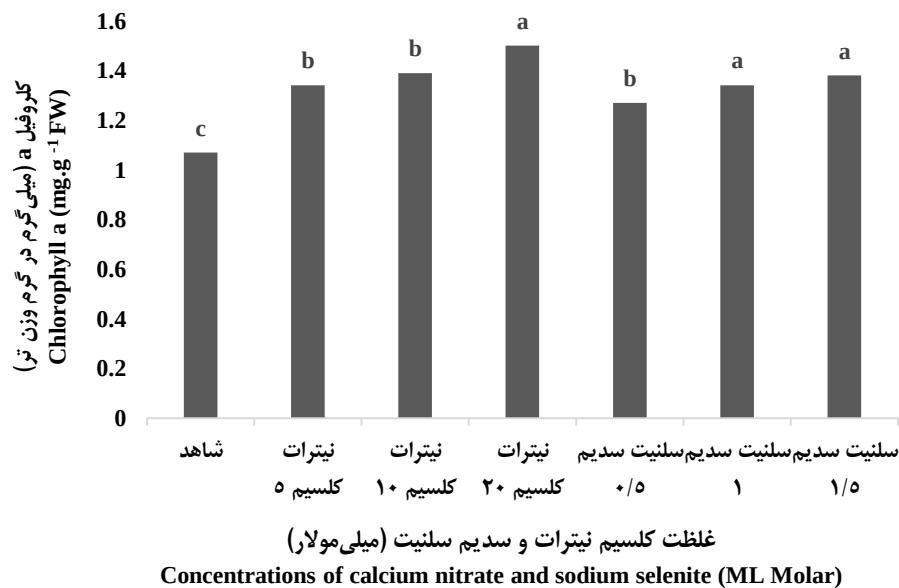
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر محلول پاشی سدیم سلنیت و کلسیم نیترات بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید کل گیاه اسفناج

Table 3- ANOVA for the effect of foliar application of sodium selenite and calcium nitrate on the content of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and total carotenoids of spinach plants

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares			
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید کل Total carotenoids
بلوک Blocks	3	0.010	0.012	0.009	0.022
کلسیم نیترات Calcium nitrat	2	0.79**	0.69**	1.87**	0.68**
سدیم سلنیت Sodium selenite	6	0.93**	0.109**	0.213**	0.014**
خطای آزمایشی Experimental error	12	0.004	0.005	0.003	0.028
ضریب تغییرات CV (%)	-	4.56	4.43	3.43	8.73

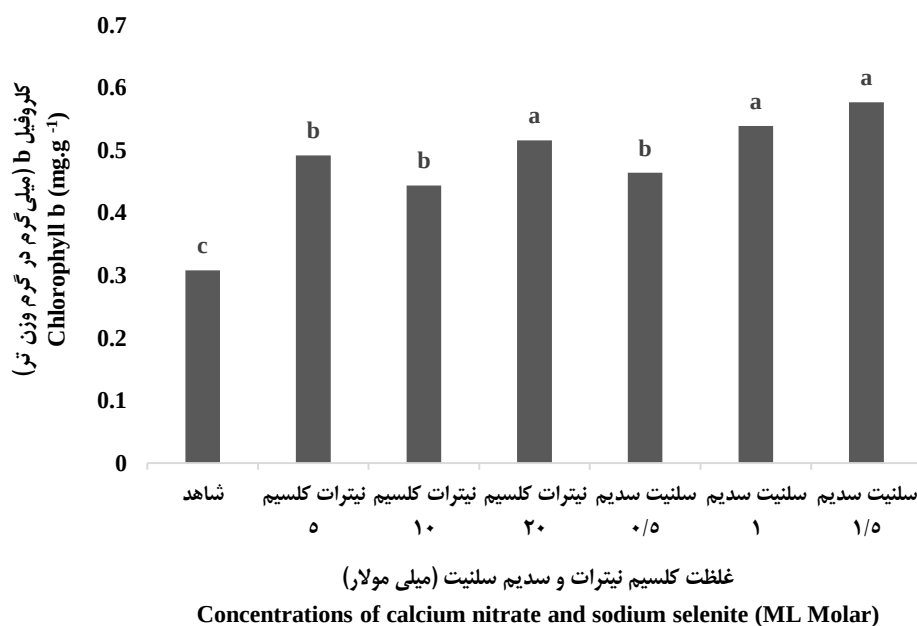
** معنی دار در سطح احتمال یک درصد

** Significant at the 1% of probability level

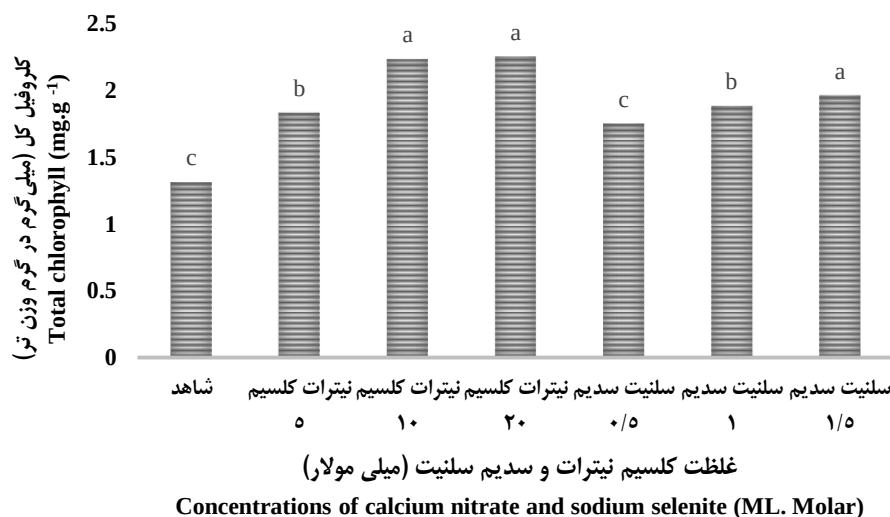


شکل ۱- اثر محلول پاشی سدیم سلنیت (SC) و کلسیم نیترات (NC) بر محتوای کلروفیل a گیاه اسفناج

Figure 1- Effect of foliar application of sodium selenite (SC) and calcium nitrate (NC) on the chlorophyll a content of spinach plants (DMRT, $p \leq 0.01$)



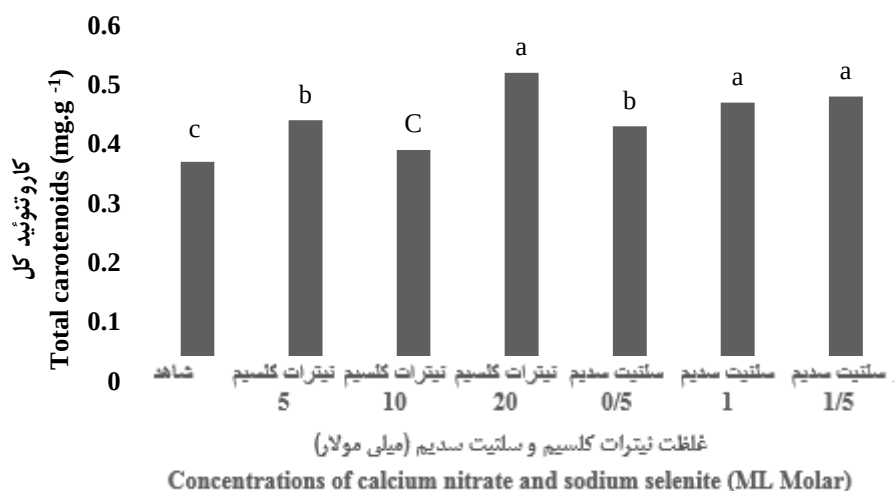
شکل ۲- اثر محلول پاشی سدیم سولنیت (SC) و کلسیم نیترات (NC) بر محتوای کلروفیل b گیاه اسفناج
Figure 2- Effect of foliar application of sodium selenite (SC) and calcium nitrate (NC) on the chlorophyll b content of spinach plants (DMRT, $p \leq 0.01$)



شکل ۳- اثر محلول پاشی سدیم سولنیت (SC) و کلسیم نیترات (NC) بر محتوای کلروفیل کل گیاه اسفناج
Figure 3- Effect of foliar application of sodium selenite (SC) and calcium nitrate (NC) on the chlorophyll b and total chlorophyll contents of spinach plants (DMRT, $p \leq 0.01$)

وزن تر) مشاهده شد (شکل ۵). محلول پاشی کلسیم نیترات اثر منفی بر محتوای فلاونوئید کل نشان داد، در صورتی که با افزایش محلول پاشی سولنیت، افزایش میزان فلاونوئید کل مشاهده شد (شکل ۶).

بیشترین میزان فنل کل مربوط به تیمار ۱/۵ میلی مولار سدیم سولنیت و ۲۰ میلی مولار کلسیم نیترات (۴/۷۷، ۴/۵۳) میلی گرم در گرم وزن تر (در تیمار یک میکرومولار سدیم سولنیت و پنج میلی مولار کلسیم نیترات به ترتیب (۴/۴۱، ۴/۴۵) میلی گرم در گرم وزن تر) به دست آمد، و کمترین میزان فنل کل در شاهد (چهار میلی گرم در گرم



شکل ۴- اثر محلول پاشی سدیم سلنیت (SC) و کلسیم نیترات (NC) بر محتوای کارتنوئید گیاه اسفناج
Figure 4-Effect of foliar application of sodium selenite (SC) and calcium nitrate (NC) on the total carotenoids content of spinach plants (DMRT, $p \leq 0.01$)

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر محلول پاشی سدیم سلنیت و کلسیم نیترات بر محتوای فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه اسفناج

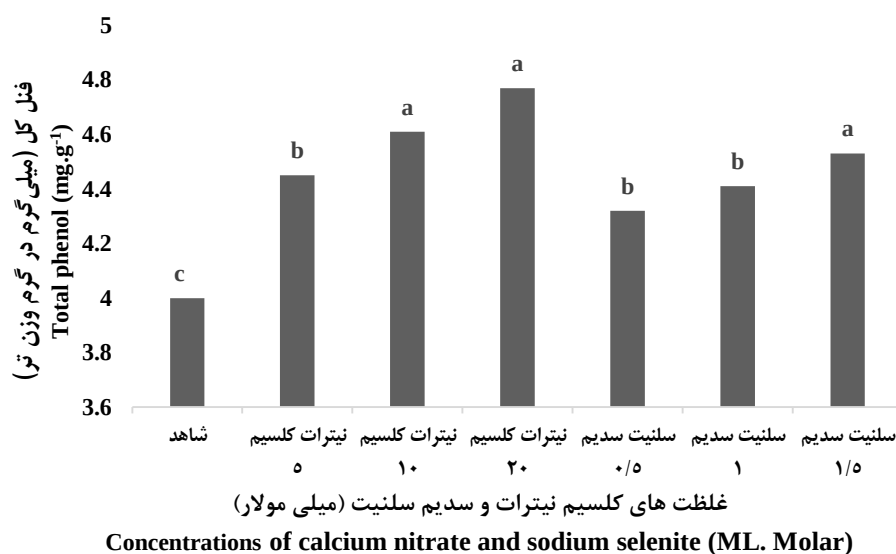
Table 4- ANOVA for the effect of foliar application of sodium selenite and calcium nitrate on the content of total phenols, total flavonoids, and antioxidant activity of spinach plant

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares		
		فنل کل Total phenols	فلاونوئید کل Total flavonoids	فعالیت آنتی اکسیدانی Antioxidant activity
بلوک Blocks	3	0.008	0.002	0.050
کلسیم نیترات Calcium nitrate	2	1.179**	0.022**	1918.7**
سدیم سلنیت Sodium selenite	6	0.293**	0.002**	112.83**
خطای آزمایشی Experimental error	12	0.014	0.0004	3.38
ضریب تغییرات CV (%)	-	3.56	3.18	3.13

**معنی دار در سطح احتمال یک درصد
**Significant at the 1% of probability level

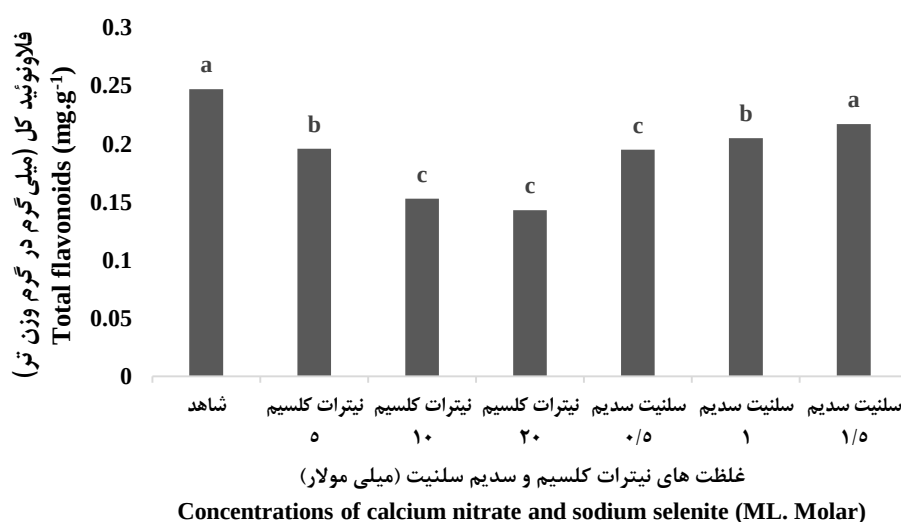
درصد) حاصل شد (شکل ۶). افزایش غلظت سلنیم در گیاهچه پیاز سبب افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی و ترکیبات فنلی می شود. با افزایش میزان سلنیم در اندام های گیاه اسفناج، مقدار ترکیبات فنلی در این گیاه نیز افزایش یافت. در این پژوهش با افزایش غلظت نیترات، میزان فنل کل برگ گیاه اسفناج افزایش یافت. اثرات مثبت کاربرد محلول پاشی نیترات بر میزان فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه اسفناج در پژوهش حاضر نشان داده شد.

براساس نتایج مقایسه میانگین داده ها، اثر محلول پاشی تیمار سدیم سلنیت و کلسیم نیترات بر فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه اسفناج در سطح یک درصد معنی دار بود (شکل ۶). با مقایسه میانگین اثر محلول پاشی تیمارها، تیمار سدیم سلنیت ۱/۵ میلی مولار دارای بالاترین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی (۶۲/۹۱ درصد) در مقایسه با سایر تیمارها بود (شکل ۶). و غلظت ۲۰ میلی مولار کلسیم نیترات ۷۵/۳۱ درصد و کمترین فعالیت آنتی اکسیدانی از شاهد (۴۴/۸۷)



شکل ۵- اثر محلول پاشی سدیم سولنیت (SC) و کلسیم نیترات (NC) بر محتوای فنل کل گیاه اسفناج

Figure 5- Effect of foliar application of sodium selenite (SC) and calcium nitrate (NC) on the total phenol content of spinach plants (DMRT, $p \leq 0.01$)



شکل ۶- اثر محلول پاشی سدیم سولنیت (SC) و کلسیم نیترات (NC) بر فلاونوئید کل گیاه اسفناج

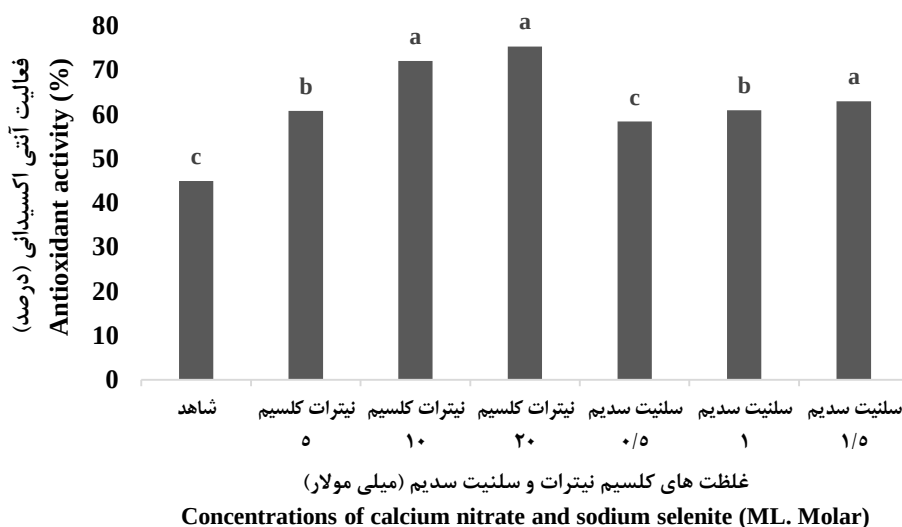
Figure 6- Effect of foliar application of sodium selenite (SC) and calcium nitrate (NC) on the total flavonoid content of spinach plants (DMRT, $p \leq 0.01$)

فعالیت آنتی اکسیدانی را از طریق افزایش ترکیباتی مانند توکو فرولها و ترکیبات فنلی افزایش می دهد (Antonenko et al., 2018).

تأثیر محلول پاشی سدیم سولنیت و کلسیم نیترات بر فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز در گیاه اسفناج

بر اساس نتایج تجزیه واریاس داده ها، اثر محلول پاشی تیمار سدیم سولنیت و کلسیم نیترات بر فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز گیاه اسفناج در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۵).

افزایش غلظت کلسیم نیترات با افزایش میزان فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه اسفناج همراه بود که نشان دهنده نقش عنصر نیتروژن در افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی است که مطابق نتایج به دست آمده توسط شاهید و همکاران (Shahid et al., 2019) در گیاه سیب زمینی (*Solanum Tuberosum*) مشاهده شد. در پژوهش حاضر با بالا بردن مقدار سدیم سولنیت و کلسیم نیترات، میزان ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی اکسیدانی به طور معنی داری افزایش یافت. سلنیم



شکل ۷- اثر محلول پاشی سدیم سلنیت (SC) و کلسیم نیترات (NC) بر فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه اسفناج
Figure 7- Effect of foliar application of sodium selenite(SC) and calcium nitrate (NC) on the antioxidant activity of spinach (DMRT, $p \leq 0.01$)

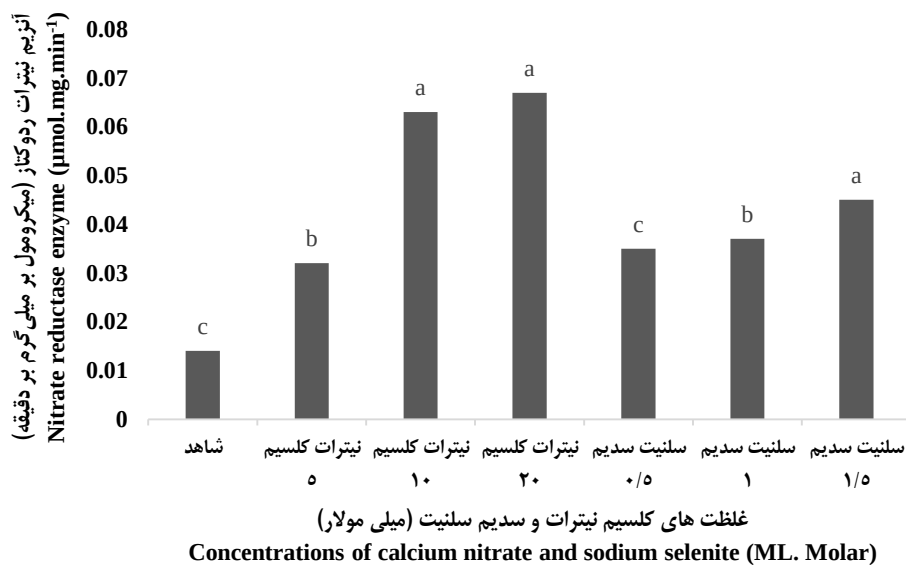
جدول ۵- تجزیه واریانس اثر محلول پاشی سدیم سلنیت و کلسیم نیترات بر فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز گیاه اسفناج
Table 5- ANOVA for the effect of foliar application of sodium selenite and calcium nitrate on the activity of nitrate reductase enzyme in spinach plant

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares
		آنزیم نیترات ردوکتاز Nitrate reductase enzyme
بلوک Blocks	3	0.00040
کلسیم نیترات Calcium nitrate	2	0.008**
سدیم سلنیت Sodium selenite	6	0.00055**
خطای آزمایشی Experimental error	12	0.0000094
ضریب تغییرات CV (%)	-	7.99

** معنی دار در سطح احتمال یک درصد
** Significant at the 1% of probability level

کلسیم نیترات با میانگین 0.045 میکرومولار نیتريت در میلی گرم وزن تر در دقیقه و پس از آن تیمار 0.067 میکرومولار کلسیم نیترات به دست آمد و کمترین فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز از شاهد با میانگین 0.014 میکرومول نیتريت در میلی گرم وزن تر در دقیقه حاصل شد (شکل ۸).

با توجه به نتایج شکل ۸، با افزایش محلول پاشی غلظت سدیم سلنیت، میزان فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز افزایش یافت. محلول پاشی کلسیم نیترات نیز باعث افزایش فعالیت این آنزیم شد. نتایج مقایسه میانگین داده ها نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز در تیمار $1/5$ میلی مولار سدیم سلنیت و 20 میلی مولار



شکل ۸- اثر محلول پاشی سدیم سولنیت (SC) و کلسیم نیترات (NC) بر فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز گیاه اسفناج
Figure 8- Effect of foliar application of sodium selenite (SC) and calcium nitrate (NC) on the nitrate reductase activity in spinach (DMRT, $p \leq 0.01$)

تأثیر محلول پاشی سدیم سولنیت و کلسیم نیترات بر میزان نیترات و سلنیوم در گیاه اسفناج

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر محلول پاشی سدیم سولنیت و کلسیم نیترات بر میزان نیترات و سلنیوم گیاه اسفناج در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۶) با کاربرد محلول پاشی کلسیم نیترات و سدیم سولنیت، میزان نیترات برگ‌ها گیاه کاهش، اما غلظت سلنیوم برگ افزایش یافت (جدول ۶).

در فرآیند انباشتگی نیترات، بررسی فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز به‌عنوان یک عامل ژنتیکی و اولین آنزیم مؤثر در احیاء و متابولیسم نیترات دارای اهمیت بسیار است، بدین‌گونه که نیترات در حضور این آنزیم به آمونیوم تبدیل می‌شود و مانع انباشتگی نیترات در بافت‌های گیاهی می‌گردد (Zhang et al., 2021). نتایج مطالعات اودین و همکاران (Uddin et al., 2021) نشان داد که با افزایش غلظت نیترات عرضه‌شده به خاک، فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز در کلم، اسفناج و شلغم به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد افزایش یافت.

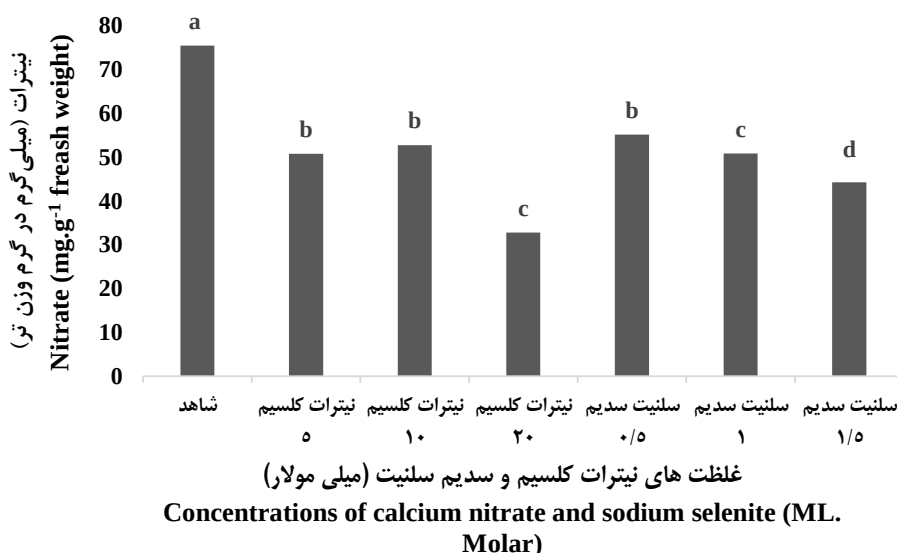
جدول ۶- نتایج واریانس اثر محلول پاشی سدیم سولنیت و کلسیم نیترات بر مقدار نیترات و سلنیوم گیاه اسفناج
Table 6- Results of variance of the effect of foliar application of sodium selenite and calcium nitrate on the nitrate and selenium content of spinach plants

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares	
		نیترات Nitrate	سلنیوم Selenium
بلوک Blocks	3	15	0.015
کلسیم نیترات Calcium nitrate	2	5151.79**	0.24**
سدیم سولنیت Sodium selenite	6	451.73**	0.0049**
خطای آزمایشی Experimental error	12	4.64	0.002
ضریب تغییرات CV (%)	-	4.56	7.87

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد
** Significant at the 1% of probability level

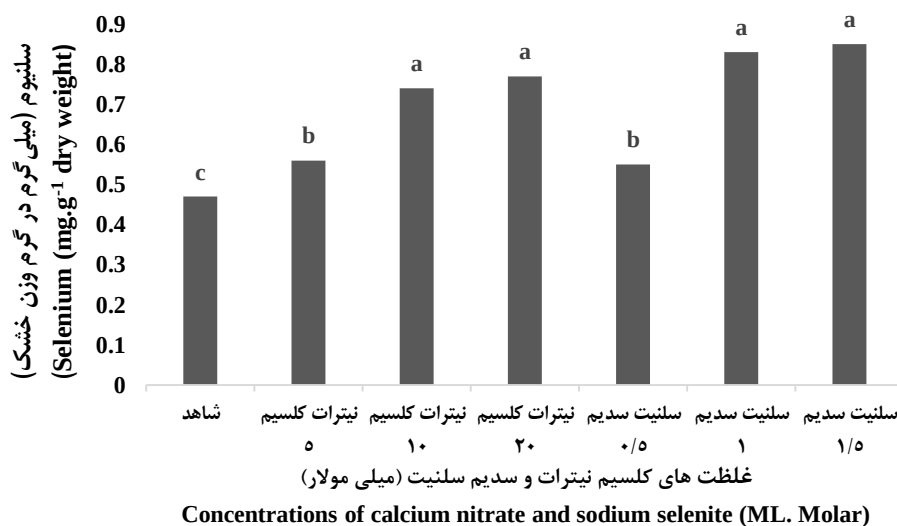
داده‌ها، بیشترین میزان سلنیم مربوط به محلول‌پاشی تیمار ۱.۵ میلی‌مولار سدیم سلنیت و ۲۰ میلی‌مولار کلسیم نیترات (با میانگین ۰/۸۵، ۰/۷۷ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) بود و کمترین میزان سلنیم از شاهد با میانگین ۰/۴۷ میلی‌گرم در گرم وزن خشک به دست آمد (شکل ۱۰).

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان نیترات در شاهد با میانگین ۷۵/۴۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر حاصل شد و کمترین میزان نیترات در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار سدیم سلنیت و ۲۰ میلی‌مولار کلسیم نیترات (با میانگین ۴۴/۲۷ و ۳۲/۷۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر) مشاهده شد (شکل ۹). مطابق نتایج مقایسه میانگین



شکل ۹- اثر محلول‌پاشی سدیم سلنیت (SC) و کلسیم نیترات (NC) بر مقدار نیترات گیاه اسفناج

Figure 9- Effect of foliar application of sodium selenite (SC) and calcium nitrate (NC) on the nitrate concentration of spinach (DMRT, $p \leq 0.01$)



شکل ۱۰- اثر محلول‌پاشی سدیم سلنیت (SC) و کلسیم نیترات (NC) بر غلظت سدیم گیاه اسفناج

Figure 10- Effect of foliar application of sodium selenite (SC) and calcium nitrate (NC) on the selenium concentration of spinach (DMRT, $p \leq 0.01$)

عنوان شده است. ریشه‌های گیاهان، نیترات را از محیط خارجی گرفته و قسمت عمده آن را از ریشه به شاخه‌ها منتقل می‌کنند که می‌توان گفت غلظت کاهش‌یافته نیترات احتمالاً ناشی از اثر منفی سلنیم بر

گزارش‌های متعدد وجود دارد که یا یک همبستگی معکوس بین میزان سلنیم و تجمع نیترات در گیاهان می‌باشد و دلیل کاهش تجمع نیترات در اثر کاربرد سلنیم، و افزایش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز

چشمگیر در رنگیزه‌های کلروفیلی موجود در برگ گیاهان شود و از طرفی، روی رشد و عملکرد گیاه تأثیرگذار باشد. تأثیر مثبت سلنیوم را می‌توان در افزایش میزان سنتز کلروفیل، فتوسنتز و تثبیت کربن دید که در نهایت باعث افزایش میزان رشد اسفناج خواهد شد. فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی برگ‌های اسفناج در تیمارهای بالای غلظت سلنیم و نیترات افزایش یافت. در همین تیمارها نیز بیشترین فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز، کمترین تجمع نیترات و تجمع بالای سلنیم مشاهده گردید. در مجموع، کاربرد محلول پاشی سدیم سولیت و کلسیم نیترات، به‌ویژه سدیم سولیت در غلظت ۱/۵ میلی مولار یکی از راه‌های غنی‌سازی و تقویت سلنیم در گیاه اسفناج می‌شود و از طرفی، ارزش غذایی آن در گیاه اسفناج حفظ و تجمع نیترات در گیاه کاهش می‌یابد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از سازمان مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری شهرستان شهرکرد به‌خاطر همکاری در این پروژه سپاسگزاری می‌گردد.

ناقلین غشاء یا مهار انتقال نیترات در ریشه می‌باشد (Sabolová & Kouřimská, 2020). منبع اصلی ذخیره نیتروژن برای گیاهان عالی، نیترات می‌باشد. تجمع نیترات در برخی از سبزیجات برگی بسیار قابل ملاحظه است (Ranasinghe & Marapana, 2018). نیترات جذب‌شده به‌وسیله گیاه، در واکوئل ذخیره شده یا در آوند چوبی انتقال می‌یابد که عموماً مقدار زیاد آن در واکوئل مانده و برای استفاده وارد سیتوزول می‌شود. لی و همکاران (Lei et al., 2018) گزارش کردند که سلنیم باعث کاهش انتقال نیترات از ریشه‌ها به برگ‌ها شده و در نتیجه، استفاده از سلنیم به‌شکل سدیم سولیت به‌طور معنی‌دار کاهش میزان انباشت نیترات و افزایش کیفیت و عملکرد کاه را به همراه خواهد داشت.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، تأثیر محلول پاشی سدیم سولیت و کلسیم نیترات بر تجمع نیترات در اسفناج بررسی شد. به‌طور کلی، نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که سلنیم اگرچه برای گیاهان عنصر ضروری نمی‌باشد، اما می‌تواند در غلظت‌های متفاوت استفاده شود به‌خصوص در غلظت ۱/۵ میلی مولار که باعث افزایش

References

- Antonenko, K., Briede, L., Kreicbergs, V., Vīksna, A., & Bavrins, K. (2018). Assimilation of selenium, copper, and zinc in rye malt. In Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences. March 2018. 72(2), 65-70. <https://doi.org/10.2478/prolas-2018-0010>
- Astaneh, R.K., Bolandnazar, S., Nahandi, F.Z., & Oustan, S. (2018). The effects of selenium on some physiological traits and K, Na concentration of garlic (*Allium sativum* L.) under NaCl stress. *Information Processing in Agriculture*, 5(1), 156-161. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.09.003>
- Bian, Z.H., Bo, L.E.I., Cheng, R.F., Yu, W.A.N.G., Tao, L.I., & Yang, Q.C. (2020). Selenium distribution and nitrate metabolism in hydroponic lettuce (*Lactuca sativa* L.): Effects of selenium forms and light spectra. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(1), 133-144. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62775-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62775-9)
- Brkic, D., Bošnjir, J., Bevardi, M., Bošković, A.G., Miloš, S., Lasić, D., & Trstenjak, N.U. (2017). Nitrate in leafy green vegetables and estimated intake. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 14(3), 31-41. <https://doi.org/10.21010/ajtcam.v14i3.4>
- Dinnella, C., Morizet, D., Masi, C., Clicerici, D., Depezay, L., Appleton, K.M., & Monteleone, E. (2016). Sensory determinants of stated liking for vegetable names and actual liking for canned vegetables: A cross-country study among European adolescents. *Appetite*, 107, 339-347. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.08.110>
- Ebrahimi, R., Ahmadian, A., Ferdousi, A., Zandi, S., Shahmoradi, B., Ghanbari, R., & Yetilmezsoy, K. (2020). Effect of washing and cooking on nitrate content of potatoes (cv. Diamant) and implications for mitigating human health risk in Iran. *Potato Research*, 63, 449-462. <https://doi.org/10.1007/s11540-020-09450-4>
- Jackson, J. K., Patterson, A. J., MacDonald-Wicks, L. K., Forder, P. M., Blekkenhorst, L. C., Bondonno, C. P., & McEvoy, M. A. (2019). Vegetable nitrate intakes are associated with reduced self-reported cardiovascular-related complications within a representative sample of middle-aged Australian women, prospectively followed up for 15 years. *Nutrients*, 11(2), 437-449. <https://doi.org/10.3390/nu11020240>
- Jalali, M., & Salehi Chegeni, N. (2020). The positive effect of selenium on nitrate accumulation in spinach (*Spinacia oleracea* L.) and lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Horticultural Science*, 34(2), 321-334. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v34i2.85540>
- Jóźwiak, W., Mleczek, M., & Politycka, B. (2016). The effect of exogenous selenium on the growth and photosynthetic pigments content of cucumber seedlings. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25, 142-152.

10. Keller, R.M., Beaver, L., Prater, M.C., & Hord, N.G. (2020). Dietary nitrate and nitrite concentrations in food patterns and dietary supplements. *Nutrition Today*, 55(5), 218-226. <https://doi.org/10.1097/NT.0000000000000253>
11. Lei, B., Bian, Z.H., Yang, Q.C., Wang, J., Cheng, R.F., Li, K., & Tong, Y.X. (2018). The positive function of selenium supplementation on reducing nitrate accumulation in hydroponic lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Integrative Agriculture*, 17, 837-846. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61759-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61759-3)
12. Lopes, G., Ávila, F.W., & Guilherme, L.R.G. (2017). Selenium behavior in the soil environment and its implication for human health. *Ciência e Agrotecnologia*, 41(6), 605-615. <https://doi.org/10.1590/1413-70542017416000517>
13. Mozafariyan, M., Pessarakli, M., & Saghafi, K. (2017). Effects of selenium on some morphological and physiological traits of tomato plants grown under hydroponic condition. *Journal of Plant Nutrition*, 40(2), 139-144. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1201500>
14. Nasrollahzadeh, N., Delshad, M., & Kashi, A.K. (2017). The effect of foliar spraying of urea, calcium nitrate and boric acid on the growth and yield of greenhouse cucumber cultivar Khasib. *Journal of Horticultural Science*, 31(1), 1-13. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.22914>
15. Quijano, L., Yusà, V., Font, G., McAllister, C., Torres, C., & Pardo, O. (2017). Risk assessment and monitoring programme of nitrates through vegetables in the region of Valencia (Spain). *Food and Chemical Toxicology*, 100, 42-49. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.12.010>
16. Ranasinghe, R.A.S.N., & Marapana, R.A.U.J. (2018). Nitrate and nitrite content of vegetables: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(4), 322-328.
17. Sabolová, M., & Kouřimská, L. (2017). Vitamin C and nitrates contents in fruit and vegetables from farmers' markets and supermarkets. *Slovak Journal of Food Sciences*, 14(1), 213-221. <https://doi.org/10.5219/1347>
18. Shahid, M.A., Balal, R.M., Khan, N., Zotarelli, L., Liu, G.D., Sarkhosh, A., & Garcia-Sanchez, F. (2019). Selenium impedes cadmium and arsenic toxicity in potato by modulating carbohydrate and nitrogen metabolism. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 180, 588-599. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.05.037>
19. Song, J., Xin, L., Gao, F., Liu, H., & Wang, X. (2024). Effects of foliar selenium application on oxidative damage and photosynthetic properties of greenhouse tomato under drought stress. *Plants*, 13(2), 302. <https://doi.org/10.3390/plants13020302>
20. Takeda, T., Kondo, K., Ueda, K., & Iida, A. (2016). Antioxidant responses of selenium-enriched broccoli sprout (*Brassica oleracea*) to paraquat exposure. *Biomedical Research on Trace Elements*, 27(1), 8-14. <https://doi.org/10.11299/brte.27.8>
21. Uddin, R., Thakur, M.U., Uddin, M.Z., & Islam, G.R. (2021). Study of nitrate levels in fruits and vegetables to assess the potential health risks in Bangladesh. *Scientific Reports*, 11(1), 4704. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84032-z>
22. Zhang, J., He, P., Ding, W., Ullah, S., Abbas, T., Li, M., & Zhou, W. (2021). Identifying the critical nitrogen fertilizer rate for optimum yield and minimum nitrate leaching in a typical field radish cropping system in China. *Environmental Pollution*, 268, 115004. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115004>
23. Zhu, Z., Zhang, Y., Liu, J., Chen, Y., & Zhang, X. (2018). Exploring the effects of selenium treatment on the nutritional quality of tomato fruit. *Food Chemistry*, 252, 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.064>

Estimation of Frost Damage in Walnut Trees (*Juglans regia*) using Remote Sensing

E. Gohari¹, H. Torabzadeh Khorasani^{1*}, S. Alvandy², M. Heidari Mozaffar¹

1- Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

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

Received: 07 December 2024

Revised: 06 April 2025

Accepted: 13 April 2025

Available Online: 13 April 2025

How to cite this article:

Gohari, E., Torabzadeh Khorasani, H., Alvandy, S., & Heidari Mozaffar, M. (2026). Estimation of frost damage in walnut trees (*Juglans regia*) using remote sensing. *Journal of Horticultural Science*, 39(4), 663-676. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91090.1398>

Introduction

Walnut is one of the most important economic crops in Iran and worldwide. Among the climatic factors that influence the selection of suitable sites for walnut (*Juglans regia*) cultivation, spring frost is particularly significant. Most of the walnut planting areas in Iran are mostly in the areas that have damaging colds in spring. The largest area under walnut cultivation in Iran is concentrated in the mountain hills and heights of the Zagros and Alborz mountain ranges. Every year, walnut production is limited by spring frosts, which, in addition to reducing production, can also damage sensitive plant tissues. Frost damage is one of the cases that are subject to compensation from the Agricultural Insurance Fund. Due to the high economic value of this product, an accurate, fast and low-cost estimation is necessary to evaluate the damages caused by this phenomenon on the walnut product. In this regard, in order to plan for the accurate calculation of the amount of compensation to the insurer, the insurer needs comprehensive information, so that it can estimate the performance losses caused by various factors. Remote sensing methods for frost monitoring using vegetation indicators are very efficient and effective. Therefore, this research examines spring frost damage by providing a quantitative index.

Materials and Methods

In this research, frost damage of the Agricultural Insurance Fund was used for walnut trees. The damage assessment was presented over a period of nine years. Vegetation index values extracted from Landsat and Sentinel-2 images have been used to overcome adverse weather conditions. Each of the vegetation indicators has different noises such as light changes during the day, wind speed, temperature, sun angle, etc. In order to smooth the indices, Savitzky-Golay filter was used. This filter was calculated with window size 11 and degree 2. In this filter, choosing the window size and degree is very important, because the small window size and degree cause noise to remain in the data, and if the window size and degree are chosen large, they lead to the loss of information related to vegetation indices. Meanwhile, choosing the reference year for comparison with other years was of particular importance. According to the consistency of the filtered indicators and the damages reported by the Agricultural Insurance Fund, the reference year was determined. The Spring Frost Damage Index index was presented in each year using the filtered values of the relevant vegetation indices, between the reference year and other years. In general, the enclosed area of the two curves between the intersection points at the beginning and the end has indicated the values of the SFDI index in each year.

Results and Discussion

The relationship between Spring Frost Damage Index (SFDI) index and damages was done through 2nd



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

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91090.1398>

degree polynomial model and linear regression. The status of the SFDI index compared to the estimates of the agricultural insurance fund for all villages was investigated through two polynomial models of the 2nd degree and linear regression. The accuracy of the regression model was evaluated with criteria such as: r , RMSE, P-value. The value of r indicates how well a model can predict the value of the dependent variable in percentage terms. The higher the value of r , the better the model. RMSE values indicate how well a regression model can predict the value of the variable. The quantity P-value shows the significance of two independent and dependent variables, and values less than 5% indicate the existence of a relationship between two variables at a significant level of 95%. It is useful to calculate all three quantities for a given model, as each measure provides useful information. Spring frost damage index based on Normalized Difference Vegetation Index vegetation index with correlation coefficients of $r = 0.927$ and $r = 0.823$ were able to estimate the damage. Finally, the maps of spatial distribution and spring frost damage showed a good fit with the damage reported by the Agricultural Insurance Fund.

Conclusion

The SFDI index has demonstrated a positive role in assessing frost damage. The spatial distribution results of the SFDI index further confirm its effectiveness, showing that as the index value increases, the percentage of frost damage reported by the Agricultural Insurance Fund also rises. Overall, the findings indicate that this index evaluates the impacts of spring frost accurately and efficiently and shows a strong correlation with reductions in crop yield.

Keywords: Satellite images, Spring frost damage, Time series, Vegetation index

برآورد میزان خسارت ناشی از سرمازدگی در درختان گردو (*Juglans regia*) با استفاده از

سنجش از دور

الهام گوهری^۱ - حسین ترابزاده خراسانی^{۱*} - سعید الوندی^۲ - مرتضی حیدری مظفر^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۴

چکیده

خسارت سرمازدگی بهاره، از جمله مواردی است که مشمول پرداخت غرامت از سوی صندوق بیمه کشاورزی هستند. سرمازدگی ناگهانی از اثرات منفی در میزان بازدهی محصولات در باغها است. به دلیل ارزش اقتصادی نسبتاً بالای محصولات باغی، باید از روش‌های دقیقی در برآورد میزان خسارت استفاده کرد. برخلاف محصولات زراعی که در سطح وسیع و به صورت یکنواخت کشت می‌شوند، تعمیم روش‌های نمونه‌برداری در این مطالعه به کل منطقه بسیار دشوار بوده و موجب کاهش دقت مدل‌های برآورد خسارت می‌گردد. هدف اصلی این تحقیق، ارائه یک شاخص کمی برای تخمین میزان خسارت وارده به درختان گردو (*Juglans regia*) بر مبنای سری زمانی تصاویر ماهواره‌های Landsat و Sentinel-2 است؛ لذا براساس سری زمانی شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده، شاخص خسارت سرمازدگی بهاره برای باغ‌های گردوی شهرستان تویسرکان محاسبه و در یک دوره زمانی ۱۳ ساله (۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱) مورد ارزیابی قرار گرفت. سری‌های زمانی شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده مورد استفاده توسط فیلتر سائویتزکی - گالای هموار شده‌اند تا اثرات عواملی مانند ابر، گردوغبار و نویز کاهش یابند. با مقایسه سری زمانی هر سال با سال مرجع و محاسبه سطح بین دو منحنی، شاخص خسارت سرمازدگی بهاره محاسبه شد که بیانگر میزان خسارت‌های وارده به درختان گردو است. ارزیابی عملکرد شاخص خسارت سرمازدگی بهاره نسبت به برآوردهای صندوق بیمه کشاورزی نشان می‌دهد که این شاخص برای همه روستاها از طریق دو مدل چندجمله‌ای درجه ۲ و رگرسیون خطی با ضریب‌های همبستگی به ترتیب $r = 0.927$ و $r = 0.823$ قادر به تخمین خسارت است. در این بین، نقشه‌های توزیع مکانی و خسارت سرمازدگی بهاره، تناسب خوبی با خسارت‌های گزارش شده از طرف صندوق بیمه کشاورزی دارند. در نهایت، روش پیشنهادی می‌تواند جایگزین مقرون به صرفه‌ای جهت برداشت داده میدانی خسارت برای درختان گردو با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای باشد.

واژه‌های کلیدی: تصاویر ماهواره‌ای، خسارت سرمازدگی بهاره، سری زمانی، شاخص پوشش گیاهی

مقدمه

مناطق مستعد کشت گردو (*Juglans regia*) در ایران، به طور معمول در دامنه ارتفاعات و به خصوص ارتفاعات رشته کوه‌های البرز و زاگرس پراکنده هستند. ایران با ۹/۱ درصد تولید گردو در جهان، سومین تولیدکننده این محصول است. همچنین با ۴/۹ درصد سطح زیرکشت باغ‌های گردو در جهان، رتبه پنجم جهان را دارد (Hassani et al., 2020). از عوامل اقلیمی مؤثر در بازدهی درختان گردو، می‌توان به سرمای زمستانه و بهاره، بارندگی و گرمای تابستان اشاره نمود. دمای پایین در پاییز و بهار از عوامل عمده محدودکننده بر

کشت گردو در بسیاری از مناطق موجود در عرض‌های بالا است. با وجود تفاوت ارقام مختلف گردو به سرما (Aslamarz et al., 2010)، نیاز سرمایی ارقام گردو بین ۴۰۰ الی ۱۶۰۰ ساعت است (Rasolzadegan, 1996)، اما عموماً دمای پایین‌تر از ۱۰- درجه سلسیوس برای اکثر گونه‌ها و ژنوتیپ‌های گردو مضر است (Khoramshahi, 2012). برخی از ژنوتیپ‌ها، با برگ‌دهی دیررس، می‌تواند خسارت ناشی از سرمازدگی را کاهش دهند (Fallah et al., 2022)، اما به صورت کلی، بروز دماهای زیر صفر و یخبندان در اوایل بهار سبب سرمازدگی شاخه‌های سال جاری و به خصوص گل‌ها می‌شود. اغلب مناطق کاشت گردو در ایران، در نواحی با سرماهای زیان‌بخش پاییزه و بهاره واقع شده‌اند؛ بنابراین هر ساله تولید گردوی ایرانی با یخبندان بهاری محدود می‌شود که علاوه بر کاهش تولید، می‌تواند به بافت‌های حساس گیاه نیز آسیب برساند (Khadivi et

۱- گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۲- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

(*)- نویسنده مسئول: Email: torabzadeh@basu.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91090.1398>

al., 2019). سرمازدگی بهاره نه تنها به سطح سلولی گیاه آسیب رسانده (Nejadsadeghi et al., 2014)، بلکه موجب آشفته‌گی در تولید کلروفیل و به هم خوردن توازن کلروپلاست می‌شود. در نتیجه، برگ‌های گیاه به‌ندرت می‌توانند بلافاصله بعد از تنش سرما بهبود یابند (Díaz et al., 2019). برآورد دقیق از میزان سرمازدگی و خسارت محصولات باغی می‌تواند به متولیان امر در انجام اقدامات مدیریتی، از قبیل بهینه‌سازی ساختار کاشت منطقه‌ای، آبیاری و کوددهی به‌موقع، یاری رساند (Cilia et al., 2014). مشابه با شیوه‌های رایج در برآورد خسارت محصولات زراعی، برای باغ‌های نیز از روش نمونه‌برداری مستقیم و تصادفی استفاده شود. اما کاشت غیریکنواخت محصولات باغی و عدم همگن بودن توزیع آن در هر منطقه، تمهید این روش را دشوار کرده و دقت مدل‌های برآورد خسارت را به‌شدت کاهش می‌دهد. این کاهش دقت، برای محصولاتی نظیر گردو که از ارزش اقتصادی زیادی برخوردارند منجر به اختلافات مالی زیادی بین شرکت‌های بیمه و باغداران می‌شود. ارزیابی چنین خساراتی، یکی از چالش‌های اصلی صندوق‌های بیمه است. روش‌های فعلی تعیین میزان خسارت که بر مشاهدات نقطه‌ای و در تعداد محدود استوار هستند، کارایی لازم را در مورد محصولات باغی ندارند. ضمن اینکه بررسی خسارت به‌صورت سنتی بسیار وقت‌گیر، هزینه‌بر و در عین حال سلیقه‌ای است. در مقابل، روش‌های سنجش‌ازدور با توجه به توانایی نقشه‌برداری در هر دو بعد مکان و زمان، پوشش گسترده و تکرار اندازه‌گیری‌ها، امکان بررسی مناطق وسیع را با دقت بالا و هزینه کمتر فراهم می‌کند. این روش‌ها به‌دلیل غیرتماسی بودن، غیرمخرب بودن و همچنین سهولت در استنتاج سریع مشاهدات در مقیاس‌های بزرگ‌تر، به‌طور ویژه‌ای مورد توجه پژوهش‌های بوم‌شناختی و اقلیمی قرار گرفته است (Li et al., 2021). همچنین ترکیب تصاویر سنجش‌ازدور با مدل‌های اقلیمی می‌تواند نیازهای خاص محصول را در شرایط اقلیمی مختلف شناسایی کرده و براساس آن، میزان کود، آب و سایر منابع را مشخص نماید (Vahdati et al., 2019). از جمله روش‌های سنجش‌ازدور در ارزیابی سرمازدگی، استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی است. این شاخص‌ها، تبدیل‌های محاسباتی هستند که براساس رفتار طیفی گیاهان تعریف می‌شوند و برای ارزیابی و بررسی گیاهان در مشاهدات ماهواره‌ای چند طیفی طراحی شده‌اند (Skendžić et al., 2023). شاخص‌های پوشش گیاهی می‌توانند به‌عنوان جایگزینی مناسب برای داده‌های ثبت‌نشده و مربوط به گذشته مانند تغییرات داده‌های کاربری اراضی و تغییرات پوشش گیاهی در دوره‌های زمانی مختلف مورد استفاده قرار گیرند و به‌عنوان اطلاعات پایه برای مطالعات دیگر به کار روند. از میان شاخص‌های پوشش گیاهی، $NDVI^1$ به‌دلیل

عملکرد مطلوب در توصیف پوشش گیاهی، به یکی از شاخص‌های مهم در زمینه سنجش‌ازدور تبدیل شده است (Zhu & Liu., 2015). به‌طور طبیعی، تغییرات این شاخص‌ها در طول زمان بر روی پوشش گیاهی و در ابتدای فصل رشد (ابتدای بهار) روند مثبتی دارد، بنابراین هرگونه کاهش در این روند می‌تواند به وقوع خسارت در گیاهان مربوط باشد (Allevato et al., 2019). سری‌های زمانی شاخص‌های گیاهی معمولاً از تصاویر سنجنده مودیس ساخته می‌شوند، زیرا دوره بازدید روزانه آن برای افزایش حساسیت روش‌ها به کمترین تغییرات گیاهان مناسب است (Cao et al., 2015). قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متری این داده‌ها، برای بررسی پوشش‌های گیاهی وسیع همچون جنگل‌ها و مزارع بزرگ، مطلوب است. هرچند برای بررسی خسارت در مزارع کوچک‌تر و باغ‌های، از سنجنده‌های با توان تفکیک متوسط، مستقر بر ماهواره‌های Landsat و Sentinel-2 استفاده می‌شود (Wang et al., 2020) (در بین پژوهش‌های مختلف بر روی سرمازدگی (Duddu et al., 2018)، میزان افت عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.) با استفاده از روش‌های سنجش‌ازدور ارزیابی شد. همچنین مقایسه آزمایشگاهی بین دو محصول گندم (*Triticum aestivum* L.) آسیب‌دیده و سالم، در سه روز پس از یخ‌زدگی روند کاهشی را در مقدار سری زمانی شاخص NDVI نشان داد (Murphy et al., 2020). نتایج پژوهشی دیگر گویای آن است که میزان کلروفیل برگ‌های تحت تأثیر تنش سرما، با رفتار منحنی بازتاب طیفی قابل ارزیابی است (Wang et al., 2016). میزان خسارت ناشی از سرمازدگی برنج (*Oryza sativa japonica*) Azari (2012) را به‌کمک سری زمانی شاخص EVI^2 و $NDVI$ به دست آمد. نظر به اینکه میزان شاخص‌های پوشش گیاهی در زمان خوشه‌دهی به بیشترین مقدار خود می‌رسد، مجموع دماهای پایین‌تر از یک حد آستانه، در طول دوره رشد زایشی محاسبه و درجه روز سرما تعیین شده و در نهایت درصد عقیمی این محصول ارزیابی گردید. روشی که توسط وانگ و همکاران (Wang et al., 2020) ارائه شده است، به استانداردسازی و مقایسه سطح زیر منحنی سری‌های زمانی در سال‌های مختلف برای محصول گندم می‌پردازد. اساس این روش بر این است که کاهش در سطح زیر منحنی فوق با افزایش خسارت ناشی از سرمازدگی بهاره نسبت مستقیم دارد. از این‌رو شاخص $SFDI^3$ برای ارزیابی این خسارت پیشنهاد شده است. برای سایر محصولات کشاورزی مانند جوانه برگ چای (*Camellia sinensis*)، روش‌های برآورد دمای کمینه مبتنی بر سنجنده و ویژگی‌های مکانی-زمانی بر مبنای روزهای خسارت، استفاده شد. به‌طور کلی، میزان روند کاهشی دمای هوا، متناسب با خسارت ارزیابی شد (Wang et al., 2021). در

2- Enhanced Vegetation Index

3- Spring Frost Damage Index

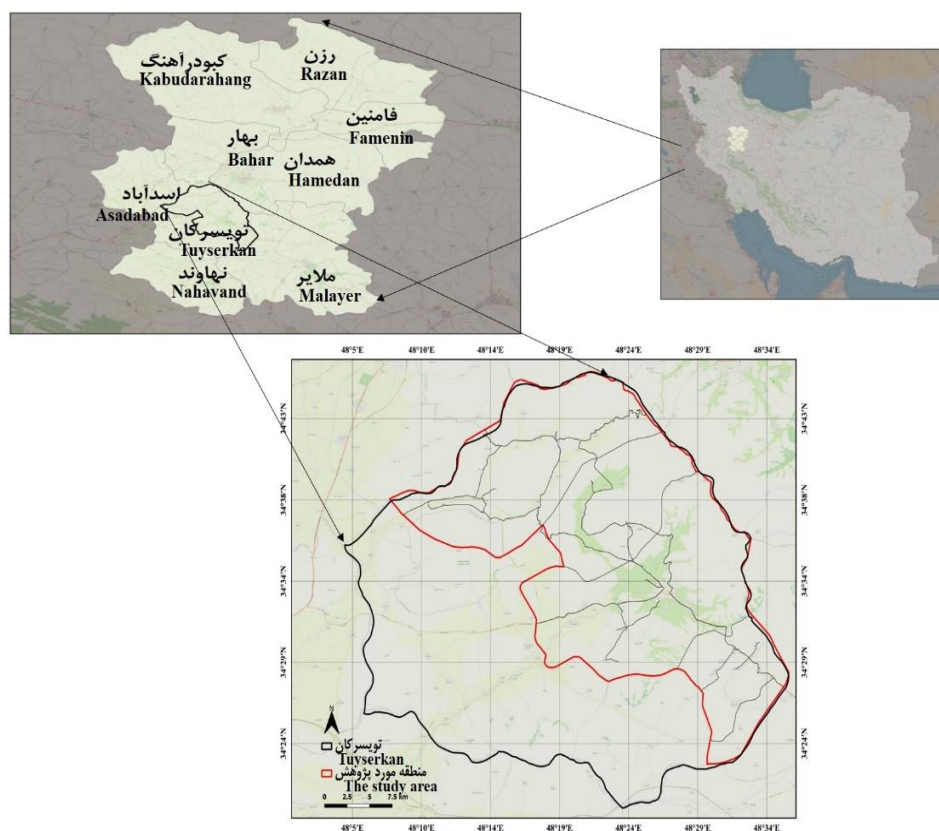
1- Normalized Difference Vegetation Index

زمانی نُه ساله (۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌های Landsat و Sentinel-2 ارزیابی شد. بدین منظور از شاخص SFDI استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

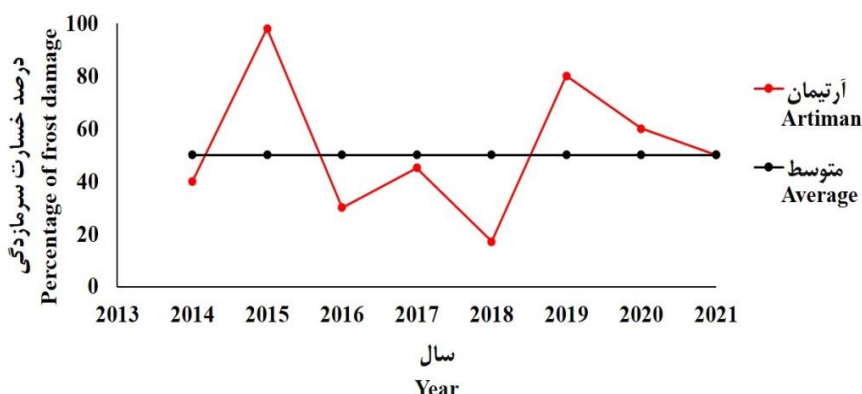
شهرستان توپسرکان در نیمه جنوبی استان همدان واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع متوسط این شهر از سطح دریا برابر ۱۸۵۷ متر، میانگین دمای سالانه ۱۲/۲۷ درجه سانتی‌گراد و بارندگی ۳۴۱/۳ میلی‌متر می‌باشد. این منطقه با آب‌وهوای معتدل کوهستانی در سال ۱۳۹۵ دارای جمعیت ۶۶۶,۱۰۱ نفر بوده است (Khazaei et al., 2019). به دلیل برخورداری از آب‌وهوای مناسب، بهره‌برداری از منبع آب کافی و سابقه بلندمدت در تولید گردوی با کیفیت، شرایط بسیار مطلوبی برای تولید این محصول در منطقه وجود دارد. در این شهرستان، ۵,۳۶۰ هکتار باغ گردو، با تولید ۱۵۰۰۰ تن وجود دارد که رتبه اول را در کشور به خود اختصاص داده است. از حیث اقتصادی نیز عمده درآمد مردم از همین طریق کسب می‌شود. به عنوان مثال، درآمد حاصل از تولید گردو در سال ۱۳۸۹ نزدیک به ۵۰ میلیون دلار بوده است (Arghan et al., 2016).

مورد محصولات باغی همچون سیب (*Malus domestica*) نیز تحقیقاتی صورت گرفته است، به طوری که خسارت سرمازدگی از طریق مقایسه شاخص NDVI در سال‌های بدون سرما (مرجع) و سرما برآورد شده است. نتایج حاکی از رفتار غیرطبیعی منحنی طیفی در سری زمانی شاخص NDVI است (Zhu et al., 2021). همچنین با بررسی رفتار منحنی طیفی باغ‌های انگور (*Vitis vinifera*)، رابطه شدت سرمازدگی و افت شاخص‌های گیاهی پس از وقوع یخبندان بررسی شده است. این شاخص‌ها شواهدی از بهبودی کامل انگورها را ۴۰ روز پس از وقوع یخبندان ارائه نمودند (Cogato et al., 2020). در پژوهش دیگری از شاخص پوشش گیاهی و طبقه‌بندی جنگل تصادفی برای محصول انگور استفاده شده و افت شدید در شاخص پوشش گیاهی واضح بوده است (Li et al., 2021). براساس نتایج، ۴۱ درصد از سطح زیرکشت انگور دچار خسارت ناشی از سرمازدگی شده بود. علی‌رغم اهمیت محصول گردو از نظر اقتصادی و نیاز به ارزیابی دقیق خسارت‌ها، متأسفانه تاکنون شاخص کمی مناسبی برای ارزیابی سرمازدگی بهار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک بالا ارائه نشده است. هدف اصلی این تحقیق، ارائه چنین شاخصی برای درختان گردو در منطقه مورد مطالعه است. در این پژوهش، میزان خسارت ناشی از سرمازدگی در درختان گردو در بازه

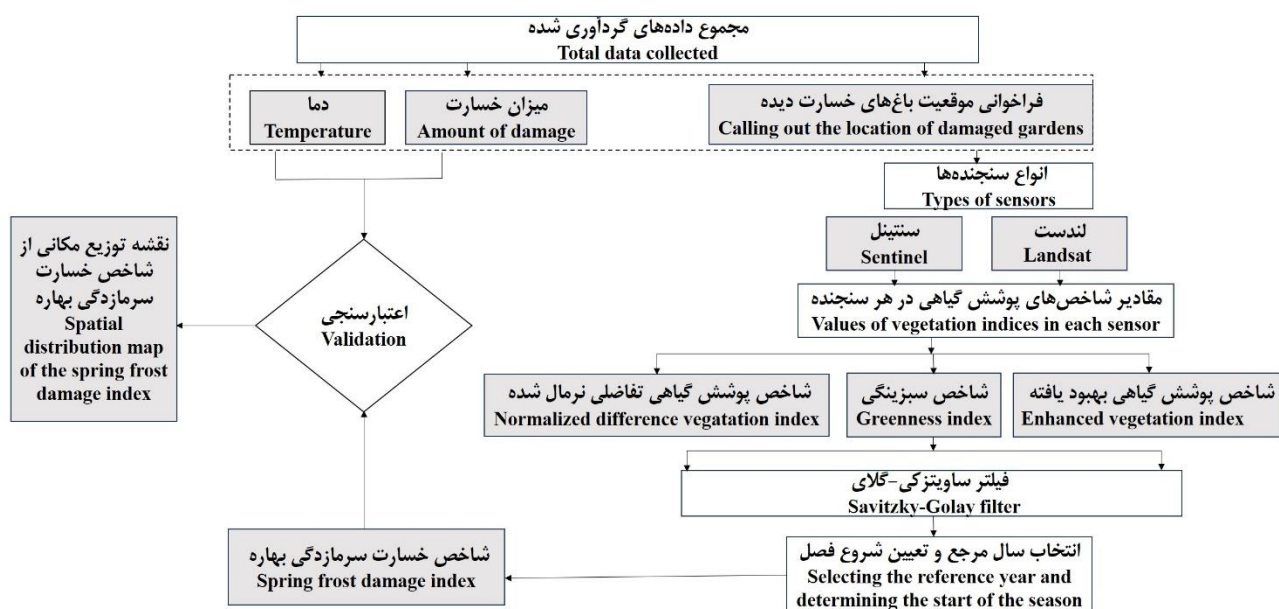


شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

Figure 1- The study area



شکل ۲- نمونه‌ای از روند خسارت در باغ‌های گردوی روستای آرتیمان براساس گزارش صندوق بیمه کشاورزی
Figure 2- A sample of damage trend for walnut trees in Artiman village according to AIF report



شکل ۳- روند پیاده‌سازی کلی پژوهش
Figure 3- Overall research implementation process

ابری بودن برخی از تصاویر ماهواره‌ای منجر به کمبود تصاویر در هر سال می‌شد. به منظور فائق آمدن بر این مشکل، تصاویر دو سنسور ETM^+ و OLI^2 از ماهواره لندست با تصاویر سنسور MSI^3 از ماهواره سنیتینل-۲ ترکیب شدند.

خسارت‌های اعلام‌شده برای روستاهای مختلف شهرستان توپسرکان در بازه زمانی مورد مطالعه، از صندوق بیمه کشاورزی اخذ شد. به عنوان نمونه، در روستای آرتیمان، میزان خسارت به ترتیب در شکل ۲ بیان شده است. خط سیاه رنگ، نشان‌دهنده میزان متوسط خسارت می‌باشد. بیشترین درصد خسارت سرمازدگی بهاره مربوط به سال ۲۰۱۵ و کمترین درصد خسارت سرمازدگی بهاره مربوط به سال

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش، از سه نوع داده جهت تجزیه و تحلیل سرمازدگی استفاده شده است. این مجموعه داده‌ها عبارتند از تصاویر ماهواره‌ای، گزارش‌های صندوق بیمه کشاورزی و داده‌های آب‌وهوایی. اخذ تصاویر و محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی از طریق سامانه GEE^1 انجام شد. با توجه به پراکنده بودن باغ‌های گردو و شرایط آب‌وهوایی نامساعد در فصل بهار، تصاویر در بازه‌های زمانی متفاوت بودند و

- 1- Google Earth Engine
- 2- Enhanced Thematic Mapper Plus
- 3- Operational Land Image
- 4- Multi Spectral Instrument

۲۰۱۸ می‌باشد. همچنین هیچ‌گونه خسارتی در سال ۲۰۱۳ به منطقه مورد مطالعه وارد نشده است.

داده‌های آب‌وهوایی لازم از سازمان هواشناسی کشور تهیه شده است که شامل دمای روزانه (کمینه، متوسط و بیشینه) در طول مدت مورد مطالعه می‌باشد. این داده‌ها توسط ایستگاه هواشناسی تویسرکان ثبت شده است که در مختصات ۴۸/۴۲ درجه شرقی و ۳۴/۵۵ درجه شمالی قرار دارد.

متداول‌ترین روش جهت بررسی خسارت ناشی از سرمازدگی، براساس شاخص‌های پوشش گیاهی است (She et al., 2015). این شاخص‌ها براساس بازتاب طیفی گیاهان، وضعیت رشد محصول و شرایط سلامتی آن‌ها را نشان می‌دهند. عملکرد هر شاخص پوشش گیاهی در شرایط خاصی متفاوت است. منحنی شاخص مرجع در شرایط معمولی یک روند صعودی پیوسته‌ای طی می‌کند، اما پس از سرمازدگی، شاخص تحت تنش قرار گرفته و افت ناگهانی در آن دیده می‌شود. در نهایت، خسارت سرمازدگی را می‌توان با محاسبه تفاوت بین منحنی مرجع و سایر منحنی‌ها کمی‌سازی کرد. روند کلی پیاده‌سازی پژوهش حاضر در شکل ۳ نشان داده شده است.

محاسبه شاخص پوشش گیاهی

شاخص‌های گیاهی متداول در مطالعه خسارت وارده به گیاهان، شامل NDVI، EVI و به صورت محدود، GI^۱ هستند که برای اجتناب از ورود داده‌های پرت، نیاز به هموارسازی دارند (Maji et al., 2015; Gamon et al., 2015). یک شاخص پوشش گیاهی ایده‌آل باید دارای حداکثر میزان سیگنال مربوط به خصوصیات بیوفیزیکی و حداقل نویز مانند تأثیرات خاک و جو باشد (Ji et al., 2014). شاخص پوشش گیاهی NDVI از طریق معادله ۱ محاسبه گردید.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

که در آن، NIR: باند مادون قرمز نزدیک و RED: باند قرمز است. به طور کلی، کیفیت داده‌های سنجنش‌ازدور تحت تأثیر عوامل مختلف محدود می‌شود که از آن جمله می‌توان به تغییرات شدت و زاویه نور خورشید، دمای سطح زمین، وجود سایه و ابرناکی اشاره کرد (Maji et al., 2015; Gamon et al., 2015). در این بین، پوشش ابر و برف باعث اغتشاش قابل توجه در سیگنال و در نهایت منجر به افت ناگهانی در سری زمانی پوشش گیاهی می‌شود (Ulsig et al., 2017). فیلتر SG^۲ یک روش ساده و مؤثری است که می‌تواند اثرات

نویزهای مزاحم را کاهش دهد (Savitzky & Golay, 1964). برای باغ‌های گردو در شهرستان تویسرکان، مقادیر و تصاویر شاخص پوشش گیاهی در سامانه GEE، در فصل بهار از ۱۹ فوریه تا ۲۶ ژوئن بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ محاسبه شدند. جهت هموارسازی شاخص پوشش گیاهی از فیلتر SG استفاده گردید. معادله این فیلتر از طریق معادله ۲ به دست آمد.

$$Y_j^* = \frac{\sum_{i=-m}^{i=m} C_i Y_{j+i}}{N} \quad (2)$$

که در آن، Y: مقادیر خام شاخص پوشش گیاهی، Y*: مقادیر فیلترشده شاخص پوشش گیاهی، C_i: مقدار ضریب فیلتر (پنجره هموار کردن)، N: تعداد نقاط جهت هموارسازی، m: پنجره هموارسازی و شاخص j: به عنوان نشانگر در حال اجرا از جدول داده‌های اصلی است. تعیین مقادیر پنجره هموارسازی (m) که مقدار آن از ۱ تا ۱۲ متغیر است و درجه هموارسازی (d) که مقدار آن از ۲ تا ۴ متغیر است از اهمیت بیشتری برخوردارند (Chen et al., 2004). اندازه پنجره و درجه کوچک باعث می‌شود که نویز در داده‌ها باقی‌مانده و اگر اندازه پنجره و درجه بزرگ انتخاب شود منجر به از بین رفتن اطلاعات اصلی می‌شود. با توجه به نتایج آزمون‌های اولیه، در این تحقیق، این فیلتر با اندازه پنجره ۱۱ و درجه ۲ در نرم‌افزار MATLAB محاسبه شد.

انتخاب سال مرجع و تعیین شروع فصل

سال مرجع (سال بدون سرمازدگی) دارای ویژگی‌هایی مانند پیوستگی شاخص پوشش گیاهی، یعنی نداشتن افت ناگهانی در سری زمانی (تغییرات زیاد) است. در حقیقت، رفتار منحنی سال مرجع کمترین اثرات ناشی از سرمازدگی را دارد. انتخاب این سال به دلیل مرجع بودن و مقایسه با سال‌های دیگر از اهمیت خاصی برخوردار است. برای انتخاب درست سال مرجع، دو نکته لحاظ شده است. اول اینکه از طرف صندوق بیمه، خسارتی برای آن سال به دلیل سرمازدگی اعلام نشده باشد. دوم اینکه افت قابل ملاحظه‌ای در سری زمانی شاخص گیاهی وجود نداشته باشد. با توجه به پیوستگی شاخص فیلترشده و گزارش عدم خسارت سرمازدگی بهاره، سال ۲۰۱۳ به عنوان مرجع تعیین گردید. پس از انتخاب سال مرجع، تاریخ SOS^۳ براساس اولین جهش صعودی که شاخص‌های فیلترشده پوشش گیاهی نشان می‌دهند (Diao, 2020)، مشخص شد. این تاریخ به عنوان مبنا جهت تقاطع با سایر سال‌ها و تولید شاخص SFDI استفاده شده است.

1- Greenness Index

2- Savitzky-Golay

3- Start of the Season

شاخص SFDI

که در معادله ۴ و ۵، y : یک متغیر وابسته، x : یک متغیر مستقل، β : شیب خط (ضریب رگرسیون) و ε : عرض از مبدأ می‌باشد.

نتایج

صندوق بیمه کشاورزی استان همدان از سال ۲۰۱۳ برای هر باغ گردو دو نوع بیمه‌نامه با عنوان بیمه تک خطر و بیمه عمومی در نظر گرفته است. بیمه تک خطر صرفاً برای خطر سرما و یخبندان می‌باشد. بیمه عمومی مربوط به عوامل مختلفی مانند باران‌های بی‌موقع و مداوم در زمان گل‌دهی گردو، بارش سنگین برف، تگرگ، زلزله، سیل، طوفان، گرما و باد گرم در زمان گل‌دهی می‌باشد. با توجه به گزارش‌های این صندوق، در بین سال‌های مورد مطالعه، سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۸ به‌ترتیب بیشترین و کمترین آسیب سرما را در اغلب مناطق داشته‌اند که مورد تأیید بیمه کشاورزی نیز بوده است (شکل ۴).

منحنی‌های شاخص NDVI که به‌وسیله فیلتر SG هموار شده‌اند، را در سال‌های مختلف نشان می‌دهد (شکل ۵). در بازه زمانی نُه‌ساله مورد مطالعه، سال ۲۰۱۳ (منحنی سبز تیره) پیوستگی بهتری نسبت به سایر سال‌ها نشان می‌دهد و افت ناگهانی در سری زمانی آن وجود ندارد. از طرفی، با توجه به خسارت اعلام‌شده توسط صندوق بیمه کشاورزی، خسارتی در این سال به درختان گردو در روستاهای مختلف وارد نشده است، بنابراین به‌عنوان مرجع، جهت مقایسه با سال‌های دیگر و ارائه شاخص SFDI استفاده می‌شود.

این شاخص با استفاده از مقادیر شاخص پوشش گیاهی در سال مرجع و سایر سال‌ها طبق معادله ۳ محاسبه می‌شود. به عبارت دیگر، مساحت محصورشده دو منحنی بین نقاط تقاطع در ابتدا و انتها، نشان‌دهنده مقادیر شاخص SFDI است.

$$SFDI = \sum_{i=SF_{begin}}^{i=SF_{end}} (VI_{t_i} - VI_{SF_i}) \quad (3)$$

که در آن، VI_{t_i} : مقادیر شاخص پوشش گیاهی در سال مرجع، VI_{SF_i} : مقادیر شاخص پوشش گیاهی در سال متأثر از سرمازدگی بهاره، SF_{begin} : تاریخ شروع سرمازدگی و SF_{end} : تاریخ پایان سرمازدگی است (Wang et al., 2020).

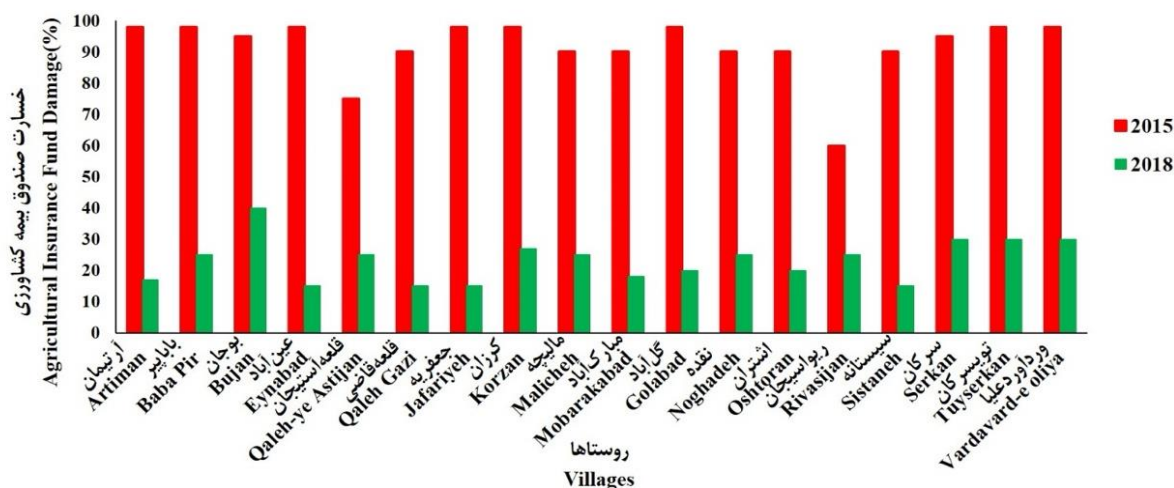
تجزیه و تحلیل رگرسیون تک متغیره

بررسی ارتباط آماری بین شاخص SFDI با خسارت‌های بیمه کشاورزی به‌روش رگرسیون خطی تک متغیره طبق معادله ۴ انجام شد. مشخصه‌های ارزیابی روش شامل کمیت‌های RMSE، P-value، r بود (Grömping, 2015).

$$y = x\beta + \varepsilon \quad (4)$$

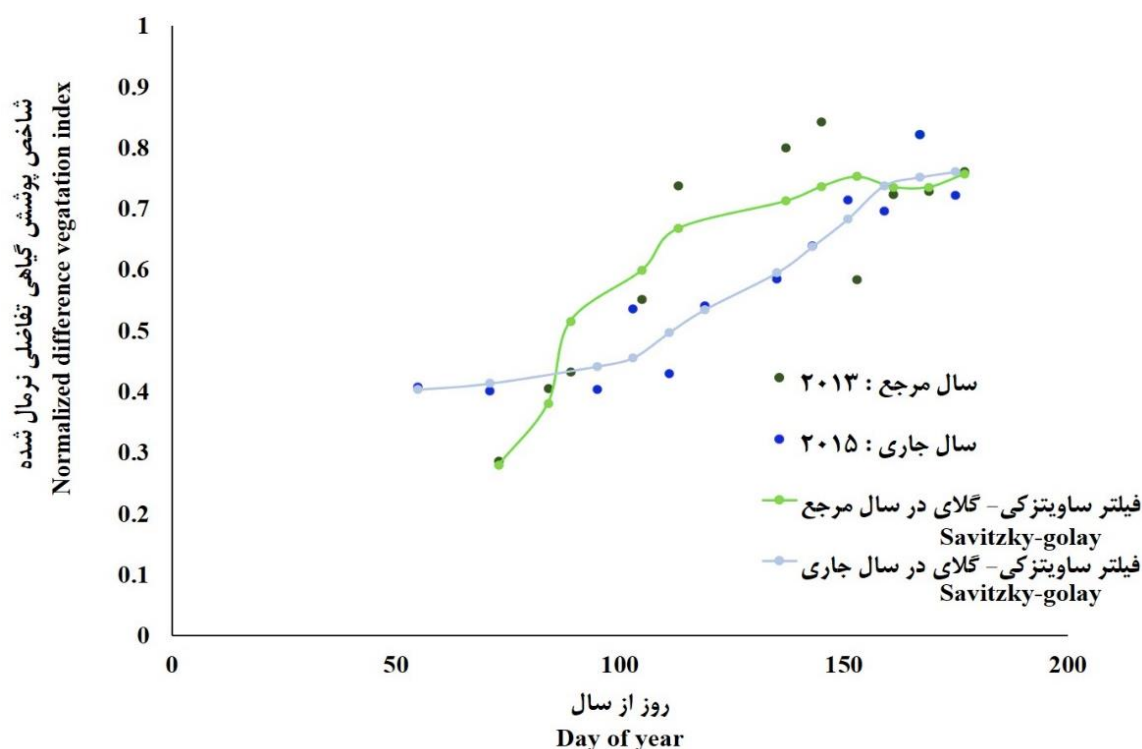
همچنین با توجه به طبیعت داده‌ها، لازم شد تا رابطه غیرخطی (درجه ۲) بین شاخص SFDI و خسارت‌های گزارش‌شده از طریق معادله ۵ مورد ارزیابی قرار گیرد. جهت اجتناب از برآورد غیرواقعی خسارت، در هر دو معادله فوق، مقدار عرض از مبدأ برابر صفر منظور شد.

$$y = \beta_0 x + \beta_1 x^2 + \varepsilon \quad (5)$$



شکل ۴- درصد خسارت صندوق بیمه کشاورزی در باغ‌های تویسرکان در سال‌های ۲۰۱۵ (بیشترین سرمازدگی) و ۲۰۱۸ (کمترین سرمازدگی). سال‌های دیگر برای اجتناب از تداخل داده‌ها در این نمودار نمایش داده نشده‌اند

Figure 4- Percentage of Agricultural Insurance Fund losses in Tuyserkan orchards in 2015 (highest frost damage) and 2018 (lowest frost damage). Other years are not shown in this graph due to data interference avoidance



شکل ۵- روند شاخص پوشش گیاهی NDVI به همراه فیلتر هموارسازی SG در روزهای سال در یکی از باغ‌های روستای آرتیمان
Figure 5- NDVI vegetation index trend with SG smoothing filter by days of the year in one of the orchards of Artiman village

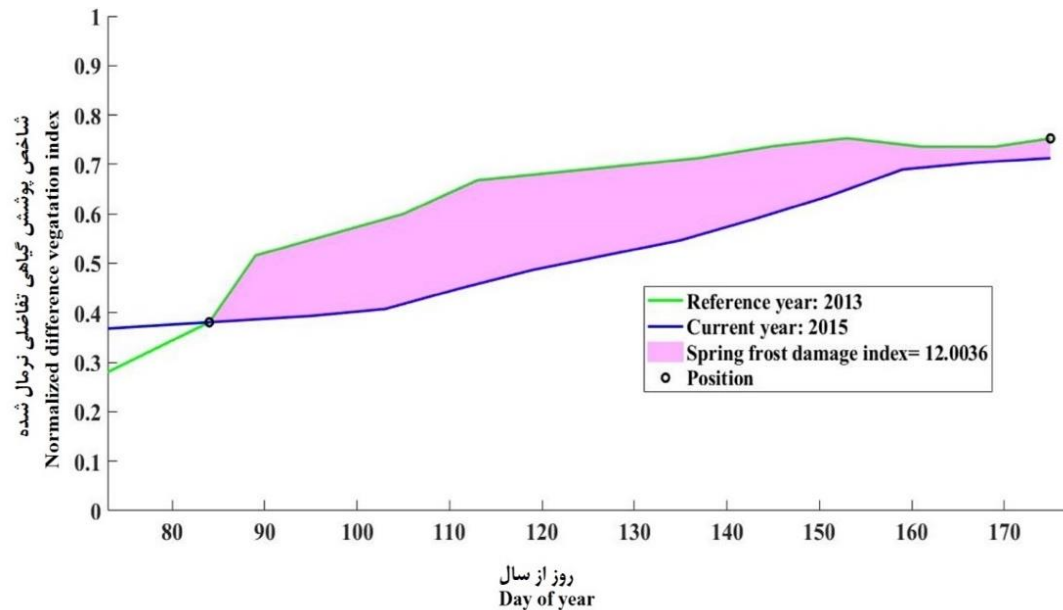
(نواحی صورتی‌رنگ) در هر نمودار، همان مقدار SFDI است که در اینجا بر مبنای شاخص پوشش گیاهی NDVI بیان شده است. به‌طور کلی، مقدار این شاخص از ابتدای نقطه تقاطع اول تا انتهای نقطه تقاطع آخر محاسبه می‌شود (شکل ۶).

ارتباط بین شاخص‌های SFDI و خسارت اعلام‌شده توسط صندوق بیمه کشاورزی از طریق مدل رگرسیون تک متغیره بررسی شده است، تا میزان ارتباط و همبستگی آن‌ها آشکار شده و عملکرد شاخص SFDI مورد ارزیابی قرار گیرد (شکل ۷). ضریب همبستگی بین مقادیر خسارت و مقادیر SFDI برای تمام باغ‌ها ۰/۸۲ است که با توجه به P-value کمتر از ۰/۰۵ ارتباط قوی و معنی‌دار است. در این حالت، ارتباط بین مقدار SFDI و میزان خسارت (معادله ۶) بدین صورت است.

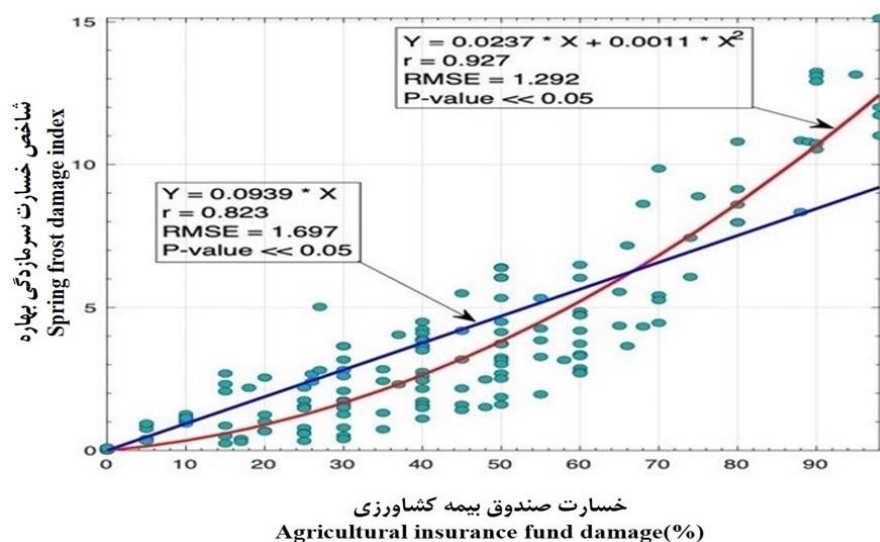
$$\text{SFDI} = 0.0939 \times D \quad (۶)$$

در سال ۲۰۱۳، روز شروع فصل رویش SOS، به‌عنوان اولین نقطه تقاطع بین دو منحنی (روز ۸۴ سال میلادی، معادل: پنجم فروردین) به دست آمد. فرض بر این است که در سال‌های نرمال نیز همین منحنی تکرار شود، با این تفاوت که به‌علت تغییر احتمالی در روز شروع فصل، شاهد یک انتقال (شیفت) کلی باشیم؛ بنابراین در صورت منطبق کردن منحنی NDVI مربوط به دو سال مختلف، در نقطه شروع فصل رویش، اختلافات آن‌ها به خسارت‌های وارده به گیاه مرتبط خواهد بود. از آنجاکه در ماه‌های اولیه فصل رشد در باغ‌ها، سرمازدگی بهاره عمده‌ترین عامل خسارت است، بنابراین هرگونه افت در منحنی NDVI هر سال نسبت

به سال مرجع (۲۰۱۳)، به همین خسارت مرتبط خواهد بود. منحنی NDVI سایر سال‌ها با رنگ آبی تیره مشخص شده که متأثر از سرمازدگی بهاره هستند و به‌طور چشمگیری افت ناگهانی در نمودار آن‌ها قابل مشاهده است. مساحت محصورشده بین دو سال مختلف



شکل ۶- شاخص SFDI در سال ۲۰۱۵ در یکی از باغ‌های روستای آرتیمان
Figure 6- SFDI index in 2015 in one of the orchards of Artiman village

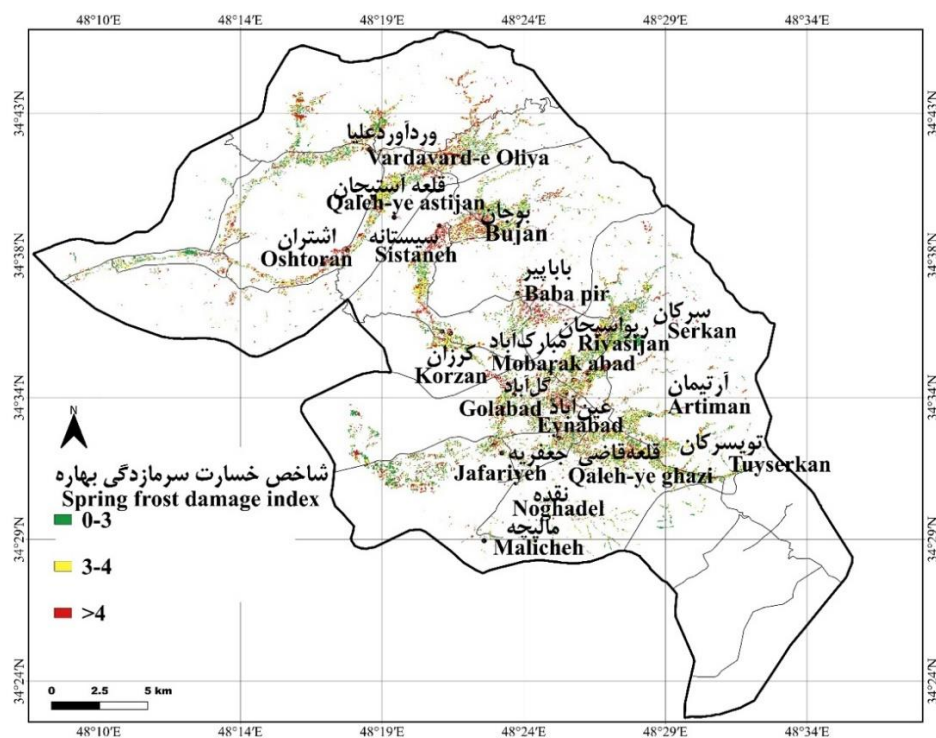


شکل ۷- ارتباط شاخص SFDI با خسارت سرمازدگی که توسط صندوق بیمه کشاورزی گزارش شده است
Figure 7- Relationship between SFDI index and frost damage reported by the Agricultural Insurance Fund

توزیع مکانی شاخص SFDI

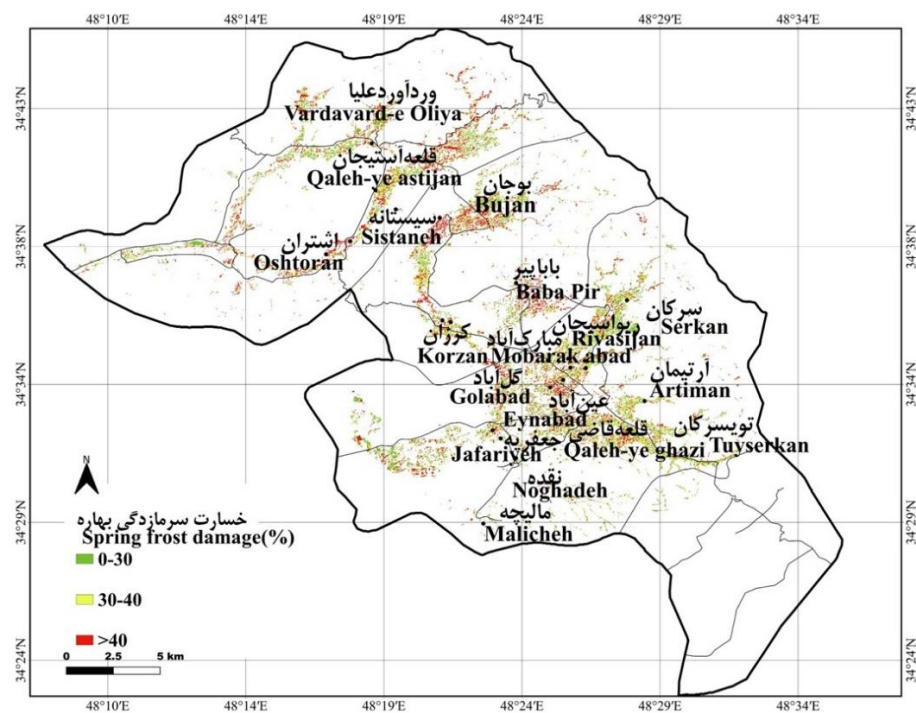
علاوه بر ارتباط مشاهده شده بین شاخص و میزان خسارت، نقشه توزیع مکانی شاخص SFDI در منطقه مورد مطالعه تهیه شده است (شکل ۸). بدین ترتیب می‌توان برای هر پیکسل، مقدار خسارت سرمازدگی را برآورد نمود. در بین سال‌های مورد مطالعه، در سال ۲۰۱۵ بیشترین آسیب سرما در نقاط مختلف مشاهده شده که مورد تأیید بیمه کشاورزی و نقشه توزیع مکانی خسارت نیز بوده است.

که در آن، D: میزان خسارت سرمازدگی (بین ۰ و ۱۰۰) می‌باشد. البته نتایج رگرسیون غیرخطی (منحنی قرمز رنگ در شکل ۷) ارتباط مستحکم‌تری را بین SFDI و میزان خسارت نشان می‌دهد ($r^2=0.93$)، اما چون دلیل قاطعی برای توجیه رفتار غیرخطی شاخص SFDI در دست نیست، فعلاً محاسبات بر مبنای رابطه خطی انجام شده است. تبعاً با انجام آزمون‌های بیشتر در مناطق مختلف، ممکن است که ارتباط غیرخطی شاخص پیشنهادی در آینده مورد تأیید قرار گیرد.



شکل ۸- نقشه توزیع مکانی شاخص SFDI در باغ‌های گردو در منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۱۵

Figure 8- Map of spatial distribution of SFDI index in walnut orchards of the study area in 2015. Black circular dots indicate نقاط دایره‌ای سیاه‌رنگ، نشان‌دهنده روستاهای اعلام‌شده توسط صندوق بیمه کشاورزی می‌باشد. villages declared by the Agricultural Insurance Fund



شکل ۹- نقشه توزیع مکانی خسارت سرمازدگی بهاره در باغ‌های گردو در منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۱۵

Figure 9- Spatial distribution map of spring frost damage in walnut orchards in the study area in 2015

با معکوس کردن معادله ۶، امکان محاسبه درصد خسارت سرمازدگی (D) به صورت زیر وجود دارد (معادله ۷).

$$D = 10.650 \times SFDI \quad (۷)$$

در نهایت، نقشه‌های خسارت سرمازدگی بهاره در هر سال با استفاده از معادله ۷ تولید می‌شود که نمونه‌ای از آن‌ها برای سال ۲۰۱۵ بر حسب درصد در شکل ۹ نمایش داده شده است.

بحث

در این تحقیق، به دلیل وسعت کم عوارض مورد مطالعه، از سنجنده‌های OLI، ETM+ و MSI با قدرت تفکیک ۳۰ متر استفاده شد. ترکیب این سنجنده‌ها موجب افزایش دوره بازدید به کمتر از یک هفته شد که برای ارزیابی خسارت سرمازدگی مناسب است. خسارت‌های سرمازدگی اعلام شده برای روستاهای مختلف شهرستان تویسرکان در بازه زمانی مورد مطالعه، متفاوت ثبت شده‌اند. شکل ۴، صرفاً درصد خسارت صندوق بیمه کشاورزی برای تمامی باغ‌ها را در سال ۲۰۱۵ و سال ۲۰۱۸ نشان می‌دهد. در میان سال‌های گزارش شده از طرف صندوق بیمه کشاورزی، سال ۲۰۱۳ به عنوان سال مرجع (بدون خسارت سرمازدگی) شناخته شد، زیرا هیچ گونه خسارتی در سال ۲۰۱۳ به منطقه مورد مطالعه وارد نشده بود. روند پیوسته شاخص NDVI در تمامی باغ‌ها نیز مؤید این مسئله است (شکل ۵). سال ۲۰۱۵ به عنوان بیشترین خسارت سرمازدگی از طرف صندوق بیمه کشاورزی توأم با افت ناگهانی در روند شاخص NDVI و سال ۲۰۱۸ به عنوان کمترین خسارت سرمازدگی از طرف صندوق بیمه کشاورزی و رشد پیوسته در روند شاخص معرفی شد.

ارتباط بین شاخص SFDI با میزان خسارت صندوق بیمه کشاورزی از طریق دو مدل رگرسیون خطی و چند جمله‌ای درجه دو بررسی شد. مقادیر ضریب همبستگی به دست آمده (۰/۸۲۳ و ۰/۹۲۷) در کنار مقادیر ناچیز P-value، نشان‌دهنده این است که شاخص SFDI جهت انعکاس تأثیر خسارت سرمازدگی بهاره مؤثر واقع شده است. همچنین نتایج توزیع مکانی شاخص SFDI، میزان اثربخشی مثبت این شاخص را تأیید می‌نماید، به طوری که با افزایش این شاخص در باغ‌ها، درصد خسارت سرمازدگی صندوق بیمه کشاورزی نیز افزایش یافته است (شکل ۷). نقشه توزیع مکانی شاخص SFDI در منطقه مورد مطالعه گویای آن است که می‌توان برای هر پیکسل، مقدار خسارت سرمازدگی را با دقت برآورد نمود (شکل ۸). نتایج نشان داد که این شاخص تأثیرات سرمازدگی بهاره را به صورت مؤثر و سریع ارزیابی نموده و با کاهش عملکرد محصول تناسب خوبی را نشان داده است. همچنین دارای پتانسیل بالایی برای تعمیم به سایر محصولات کشاورزی و خطرات طبیعی در سطح وسیع‌تری می‌باشد و می‌تواند

برای تخمین سرمازدگی در دیگر محصولات کشاورزی مانند گندم، برنج و ... به کار رود. در مجموع، روش پیشنهاد شده دارای ویژگی‌هایی از قبیل داده‌های در دسترس، سرعت بالای اجرا، تعیین خسارت سرمازدگی به تفکیک مکان و درصد خسارت می‌باشد. ذکر این نکته لازم است که داده‌های دمای ثبت شده تنها برای یک ایستگاه موجود است و ممکن است که تغییرات توپوگرافی، نوع پوشش گیاهی و اقدامات پیشگیرانه باغداران موجب ناهنجاری‌های دما در مکان‌های مختلف شود، که متأسفانه در داده‌های هواشناسی دیده نمی‌شوند. بنابراین ارزیابی دما با یک ایستگاه هواشناسی، شاخص مناسبی در مقیاس باغ‌های واقع در مناطق ناهموار نبوده و یکی از محدودیت‌های این تحقیق به شمار می‌رود. از منظر دیگر، خسارتی که در بهار رخ می‌دهد، قطعاً به یک پارامتر معطوف نشده و ممکن است که اثرات حوادثی چون تگرگ، بارش برف، رگبارهای شدید در زمان گل‌دهی و وزش طوفان نیز در این جریان مداخله داشته باشند. هرچند که در منطقه مورد مطالعه، داده‌ای از این دست وجود نداشت و خسارتی نیز ثبت نشده بود که بتوان از آن‌ها استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، یک شاخص مبتنی بر سنجش‌ازدور پیشنهاد شد که می‌تواند تأثیرات سرمازدگی بهاره را در مقیاس پیکسل ارزیابی کند. در مقایسه با روش‌های رایج، پیاده‌سازی این روش راحت‌تر و مقرون به صرفه است. باید توجه داشت که خسارت سرمازدگی تحت تأثیر عوامل زیادی از قبیل نوع مقاوم گردو و پیوند آن، شرایط آب‌وهوایی در مناطق مختلف روستاها و مدیریت باغ شامل نحوه آبیاری، کوددهی و سم‌پاشی در زمان مناسب و بررسی وضعیت خاک از نظر حاصلخیزی، ارتفاع و انبوه بودن درختان و غیره است که فارغ از اهمیت آن‌ها، پرداختن به هر یک از آن‌ها نیازمند داده‌های مناسب و کافی است. از آنجاکه هدف اصلی این تحقیق، برآورد ماهواره‌ای میزان خسارت ناشی از سرمازدگی بهاره بوده است و نه پرداختن به عوامل متعدد آن، بررسی‌های بیشتر در مطالعات آتی پیشنهاد می‌گردد. نقشه‌های تولید شده خسارت سرمازدگی کمک شایانی به متولیان امور در انجام اقدامات مدیریتی می‌نماید. از جمله مزایای بهره‌مندی از این نقشه‌ها مواردی همچون پوشش گسترده، سرعت بالا، صرفه‌جویی در هزینه و بررسی‌های بلندمدت هستند. در نهایت، کارشناسان می‌توانند خسارت‌های گزارش شده را با این نقشه‌ها مقایسه کرده و صحت خسارت‌های ثبت شده را کنترل نمایند. سرعت و قابلیت اطمینان بیشتر در روش ارائه شده، جایگزین کردن نتایج آن را با روش‌های رایج ممکن ساخته و می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد از تصمیمات مدیران

در سیاست‌گذاری‌های کلان بیمه‌های کشاورزی پشتیبانی کند. به‌منظور بهبود پژوهش حاضر و استفاده از آن در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود که میزان سرمازدگی براساس شاخص پیشنهادی با دخالت پارامترهای فیزیوگرافی و اقلیمی نیز بررسی گردد، به‌طوری‌که توپوگرافی و دما در هر روستا نیز در نظر گرفته شود. همچنین در صورت وجود داده‌های مرتبط، پدیده‌های دیگر هواشناسی از قبیل تگرگ، طوفان، باد، باران‌های بی‌موقع و مداوم در زمان گل‌دهی گردو و بارش برف نیز مورد توجه قرار گیرد.

References

- Allevato, E., Saulino, L., Cesarano, G., Chirico, G.B., D'Urso, G., Bolognesi, S.F., Rita, A., Rossi, S., Saracino, A., & Bonanomi, G. (2019). Canopy damage by spring frost in European beech along the Apennines: effect of latitude, altitude and aspect. *Remote Sensing of Environment*, 225, 431-440. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.023>
- Arghan, A., Khajehhoseini, N., Meshkinfar, A., & Moafi, N. (2016). Evaluation of the rural economic potential in city development (case study: Tuyserkan). *Turkish Online Journal of Design Art and Communication*, 6, 1102-1108.
- Aslamarz, A.A., Vahdati, K., Rahemi, M., Hassani, D., & Leslie, C. (2010). Supercooling and cold-hardiness of acclimated and deacclimated buds and stems of Persian walnut cultivars and selections. *HortScience*, 45(11), 1662-1667. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.11.1662>
- Azari Arani, E. (2012). *Assessment of the damage caused to the rice crop due to frost using remote sensing and GIS (Mazandaran province)*. M.Sc. Thesis, Khajeh Nasiruddin Tousi University, Tehran University, Tehran, Iran. p. 1-123. (in Persian).
- Cao, R., Chen, J., Shen, M., & Tang, Y. (2015). An improved logistic method for detecting spring vegetation phenology in grasslands from MODIS EVI time-series data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 200, 9-20. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.09.009>
- Chen, X., Vierling, L., Rowell, E., & DeFelice, T. (2004). Using lidar and effective LAI data to evaluate IKONOS and Landsat 7 ETM+ vegetation cover estimates in a ponderosa pine forest. *Remote Sensing of Environment*, 91(1), 14-26. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.003>
- Cilia, C., Panigada, C., Rossini, M., Meroni, M., Busetto, L., Amaducci, S., Boschetti, M., Picchi, V., & Colombo, R. (2014). Nitrogen status assessment for variable rate fertilization in maize through hyperspectral imagery. *Remote Sensing*, 6(7), 6549-6565. <https://doi.org/10.3390/rs6076549>
- Cogato, A., Meggio, F., Collins, C., & Marinello, F. (2020). Medium-resolution multispectral data from Sentinel-2 to assess the damage and the recovery time of late frost on vineyards. *Remote Sensing*, 1896(11), 12. <https://doi.org/10.3390/rs12111896>
- Diao, C. (2020). Remote sensing phenological monitoring framework to characterize corn and soybean physiological growing stages. *Remote Sensing of Environment*, 248, 111960. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111960>
- Díaz, M. L., Soresi, D. S., Basualdo, J., Cuppari, S. J., & Carrera, A. (2019). Transcriptomic response of durum wheat to cold stress at reproductive stage. *Molecular biology reports*, 46(2), 2427-2445. <https://doi.org/10.1007/s11033-019-04704-y>
- Duddu, H.S., Pajic, V., Noble, S.D., Tanino, K.K., & Shirtliffe, S.J. (2018). Image-based rapid estimation of frost damage in canola (*Brassica napus* L.). *Canadian Journal of Remote Sensing*, 44(2), 169-175. <https://doi.org/10.1080/07038992.2018.1462660>
- Fallah, M., Rasouli, M., Hassani, D., Lawson, S.S., Sarikhani, S., & Vahdati, K. (2022). Tracing superior late-leaving genotypes of persian walnut for managing late-spring frost in walnut orchards. *Horticulturae*, 8(11), 1003. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8111003>
- Gamon, J.A., Kovalchuck, O., Wong, C.Y.S., Harris, A., & Garrity, S.R. (2015). Monitoring seasonal and diurnal changes in photosynthetic pigments with automated PRI and NDVI sensors. *Biogeosciences*, 12(13), 4149-4159. <https://doi.org/10.5194/bg-12-4149-2015>
- Grömping, U. (2015). Variable importance in regression models. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 7(2), 137-152. <https://doi.org/10.1002/wics.1346>
- Hassani, D., Sarikhani, S., Dastjerdi, R., Mahmoudi, R., Soleimani, A., & Vahdati, K. (2020). Situation and recent trends on cultivation and breeding of Persian walnut in Iran. *Scientia Horticulturae*, 270, 109369. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109369>
- Ji, L., Zhang, L., Rover, J., Wylie, B.K., & Chen, X. (2014). Geostatistical estimation of signal-to-noise ratios for spectral vegetation indices. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 96, 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.06.013>

17. Khadivi, A., Montazeran, A., & Yadegari, P. (2019). Superior spring frost resistant walnut (*Juglans regia* L.) genotypes identified among mature seedling origin trees. *Scientia Horticulturae*, 253, 147-153. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.041>
18. Khazaei, S., Jenabi, E., Zobdeh, Z., Biglari, M., Afshari, M., Gholamalilee, B., & Bashirian, S. (2019). Pattern of trauma related to falling from walnut tree as an occupational injury: A cross-sectional study in the west of Iran. *Archives of Trauma Research*, 8(2), 99-103.
19. Khoramshahi, L. (2012). *Tiofer's effect on developing spring cold resistance in walnut trees*. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Boali Sina University, Hamedan, Iran. p. 1-98. (in Persian).
20. Li, W., Huang, J., Yang, L., Chen, Y., Fang, Y., Jin, H., Sun, H., & Huang, R. (2021). A practical remote sensing monitoring framework for late frost damage in wine grapes using multi-source satellite data. *Remote Sensing*, 13(16), 3231. <https://doi.org/10.3390/rs13163231>
21. Maji, S., Chakraborty, P., Bhowmick, M., Dutta, S.K., Nath, R., & Chakraborty, P.K. (2015). Diurnal variation in spectral properties of potato under different dates of planting and N-doses. *Environment & Ecology*, 33(1), 478-483.
22. Murphy, M.E., Boruff, B., Callow, J.N., & Flower, K.C. (2020). Detecting frost stress in wheat: A controlled environment hyperspectral study on wheat plant components and implications for multispectral field sensing. *Remote Sensing*, 12(3), 477. <https://doi.org/10.3390/rs12030477>
23. NejadSadeghi, L., Maali-Amiri, R., Zeinali, H., Ramezanpour, S., & Sadeghzade, B. (2014). Comparative analysis of physio-biochemical responses to cold stress in tetraploid and hexaploid wheat. *Cell Biochemistry and Biophysics*, 70(1), 399-408. <https://doi.org/article/10.1007/s12013-014-9925-4>
24. Rasolzadegan, Y. (1996). *Fruit Growing in Temperate Regions*. Publications of Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. p. 965-978. (in Persian).
25. Sadogh, S. (2014). Geomorphological limitations and physical growth of Tuysarkan city using geographic information systems (GIS) and digital elevation model (DEM). p. 121-142. (in Persian).
26. Savitzky, A., & Golay, M.J. (1964). Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. *Analytical Chemistry*, 36(8), 1627-1639. <https://doi.org/10.1021/ac60214a047>
27. She, B., Huang, J.F., Guo, R.F., Wang, H.B., & Wang, J. (2015). Assessing winter oilseed rape freeze injury based on Chinese HJ remote sensing data. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*, 16(2), 131. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1400150>
28. Skendžić, S., Zovko, M., Lešić, V., Pajač Živković, I., & Lemić, D. (2023). Detection and evaluation of environmental stress in winter wheat using remote and proximal sensing methods and vegetation indices—A review. *Diversity*, 15(4), 481. <https://doi.org/10.3390/d15040481>
29. Ulsig, L., Nichol, C.J., Huemmrich, K.F., Landis, D.R., Middleton, E.M., Lyapustin, A.I., Mammarella, I., Levula, J., & Porcar-Castell, A. (2017). Detecting inter-annual variations in the phenology of evergreen conifers using long-term MODIS vegetation index time series. *Remote Sensing*, 9(1), 49. <https://doi.org/10.3390/rs9010049>
30. Vahdati, K., Massah Bavani, A.R., Khosh-Khui, M., Fakour, P., & Sarikhani, S. (2019). Applying the AOGCM-AR5 models to the assessments of land suitability for walnut cultivation in response to climate change: A case study of Iran. *PLoS One*, 14(6), e0218725. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218725>
31. Wang, S., Chen, J., Rao, Y., Liu, L., Wang, W., & Dong, Q. (2020). Response of winter wheat to spring frost from a remote sensing perspective: Damage estimation and influential factors. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 168, 221-235. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.08.014>
32. Wang, H.F., Huo, Z.G., Zhou, G.S., Liao, Q.H., Feng, H.K., & Wu, L. (2016). Estimating leaf SPAD values of freeze-damaged winter wheat using continuous wavelet analysis. *Plant Physiology and Biochemistry*, 98, 39-45. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.10.032>
33. Wang, P., Tang, J., Ma, Y., Wu, D., Yang, J., Jin, Z., & Huo, Z. (2021). Mapping threats of spring frost damage to tea plants using satellite-based minimum temperature estimation in China. *Remote Sensing*, 2713(14), 13. <https://doi.org/10.3390/rs13142713>
34. Zhu, X., & Liu, D. (2015). Improving forest aboveground biomass estimation using seasonal Landsat NDVI time-series. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 102, 222-231. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.08.014>
35. Zhu, Y., Yang, G., Yang, H., Zhao, F., Han, S., Chen, R., Zhang, C., Yang, X., Liu, M., Cheng, J., & Zhao, C. (2021). Estimation of apple flowering frost loss for fruit yield based on gridded meteorological and remote sensing data in Luochuan, Shaanxi province, China. *Remote Sensing*, 13(9), 1630. <https://doi.org/10.3390/rs13091630>

Evaluation of Promising Almond Genotypes (*Prunus dulcis* L) Base on Vegetative, Phenological, and Quantitative and Qualitative Characteristics of Nuts and Kernels

S.A. Mousavi^{1*}, A. Vatankhah¹, A. Imani²

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- Temperate Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

(*- Corresponding author's Email: sa.mousavi@areeo.ac.ir)

Received: 29 December 2024
Revised: 14 April 2025
Accepted: 26 April 2025
Available Online: 26 April 2025

How to cite this article:

Mousavi, S.A., Vatankhah, A., & Imani, A. (2026). Evaluation of promising almond genotypes (*Prunus dulcis* L) base on vegetative, phenological, and quantitative and qualitative characteristics of nuts and kernels. *Journal of Horticultural Science*, 39(3), 677-697. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91410.1402>

Introduction

Almond is a commercial and important nut fruit known as *Prunus dulcis*, a species of *Prunus* of the Rosaceae family. The nutritional value of almonds as well as the presence of oil, protein, fiber, minerals and biologically active compounds have made almonds Nutritionally, industrially and medicinally important. In most traditional orchards in Iran, almonds are propagated from seed, which has contributed to the high genetic diversity of this species. The introduction and production of superior cultivars depends on the careful selection of plants, which requires knowledge of the cultivars and their diversity. Cross-pollination in almond increases genetic diversity in cultivated species. Creating an orchard by selecting grafted genotypes on suitable rootstocks for sustainable cultivation of almonds is particularly important (Babadai *et al.*, 2017). The aim of this research is to evaluate the phenotypic diversity of 44 promising genotypes that were grafted on GF677 rootstock, using the vegetative, quantitative and qualitative characteristics of nuts and kernels in order to select superior genotypes. A great diversity was observed in the morphological and pomological characteristics of 60 almond genotypes by Ardjmand *et al.* (Ardjmand *et al.*, 2014). Many researches (Mousavi *et al.*, 2010; Asgari & Khadivi 2021; Heidari *et al.*, 2022; Beigi & Khadivi, 2023) have been conducted on the selection of superior cultivars by examining the morphological, nut and kernel characteristics.

Materials and Methods

In this research, 44 promising almond cultivars and genotypes on GF677 rootstock were investigated in terms of various vegetative traits, nut and kernel characteristics. Experiment on 44 almond genotypes prepared from Karaj and grafted on GF677 rootstock, in March to September 2024 in the form of randomized complete block design in three replications at the almond research station in Saman region affiliated to the Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center was conducted on 5-year-old trees. Vegetative traits of tree height, canopy length, canopy width, and branch length were measured by meter in the garden, and rootstock diameter, scion diameter, and branch diameter were measured in the garden with calipers. In order to measure nut and kernel traits, 100 fruits were harvested from each of the cultivars and genotypes, and their green shell was separated and dried. Measurement of traits such as length, width, diameter of nut and kernel was done by digital caliper and weight of nut and kernel was measured by digital scale with accuracy of 0.01.



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

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91410.1402>

Coding of some traits was done based on almond descriptor (Gülcan, 1985) with some changes. The data obtained from the experiment were analyzed using SAS software (version 3.1.9). To compare the means, LSD least significant difference test was used at the 5% probability level.

Results and Discussion

The results of analysis of variance for the evaluation of vegetative traits showed that there was a significant difference between promising cultivars and genotypes in terms of tree height, canopy length and canopy width, one-year branch length, canopy length-to- canopy width ratio, and canopy height-to- canopy length ratio at the 1% probability level. The results of the analysis of variance showed that between all cultivars and genotypes grafted on GF677 rootstock in terms of length, width, diameter and weight of nuts, length, width, weight and diameter of kernel, shell thickness, double kernel, percentage of blank kernel, kernel color and shrinkage of kernel, shell hardness, suture opening of the shell, percentage of kernel, kernel width/kernel length ratio, kernel thickness/kernel length ratio, kernel thickness/kernel width ratio and kernel weight/nut weight ratio have significant differences. Based on the obtained results, the genotypes 4-4, TS-11, H, 2-3-2, 2-0-4 according to the valuable and commercial properties of almonds, including yield, kernel percentage, shell hardness, percentage of blank kernel, kernel weight, suture opening of the shell, double kernel, shell thickness, kernel color and most importantly late flower were genotypes with relative superiority in terms of nut and kernel traits. According to the results, the 4-4 genotype grafted on the GF677 rootstock with yield of 750 gr, 51% kernel percentage, hard shell, excellent seal suture opening of the shell, very light kernel color, late flowering, flowering on spurs and one year old shoots, the low of double kernel and low percentage of blank kernel seems to be one of the relatively good genotypes for Chaharmahal and Bakhtiari region. In the study of Mousavi *et al.*, 2010, by examining the quantitative and qualitative characteristics of 55 varieties and genotypes of almonds, reported that all quantitative and qualitative traits in the genotypes have significant differences, which is in line with the results of this research.

Conclusion

Based on the results of this study, significant variation in morphology, phenology, and pomology was observed among 44 promising genotypes grafted onto GF677 rootstock. This variation is of great importance in selecting superior cultivars that are adapted to environmental conditions, as well as in selecting high-yielding genotypes. Chaharmahal and Bakhtiari province, with its specific climatic conditions, requires varieties that are adapted to these conditions. The climatic conditions of this region include hot and dry summers and cold winters, so varieties that are resistant to cold and drought should be selected, especially varieties whose flowering date is such that they are safe from the risk of spring frost. Based on the obtained results, the genotypes 4-4, TS-11, H, 2-3-2, 2-0-4 according to the valuable and commercial properties of almonds, including yield, kernel percentage, shell hardness, percentage of blank kernel, kernel weight, suture opening of the shell, double kernel, shell thickness, kernel color and most importantly late flower were genotypes with relative superiority in terms of nut and kernel traits. According to the results, the 4-4 genotype grafted on the GF677 rootstock with yield of 750 gr, 51% kernel percentage, hard shell, excellent seal suture opening of the shell, very light kernel color, late flowering, flowering on spurs and one year old shoots, the low of double kernel and low percentage of blank kernel seems to be one of the relatively good genotypes for Chaharmahal and Bakhtiari region.

Keywords: Flowering time, Pomology, Superior genotype, Vegetative rootstock, Yield

مقاله پژوهشی

جلد ۳۹، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴، ص. ۶۹۷-۶۷۷

ارزیابی ژنوتیپ‌های امیدبخش بادام (*Prunus dulcis* L.) براساس خصوصیات رویشی،

فنولوژی و کمی و کیفی خشک میوه و مغز

سید اصغر موسوی^{۱*} - اکرم وطن خواه^۱ - علی ایمانی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۶

چکیده

با توجه به اهمیت اقتصادی و ارزش غذایی بادام، این پژوهش با هدف شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌های برتر و سازگار با شرایط اقلیمی استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. این مطالعه، ارزیابی خصوصیات ۴۴ ژنوتیپ امیدبخش بادام پیوندشده روی پایه رویشی GF677 در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات بادام وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری در منطقه سامان انجام گرفت. در این پژوهش، صفات رویشی، فنولوژیکی و پومولوژیکی خشک میوه و مغز در سال ۱۴۰۲ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس صفات رویشی نشان داد که ارتفاع درخت، طول و عرض تاج، نسبت طول به عرض تاج و نسبت ارتفاع به طول تاج در ژنوتیپ‌های مختلف معنی‌دار بودند. نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر عملکرد، صفات فنولوژی، ویژگی‌های خشک میوه و مغز در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری داشتند. درصد مغز در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از ۲۲/۳۰ تا ۷۷/۹ درصد متفاوت بود. مطابق با نتایج، ژنوتیپ 4-4 پیوندشده روی پایه GF677 دارای عملکرد ۷۵۰ گرم، درصد مغز ۵۱ درصد، پوست سخت، پوست دارای درز و شکاف بسته، رنگ مغز خیلی روشن، دیرگل، عادت گل‌دهی مختلط، میزان دوقلویی کم و درصد پوکی کم، یکی از ژنوتیپ‌های خوب برای منطقه چهارمحال و بختیاری به نظر می‌رسد. براساس نتایج، ژنوتیپ‌های بادام 4-4، H.TS-11، 2-3-2 و 2-0-4 با توجه به خصوصیات ارزشمند و تجاری شامل عملکرد، درصد مغز، سفتی پوست، پوکی، وزن مغز، درز و شکاف روی پوست، دوقلویی، قطر پوست چوبی، رنگ مغز و مهم‌تر از همه دیرگلی، ژنوتیپ‌هایی با برتری نسبی از نظر صفات خشک و مغز بودند.

واژه‌های کلیدی: ارقام برتر، پایه رویشی، پومولوژی، تاریخ گل‌دهی، عملکرد

مقدمه

به‌عنوان یک محصول غذایی مهم مورد استفاده قرار می‌گیرد. ارزش غذایی بادام و همچنین وجود ترکیبات روغن، پروتئین، فیبر، مواد معدنی و ترکیبات فعال زیستی موجب اهمیت غذایی، صنعتی و دارویی آن شده است (Barreca et al., 2020).

منشا بادام مناطق خشک کوهستانی آسیای مرکزی است و گونه-های وحشی زیادی در ایران، افغانستان، ترکیه و سوریه پراکنده شده-اند (Babadai et al., 2017). ایران یکی از مهم‌ترین مراکز رشد و پراکنش ارقام بادام وحشی و اهلی در جهان است. تکثیر بادام از طریق بذر در ایران موجب افزایش تنوع ژنتیکی آن شده است. ایران در سال ۲۰۲۳ با تولید حدود ۱۶۴ هزار تن بادام بعد از کشورهای آمریکا، اسپانیا، استرالیا، ترکیه و مراکش قرار دارد (FAO, 2023). زمان گل‌دهی در بادام، یکی از مهم‌ترین صفات بوده که وابسته به ژنتیک و شرایط اقلیمی است. زمان گل‌دهی به‌وسیله میزان نیاز سرمایی و گرمایی تعیین می‌شود. ارقام بومی بادام به‌علت نیاز سرمایی و گرمایی کمی که دارد، گل‌های آن زودتر از بقیه درختان میوه باز می‌شود و در

بادام با نام علمی *Prunus dulcis* یکی از میوه‌های خشکباری مهم دنیا است که متعلق به خانواده Rosaceae می‌باشد (Ayaz et al., 2020). خانواده Rosaceae یکی از مهم‌ترین خانواده‌های گیاهی در مناطق معتدل است. بادام به‌طور گسترده در نقاط مختلف دنیا کشت می‌شود و ارزش غذایی بالایی دارد (Zahedi et al., 2020). بادام یک آجیل با ارزش است که در بسیاری از نقاط جهان

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

۲- پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(*) نویسنده مسئول: Email: sa.mousavi@areeo.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91410.1402>

معرض سرمای دیررس بهاره قرار می‌گیرد (Babadai et al., 2017);
 مهم‌ترین راه مؤثر برای (Kodad & Socias i Company, 2008). کاهش خسارت سرمازدگی بهاره، استفاده از ارقام دیرگل می‌باشد (Vargas et al., 2014; Kester et al., 1977). بنابراین شناسایی و ارزیابی ژرمپلاس‌م برتر اهمیت زیادی دارد. معرفی و تولید ارقام برتر وابسته به انتخاب دقیق بین گیاهان است که لازمه آن شناخت ارقام و تنوع بین آن‌ها است (Beigi & Khadivi, 2023). دگرگشی بادم موجب افزایش تنوع ژنتیکی در گونه‌های کشت‌شده می‌شود (De Nettancourt, 2001). ایجاد باغی با انتخاب ژنوتیپ‌های پیوندشده روی پایه‌های مناسب برای کشت پایدار محصول اهمیت ویژه‌ای دارد. هیبرید هلو × بادم (GF677) پرکاربردترین پایه هم در شرایط دیم و هم در شرایط آبی در سال‌های گذشته بوده است (Ranjbar & Imani, 2022).

نتایج مطالعه تل‌هوک و همکاران (Talhouk et al., 2000) نشان داد که صفات وزن میوه، عرض میوه، حجم مغز و سختی و ضخامت پوست چوبی میوه بادم، بالاترین میزان تنوع را داشتند. نتایج بررسی ۱۳۷ نمونه از ۱۸ گونه بادم وحشی بومی ایران نشان داد که وزن و عرض خشک میوه و همچنین وزن مغز نسبت به سایر صفات مورد مطالعه ضریب تغییرات بالاتری (۴۵/۸ درصد) داشتند و به‌عنوان منابع غنی ژرمپلاس‌م جدید در برنامه به‌نژادی بادم به بهبود عملکرد محصول کمک می‌کند (Sorkheh et al., 2009). در پژوهش موسوی و همکاران (Mousavi et al., 2010) صفاتی مانند وزن خشک میوه، درصد مغز، درصد دوقلویی مغز، نرمی و ضخامت پوسته، بیشترین تنوع را در بین صفات داشتند.

نتایج حاصل از یک مطالعه در ۵۰ ژنوتیپ برتر بادم و رقم Tuono نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر تمامی صفات و ویژگی‌های مورد مطالعه از جمله اندازه خشک میوه، چروکیدگی مغز، طول و ضخامت مغز، نرمی پوسته و بازارپسندی پوسته بیرونی، تفاوت زیادی با یکدیگر داشتند (Estaji et al., 2013). در پژوهش دیگری، تنوع زیادی از نظر خصوصیات ریخت‌شناسیک و پومولوژیک ۶۰ ژنوتیپ بادم مشاهده شد (Ardjmand et al., 2014). نتایج حاصل از بررسی صفات ریخت‌شناسیک و فنولوژیک ۹۰ نژادگان بادم نشان داد که تنوع زیادی از نظر صفات ابعاد و وزن خشک میوه و مغز، تاریخ گل‌دهی و رسیدن، عملکرد مغز و درصد دوقلویی بین نژادگان مورد بررسی وجود داشت (Khadivi-Khub & Etemadi-Khah, 2015).

در مطالعه‌ای، ۲۱ ژنوتیپ با توجه به ویژگی‌های مهم تجاری بادم شامل عملکرد، وزن خشک میوه، سختی پوست، وزن مغز، درصد مغز و عطر و طعم به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی و معرفی شدند (Asgari & Khadivi, 2021). بررسی ۹۴ رقم بادم و والدین

آن‌ها در فصل بهار نشان داد که صفاتی مانند طول میوه و وزن خشک بیشترین تغییر و وزن مغز خشک و ضخامت خشک میوه کمترین تغییر را در بین سایر صفات نشان دادند (Torkman et al., 2021). در پژوهش دیگری، ۱۱ ژنوتیپ امیدبخش بادم از میان ۸۴ ژنوتیپ، براساس ویژگی‌های تجاری مهم مانند عملکرد، وزن خشک میوه، سختی پوست، شکل مغز، وزن مغز و طعم مغز معرفی شد (Heidari et al., 2022). در پژوهشی، رقم Nanparil و ژنوتیپ KD-11-01 به‌عنوان بهترین رقم و ژنوتیپ با پوست میوه نازک و ارقام A230، A200 و Ferragnès و ژنوتیپ K13-40 با پوست میوه سخت شناخته شدند (Imani et al., 2022).

نتایج حاصل از یک مطالعه نشان داد که تنوع زیادی بین ژنوتیپ‌های بادم براساس صفات طول، عرض و ضخامت خشک میوه، وزن خشک میوه و ضخامت پوست چوبی وجود داشت (Beigi & Khadivi, 2023). در پژوهشی، صفاتی مانند وزن پوسته (۱/۳۹-۵/۶۸ گرم)، وزن خشک میوه (۲/۱۶-۷/۶۰ گرم)، وزن مغز (۰/۳۵-۲/۵۱ گرم) و درصد دوقلویی (۰-۶۰ درصد) در ۶۰ ژنوتیپ مورد بررسی بادم متغیر بود (Zahedi et al., 2023). در یک مطالعه با بررسی خصوصیات رویشی، کمی و کیفی خشک میوه و مغز ۳۶ رقم و ژنوتیپ پیوندشده روی پایه GN، ژنوتیپ‌های TS-16، Aviz، 2-3-2، 3-1-15 و D2 از نظر صفات خشک میوه و مغز برتری نشان دادند (Mousavi et al., 2024). هدف از این پژوهش، ارزیابی و معرفی ژنوتیپ‌های برتر مناسب و سازگار با شرایط محیطی منطقه سامان در استان چهارمحال و بختیاری از میان ۴۴ ژنوتیپ امیدبخش پیوندشده روی پایه رویشی GF677 براساس خصوصیات رویشی، فنولوژی و کمی و کیفی خشک میوه و مغز بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

در این پژوهش، ۴۴ ژنوتیپ امیدبخش بادم در نیمه اول مهر ۱۳۹۷ در شرایط گلخانه روی پایه رویشی GF677 پیوند شده بودند (جدول ۱). نهال‌های پیوندی گلدانی در اردیبهشت ۱۳۹۸ به زمین اصلی منتقل و به‌روش آبیاری تحت فشار قطره‌ای آبیاری شدند. عملیات داشت برای همه درختان به‌طور یکسان انجام گردید. پس از شروع گل‌دهی، در طی فصول بهار، تابستان و پاییز سال ۱۴۰۲ داده-برداری بر روی این ژنوتیپ‌ها از نظر صفات رویشی، فنولوژی و خصوصیات خشک میوه و مغز به‌منظور دستیابی به ژنوتیپ‌های امیدبخش مناسب تجاری صورت گرفت. این پژوهش در ایستگاه تحقیقات بادم در منطقه سامان وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد.

جدول ۱- ژنوتیپ‌های امیدبخش بادام مورد استفاده در این مطالعه

Table 1- Promising almond genotypes used in this study

شماره ژنوتیپ Genotype no.	رقم/ژنوتیپ Cultivar/genotyp	شماره ژنوتیپ Genotype no.	رقم/ژنوتیپ Cultivar/genotyp
1	H	23	2-0-4
2	D	24	4-4
3	TS-21	25	TS-6
4	4-14	26	3-1-4
5	TS-14	27	Fragnes
6	A8	28	17-FM
7	B8	29	TS-18
8	Saba صبا	30	D2
9	2-3-2	31	Aydin
10	TS-11	32	TS-30
11	TS-22	33	(Tabriz genotype) 1306 (ژنوتیپ تبریز)
12	3-1-15	34	(Tabriz genotype) AH2 (ژنوتیپ تبریز)
13	13-40	35	(Tabriz genotype) 721 (ژنوتیپ تبریز)
14	TS1	36	(Tabriz genotype) 108 (ژنوتیپ تبریز)
15	8-35	37	Azar آذر
16	16-30	38	Araz آراز
17	85	39	Yalda یلدا
18	100-1-5	40	(2) Aydin آیدین
19	35	41	(Shahrekord) Shamshiri شمشیری (شهرکرد)
20	B6	42	(Shahrekord) AY (شهرکرد)
21	(D7) 2-29	43	(Shahrekord) AN2 (شهرکرد)
22	100-1-1	44	(Shahrekord) AN4 (شهرکرد)

صفات و روش اندازه‌گیری

صفات مورد بررسی و روش اندازه‌گیری آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. صفات فنولوژیک گل‌دهی و رسیدن میوه با شروع گل‌دهی و ثبت زمان‌های مختلف گل‌دهی و زمان رسیدن میوه در بهار و تابستان ۱۴۰۲ اندازه‌گیری گردید. صفات رویشی مانند ارتفاع درخت، طول تاج، عرض تاج و رشد طولی سالیانه شاخه‌ها، در پاییز ۱۴۰۲ پس از خزان درختان به‌وسیله متر و قطر پایه و پیوندک و قطر شاخه یکساله توسط کولیس در شرایط باغ اندازه‌گیری شدند. در زمان رسیدن میوه‌ها، تعداد ۱۰۰ میوه از هر یک از ارقام و ژنوتیپ‌های مورد بررسی از شاخه‌های مختلف و از چهار جهت جغرافیایی درخت به‌صورت تصادفی برداشت شد و به آزمایشگاه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی شهرکرد منتقل گردید و سپس پوست سبز میوه‌ها جدا و نمونه‌ها در محدوده دمایی ۲۶-۲۸ درجه سانتی‌گراد و در شرایط هوای آزاد خشک شدند. پس از آن، صفات خشک میوه و مغز در این ژنوتیپ‌ها طبق دستورالعمل آزمون‌های تمایز، یکنواختی و پایداری بادام اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری وزن خشک میوه و مغز به‌وسیله ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ انجام شد.

اندازه‌گیری صفاتی مانند طول، عرض، قطر میوه و مغز به‌وسیله دستگاه کولیس دیجیتال انجام گرفت.

کددهی برخی صفات براساس توصیف‌نامه بین‌المللی بادام (Gülcan, 1985) با کمی تغییرات انجام شد (جدول ۲). در نهایت، پس از آنالیز داده‌های به‌دست‌آمده از ژنوتیپ‌هایی مورد بررسی، بهترین ژنوتیپ‌های امیدبخش انتخاب شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید. دو درخت در هر واحد آزمایشی وجود داشت. تعداد کل واحدهای آزمایشی ۱۳۲ بود و تعداد کل درخت‌های مورد آزمایش ۲۶۴ اصله بودند. داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه 9.1.3) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. به‌منظور تعیین همبستگی بین صفات رویشی، خشک میوه و مغز از ضرایب همبستگی پیرسون و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

جدول ۲- صفات، علامت اختصاری، واحد و روش اندازه‌گیری در ژنوتیپ‌های مورد بررسی بادام

Table 2- Traits, abbreviation, unit and measurement method in the investigated almond genotypes

شماره Number	صفت Attribute	علامت اختصاری Abbreviation	واحد Unit	وسیله اندازه‌گیری Measurement method
1	ارتفاع درخت Tree height	TH	cm	متر Meter
2	طول تاج پوشش درخت Canopy length	CL	cm	متر Meter
3	عرض تاج پوشش درخت Canopy width	CW	cm	متر Meter
4	قطر پایه Rootstock diameter	RD	mm	کولیس Calliper
5	قطر پیوندک Scion diameter	SD	mm	کولیس Calliper
6	طول شاخه Branch length	BL	cm	متر Meter
7	قطر شاخه Branch diameter	BD	mm	کولیس Calliper
8	نسبت طول به عرض تاج پوشش درخت Canopy length/crown width ratio	CL/CW	-	طول تاج پوشش درخت به عرض تاج پوشش درخت Canopy length/canopy width
9	نسبت ارتفاع به طول تاج پوشش درخت Tree height/canopy length ratio	TH/CL	-	ارتفاع درخت به طول تاج پوشش درخت Tree height/canopy length
10	طول خشک‌میوه Nut length	NL	mm	کولیس Calliper
11	عرض خشک‌میوه Nut width	NW	mm	کولیس Calliper
12	ضخامت خشک‌میوه Nut thickness	NTH	mm	کولیس Calliper
13	وزن خشک‌میوه Nut weight	NWT	g	ترازوی دیجیتال Digital scale
14	وزن مغز Kernel weight	KWT	g	ترازوی دیجیتال Digital scale
15	طول مغز Kernel length	KL	mm	کولیس Calliper
16	عرض مغز Kernel width	KW	mm	کولیس Calliper
17	ضخامت مغز Kernel thickness	KTH	mm	کولیس Calliper
18	نسبت عرض به طول خشک‌میوه (NR1) Nut width/nut length ratio	NW/NL	-	عرض خشک‌میوه به طول خشک‌میوه Nut width/nut length
19	نسبت ضخامت به طول خشک‌میوه (NR2) Nut thickness/nut length ratio	NTH/NL	-	ضخامت خشک‌میوه به طول خشک‌میوه Nut thickness/nut length
20	نسبت ضخامت به عرض خشک‌میوه (NR3) Nut thickness/nut width ratio	NTH/NW	-	ضخامت خشک‌میوه به عرض خشک‌میوه Nut thickness/nut width
21	ضخامت پوسته چوبی Shell thickness	STH	mm	کولیس Calliper
22	دوقلوایی Double kernel	DK	code	خیلی زیاد 1 = no double kernel, 3 = little, 5 = moderate, 7 = high, 9 = very high
23	درصد پوکی Percentage of blank kernel	PBK	%	تعداد مغزهای پوک در نمونه صدتایی The number of blank kernel in a 100 kernels

۱ = فاقد دوقلوایی، ۳ = کم، ۵ = متوسط، ۷ = زیاد، ۹ =

ادامه جدول ۲- صفات، علامت اختصاری، واحد و روش اندازه‌گیری در ژنوتیپ‌های مورد بررسی بادام
Continue table 2- Traits, abbreviation, unit and measurement method in the investigated almond genotypes

شماره Number	صفت Attribute	علامت اختصاری Abbreviation	واحد Unit	وسیله اندازه‌گیری Measuring instrument
24	رنگ مغز Kernel color	KCI	code	۱=خیلی روشن، ۳=روشن، ۵=متوسط، ۷=تیره، ۹=خیلی تیره 1=very light, 3=light, 5=medium, 7=dark, 9=very dark
25	چروکیدگی مغز Shrinkage of kernel	SK	code	۱=فاقد چروکیدگی، ۳=چروکیدگی کم، ۵=چروکیدگی متوسط، ۷=چروکیدگی زیاد 1=no shrinkage, 3 = slightly wrinkled, 5 = intermediate, 7 = wrinkled
26	سختی پوست چوبی Shell hardness	SH	code	۱=خیلی سخت، ۳=سخت، ۵=نیمه سخت، ۷=نازک، ۹=کاغذی 1=very hard, 3=hard, 5=semi-hard, 7=thin, 9=papery
27	درز و شکاف روی پوست Suture opening of the shell	SOS	code	۱=بسته، ۳=نیمه باز، ۵=باز 1= excellent seal (no openings), 3= open (about 2 mm), 5= very wide
28	درصد مغز Percentage of kernel	PK	%	وزن صد عدد مغز به صد عدد خشک‌میوه Weight of 100 kernels /weight of 100 nuts
29	نسبت عرض به طول مغز (KR1) Kernel width/kernel length ratio	KW/KL	-	عرض مغز به طول مغز Kernel width/kernel length
30	نسبت ضخامت به طول مغز (KR2) Kernel thickness/kernel length ratio	KTH/KL	-	ضخامت مغز به طول مغز Kernel thickness/kernel length
31	نسبت ضخامت به عرض مغز (KR3) Thickness/kernel width ratio kernel	KTH/KW	-	ضخامت مغز به عرض مغز Kernel thickness/kernel width
32	نسبت وزن مغز به وزن خشک‌میوه (KNR) Kernel weight/nut weight ratio	KWT/NWT	-	وزن مغز به وزن خشک‌میوه Kernel weight/nut weight
33	عملکرد Yeild		g	میانگین وزن خشک میوه هر واحد آزمایشی Mean nut weight per experimental unit
34	عادت باردهی Bearing habit (flowering hanit)		code	۱=بیشتر روی شاخه یک‌ساله (تیپ شاخه)، ۲=بیشتر روی اسپور (تیپ اسپور)، ۳=روی شاخه و اسپور (تیپ مختلط) 1=most flower buds on one year old branche (shoot type), 2=most flower buds on spurs(spure type), 3= flower buds both on one year old branche and spurs (mixed type) ۱=خیلی زود، ۲=خیلی زود تا زود، ۳=زود، ۴=زود تا متوسط، ۵=متوسط، ۶=متوسط تا
35	زمان گل‌دهی Flowering date		code	دیر، ۷=دیر، ۸=دیر تا خیلی دیر، ۹=خیلی دیر 1=extremely early, 2=very early, 3=early, 4=early/intermediate, 5=intermediate, 6=intermediate/late, 7=late, 8= very late, 9=extremely late
36	زمان رسیدن میوه Maturity date		code	۱=خیلی زود، ۳=زود، ۵=متوسط، ۷=دیر، ۹=خیلی دیر 1=extremely early, 3=early, 5= medium, 7=late, 9= extremely late

نتایج و بحث

صفات رویشی

نتایج تجزیه واریانس ارزیابی صفات رویشی نشان داد که بین ژنوتیپ‌های امیدبخش از نظر ارتفاع درخت، طول و عرض تاج، طول شاخه یک‌ساله، نسبت طول به عرض تاج و نسبت ارتفاع به طول تاج تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. این تفاوت‌ها نشان‌دهنده تنوع در صفات مورد بررسی است و امکان

انتخاب ارقام برای مقادیر مختلف یک صفت وجود دارد (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین، صفات رویشی در ژنوتیپ‌های مختلف پیوندشده روی پایه GF677 متفاوت بود. افزایش صفات رویشی مانند ارتفاع درخت، طول تاج و طول شاخه در برخی ژنوتیپ‌های بادام پیوندشده روی پایه GF677 می‌تواند ناشی از ویژگی‌های ژنتیکی ژنوتیپ‌ها باشد (Pica et al., 2021).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات رویشی ۴۴ ژنوتیپ امیدبخش بادام پیوندشده روی پایه GF677
Table 3- ANOVA for the vegetative traits of 44 promising almond genotypes grafted on the GF677 rootstock

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares								
		ارتفاع درخت Tree height	طول تاج Canopy length	عرض تاج Canopy width	قطر پایه Rootstock diameter	قطر پیوندک Scion diameter	طول شاخه Branch length	قطر شاخه Branch diameter	نسبت طول به عرض تاج Canopy length/canopy width	نسبت ارتفاع به طول تاج Tree height/canopy length
تکرار Block	2	1119.12	1013.47	1371.03	296.81	111.11	1117.04**	32.05	0.0002	0.092**
ژنوتیپ Genotype	43	2058.90**	1725.14**	2009.04**	89.43	72.54	522.5**	37.65	0.045**	0.082**
خطا Error	86	1218.04	825.74	1181.15	94.59	89.94	122.02	34.23	0.0188	0.035
ضریب تغییرات CV (%)		19.62	19.10	23.31	19.3	19.6	27.2	18	13.19	15.5

** : به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد
** : Significant at the 5% and 1% of the probability levels, respectively

جدول ۴- صفات رویشی ۴۴ ژنوتیپ امیدبخش بادام روی پایه GF677

Table 4- The vegetative traits of 44 promising almond genotypes grafted on the GF677 rootstock

ژنوتیپ Genotype	ارتفاع درخت Tree height (cm)	طول تاج Canopy length (cm)	عرض تاج Canopy width (cm)	طول شاخه Branch length (cm)	نسبت طول به عرض تاج Canopy length/canopy width	نسبت ارتفاع به طول تاج Tree height/canopy length
H	192.33a-e*	171.33a-f	175.67a-e	41.5c-j	0.99c-g	1.13b-i
D	156.67a-e	187a-c	164.33a-f	60.9a-d	1.14b-d	0.85hi
TS-21	184.67a-e	152.67b-i	132.33b-f	38.03e-k	1.17b-d	1.22a-h
4-14	165a-e	160.67a-i	195.67a-c	34.03e-k	0.85e-g	1.06d-i
TS-14	223.67a	162.67a-h	142.67b-f	40.97d-j	1.16b-d	1.38a-e
A8	149.67b-e	105.33hi	101f	31.23f-k	1.06c-g	1.45a-c
B8	197a-e	178a-e	197.67ab	21.2i-k	0.9d-g	1.11b-i
Saba	165.33a-e	139c-i	141.33b-f	38.97d-k	0.99c-g	1.19a-i
2-3-2	126.33e	159.67a-i	146.33b-f	28.5f-k	1.09c-g	0.82i
TS-11	208.67ab	160.33a-i	174.33a-e	46.53b-h	0.92d-g	1.3a-f
TS-22	182.33a-e	141.33b-i	144.67b-f	49.83b-g	0.97c-g	1.33a-f
3-1-15	210.33ab	150.67b-i	152.67a-f	50.93b-f	1.04c-g	1.37a-e
13-40	147.67b-e	134c-i	120d-f	20.73jk	1.12b-e	1.16b-i
TS1	154.67a-e	133.67c-i	161.67a-f	22.63i-k	0.83g	1.16b-i
8-35	131de	111.67g-i	103.67f	30f-k	1.09c-g	1.22a-h
16-30	176.33a-e	199ab	140b-f	49.6b-g	1.42a	0.89g-i
85	146.67b-e	132c-i	119.33d-f	25.6h-k	1.12b-e	1.15b-i
100-1-5	190.67a-e	173.33a-f	127.33c-f	35.5e-k	1.37ab	1.1b-i
35	157.67a-e	146.67b-i	149b-f	26.4h-k	0.99c-g	1.08c-i
B6	223a	181.33a-d	165a-f	63.2a-c	1.11b-f	1.23a-h
2-29	207.33ab	155a-i	140b-f	41.43c-j	1.17b-d	1.33a-f
100-1-1	197.33a-e	171.67a-f	159.67a-f	38.5e-k	1.08c-g	1.13b-i
2-0-4	165.67a-e	128.67c-i	127c-f	53.9b-e	1.05c-g	1.32a-f
4-4	161.67a-e	121.33e-i	117.33ef	28.57f-k	1.03c-g	1.37a-e
TS-6	203.33a-c	211a	219a	78.3a	0.97c-g	0.96f-i
3-1-4	170a-e	166a-g	156.67a-f	55.1b-e	1.08c-g	1.02e-i
Fragnes	157.67a-e	118.33f-i	123.33d-f	39.1d-k	0.97c-g	1.33a-f
17-FM	211.67ab	152.67b-i	155a-f	45.37b-h	0.99c-g	1.38a-e
TS-18	211ab	166.67a-g	151.67a-f	63a-c	1.12b-e	1.28a-f
D2	205.33ab	143.33b-i	142.67b-f	33.97e-k	1.01c-g	1.47ab
Aydin	184.67a-e	146b-i	151.67a-f	67ab	0.96c-g	1.27a-f
TS-30	167.33a-e	148.33b-i	153a-f	45.73b-h	0.97c-g	1.15b-i
1306	211.33ab	137.33c-i	115.33ef	43.13c-j	1.21a-c	1.55a
AH2	198.33a-d	186a-c	167.67a-f	46.77b-h	1.11b-g	1.06d-i
721	171a-e	141.67b-i	140.33b-f	49.63b-g	1.03c-g	1.21a-h
108	186.33a-e	158a-i	189a-d	35.13e-k	0.85e-g	1.15b-i
Azar	160.67a-e	151.33b-i	149b-f	28.23g-k	1.02c-g	1.07d-i
Araz	170.33a-e	163.33a-h	157.67a-f	35.17e-k	1.03c-g	1.05d-i
Yalda	156.33a-e	137.67c-i	133b-f	34.83e-k	1.05c-g	1.15b-i
Aydin(2)	186.33a-e	140.67b-i	171a-f	37e-k	0.83fg	1.34a-f
Shamshiri	132.67c-e	103.67i	121.67d-f	18.07k	0.9d-g	1.3a-f
AY	160.67a-e	114.67f-i	117.67ef	43.43c-i	0.98c-g	1.41a-d
AN2	144b-e	123.67d-i	105.67ef	29.73f-k	1.14b-d	1.27a-g
AN4	214.67ab	151.67b-i	167a-f	34.1e-k	0.93c-g	1.42a-d
حداقل اختلاف معنی‌داری LSD 5%	56.64	46.64	55.78	17.93	0.22	0.3

* میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند

* Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% of probability level-using LSD Test.

بیشترین طول تاج در ژنوتیپ TS-6 و کمترین آن در ژنوتیپ‌های Shamshiri و A8 مشاهده شد (جدول ۴). ژنوتیپ‌های TS-6، B6، TS-18، Aydin و D بیشترین طول شاخه و ژنوتیپ‌های

ژنوتیپ‌های B6، TS-14، AN4، TS-18، 17-FM، 1306، 3-15، TS-11، 2-29 و D2 بیشترین ارتفاع درخت و ژنوتیپ‌های 2-3-2، 8-35 و Shamshiri کمترین ارتفاع را داشتند (جدول ۴).

Shamshiri، 13-40 و B8 کمترین طول شاخه را داشتند. قطر پایه همبستگی مثبت و معنی‌داری با قطر پیوندک ($r=0/7$)، طول و قطر شاخه ($r=0/5$) نشان داد (شکل ۱). براساس نتایج، در میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ارتفاع درخت از ۱۲۶/۳ تا ۲۲۳/۶۷ سانتی‌متر، طول تاج از ۱۰۳/۶ تا ۲۱۱ سانتی‌متر، عرض تاج از ۱۰۱ تا ۲۱۹ سانتی‌متر و طول شاخه از ۱۸/۰۷ تا ۷۸/۳ سانتی‌متر متغیر بود (جدول ۴).

صفات خشک میوه و مغز، عملکرد و صفات فنولوژی

براساس نتایج تجزیه واریانس، بین اکثر صفات خشک میوه و مغز (طول، عرض، قطر و وزن خشک میوه، طول، عرض، وزن و قطر مغز، قطر پوسته چوبی، دوقلویی، پوکی، رنگ و چروکیدگی مغز، سفتی پوست، شکاف روی پوست، درصد مغز، نسبت عرض به طول مغز، نسبت ضخامت به طول مغز، نسبت ضخامت به عرض مغز و نسبت وزن مغز به وزن خشک میوه)، عملکرد و صفات فنولوژی (زمان آغاز گل‌دهی، عادت باردهی و زمان رسیدن میوه) در ارقام و ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌دار وجود داشت (جدول ۵).

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تنوع زیادی بین صفات خشک میوه و مغز ژنوتیپ‌های مختلف پیوندشده روی پایه GF677 وجود داشت که می‌تواند ناشی از ژنتیک و شرایط محیطی باشد. لنساری و همکاران (Lansari et al., 1994) گزارش کردند که ارزیابی ویژگی‌های خشک میوه و مغز در تعیین تنوع بین ژنوتیپ‌های بادام نسبت به ویژگی‌های رویشی از اهمیت بیشتری برخوردار است. بیشترین طول و وزن خشک میوه، در ژنوتیپ‌های AN2 و AN4 و کمترین طول خشک میوه، در ژنوتیپ D و کمترین وزن خشک میوه در ژنوتیپ 2-0-4 و H مشاهده شد (جدول ۶). وزن خشک میوه همبستگی مثبت و معنی‌داری با طول مغز ($r=0/5$)، نسبت عرض به طول خشک میوه ($r=0/7$) و نسبت ضخامت به عرض خشک میوه ($r=0/5$) در سطح احتمال یک درصد نشان داد (شکل ۱). بیشترین وزن مغز در ژنوتیپ 4-4 و کمترین وزن مغز در ژنوتیپ 2-29 به دست آمد (جدول ۶). نتایج این پژوهش نشان داد که طول خشک میوه از ۲۶/۶ تا ۳۹/۷ میلی‌متر، عرض خشک میوه از ۱۷/۶ تا ۲۹/۴ میلی‌متر، قطر خشک میوه از ۸ تا ۱۶/۳ میلی‌متر و وزن خشک میوه از ۱ تا ۵ گرم متغیر بود. در بین ارقام و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، وزن مغز از ۰/۶ تا ۱/۸ گرم، طول مغز از ۱۷/۷ تا ۵۳/۷ میلی‌متر، عرض مغز از ۱۰/۳ تا ۱۵/۹ میلی‌متر و قطر مغز از ۵/۴ تا ۷/۸ میلی‌متر متغیر بود (جدول ۶). صفاتی که تنوع بیشتری دارند، محدوده وسیع‌تری از کمیت صفت را دارند و در نتیجه دامنه انتخاب بیشتری برای آن

صفت فراهم می‌شود. وزن مغز همبستگی مثبت و معنی‌داری با طول ($r=0/6$) و عرض ($r=0/5$) نشان داد (شکل ۱). طول مغز همبستگی مثبت و معنی‌داری با عرض مغز ($r=0/6$)، قطر مغز ($r=0/5$) و نسبت عرض به طول خشک میوه ($r=0/5$) در سطح احتمال یک درصد نشان داد (شکل ۱). عرض مغز همبستگی مثبت و معنی‌داری با قطر مغز ($r=0/5$) و نسبت عرض به طول خشک میوه ($r=0/5$) در سطح احتمال یک درصد نشان داد (شکل ۱). صفات خشک میوه و مغز بادام، شاخص مناسبی در پژوهش‌های ریخت‌شناختی می‌باشند. وزن خشک میوه در بادام تحت تأثیر شرایط اقلیمی، میزان محصول و مدیریت نگهداری باغ مانند آبیاری، تغییرات زیادی نشان می‌دهد. از آنجاکه مغز بادام محصول قابل عرضه و بخش خوراکی آن است، بنابراین در مطالعات ریخت‌شناختی اهمیت زیادی دارد. صفات طول، عرض و ضخامت مغز و همچنین نسبت وزن مغز به پوسته سخت که به‌عنوان معیاری برای توصیف سختی پوسته چوبی به کار می‌روند از جمله صفات مهم می‌باشند (Kester et al., 1977). بیگی و خدیوی (Beigi & Khadivi, 2023) و استاجی و همکاران (Estaji et al., 2013) نیز در تحقیقات خود روی صفات ریخت‌شناسی، خشک میوه و مغز ژنوتیپ‌های مختلف بادام تنوع زیادی مشاهده کردند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

بیشترین ضخامت پوسته چوبی در ژنوتیپ AN4 و 16-30 و کمترین میزان در ژنوتیپ TS-22 مشاهده شد. ضخامت پوسته چوبی در رقم‌ها و ژنوتیپ‌های مختلف از ۱/۴ تا ۳/۸ میلی‌متر متغیر بود. بیشترین میزان دوقلویی در ژنوتیپ 2-3-2 و کمترین میزان در ژنوتیپ‌های 2-0-4، A8، 108، Azar و TS11 مشاهده شد که با سایر ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۶).

مطابق با نتایج مقایسه میانگین، میزان دوقلویی در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از ۱ (صفر) تا ۷ (زیاد) متغیر بود (جدول ۶). ضخامت پوسته چوبی همبستگی مثبت و معنی‌داری با درصد دوقلویی ($r=0/9$) نشان داد (شکل ۱). پدیده دوقلویی در بادام (لقاح دو تخمک در تخمدان بادام و سپس رشد هر دو تخمک) یک صفت منفی است که باعث تغییر شکل مغزها و کاهش ارزش تجاری بادام و کاهش کیفیت محصول و بازارپسندی می‌شود (Janick & Moore, 1996). این پدیده به‌شدت متأثر از دمای خنک در مرحله گرده‌افشانی و لقاح است (Arteaga & Socias i Company, 2001) کشت ژنوتیپ‌های مناسب در مناطق معتدل و برنامه تلقیح متعادل می‌تواند این مشکل را کاهش دهد (Gouta et al., 2019).

جدول ۵- تجزیه واریانس برخی صفات خشک میوه، مغز و فنولوژی ۴۴ ژنوتیپ امیدبخش بادام پیوندشده روی پایه GF677
Table 5- ANOVA for some nut, kernel and phenology traits of 44 genotypes of almond grafted on GF677 rootstock

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares										ضخامت پوسته چوبی Shell thickness
		طول خشک Nut length	عرض خشک Nut width	قطر خشک Nut thickness	وزن خشک Nut weight	مغز طول Kernel length	مغز عرض Kernel width	مغز قطر Kernel thickness	نسبت عرض خشک میوه Nut width/ nut length	نسبت ضخامت خشک میوه Nut thickness/ nut length	نسبت ضخامت به عرض خشک میوه Nut thickness/ nut width	
تکرار Block	2	1.106	1.58	0.586	0.104	1.23	0.346	0.138**	0.017	0.272	0.483	0.099
ژنوتیپ Genotype	43	25.33**	13.0**	8.240**	3.29**	77.23**	5.107**	1.13**	0.031*	0.143	0.264	1.131**
خطا Error	86	1.92	0.854	0.724	0.088	1.109	0.352	0.055	0.007	0.134	0.269	0.051
ضریب تغییرات CV (%)		4.16	4.40	6.36	10.7	4.3	4.5	3.6	12.7	7.3	6.9	7.8

* و **؛ Significant at the 5% and 1% of the probability levels, respectively
* and **; Significant at the 5% and 1% of the probability levels, respectively

ادامه جدول ۵- تجزیه واریانس برخی صفات خشک میوه، مغز و فنولوژی ۴۴ ژنوتیپ امیدبخش بادام پیوندشده روی پایه GF677
Continued table 5- ANOVA for some nut, kernel and phenology traits of 44 genotypes of almond grafted on GF677 rootstock

میانگین مربعات Mean of squares						
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد مغز Percentage of kernel	نسبت عرض به طول مغز Kernel width/kernel length	نسبت ضخامت به طول مغز Kernel thickness/ker nel length	نسبت ضخامت به عرض مغز Kernel thickness/ker nel width	نسبت وزن مغز به وزن خشک Kernel weight/nut weight
تکرار Block	2	34.4	0.016	0.019**	0.023*	0.014
ژنوتیپ Genotype	43	487.8**	0.028**	0.016**	0.025**	0.060**
خطا Error	86	25.10	0.08	0.007	0.007	0.012
ضریب تغییرات CV (%)		13.2	14.7	25.2	15.1	25.1
						13.2
						121729.6
						198659.1**
						22813.4

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد
* and **: Significant at the 5% and 1% of probability levels, respectively

ادامه جدول ۵- تجزیه واریانس برخی صفات خشک میوه، مغز و فنولوژی ۴۴ ژنوتیپ امیدبخش بادام پیوندشده روی پایه GF677
Continued table 5- ANOVA for some nut, kernel and phenology traits of 44 genotypes of almond grafted on GF677 rootstock

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares								
		دوقلویی Double kernel	پوکی Percent age of blank kernel	رنگ مغز Kernel color	چروکیدگی Shrinkag e of kernel	سفتی پوست Shell hardness	درز و شکاف روی پوست Suture opening of the shell	زمان آغاز گل‌دهی Season of flowering	عادت باردهی Location of flower buds	زمان رسیدن میوه Harvest maturity
تکرار Block	2	0.182	1.066	2.053	3.25	4.32	3.545	2.74	1.127	1.080
ژنوتیپ Genotype	43	2.454**	7.934**	12.710**	11.365**	16.966**	11.365**	2.87**	1.179**	5.854**
خطا Error	86	0.752	0.806	0.952	0.753	0.829	0.586	0.221	0.125	0.007
ضریب تغییرات CV (%)		8.6	4.3	7.07	6.3	13.6	5.2	3.2	3.6	2.5

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد
* and **: Significant at the 5% and 1% of probability levels, respectively

جدول ۶- صفات خشک میوه، مغز و فنولوژی ۴۴ ژنوتیپ امیدبخش بادام پیوندشده روی پایه GF677
Table 6- The nut, kernel and phenology traits of 44 almond genotypes grafted on GF677 rootstock

ژنوتیپ Genotype	میانگین‌ها Averages										نسبت ضخامت میوه به نسبت عرض خشک میوه Nut thickness/nut width	نسبت ضخامت به نسبت خشک میوه Nut thickness/nut length	نسبت عرض به نسبت خشک میوه Nut width/nut length	ضخامت پوسته جوی Shell thickness (mm)
	طول خشک Nut length (mm)	عرض خشک میوه Nut width (mm)	ضخامت میوه Nut thickness (mm)	وزن خشک Nut weight (g)	وزن مغز Kernel weight (g)	طول مغز Kernel length (mm)	عرض مغز Kernel width (mm)	قطر مغز Kernel thickness (mm)						
H	31.4 m-r*	19n-u	11.4 p-r	1.1 st	0.7 p-r	20r	13.2 f-m	6m-p	0.7 b-k	0.46 b	0.7 b	1.9 pq		
D	26.6 u	18.4 p-u	14c-i	1.9 m-r	0.8 k-r	20r	11.5 rs	6.6 f-k	0.8 a-e	0.64 b	0.87 b	3.4 c-h		
TS-21	38.2 a-d	22.4 c-g	13.3 go-o	4b-d	1.2 cd	27.4 b-d	14.4 b-e	6.3 j-m	0.6 h-l	0.35 b	0.6 b	3.1 e-l		
4-14	32.8 i-o	22.4 c-g	13.9 d-j	2.4 j-m	0.7 n-r	20.1 q-r	12.2 m-r	5.6 pq	0.8 a-g	0.52 b	0.72 b	3h-l		
TS-14	35.3 e-j	19.5 m-t	15.3 a-e	2.6 i-k	0.8 j-r	22.1 m-q	10.3 t	7.6 ab	0.7 d-l	0.53 b	0.89 b	3.7 a-d		
A8	35.7 d-h	19.6 m-s	12.3 j-q	2.8 i-k	0.9 h-q	23i-o	12.7 j-q	5.7 o-q	0.6 j-l	0.35 b	0.63 b	2.5 m-o		
B8	32.1 l-r	18.2 q-u	11.5 p-r	1.6 o-s	0.8 k-r	21.7 o-r	11st	5.5 q	0.7 c-l	0.47 b	0.75 b	2.7 l-n		
Saba	35e-k	19.9 m-r	12.2 l-q	2h-p	0.7 q-r	22.4 l-p	11.4 rs	5.7 o-q	0.6 i-l	0.35 b	0.61 b	2.3 no		
2-3-2	33.8 h-n	19n-u	12m-q	1.6 o-s	0.7 n-r	23.3 h-o	11.9 p-s	6.1 mm	0.6 i-l	0.35 b	0.63 b	2.1 op		
TS-11	32.9 i-o	23.6 a-e	15a-f	4.3 b	1.2 c-f	22.9 j-o	14.1 b-h	6.9 d-f	0.9 ab	0.61 b	0.79 b	3.7 a-c		
TS-22	38.5 a-c	17.9 s-u	12.9 h-p	2.1 l-o	1.1 c-f	28.7 b	10.9 st	6.9 e-g	0.6 i-l	0.44 b	0.83 b	1.4 r		
3-1-15	29.9 q-t	23.4 a-f	12.1 l-q	1.5 p-t	1e-n	22.9 j-o	14.2 b-f	6.5 g-m	0.9 a	0.5 b	0.62 b	1.6 q-r		
13-40	35.2 e-j	20.3 j-o	12.9 h-p	3.5 f-i	1.1 c-i	26.3 c-e	12.4 l-r	6.2 j-m	0.7 a-i	0.52 b	0.79 b	2.8 k-n		
TS1	33.3 h-o	20.1 k-p	13h-p	2.9 g-j	1e-m	23.3 h-o	13.1 g-o	6.7 f-k	0.6 d-l	0.41 b	0.65 b	2.7 l-n		
8-35	31.3 n-r	24.1 a-c	14.9 a-g	2.2 k-n	0.9 i-q	17.7 s	11.9 o-s	6.8 e-h	0.9 ab	0.58 b	0.73 b	3.2 d-j		
16-30	34.6 e-l	22.4 c-g	15.7 a-c	4.1 bc	1.2 c-f	26.3 c-e	13.9 b-i	6.6 f-l	0.7 d-l	0.45 b	0.7 b	3.8 ab		
85	28.6 s-u	20.4 i-o	14.2 b-h	2.8 i-k	0.9 g-p	21.3 o-r	12.9 i-p	6.7 f-j	0.8 a-d	0.6 b	0.8 b	2.9 i-m		
100-1-5	31.3 m-r	20.6 h-n	14.8 a-g	3.1 f-i	1.2 c-e	24.1 f-m	13.5 d-i	7.2 c-e	0.8 a-g	0.59 b	0.84 b	3.4 a-g		
35	34.1 f-n	21.7 f-l	13.9 d-k	3.4 d-g	1.1 c-h	24.8 e-k	13.7 b-j	6.4 g-m	0.6 d-l	0.41 b	0.64 b	3.2 e-k		
B6	34.7 e-l	24.9 a	15.1 a-f	3.7 c-e	1.2 cd	25.3 e-h	15.9 a	6.3 i-m	0.8 a-c	0.56 b	0.73 b	3.7 a-c		
2-29	31.7 m-r	22.1 d-i	8s	1.5 o-t	0.6 r	21.6 o-r	13.5 e-k	5.8 n-q	0.7 b-k	0.26 b	0.37 b	2.9 i-m		
100-1-1	30.8 o-s	23.4 a-f	13.6 e-m	2.2 k-n	0.8 k-r	21.8 n-r	14.9 b	6.6 f-k	0.9 ab	0.56 b	0.7 b	3g-l		
2-0-4	33.9 f-n	20.1 l-p	12.3 j-q	1l	0.8 k-r	23.8 h-n	11.5 rs	6.6 f-k	0.7 c-l	0.46 b	0.71 b	2.3 no		
4-4	32.2 k-q	21.9 e-k	13.8 e-l	3.4 e-h	1.8 a	25e-j	14b-i	5.4 q	0.7 a-i	0.49 b	0.69 b	3.5 a-e		
TS-6	32.6 j-p	23.3 a-f	16.3 a	3.8 c-e	1.3 c	26.1 d-f	14.1 b-h	7.8 a	0.8 a-d	0.6 b	0.8 b	3.3 c-i		
3-1-4	28tu	17.6 u	11.2 q-r	1.3 r-t	0.8 k-r	20.8 p-r	11.3 r-t	6.7 f-k	0.7 a-i	0.5 b	0.73 b	2.7 l-n		
Fragnes	33.9 g-n	18.6 o-u	10r	1.3 q-t	0.7 o-r	22.1 m-q	12m-s	6.4 g-m	0.6 e-l	0.36 b	0.6 b	1.7 q-r		
17-FM	30.1 p-t	20.4 i-o	13.7 e-m	3.7 c-e	1f-o	23i-o	13.3 e-m	6.1 i-n	0.8 a-g	0.55 b	0.77 b	3.4 a-f		
TS-18	29.5 r-t	18.9 n-u	11.8 o-q	1.9 m-q	0.8 l-r	22.9 j-o	11.5 rs	6.1 m-o	0.6 d-l	0.4 b	0.63 b	2.5 m-o		
D2	29.9 q-t	21.3 g-m	13.8 e-l	1.7 n-r	0.8 m-r	20.2 q-r	12.4 k-r	5.6 q	0.7 a-j	0.47 b	0.65 b	2.2 op		
Aydin	36.5 c-g	18.1 r-u	12.2 k-q	3.1 f-i	0.8 j-q	26d-g	11.1 st	5.5 q	0.6 h-l	0.43 b	0.77 b	3.3 c-h		
TS-30	34.1 f-m	22d-j	13.5 f-n	3.4 e-h	1d-j	24.3 e-l	13.5 d-k	6.9 e-g	0.8 a-h	0.51 b	0.73 b	3.1 f-l		
1306	35.5 e-i	24.4 ab	14.3 b-h	4bc	1.1 c-h	24.7 e-k	13.9 b-i	6.3 i-m	0.7 c-l	1.79 a	2.57 a	3.4 a-h		
AH2	32.9 i-o	22.3 d-h	15.3 a-e	3.1 f-i	1.1 c-g	24g-m	13.8 b-j	7.7 ab	0.8 a-f	0.57 b	0.8 b	2.9 j-m		
721	34.1 f-m	17.7 tu	13.7 e-l	1.8 n-r	1.1 c-f	24.8 e-k	12.4 k-r	7.4 b-d	0.51	0.43 b	0.78 b	2.4 no		
108	33.1 h-o	20l-q	13.9 d-j	2.8 i-k	1e-m	24.7 e-k	13.1 f-n	7e-f	0.6 g-l	0.42 b	0.7 b	2.8 k-n		
Azar	30.7 o-s	20.3 j-o	15.5 a-d	3f-i	1.1 c-h	23.9 h-n	13.5 d-l	7.4 a-c	0.7 d-l	0.51 b	0.77 b	3.4 a-f		
Araz	36.6 c-f	19.6 m-s	12.1 l-q	1.8 n-r	1e-k	25.3 e-h	11.3 r-t	6.2 k-m	0.5 kl	0.33 b	0.63 b	2.2 op		
Yalda	33.6 h-n	19.3 n-u	11.9 n-q	2.5 j-l	0.7 p-r	23.1 o	11.6 q-s	5.5 q	0.6 h-l	0.35 b	0.62 b	2.9 j-m		
Aydin(2)	33.7 h-n	22.8 b-g	14.5 b-h	4.1 bc	1e-l	22.8 k-p	14.4 b-e	6.9 d-f	0.8 a-d	0.55 b	0.75 b	3.7 a-c		
Shamshiri	33.1 h-o	20.2 k-p	12.4 i-q	2.8 h-j	0.9 f-o	24.4 e-l	13h-p	6.2 j-m	0.6 f-l	0.38 b	0.62 b	2.9 i-m		
AY	36.9 b-e	24.2 ab	14.1 b-h	3.6 c-f	1.1 c-h	24.1 e-i	14.5 b-d	6.4 h-m	0.7 d-l	0.38 b	0.58 b	3.1 e-l		
AN2	39.7 a	23.8 a-d	14.8 a-g	5a	1.5 b	53.7 a	14.7 bc	6.8 e-i	0.7 b-k	0.47 b	0.72 b	3.4 b-h		
AN4	39.3 ab	23.4 a-f	15.7 ab	5a	1.3 c	28bc	14.2 b-g	6.4 g-m	0.7 a-h	0.56 b	0.83 b	3.8 a		
حداقل تفاوت معنی‌داری (H)	2.25	1.5	1.38	0.48	0.18	1.7	0.96	0.38	0.14	0.13	0.13	0.37		
LSD (5%)														

* Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% of probability level-using LSD Test.

ادامه جدول ۶- صفات خشک میوه، مغز و فنولوژی ۴۴ ژنوتیپ آمیدیکش بادام پیوندشده روی پایه GF677
Continued table 6- The nut, kernel and phenology traits of 44 almond genotypes of grafted on GF677 rootstock

ژنوتیپ Genotype	دوقلوئی Double kernel (code)	پوشی Percentage of blank kernel (%)	رنگ مغز Kernel color (code)	چروکیدگی Shrinkage of kernel (code)	سفتی پوست Shell hardness (code)	پوست Suture opening of the shell (code)	زمان گلدهی Flowering date (code)	عادت باردهی Bearing habit (code)	زمان رسیدن میوه Maturity date (code)
H	3b: کم 3b: little	4c	متوسط: 5b 5b: medium	5a: intermediate متوسط: 5a	9a: کاغذی 9a: papery	1b: excellent seal بسته: 1b	6d: intermediate/late متوسط تا دیر: 6d	2b: spur type تیپ اسپور: 2b	متوسط: 5c 5c: medium
D	3b: کم 3b: little	4c	خیلی روشن: 1c 1c: very light	1b: no shrinkage فاقد: 1b	7b: thin نازک: 7b	5a: very wide باز: 5a	7c: late دیر: 7c	1c: shoot type تیپ شاخه: 1c	7b: late دیر: 7b
TS-21	3b: کم 3b: little	4c	متوسط: 5b 5b: medium	1b: no shrinkage فاقد: 1b	3d: hard سخت: 3d	1b: excellent seal بسته: 1b	7c: late دیر: 7c	2b: spur type تیپ اسپور: 2b	7b: late دیر: 7b
4-14	3b: کم 3b: little	6b	خیلی روشن: 1c 1c: very light	1b: no shrinkage فاقد: 1b	7b: thin نازک: 7b	5a: very wide باز: 5a	7c: late دیر: 7c	3a: mixed type تیپ مخلوط: 3a	متوسط: 5c 5c: medium
TS-14	3b: کم 3b: little	8a	تیره: 7a 7a: dark	5a: intermediate متوسط: 5a	5c: semi-hard نیمه سخت: 5c	5a: very wide باز: 5a	7c: late دیر: 7c	3a: mixed type تیپ مخلوط: 3a	متوسط: 5c 5c: medium
A8	1c: no double kernel فاقد دوقلوئی: 1c	4c	متوسط: 5b 5b: medium	5a: intermediate متوسط: 5a	5c: semi-hard نیمه سخت: 5c	5a: very wide باز: 5a	8b: very late خیلی تا دیر: 8b	3a: mixed type تیپ مخلوط: 3a	متوسط: 5c 5c: medium
B8	3b: کم 3b: little	6b	خیلی روشن: 1c 1c: very light	1b: no shrinkage فاقد: 1b	7b: thin نازک: 7b	5a: very wide باز: 5a	9a: extremely late خیلی تا دیر: 9a	3a: mixed type تیپ مخلوط: 3a	7b: late دیر: 7b
Saba	3b: کم 3b: little	8a	متوسط: 5b 5b: medium	1b: no shrinkage فاقد: 1b	7b: thin نازک: 7b	5a: very wide باز: 5a	8b: very late خیلی تا دیر: 8b	3a: mixed type تیپ مخلوط: 3a	7b: late دیر: 7b
2-3-2	7a: زیاد 7a: high	2d	متوسط: 5b 5b: medium	1b: no shrinkage فاقد: 1b	7b: thin نازک: 7b	5a: very wide باز: 5a	7c: late دیر: 7c	2b: spur type تیپ اسپور: 2b	7b: late دیر: 7b
TS-11	1c: no double kernel فاقد دوقلوئی: 1c	4c	متوسط: 5b 5b: medium	1b: no shrinkage فاقد: 1b	1e: very hard خیلی سخت: 1e	5a: very wide باز: 5a	7c: late دیر: 7c	3a: mixed type تیپ مخلوط: 3a	متوسط: 5c 5c: medium
TS-22	3b: کم 3b: little	4c	خیلی روشن: 1c 1c: very light	5a: intermediate متوسط: 5a	9a: کاغذی 9a: papery	5a: very wide باز: 5a	8b: very late خیلی تا دیر: 8b	3a: mixed type تیپ مخلوط: 3a	متوسط: 5c 5c: medium
3-1-15	3b: کم 3b: little	4c	متوسط: 5b 5b: medium	5a: intermediate متوسط: 5a	9a: کاغذی 9a: papery	1b: excellent seal بسته: 1b	7c: late دیر: 7c	3a: mixed type تیپ مخلوط: 3a	دیر: 7b 7b: late
13-40	3b: کم 3b: little	2d	متوسط: 5b 5b: medium	1b: no shrinkage فاقد: 1b	3d: hard سخت: 3d	5a: very wide باز: 5a	7c: late دیر: 7c	3a: mixed type تیپ مخلوط: 3a	متوسط: 5c 5c: medium
TS1	3b: کم 3b: little	4c	خیلی روشن: 1c 1c: very light	1b: no shrinkage فاقد: 1b	5c: semi-hard نیمه سخت: 5c	1b: excellent seal بسته: 1b	8b: very late خیلی تا دیر: 8b	2b: spur type تیپ اسپور: 2b	7b: late دیر: 7b
8-35	3b: کم 3b: little	4c	متوسط: 5b 5b: medium	1b: no shrinkage فاقد: 1b	9a: کاغذی 9a: papery	5a: very wide باز: 5a	7c: late دیر: 7c	3a: mixed type تیپ مخلوط: 3a	خیلی دیر: 9a 9a: extremely late
16-30	3b: کم 3b: little	4c	متوسط: 5b 5b: medium	5a: intermediate متوسط: 5a	3d: hard سخت: 3d	5a: very wide باز: 5a	6d: intermediate/late متوسط تا دیر: 6d	3a: mixed type تیپ مخلوط: 3a	متوسط: 5c 5c: medium
85	3b: کم 3b: little	4c	متوسط: 5b 5b: medium	1b: no shrinkage فاقد: 1b	5c: semi-hard نیمه سخت: 5c	1b: excellent seal بسته: 1b	7c: late دیر: 7c	3a: mixed type تیپ مخلوط: 3a	متوسط: 5c 5c: medium
100-1-5	3b: کم 3b: little	4c	خیلی روشن: 1c 1c: very light	1b: no shrinkage فاقد: 1b	7b: thin نازک: 7b	1b: excellent seal بسته: 1b	8b: very late خیلی تا دیر: 8b	3a: mixed type تیپ مخلوط: 3a	دیر: 7b 7b: late
35	3b: کم 3b: little	4c	متوسط: 5b 5b: medium	1b: no shrinkage فاقد: 1b	3d: hard سخت: 3d	1b: excellent seal بسته: 1b	7c: late دیر: 7c	3a: mixed type تیپ مخلوط: 3a	دیر: 7b 7b: late
B6	3b: کم 3b: little	4c	متوسط: 5b 5b: medium	1b: no shrinkage فاقد: 1b	5c: semi-hard نیمه سخت: 5c	1b: excellent seal بسته: 1b	7c: late دیر: 7c	2b: spur type تیپ اسپور: 2b	7b: late دیر: 7b
2-29	3b: کم 3b: little	8a	متوسط: 5b 5b: medium	1b: no shrinkage فاقد: 1b	7b: thin نازک: 7b	1b: excellent seal بسته: 1b	8b: very late خیلی تا دیر: 8b	2b: spur type تیپ اسپور: 2b	7b: late دیر: 7b
100-1-1	3b: کم 3b: little	8a	متوسط: 5b 5b: medium	5a: intermediate متوسط: 5a	5c: semi-hard نیمه سخت: 5c	5a: very wide باز: 5a	8b: very late خیلی تا دیر: 8b	2b: spur type تیپ اسپور: 2b	خیلی دیر: 9a 9a: extremely late
2-0-4	1c: no double kernel فاقد دوقلوئی: 1c	8a	متوسط: 5b 5b: medium	5a: intermediate متوسط: 5a	5c: semi-hard نیمه سخت: 5c	5a: very wide باز: 5a	7c: late دیر: 7c	2b: spur type تیپ اسپور: 2b	متوسط: 5c 5c: medium

ژنوتیپ Genotype	دوقلوئی Double kernel (code)	پوکی Percentage of blank kernel (%)	رنگ مغز Kernel color (code)	چروکیدگی Shrinkage of kernel (code)	سفتی پوست Shell hardness (code)	درز و شکاف روی Suture opening of the shell (code)	زمان گل‌دهی Flowering date (code)	عادت باردهی Bearing habit (code)	زمان رسیدن میوه Maturity date (code)
4-4	3b: کم 3b: little	4c	خیلی روشن 1c: very light	1b: فاقد 1b: no shrinkage	3d: سخت 3d: hard	1b: بسته 1b: excellent seal	6d: intermediate/late	3a: mixed type 3a: mixed type	متوسط 5c: medium
TS-6	3b: کم 3b: little	4c	خیلی روشن 1c: very light	5a: متوسط 5a: intermediate	9a: کاغذی 9a: papery	5a: باز 5a: very wide	5c: intermediate	3a: mixed type 3a: mixed type	متوسط 5c: medium
3-1-4	3b: کم 3b: little	4c	خیلی روشن 1c: very light	5a: متوسط 5a: intermediate	9a: کاغذی 9a: papery	5a: باز 5a: very wide	7c: late	3a: mixed type 3a: mixed type	متوسط 5c: medium
Fragnes	3b: کم 3b: little	4c	خیلی روشن 1c: very light	5a: متوسط 5a: intermediate	9a: کاغذی 9a: papery	5a: باز 5a: very wide	7c: late	2b: اسپور type 2b: spure type	دیر 7b: late
17-FM	3b: کم 3b: little	2d	متوسط 5b: medium	1b: فاقد 1b: no shrinkage	3d: سخت 3d: hard	1b: بسته 1b: excellent seal	5c: intermediate	3a: mixed type 3a: mixed type	متوسط 5c: medium
TS-18	3b: کم 3b: little	4c	خیلی روشن 1c: very light	1b: فاقد 1b: no shrinkage	7b: نازک 7b: thin	5a: باز 5a: very wide	8b: very late	2b: اسپور type 2b: spure type	دیر 7b: late
D2	3b: کم 3b: little	2d	متوسط 5b: medium	1b: فاقد 1b: no shrinkage	9a: کاغذی 9a: papery	5a: باز 5a: very wide	6d: intermediate/late	2b: اسپور type 2b: spure type	زود 3d: early
Aydin	3b: کم 3b: little	4c	تیر : 7a 7a: dark	1b: فاقد 1b: no shrinkage	5c: نیمه سخت 5c: semi-hard	5a: باز 5a: very wide	8b: very late	3a: mixed type 3a: mixed type	متوسط 5c: medium
TS-30	3b: کم 3b: little	2d	خیلی روشن 1c: very light	1b: فاقد 1b: no shrinkage	5c: نیمه سخت 5c: semi-hard	5a: باز 5a: very wide	9a: very late	2b: اسپور type 2b: spure type	خیلی دیر 9a: extremely late
1306	3b: کم 3b: little	2d	متوسط 5b: medium	5a: intermediate	3d: سخت 3d: hard	1b: بسته 1b: excellent seal	8b: very late	3a: mixed type 3a: mixed type	دیر 7b: late
AH2	3b: کم 3b: low	4c	خیلی روشن 1c: very light	5a: متوسط 5a: intermediate	7b: نازک 7b: thin	5a: باز 5a: very wide	8b: very late	3a: mixed type 3a: mixed type	متوسط 5c: medium
721	3b: کم 3b: low	4c	متوسط 5b: medium	1b: فاقد 1b: no shrinkage	9a: کاغذی 9a: papery	5a: باز 5a: very wide	7c: late	2b: اسپور type 2b: spure type	متوسط 5c: medium
108	1c: no double kernel 1c: no double kernel	4c	متوسط 5b: medium	1b: فاقد 1b: no shrinkage	7b: نازک 7b: thin	5a: باز 5a: very wide	9a: very late	3a: mixed type 3a: mixed type	متوسط 5c: medium
Azar	1c: no double kernel 1c: no double kernel	4c	متوسط 5b: medium	1b: فاقد 1b: no shrinkage	7b: نازک 7b: thin	5a: باز 5a: very wide	6d: intermediate/late	3a: mixed type 3a: mixed type	متوسط 5c: medium
Araz	3b: کم 3b: low	4c	خیلی روشن 1c: very light	5a: متوسط 5a: intermediate	9a: کاغذی 9a: papery	5a: باز 5a: very wide	7c: late	2b: اسپور type 2b: spure type	متوسط 5c: medium
Yalda	3b: کم 3b: low	4c	متوسط 5b: medium	1b: فاقد 1b: no shrinkage	1e: خیلی سخت 1e: very hard	5a: باز 5a: very wide	5c: intermediate	1c: شاخه type 1c: shoot type	زود 3d: early
Aydim(2)	3b: کم 3b: low	4c	متوسط 5b: medium	5a: intermediate	7b: نازک 7b: thin	1b: بسته 1b: excellent seal	8b: very late	3a: mixed type 3a: mixed type	متوسط 5c: medium
Shamshiri	3b: کم 3b: low	4c	متوسط 5b: medium	1b: فاقد 1b: no shrinkage	5c: نیمه سخت 5c: semi-hard	1b: بسته 1b: excellent seal	8b: very late	3a: mixed type 3a: mixed type	دیر 7b: late
AY	3b: کم 3b: low	4c	متوسط 5b: medium	1b: فاقد 1b: no shrinkage	5c: نیمه سخت 5c: semi-hard	1b: بسته 1b: excellent seal	7c: late	3a: mixed type 3a: mixed type	دیر 7b: late
AN2	3b: کم 3b: low	4c	خیلی روشن 1c: very light	5a: متوسط 5a: intermediate	3d: سخت 3d: hard	1b: بسته 1b: excellent seal	8b: very late	1c: شاخه type 1c: shoot type	دیر 7b: late
AN4	3b: کم 3b: low	2d	خیلی روشن 1c: very light	1b: فاقد 1b: no shrinkage	3d: سخت 3d: hard	5a: باز 5a: very wide	7c: late	3a: mixed type 3a: mixed type	متوسط 5c: medium

* میانگین‌های هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.
* Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% of probability level-using LSD Test.

17- TS-21، 3-1-15، TS1، 85، 100-1-5، 35، B6، 2-29، 4-4، 17-FM، 1306، Aydin (2)، Shamshiri، AY و AN2 دارای درز و شکاف بسته روی پوست و سایر ژنوتیپ‌ها دارای درز و شکاف شکوفا بودند (جدول ۶). درز و شکاف پوسته در ارقام پوست نازک مهم است، به‌طوری‌که میوه‌هایی که درز و شکاف شکوفا دارند بیشتر در معرض آسیب کرم مغزخوار بادام قرار می‌گیرند (Colic et al., 2012). تاریخ گل‌دهی در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌دار داشت و از متوسط تا بیش از حد دیرگل متفاوت بود (جدول ۶). ژنوتیپ‌های TS-6، Yalda و 17-FM از نظر زمان گل‌دهی متوسط، ژنوتیپ‌های 16-30، H، Azar، D2 و 4-4 نسبتاً دیرگل، ژنوتیپ‌های B8، 108 و TS-30 بیش از حد دیرگل و سایر ژنوتیپ‌ها دیرگل و خیلی دیرگل بودند (جدول ۶). با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های دیرگل کمتر در معرض خطر سرمازدگی بهاره قرار می‌گیرند، لذا می‌توانند منتخب خوبی به‌عنوان والد دیرگل در برنامه‌های اصلاحی یا به‌عنوان رقم تجاری مورد استفاده قرار بگیرند. کاوند و همکاران (Kavandi & Imani, 2009) و مؤمن پور و همکاران (Momenpour et al., 2011) برخی از ژنوتیپ‌های بادام را به‌ترتیب در شرایط بروجرد و کرج مطالعه نمودند و آن‌ها را از نظر گل‌دهی به چهار گروه خیلی زودگل، متوسط گل، دیرگل و خیلی دیرگل تقسیم‌بندی کردند. عادت گل‌دهی (باردهی) در ژنوتیپ‌های مختلف تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۶). ژنوتیپ‌های Yalda، D و AN2 گل‌دهی روی شاخه یک‌ساله، ژنوتیپ‌های H، D2، B6، 721، Araz، Fragnes، 3-1-4، 2-0-4، TS-21، 2-3-2، TS-18، 100-1-1، TS1، 2-29 و TS-30 گل‌دهی بیشتر روی اسپور و گل‌دهی سایر ژنوتیپ‌ها به‌صورت مختلط بود (جدول ۶). زمان برداشت ژنوتیپ‌های مختلف از زود تا خیلی دیر متفاوت بود. ژنوتیپ‌های Yalda و D2 زودرس، ژنوتیپ‌های 100-1-1، TS-30 و 8-35 از نظر زمان رسیدن خیلی دیررس بودند (جدول ۶). بیشترین درصد مغز در ژنوتیپ 2-0-4 و کمترین در ژنوتیپ‌های 17-FM، Aydin (2) و AN4 مشاهده شد (جدول ۶). درصد مغز در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از ۲۲/۳۰ تا ۷۷/۹ درصد متفاوت بود. براساس نتایج، بیشترین وزن مغز به وزن خشک میوه در ژنوتیپ‌های 2-0-4، 2-29، 3-1-15 و H و کمترین در ژنوتیپ‌های 17-FM، Shamshiri، A8، 35، AY، TS-21، 16-30 و 1306 مشاهده شد (جدول ۶). بیشترین میزان عملکرد در ژنوتیپ B6 به‌میزان ۱۰۵۰ گرم مشاهده شد و پس از آن بیشترین میزان عملکرد به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های TS-11، TS-21، 1306، 17-FM، 4-4، D2، Shamshiri، TS-30 و AH2 به دست آمد و ژنوتیپ‌های Saba، 2-3 و TS-18 کمترین میزان عملکرد را داشتند (جدول ۶).

بالاترین میزان پوکی در ژنوتیپ‌های 100-1-1، TS-14، 2-29، Saba و 2-0-4 و کمترین میزان پوکی در ژنوتیپ‌های D2، 13-40، TS-30، 17-FM، 1306، AN4 و 2-3-2 مشاهده شد (جدول ۶). ژنوتیپ‌های مختلف درصد پوکی دو تا هشت درصد داشتند (جدول ۶). نرخ باروری تأثیر زیادی بر این پدیده دارد (Sorkheh et al., 2009) بنابراین به نظر می‌رسد که اکثر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از پتانسیل باوری بالایی برخوردار باشند. افزایش باروری و باردهی علاوه‌بر پتانسیل ژنتیکی، تابع تراکم گل‌دهی و بهبود فرآیند گرده‌افشانی از طریق افزایش میزان گرده‌های سالم و دوره گرده‌افشانی مؤثر و تلقیح تخمک‌های بیشتر و در نهایت افزایش تشکیل میوه و باردهی می‌شود. در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، صفت رنگ مغز از خیلی روشن تا تیره متفاوت بود. ژنوتیپ‌های TS-14 و Aydin دارای رنگ مغز تیره و ژنوتیپ‌های D، B8، TS-22، TS1، 100-1-5، 4-4، TS-6، 3-1-4، Fragnes، TS-18، TS-30، AH2، Araz و AN2 دارای رنگ مغز خیلی روشن بودند (جدول ۶). مطابق با نتایج مقایسه میانگین، دامنه تغییرات برای صفت چروکیدگی مغز از فاقد چروکیدگی تا چروکیدگی متوسط متفاوت بود (جدول ۶). ژنوتیپ‌های H، TS-14، A8، TS-22، 3-1-15، 16-30، 100-1-1، 2-0-4، TS-6، 3-1-4، Fragnes، 1306، AH2، Araz، Aydin (2) و AN2 دارای میزان متوسط چروکیدگی و سایر ژنوتیپ‌ها دارای مغز فاقد چروکیدگی هستند (جدول ۶).

مطابق با نتایج مقایسه میانگین، صفت سفتی پوست در ژنوتیپ‌های مورد بررسی از خیلی سخت تا کاغذی متغیر بود. ژنوتیپ‌های TS-11 و Yalda دارای پوست چوبی خیلی سخت و ژنوتیپ‌های H، TS-22، 3-1-15، 3-1-4، Fragnes، D2، 721 و Araz دارای پوست کاغذی بودند (جدول ۶). نرمی پوسته یکی از مهم‌ترین اهداف برنامه‌های پرورش بادام است. گزارش شده است که ژنوتیپ‌های پوسته سخت نسبت به حشرات و آلودگی‌های قارچی مقاوم‌تر هستند، درحالی‌که ژنوتیپ‌های پوسته نرم به‌شدت مستعد آسیب‌های ناشی از این عوامل هستند (Gradziel & Martinez, 2002؛ Khadivi-Khub & Etemadi-Khah, 2015). بر این اساس، برنامه‌های اصلاحی به ژنوتیپ مورد استفاده بستگی دارد، به‌طوری‌که در مورد ژنوتیپ‌های پوسته نرم، باید منابع مقاوم در برابر حشرات و قارچ‌ها را یافت (Khadivi et al., 2022). دیسنتیا و گارسیا (Dicenta & García, 1992) خشبی بودن پوسته میوه را به‌میزان لیگنین رسوب‌کرده در آندوکارپ در طی رشدونمو میوه مرتبط دانسته و بیان کردند که سختی پوسته چوبی توسط یک ژن غالب با دو آلل کنترل می‌شود. صفت درز و شکاف روی پوسته چوبی بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از بسته تا شکوفا متغیر بود. ژنوتیپ‌های H،

ادامه جدول ۶- مقایسه میانگین برخی صفات خشک میوه، مغز و عملکرد ۴۴ ژنوتیپ امیدبخش بادام پیوندشده روی پایه GF677
Continued table 6- Mean comparison of some nut , kernel and yield traits of 44 genotypes of almond grafted on GF677

ژنوتیپ Genotype	میانگین‌ها Averages					عملکرد Yield (g)
	درصد مغز Percentage of kernel (%)	نسبت عرض به طول مغز Kernel width/kernel length ratio	نسبت ضخامت به طول مغز Kernel thickness/kern el length ratio	نسبت ضخامت به عرض مغز Kernel thickness/kernel width ratio	نسبت وزن مغز به وزن خشک میوه Kernel weight/nut weight ratio	
H	60.1 b-d*	0.76 ab	0.4 a-g	0.55 c-j	0.7 a-c	696.7 c-f
D	39.3 f-j	0.68 a-g	0.44 a-d	0.68 b-d	0.5 c-j	131.7 m-p
TS-21	30.6 j-o	0.53 f-j	0.23 gh	0.44 ij	0.31 j	890 a-c
4-14	27.8 k-o	0.7 a-f	0.37 a-h	0.55 c-j	0.38 g-j	393.3 g-l
TS-14	28.8 k-o	0.56 e-i	0.44 a-c	0.84 a	0.39 g-j	321.7 i-o
A8	31.7 i-o	0.55 e-i	0.25 f-h	0.45 h-j	0.32 j	365 h-m
B8	44.8 e-g	0.62 a-i	0.37 a-h	0.62 b-h	0.57 b-h	125 m-p
Saba	34.3 i-l	0.52 g-j	0.25 e-h	0.5 e-j	0.35 h-j	80.4 op
2-3-2	45.7 ef	0.51 g-j	0.26 e-h	0.51 d-j	0.46 d-j	95.3 op
TS-11	24m-o	0.77 ab	0.46 ab	0.65 b-g	0.4 f-j	975 ab
TS-22	52.7 c-e	0.49 h-j	0.35 a-h	0.74 ab	0.64 b-e	58 p
3-1-15	62.4 b	0.72 a-e	0.38 a-h	0.55 c-j	0.72 ab	428.4 g-l
13-40	27k-o	0.63 a-i	0.39 a-h	0.66 b-e	0.43 e-j	425 g-l
TS1	33.6 i-m	0.58 d-i	0.3 b-h	0.51 d-j	0.34 ij	341.7 i-n
8-35	35.5 g-k	0.78 ab	0.49 a	0.68 b-d	0.46 d-j	601.7 d-h
16-30	28.1 k-o	0.53 f-j	0.25 f-h	0.48 f-j	0.28 j	221.7 j-p
85	30.3 j-o	0.7 a-f	0.41 a-f	0.62 b-h	0.4 f-j	341.7 i-n
100-1-5	35.7 g-k	0.68 a-g	0.42 a-f	0.65 b-g	0.48 d-j	631.7 d-g
35	31.4 i-o	0.56 e-i	0.26 e-h	0.47 h-j	0.31 j	195 k-p
B6	30.3 j-o	0.76 a-c	0.38 a-h	0.52 c-j	0.43 e-j	1050 a
2-29	44e-h	0.63 a-i	0.27 c-h	0.43 j	0.74 ab	380 h-l
100-1-1	31.6 i-o	0.8 a	0.42 a-f	0.56 c-j	0.44 e-j	183.3 l-p
2-0-4	77.9 a	0.58 c-i	0.38 a-h	0.68 b-d	0.88 a	511.7 e-i
4-4	51de	0.62 a-i	0.28 c-h	0.44 ij	0.57 b-h	753.3 b-e
TS-6	31.8 i-o	0.64 a-h	0.4 a-g	0.65 b-f	0.42 e-j	308.4 i-o
3-1-4	56.7 b-d	0.64 a-h	0.42 a-f	0.69 bc	0.67 b-d	425 g-l
Fragnes	52.5 c-e	0.61 b-i	0.36 a-h	0.6 b-j	0.59 b-g	410 g-l
17-FM	23.5 no	0.68 a-g	0.36 a-h	0.56 c-j	0.33 j	778.3 b-d
TS-18	40.7 f-i	0.5 g-j	0.27 d-h	0.53 c-j	0.41 f-j	118.3 n-p
D2	44.9 e-g	0.62 a-i	0.28 c-h	0.45 h-j	0.45 e-j	750 b-e
Aydin	24.8 l-o	0.52 f-j	0.31 b-h	0.6 b-j	0.35 h-j	686.7 c-f
TS-30	28.2 k-o	0.67 a-h	0.4 a-g	0.62 b-h	0.4 f-j	728.3 c-e
1306	26.9 k-o	0.56 e-i	0.25 e-h	0.46 h-j	0.27 j	816.7 a-d
AH2	34.6 h-l	0.68 a-g	0.43 a-e	0.66 b-e	0.45 e-j	699.3 c-e
721	61.4 bc	0.51 g-j	0.3 b-h	0.6 b-j	0.62 b-f	343.3 i-n
108	35.4 g-k	0.54 f-j	0.29 b-h	0.54 c-j	0.36 h-j	451.7 f-j
Azar	36.1 g-k	0.57 e-i	0.31 b-h	0.55 c-j	0.36 h-j	523.3 e-i
Araz	56b-d	0.45 ij	0.25 f-h	0.55 c-j	0.56 b-i	406.7 g-l
Yalda	29.5 j-o	0.5 g-j	0.24 gh	0.47 g-j	0.3 j	403.3 g-l
Aydin(2)	22.3 o	0.75 a-d	0.42 a-f	0.6 b-j	0.34 ij	436.7 g-k
Shamshiri	33.2 i-n	0.53 f-j	0.26 e-h	0.49 e-j	0.33 j	741.7 b-e
AY	30.4 j-o	0.58 c-i	0.26 e-h	0.44 ij	0.31 j	118.7 n-p
AN2	28.4 k-o	0.37 j	0.22 h	0.56 c-j	0.38 g-j	201 k-p
AN4	23.6 m-o	0.66 a-h	0.39 a-h	0.61 b-i	0.39 g-j	426.7 g-l
LSD 5%	8.13	0.14	0.13	0.13	0.18	245.16

* میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

* Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level-using LSD Test.

هوا برای انجام گرده‌افشانی و فعالیت زنبور عسل مساعدتر می‌باشد (Khadivi-Khub & Osati, 2016). مطابق با نتایج این مطالعه، در ژنوتیپ‌های B6، TS-14، AN4، TS-18، 17-FM، 1306، 3-1-15، TS-11، 2-29 و D2 بیشترین ارتفاع درخت، بیشترین طول عرض تاج به دست آمد و بیشترین طول شاخه در ژنوتیپ TS-6 مشاهده شد. مطابق با نتایج حاصل از این پژوهش، ارزیابی ویژگی‌های خشک میوه و مغز در تعیین تنوع بین ارقام و ژنوتیپ‌های بادام اهمیت زیادی دارد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، ژنوتیپ‌های 3-1-15، 721، H، Araz و 3-1-4 با توجه به خصوصیات ارزشمند و تجاری بادام شامل عملکرد، درصد مغز، سفتی پوست، پوکی، وزن مغز، درز و شکاف روی پوست، دوقلویی، قطر پوست چوبی، رنگ مغز و مهم‌تر از همه دیرگلی، ژنوتیپ‌هایی با برتری نسبی از نظر صفات خشک میوه و مغز بودند. مطابق با نتایج، ژنوتیپ 4-4 پیوندشده روی پایه GF677 دارای عملکرد ۷۵۰ گرم، درصد مغز ۵۱ درصد، پوست سخت، پوست دارای درز و شکاف بسته، رنگ مغز خیلی روشن، دیرگل و میزان دوقلویی کم یکی از ژنوتیپ‌های خوب برای منطقه چهارمحال و بختیاری به نظر می‌رسد. با توجه به تحلیل و بررسی نتایج حاصل از این مطالعه، ژنوتیپ‌های 2-0-4، Araz، 108، 4-4، 721، 3-1-4، TS-22 و 3-1-15 از نظر صفات مورد بررسی به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر معرفی می‌شوند.

سپاسگزاری

نگارندگان مقاله از همکاری صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری و ایستگاه تحقیقاتی بادام در تأمین مالی و مساعدت در انجام بخشی از پروژه پسا دکتری (شماره طرح: ۴۰۲۰۲۸۹) قدردانی و سپاسگزاری می‌نمایند.

تعارض منافع

نگارندگان این مقاله اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تعارض منافی در ارتباط با انتشار این مقاله ندارند.

در پژوهش موسوی و همکاران (Mousavi et al., 2020) با بررسی خصوصیات ریخت‌شناسی، خشک میوه و مغز ۳۵ رقم و ژنوتیپ بادام، تنوع زیادی بین ارقام و ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد بررسی مشاهده شد و نتایج این مطالعه نشان داد که ارقام شاهرود ۱۳، شاهرود ۲۱، شاهرود ۶، سفید، پرمورسکی، یلدا، شاهرود ۱۰، شاهرود ۱۲، مامایی، شاهرود ۷ و نژادگان‌های انتخابی AIM2، AIM1، GM1، AHN2، AHYU و AHN1 از نظر صفات خشک میوه و مغز برتری نسبی داشتند. در مطالعه ملهویی و همکاران (Melhaoui et al., 2019) ویژگی‌های پومولوژیک چهار رقم بادام (Ferraduel، Ferragnes، Marcona و Fournat) به‌منظور معرفی رقم پیشنهادی در شرق مراکش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که سه رقم Ferraduel، Ferragnes و Fournat دارای ۳۳ درصد مغز بودند، اما رقم Marconawhich که حساس به خشک‌سالی است دارای ۲۳-۲۰ درصد مغز بود. در مطالعه دژم پور و همکاران (Dejampour et al., 2017) پس از بررسی خصوصیات خشک میوه و مغز ۳۱ رقم و ژنوتیپ بادام، ارقام و ژنوتیپ‌های دارای پوست کاغذی و درصد مغز بالا از ارقام و ژنوتیپ‌های با پوست چوبی و درصد مغز کمتر جدا شدند.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج حاصل از این پژوهش، تنوع قابل توجهی در سطح ریخت‌شناسی، فولوژی و پومولوژی بین ۴۴ ژنوتیپ امیدبخش پیوندشده روی پایه GF677 مشاهده شد که این تنوع در انتخاب ارقام برتر و سازگار با شرایط محیطی و همچنین انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا اهمیت زیادی دارد. استان چهارمحال و بختیاری با شرایط آب‌وهوایی خاص خود، نیازمند ارقامی است که با این شرایط سازگار شوند، شرایط اقلیمی این منطقه شامل تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد است، بنابراین ارقامی باید انتخاب شوند که مقاوم به سرما و خشکی و به‌خصوص ارقامی که تاریخ گل‌دهی آن‌ها به‌گونه‌ای باشد که از خطر سرمازدگی بهاره در امان باشند. در ارقام دیرگل به‌دلیل نیاز سرمایی و نیاز گرمایی بیشتر، نمو جوانه گل زمان بیشتری نیاز دارد و به همین دلیل صدمه کمتری در برابر سرمای بهاره می‌بینند. همچنین در زمان باز شدن گل آن‌ها، دمای

References

1. Ardjmand, A., Piri, S., Imani, A., & Piri, S. (2014). Evaluation of morphological and pomological diversity of 62 almond cultivars and superior genotypes in Iran. *Journal of Nuts*, 46, 39-50. <https://doi.org/10.22034/jon.2014.515696>
2. Arteaga, N., & Socias i Company, R. (2001). Heritability of fruit and kernel traits in almond. In III International Symposium on Pistachios and Almonds, 591 (pp. 269-274).

3. Asgari, K., & Khadivi, A. (2021). Morphological and pomological characterizations of almond (*Prunus amygdalus* L.) genotypes to choose the late-blooming superiors. *Euphytica*, 217(3), 42. <https://doi.org/10.1007/s10681-021-02777-0>
4. Ayaz, Z., Zainab, B., Khan, S., Abbasi, A.M., Elshikh, M.S., Munir, A., Al-Ghamdi, A.A., Alajmi, A.H., Alsubaie, Q.D., & Mustafa, A.E.Z.M. (2020). *In silico* authentication of amygdalin as a potent anticancer compound in the bitter kernels of family Rosaceae. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(9), 2444-2451. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.06.041>
5. Babadai, R., Mousavi, S.A., & Mehrdad, J. (2017). *Guide to Almond Production*. Islamic Azad University Khorasgan Publications, Khorasgan, Iran. (In Persian).
6. Barreca, D., Nabavi, S.M., Sureda, A., Rasekhian, M., Raciti, R., Silva, A.S., Annunziata, G., Arnone, A., Tenore, G.C., & Süntar, İ. (2020). Almonds (*Prunus dulcis* Mill. DA webb): A source of nutrients and health-promoting compounds. *Nutrients*, 12(3), 672. <https://doi.org/10.3390/nu12030672>
7. Beigi, F., & Khadivi, A. (2023). Selection of superior late blooming almond (*Prunus dulcis* [Mill.] DA Webb) genotypes using morphological characterizations. *Food Science & Nutrition*, 11(7), 3844-3857. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3370>
8. Colic, S., Rakonjac, V., Zec, G., Nikolic, D., & Aksic, M.F. (2012). Morphological and biochemical evaluation of selected almond [*Prunus dulcis* (Mill.) DA Webb] genotypes in northern Serbia. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36(4), 429-438. <https://doi.org/10.3906/tar-1103-50>
9. De Nettancourt, D. (2001). *Incompatibility and Incongruity in Wild and cultivated Plants* (Vol. 3). Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-04502-2>
10. Dejampour, J., Zarrinbal, M., Fathi, H., & Mousavizadeh, S.A. (2017). Fruit characteristics of some almond cultivars and genotypes of northwest of Iran. *Seed and Plant Journal*, 33(2), 195-213. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/spij.2017.115550>
11. Dicenta, F., & García, J. (1992). Phenotypical correlations among some traits in almond. *Journal of Genetics & Breeding*, 46(3), 241-246.
12. Estaji, A., Ebadi, A., Fattahi, M.M., & Alifar, M. (2013). Evaluation of fifty almond genotypes characteristics obtained from crossing between some superior Iranian genotypes and 'Tuono' cultivar. *Journal of Plant Production Research*, 20(2), 253-270. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222050.1392.20.2.13.8>
13. FAO. (2023). *FAOSTAT database results*. <https://Fao.stat.org/stat/almond>
14. Gouta, H., Ksia, E., Ayachi, M., & Martinez-Gomez, P. (2019). Agronomical evaluation of local Tunisian almond cultivars and their breeding prospects. *European Journal of Horticultural Science*, 84(2), 73-84. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2019/84.2.3>
15. Gradziel, T.M., & Martínez-Gómez, P. (2002). Shell seal breakdown in almond is associated with the site of secondary ovule abortion. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(1), 69-74. <https://doi.org/10.21273/JASHS.127.1.69>
16. Gülcan, R. (1985). *Descriptors list for almond (Prunus amygdalus; Revised)*. International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR).
17. Heidari, P., Sanaeizadeh, S., Rezaei, M., & Khadivi, A. (2022). Phenotypical and pomological characterization of non-irrigated almond (*Prunus dulcis* Mill.) trees to select superior genotypes. *Erwerbs-Obstbau*, 64(3), 333-343. <https://doi.org/10.1007/s10341-022-00653-2>
18. Imani, A., Ghoreyshi, H., Mohamadi Torkashvand, A., Azizi-Nazhad, R., & Ebrahimi, R. (2022). Evaluation of morphological and pomological characteristics and yield of almond cultivars and promising genotypes. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 23(2), 277-290. (In Persian with English abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.16807154.1401.23.2.7.7>
19. Janick, J., & Moore, J.N. (1996). *Fruit Breeding, Tree and Tropical Fruits* (Vol. 1). John Wiley & Sons.
20. Kavandi, M., & Imani, A. (2009). Selection of Superior Genotypes of almond (*Prunus dulcis* Miller). *Seed and Plant Journal*, 25(3), 385-399. <https://doi.org/10.22092/spij.2017.110989>
21. Kester, D.E., Hansche, P.E., Beres, V., & Asay, R.N. (1977). Variance components and heritability of nut and kernel traits in almond1. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 102(3), 264-266. <https://doi.org/10.21273/JASHS.102.3.264>
22. Khadivi-Khub, A., & Etemadi-Khah, A. (2015). Phenotypic diversity and relationships between morphological traits in selected almond (*Prunus amygdalus*) germplasm. *Agroforestry Systems*, 89, 205-216. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9754-x>
23. Khadivi-Khub, A., & Osati, E. (2016). Evaluation of self-compatibility, flowering time and morphological variables in some almond genotypes to choose superiors. *Plant Production Technology*, 8(1), 103-124. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22084/ppt.2016.1764>

24. Khadivi, A., Mirheidari, F., & Moradi, Y. (2022). *Prunus arabica* (Olivier) Meikle, an important genetic resource for breeding of almond: Morphological and pomological characterizations. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 69(5), 1717-1730. <https://doi.org/10.1007/s10722-022-01361-2>
25. Kodad, O., & Socias i Company, R. (2008). Variability of oil content and of major fatty acid composition in almond (*Prunus amygdalus* Batsch) and its relationship with kernel quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(11), 4096-4101. <https://doi.org/10.1021/jf8001679>
26. Lansari, A., Iezzoni, A.F., & Kester, D.E. (1994). Morphological variation within collections of Moroccan almond clones and Mediterranean and North American cultivars. *Euphytica*, 78, 27-41. <https://doi.org/10.1007/BF00021395>
27. Melhaoui, R., Addi, M., Houmy, N., Abid, M., Mihamou, A., Serghini-Caid, H., Sindic, M., & Elamrani, A. (2019). Pomological characterization of main almond cultivars from the North Eastern Morocco. *International Journal of Fruit Science*, 19(4), 413-422. <https://doi.org/10.1080/15538362.2018.1552232>
28. Momenpour, A., Ebady, A., & Imani, A. (2011). Investigation of Vegetative and reproductive traits and their correlation in progeny obtained from crossing between cultivars Touno and Shahrood 12 of almond. *Journal of Horticultural Science*, 25(2), 218-233. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1390i0.10000>
29. Mousavi, S.A., Ghasemnezhad, M., Tatari, M., & Eskandari, S. (2020). Evaluation of phenotypic diversity of nut and kernel characteristics in some almond cultivars and promising genotypes. *Research in Pomology*, 5(1), 139-151. (In Persian with English abstract). https://rip.urmia.ac.ir/article_120954.html
30. Mousavi, S.A., Moghadam, M.R.F., Zamani, Z., & Eimani, A. (2010). Evaluation of quantitative and qualitative characteristics of some almond cultivars and genotypes. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 41(2), 119-131. (In Persian with English abstract)
31. Mousavi, S.A., Vatankhah, A., & Imani, A. (2024). Evaluation of important vegetative, phenological and pomological characteristics of 36 promising almond (*Prunus dulcis* L.) genotypes on GN15 vegetative rootstock. *Journal of Horticultural Science*, 38(4). (In Persian with English abstract)
32. Pica, A.L., Silvestri, C., & Cristofori, V. (2021). Evaluation of Phenological and agronomical traits of different almond grafting combinations under testing in Central Italy. *Agriculture*, 11(12), 1252. <https://doi.org/10.3390/agriculture11121252>
33. Ranjbar, A., & Imani, A. (2022). Grafting commercial cultivars of almonds on accurate rootstocks mitigates adverse effects of drought stress. *Scientia Horticulturae*, 293, 110-725. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110725>
34. Sorkheh, K., Shiran, B., Kiani, S., Amirbakhtiar, N., Mousavi, S., Rouhi, V., Mohammady, D.S., Gradziel, T.M., Malysheva-Otto, L.V., & Martínez-Gómez, P. (2009). Discriminating ability of molecular markers and morphological characterization in the establishment of genetic relationships in cultivated genotypes of almond and related wild species. *Journal of Forestry Research*, 20(3), 183-194. <https://doi.org/10.1007/s11676-009-0036-9>
35. Talhouk, S., Lubani, R., Baalbaki, R., Zurayk, R., AlKhatib, A., Parmaksizian, L., & Jaradat, A. (2000). Phenotypic diversity and morphological characterization of *Amygdalus* L. species in Lebanon. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 47, 93-104. <https://doi.org/10.1023/A:1008763021129>
36. Torkman, H., Imani, A., Talaii, A.R., & Mosavi, S. (2021). Genetic diversity and heritability of fruit traits and oil content in selected almond progenies and their parents. *Journal of Nuts*, 2(12), 75-88. <https://doi.org/10.22034/jon.2021.1872988.1062>
37. Vargas, F., Romero, M., Clavé, J., Alegre, S., & Miarnau, X. (2014). *Variedades de almendro* IRTA Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries, Tarragona, Spain.
38. Zahedi, M., Rasouli, M., Imani, A., Khademi, O., & Jari, S.K. (2023). Evaluation of quantitative, qualitative, and biochemical traits of almond offspring from controlled reciprocal crosses between 'Mamaei' and 'Marcona' cultivars. *Erwerbs-Obstbau*, 65(5), 1525-1543. <https://doi.org/10.1007/s10341-023-00900-0>
39. Zahedi, S.M., Abdelrahman, M., Hosseini, M.S., Yousefi, R., & Tran, L.S.P. (2020). Physical and biochemical properties of 10 wild almond (*Amygdalus scoparia*) accessions naturally grown in Iran. *Food Bioscience*, 37, 100721. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100721>

The Improvement of Germination, Growth and Biochemical Indices of *Echium amoenum* Fisch & Mey. under Different Light Qualities

R. Nabipour Sanjbod¹, E. Chamani^{1*}, Y. Pourbeyrami Hir¹

1- Department of Horticultural Sciences and Landscape Designing, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

(*- Corresponding author's Email: echamani@uma.ac.ir)

Received: 08 January 2025

Revised: 29 May 2025

Accepted: 09 June 2025

Available Online: 09 June 2025

How to cite this article:

Nabipour Sanjbod, R., Chamani, E., & Pourbeyrami Hir, Y. (2026). The improvement of germination, growth, and biochemical indices of *Echium amoenum* Fisch & Mey. under different light qualities. *Journal of Horticultural Science*, 39(3), 699-714. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91567.1404>

Introduction

Medicinal plants, as a valuable source of herbal medicines and bioactive compounds, are rapidly declining due to uncontrolled collection from nature. *Echium amoenum* Fisch & Mey belongs to the *Boraginaceae* family and has a special place in Iranian traditional medicine. This plant is native to Iran and has been used to treat many infectious and inflammatory diseases, as well as modern diseases related to stress and anxiety, for many years. However, low germination percentage and uneven germination are some of the obstacles to the growth and propagation of this valuable medicinal plant. Recently, it has been reported that LED light sources have significantly increased the germination of some medicinal species. The response of plants to light spectra depends on the plant species. However, blue and red light are more useful because green plant tissues more readily absorb them. Considering the medicinal importance of *E. amoenum*, the present study was conducted to improve the germination and growth characteristics under LED treatments.

Materials and Methods

This study was conducted at the University of Mohaghegh Ardabili in 2024. *E. amoenum* seeds were purchased from Pakan Bazr Company. After surface disinfection, the seeds were placed in Petri dishes containing wet filter paper and transferred to light chambers. Germination indices (germination percentage, speed of germination, mean daily germination, germination energy, seed efficiency, seedling efficiency, seedling vigor index, coefficient of velocity of germination, daily germination speed) were recorded for up to 21 days. Morphological indices (fresh weight of seedling, dry weight of seedling, shoot length, root length, percentage of root dry weight, percentage of shoot dry weight) were measured in 7-day-old seedlings. Then seedlings were transferred to the growing medium (peat moss and perlite), and the pots were placed in the same light chambers. After 4 weeks, biochemical indices (photosynthetic pigment content, total carbohydrate content, total protein content, and total phenol content) were evaluated. The experiment was conducted based on a completely randomized design with 4 treatments and 4 replications. The 4 light treatments included 100% white LED light (W), 100% blue LED light (B), 100% red LED light (R), and a combination of blue and red LED light (50:50, BR). The data were analyzed using SPSS Inc. version 16. Means were compared using Duncan's multiple range test at a 5% probability level. Graphs were drawn using Excel software.

Results and Discussion

The results of the present study revealed that red light (R) treatment significantly improved germination percentage, germination speed, mean daily germination, germination energy, seed efficiency, seedling efficiency, seedling vigor index, coefficient of velocity of germination, and blue light (B) application reduced the



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

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91567.1404>

germination of *E. amoenum* seeds. Similarly, *E. amoenum* growth characteristics, including fresh weight, dry weight, seedling length, root length, percentage of root dry weight, and percentage of shoot dry weight, increased under the positive effect of red LED light (R). Also, the blue light (B) application did not indicate any positive effect on growth indices. In biochemical indices, the application of a combination of blue and red light (BR) resulted in a significant increase in the content of photosynthetic pigments, total carbohydrate content, total protein content, and total phenol content. In addition, blue LED light (B) had a negative effect on biochemical indices compared to other treatments. In general, light quality changes can affect photosynthesis and energy production efficiency. Blue and red light are known to be the most effective wavelengths for plants, and their absorption peaks correspond to the absorption peaks of photosynthetic pigments. Therefore, their application alone and in combination can effectively increase the efficiency of photosynthesis, the synthesis of photosynthetic pigments, and the biosynthesis of macromolecules including carbohydrates and proteins. In addition, applying blue and red light increases phenolic compounds by increasing the production of enzymes related to plant secondary metabolism.

Conclusion

The observations of the present study showed that the seeds of *E. amoenum* are considered in the group of plant species that require light or are photoblastic positive. Hence, the application of red LED (R) can be considered an effective treatment to improve and increase the germination and growth characteristics of *E. amoenum* plant at the seedling stage. In the later stages of plant growth, the response of *E. amoenum* to light qualities was different. The combination of blue and red light (BR) was considered an effective treatment to increase the content of photosynthetic pigments, total carbohydrates, total proteins, and total phenols.

Acknowledgement

We would like to thank the University of Mohaghegh Ardabili for financial support.

Keywords: Chlorophyll, Germination percentage, Morphology, Phenol, Protein

بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی، رشدی و بیوشیمیایی گیاه گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch & Mey.) تحت کیفیت‌های مختلف نور

رقیه نبی‌پور سنجید^۱id - اسماعیل چمنی^{۱*}id - یونس پوربیرامی هیر^۱id

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۹

چکیده

گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch & Mey.) در طب سنتی ایران جایگاه ویژه‌ای دارد. یکی از موانع ازدیاد آن، درصد جوانه‌زنی پایین و غیریکنواخت آن است. اخیراً منابع نوری LED توانسته‌اند جوانه‌زنی گونه‌های دارویی را به‌طور چشمگیری افزایش دهند. از این‌رو، مطالعه حاضر برای بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشدی گاوزبان ایرانی تحت تیمارهای LED انجام شد. این آزمایش در محل آزمایشگاه گروه علوم باغبانی و فضای سبز دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۲ اجرا گردید. آزمایش براساس طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار و چهار تکرار انجام شد. چهار تیمار نوری شامل ۱۰۰ درصد نور سفید، ۱۰۰ درصد نور آبی، ۱۰۰ درصد نور قرمز و ترکیب نور آبی و قرمز (۵۰:۵۰) بود. گیاهان از نظر شاخص‌های جوانه‌زنی (درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه، انرژی جوانه‌زنی، کارایی بذری، کارایی گیاهچه، شاخص بنبه بذری، ضریب سرعت جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی روزانه)، ریخت‌شناختی (وزن تر دانه‌ها، وزن خشک دانه‌ها، طول ریشه، طول ساقه، درصد ماده خشک ریشه‌چه و درصد ماده خشک ساقه‌چه) و بیوشیمیایی (رنگیزه‌های فتوسنتزی، کربوهیدرات کل، پروتئین کل و فنل کل) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که نور قرمز، درصد جوانه‌زنی (۷۷ درصد)، سرعت جوانه‌زنی (۴/۴۴)، میانگین جوانه‌زنی روزانه (۱/۹۲)، انرژی جوانه‌زنی (۰/۸)، کارایی بذری (۷۶ درصد)، کارایی گیاهچه (۹۷/۶۱ درصد)، شاخص بنبه بذری (۷۰/۷۸ درصد) و ضریب سرعت جوانه‌زنی (۰/۲۱) را به‌طور قابل توجهی بهبود بخشید. به‌طور مشابه، ویژگی‌های رشدی گاوزبان از جمله وزن تر دانه‌ها (۰/۱۴ گرم)، وزن خشک دانه‌ها (۰/۰۵ گرم)، طول ساقه (۳/۴ سانتی‌متر)، طول ریشه (۵/۷ سانتی‌متر)، درصد ماده خشک ریشه‌چه (۳/۱۷ گرم) و درصد ماده خشک ساقه‌چه (۲/۳۹ گرم) تحت تأثیر مثبت نور قرمز افزایش یافتند. در شاخص‌های بیوشیمیایی، کاربرد ترکیب نوری آبی و قرمز منجر به افزایش معنی‌دار محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a ۶۰۳/۴۹ میکروگرم بر گرم وزن تر)، کلروفیل b ۳۱۳/۰۸ میکروگرم بر گرم وزن تر) و محتوای کارتنوئیدهای کل (۱۳۰/۹۸ میکروگرم بر گرم وزن تر)، کربوهیدرات کل (۱۹۲/۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، پروتئین کل (۲۸/۴۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و فنل کل (۲۰/۷۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) شد. نتایج نشان داد که بذور گاوزبان ایرانی در گروه فتوبیلاستیک مثبت قرار می‌گیرند. از این‌رو، کاربرد نور قرمز می‌تواند یک تیمار مؤثر برای بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشدی گاوزبان ایرانی در مرحله دانه‌ها در نظر گرفته شود. در مراحل بعدی رشدی گیاه، واکنش گاوزبان ایرانی به کیفیت‌های نوری متفاوت بود و ترکیب نور آبی و قرمز، به‌عنوان یک تیمار کارآمد برای بهبود شاخص‌های بیوشیمیایی در نظر گرفته شد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین، درصد جوانه‌زنی، فنل، کلروفیل، ریخت‌شناسی

مقدمه

گیاهان دارویی، بخش مهمی از تنوع زیستی طبیعی هستند. اخیراً اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت^۲ گزارش داده است که گیاهان

دارویی در سطح جهان به‌دلیل جمع‌آوری بی‌رویه از طبیعت به‌سرعت در حال کاهش هستند. در روزگار کنونی، نزدیک به ۸۰ درصد مردم جهان از گیاهان دارویی (مواد خام، محصولات فرآوری‌شده مانند داروها، داروهای گیاهی، دمنوش، لوازم آرایشی، شیرینی‌ها، مکمل‌های غذایی، حشره‌کش‌ها و غیره) به‌منظور مراقبت‌های سلامتی و

۱- گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(*) - نویسنده مسئول:

(Email: echamani@uma.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91567.1404>

بهداشتی خود استفاده می‌کنند (Catana et al., 2020). علاوه بر این، بخش اعظمی از داروهای طب مدرن و ترکیبات فعال جدید، بر پایه دانش طب سنتی به دست آمده است (Buso et al., 2020).

طب سنتی ایران (طب ایرانی) مجموعه‌ای از علوم و دانش‌هایی است که از طریق نسل‌ها منتقل گشته و مبتنی بر مشاهدات و تجربیات عملی است که از زمان‌های گذشته تا به امروز در تشخیص، پیشگیری و رفع بیماری‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر این، اطلاعات مربوط به طب سنتی ایران توانسته است مطالعات جدیدی که در مورد استفاده درمانی از گیاهان و عصاره‌های گیاهی انجام شده را توجیه کند. یکی از گونه‌های دارویی ارزشمند که در طب سنتی ایران جایگاه ویژه‌ای دارد، گیاه گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch & Mey) است (Buso et al., 2020).

گاوزبان ایرانی متعلق به تیره گیاهی *Boraginaceae* است. این گیاه چندساله به‌عنوان یک گیاه دارویی بومی ایران، به‌صورت وحشی در مناطق کوهستانی شمال ایران و منطقه قفقاز می‌روید. *E. amoenum* یک گیاه دارویی ارزشمند است که بیش از هزار سال جهت درمان بسیاری از بیماری‌های عفونی و التهابی مانند تبخال، عفونت‌های دهانی، سرماخوردگی، ذات‌الریه، تنگی نفس، گلودرد و سرفه مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این، به‌عنوان یک آرام‌بخش در درمان استرس و اضطراب کاربرد دارد (Jamnani et al., 2023). بذور گیاهان دارویی در شرایط طبیعی به‌سهولت جوانه می‌زند، اما جوانه‌زنی آن‌ها در شرایط زراعی و آزمایشگاهی اغلب با مشکلاتی مواجه می‌شود. این مسئله ممکن است به‌دلیل نیازهای بوم‌شناختی خاص هر گونه برای جوانه‌زنی و رشد گیاهچه یا سرعت جوانه‌زنی پایین بذور گیاهان دارویی باشد. در بذور *E. amoenum* نیز درصد جوانه‌زنی پایین و غیریکنواخت یکی از موانع ازدیاد و تکثیر این گیاه دارویی باارزش است. از این‌رو، شبیه‌سازی مصنوعی شرایط محیطی و اعمال تیمارهای بهبود جوانه‌زنی گاهی اوقات می‌تواند کلید موفقیت باشد (Jamnani et al., 2023).

جوانه‌زنی بذور فرآیندی است که به عوامل ژنتیکی و محیطی بستگی دارد (Solano et al., 2020). نور یک عامل محیطی است که با سه ویژگی طیف (کیفیت یا رنگ)، شدت (کمیت یا مقدار) و دوره نوری (مدت نور) مشخص می‌شود (Wang et al., 2021). جوانه‌زنی گیاهان از نظر نیاز نوری به سه گروه تقسیم می‌شود: فتوبلاستیک مثبت^۱ (نیازمند نور)، فتوبلاستیک منفی^۲ (بدون نیاز به

نور) و فتوبلاستیک خنثی^۳ (خنثی نسبت به نور) (Sharma et al., 2024).

اخیراً منابع نوری LED (دیودهای ساطع‌کننده نور^۴) در مراکز تولید و تکثیر گیاهان به‌شدت مورد توجه و استفاده پرورش‌دهندگان قرار گرفته‌اند و حتی در بسیاری از موارد، جایگزین منابع نوری سنتی (لامپ‌های فلورسنت، متال هالید و سدیم پرفشار) شده‌اند (Wang et al., 2021). LEDها طول عمر طولانی‌تر و خروجی حرارت کمی دارند و شدت و کیفیت نور در آن‌ها به‌راحتی قابل تنظیم است، بنابراین می‌توان با دستورالعمل‌های ویژه‌ای، واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاهان را با توجه به اهداف محققان و پرورش‌دهندگان تغییر داد. مطالعات نشان داده است که کیفیت نور با جوانه‌زنی بسیاری از گونه‌های گیاهان دارویی مرتبط است و طیف‌های رنگی نور می‌توانند جوانه‌زنی برخی گونه‌ها را به‌طور چشمگیری افزایش دهند (Sena et al., 2024).

پانیاگوا پاردو و همکاران (Paniagua Pardo et al., 2015) در مطالعات خود نشان دادند که کاربرد نور قرمز موجب افزایش جوانه‌زنی *Brassica oleracea* شده است. همچنین در مطالعات دیگری، کاربرد نور آبی چنین پاسخی را در گونه‌های *Stevia rebaudiana* (Simlat et al., 2016) و *Vicia faba* (Vasilean et al., 2018) ایجاد کرد. حتی در مواردی مشاهده شده است که طیف‌های رنگی از جوانه‌زنی بذور برخی گونه‌ها جلوگیری کرد، همان‌طور که نور آبی مانع از جوانه‌زنی *Trifolium subterraneum* شد (Costa et al., 2016).

آنچه مسلم است، پاسخ جوانه‌زنی گیاهان به طیف‌های رنگی به نوع گونه گیاهی بستگی دارد. با این حال، به‌دلیل اینکه نورهای آبی و قرمز به‌سهولت توسط بافت‌های سبز گیاهان جذب می‌شوند، کاربرد بیشتری دارند (McCree, 1971). با توجه به اهمیت دارویی گیاه گاوزبان ایرانی در طب سنتی و داروسازی، این مطالعه با هدف بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشدی تحت تیمارهای طیف‌های رنگی نور انجام شد.

مواد و روش‌ها

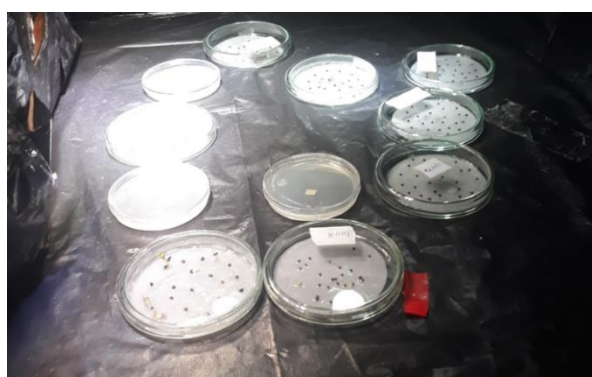
مواد گیاهی: مطالعه حاضر در محل آزمایشگاه گروه علوم باغبانی و فضای سبز دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۲ انجام شد. بذور گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch & Mey) از شرکت پاکان بذر اصفهان خریداری گردید. ضدعفونی سطحی بذور با استفاده از محلول

3- Neutral photoblastic
4- Light-emitting diodes

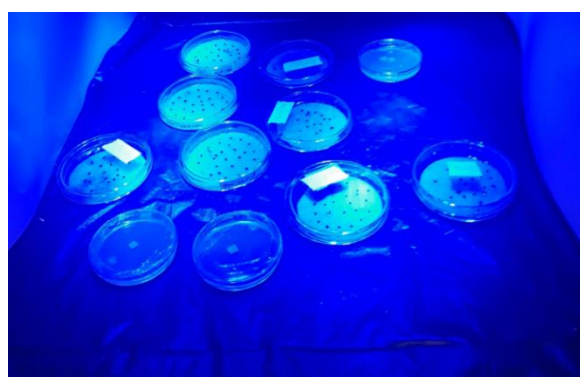
1- Positive photoblastic
2- Negative photoblastic

مدت زمان ۲۱ روز بررسی شدند. شاخص‌های ریخت‌شناختی در دانه‌های هفت‌روزه اندازه‌گیری شدند. سپس دانه‌ها در گلدان‌های پلاستیکی حاوی پیت ماس و پرلایت (۱:۱) کشت شده و در همان محفظه‌های نوری قرار گرفتند. گیاهان گاوزبان پس از گذشت چهار هفته از نظر شاخص‌های بیوشیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

سدیم هیپوکلریت (دو درصد) به پنج دقیقه انجام شد. بذور ضدعفونی شده در داخل پتری دیش محتوی کاغذ صافی مرطوب قرار گرفتند. برای هر تیمار چهار پتری دیش در نظر گرفته شد و درون هر پتری دیش تعداد ۲۵ عدد بذر (در مجموع ۱۰۰ عدد بذر برای هر تیمار) قرار گرفت. سپس پتری دیش‌ها به محفظه‌های نوری منتقل شدند. شاخص‌های جوانه‌زنی با خروج ریشه‌چه به طول دو میلی‌متر در



(الف)
(A)



(ب)
(B)



(ج)
(C)



(د)
(D)

شکل ۱- محفظه‌های نوری مورد استفاده برای تیمارهای آزمایشی

Figure 1- Light chambers used for experimental treatments

(الف) محفظه نور سفید (طول موج ۴۲۰-۶۸۰ نانومتر)، (ب) محفظه نور آبی (طول موج ۴۶۰-۴۷۰ نانومتر)، (ج) محفظه نور قرمز (طول موج ۶۲۰-۶۳۰ نانومتر)، (د) محفظه ترکیب نوری آبی و قرمز (با نسبت ۵۰:۵۰).

(A) white light (wavelength 420-680 nm), (B) blue light (wavelength 460-470 nm), (C) red light (wavelength 620-630 nm), and (D) blue and red light combination (with a ratio of 50:50) chambers.

به‌ترتیب در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۶ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. رطوبت نسبی محفظه‌های نوری ۶۰ درصد در نظر گرفته شد و فتوپریود در تمام محفظه‌های نوری ۱۶ ساعت روشنایی بود. چگالی جریان فوتون فتوسنتزی^۱ (PPFD) اندازه‌گیری شده در بالای تمام پتری دیش‌ها و گیاهان، ۲۰ میکرومول بر مترمربع ثانیه بود. لامپ‌های LED (۱۶ وات، ۱۲۰۰ × ۲۴ میلی‌متر) از شرکت پارس شهاب

تیمارهای نوری و شرایط آزمایشی: تیمارهای آزمایشی

مطالعه حاضر شامل چهار تیمار نوری (چهار محفظه نوری) به‌شرح زیر بود: ۱۰۰ درصد نور LED سفید یا W (طول موج ۴۲۰-۶۸۰ نانومتر، شکل ۱-الف)، ۱۰۰ درصد نور LED آبی یا B (طول موج ۴۶۰-۴۷۰ نانومتر، شکل ۱-ب)، ۱۰۰ درصد نور LED قرمز یا R (طول موج ۶۲۰-۶۳۰ نانومتر، شکل ۱-ج) و ترکیب نور LED آبی و قرمز یا BR (با نسبت ۵۰:۵۰، شکل ۱-د) بود. رژیم دمایی روز و شب

1- Photosynthetic Photon Flux Density

بیوشیمیایی مورد بررسی قرار گرفت. شاخص‌های بیوشیمیایی شامل تعیین محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، اندازه‌گیری محتوای کربوهیدرات کل، محتوای پروتئین کل و محتوای فنل کل بود.

برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی، یک گرم برگ تازه با استون ۱۰۰ درصد هموژن شد. سپس نمونه‌ها در شرایط تاریکی و دمای چهار درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۶ ساعت قرار گرفتند. پس از سانتریفیوژ (۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه)، جذب نمونه‌ها در مقابل استون ۱۰۰ درصد با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل SP-UV 200، شرکت Spectrum Instruments Limited، استرالیا) در سه طول موج ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۲ نانومتر قرائت شد. غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی (میکروگرم بر گرم وزن تر) با استفاده از معادله‌های ۱۰ تا ۱۲ محاسبه گردید (Lichtenthaler & Buschmann, 2005).

$$\text{Chlorophyll a} = C_a \text{ (}\mu\text{g/ml)} \quad (10)$$

$$= 11.24 \times A_{661.6} - 2.04 \times A_{644.8}$$

$$\text{Chlorophyll b} = C_b \text{ (}\mu\text{g/ml)} \quad (11)$$

$$= 20.13 \times A_{644.8} - 4.19 \times A_{661.2}$$

$$\text{Total carotenoids} = C_{(x+c)} \text{ (}\mu\text{g/ml)} \quad (12)$$

$$= \frac{(1000 \times A_{470} - 1.90C_a - 63.14C_b)}{214}$$

به‌منظور تعیین محتوای کربوهیدرات کل، دو گرم برگ گاوزبان در هاون ساییده شد و کربوهیدرات کل دو مرتبه با محلول اتانول ۸۰ درصد و چهار مرتبه با محلول اتانول ۷۰ درصد استخراج گردید. در هر مرتبه، پس از سانتریفیوژ (پنج دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه)، محلول‌هایی رویی جمع‌آوری و با یکدیگر ترکیب شدند. عصاره به‌دست‌آمده در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا اتانول تبخیر و محلول غلیظ شود. سپس یک میلی‌لیتر عصاره با پنج میلی‌لیتر معرف آنترون-اسیدسولفوریک مخلوط شد و به مدت ۱۰ دقیقه در بن ماری ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۳۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد. منحنی استاندارد گلوکز برای محاسبه اکسی‌والانت‌های گلوکز (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در هر نمونه مورد استفاده قرار گرفت. برای تهیه معرف آنترون-اسیدسولفوریک، دو گرم آنترون در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۹۵ درصد سرد حل شد (Omokolo Doumou et al., 1996).

برای اندازه‌گیری محتوای پروتئین کل، مقدار یک گرم بافت برگ تازه در محلول بافر فسفات (pH = 7) هموژن شد. سانتریفیوژ نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه و تحت دمای چهار درجه سانتی‌گراد انجام شد. پس از جداسازی محلول رویی، ۱۰۰ میکرولیتر از آن با پنج میلی‌لیتر محلول کوماسی برلیات بلو

ایران تهیه شد. هر پتل شامل ۹۶ لامپ LED بود. ولتاژ، جریان و فرکانس به‌ترتیب AC 85-220 v، ۱۰۰ میلی آمپر و ۶۰/۵۰ هرتز بود.

شاخص‌های جوانه‌زنی: برای ارزیابی شاخص‌های جوانه‌زنی

از معادله‌های ۱ تا ۹ استفاده شد (Bahrasemani et al., 2023; Sanoubar et al., 2018).

$$\text{Germination Percentage (GP)} \quad (1)$$

$$= \frac{\text{Total number of germinated seeds}}{\text{Total number of seeds per assay}} \times 100$$

$$\text{Speed of Germination (SG)} = \frac{n_1}{d_1} + \frac{n_2}{d_2} + \frac{n_3}{d_3} + \dots + \frac{n_i}{d_i} \quad (2)$$

که در آن، n: تعداد بذور جوانه‌زده و d: تعداد روزها است.

$$\text{Mean Daily Germination (MDG)} \quad (3)$$

$$= \frac{\text{Total number of germinated seeds}}{\text{Total number of days}}$$

$$\text{Germination Energy (GE)} \quad (4)$$

$$= \frac{\text{Percentage of germinated seeds at the starting day}}{\text{Total number of seeds per assay}}$$

$$\text{Seed efficiency} = \frac{\text{Number of normal seedlings}}{\text{Total number of seeds per assay}} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{Seedling efficiency} \quad (6)$$

$$= \frac{\text{Number of normal seedlings}}{\text{Total number of seedlings per assay}} \times 100$$

$$\text{Seedling Vigor Index (SVI)} = \frac{GP \times L}{100} \quad (7)$$

که در آن، L: میانگین طول دانه‌ال (میلی‌متر) است.

$$\text{Coefficient of Velocity of Germination (CVG)} \quad (8)$$

$$= \frac{G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n}{((1 \times G_1) + (2 \times G_2) + (3 \times G_3) + \dots + (n \times G_n))}$$

که در آن، G₁-G_n: تعداد بذور جوانه‌زده از اول تا پایان آزمون است.

$$\text{Daily Germination Speed (DGS)} = \frac{1}{MDG} \quad (9)$$

که در آن، MDG: میانگین جوانه‌زنی روزانه است.

شاخص‌های ریخت‌شناختی: در هر تکرار آزمایشی، ۱۰

دانه‌ال مورد ارزیابی قرار گرفت. صفات ریخت‌شناختی شامل وزن تر دانه‌ال (FW)، وزن خشک دانه‌ال (DW)، درصد ماده خشک ریشه چه (RDW)، درصد ماده خشک ساقچه‌چه (SDW)، طول دانه‌ال (SL) و طول ریشه (RL) بود. برای اندازه‌گیری وزن تر (گرم)، از ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی (مدل Semi-Micro Analytical Balances GR-200، شرکت A&D، ژاپن) با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم استفاده گردید. سپس اندام‌های مختلف در دستگاه آون با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و وزن خشک (گرم) آن‌ها اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری طول دانه‌ال (سانتی‌متر) و طول ریشه (سانتی‌متر) از خط کش استفاده شد.

شاخص‌های بیوشیمیایی: یک ماه پس از جوانه‌زنی، شش

برگ پایینی گیاهان گاوزبان ایرانی برداشت شد و از نظر مشخصه‌های

آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه گردید. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

شاخص‌های جوانه‌زنی: براساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، کیفیت نور به‌طور معنی‌داری شاخص‌های درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه، انرژی جوانه‌زنی، کارایی بذر، کارایی گیاهچه، شاخص بنیه بذر و سرعت جوانه‌زنی روزانه را در سطح احتمال یک درصد و همچنین ضریب سرعت جوانه‌زنی را در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر قرار داد.

با مقایسه میانگین نتایج مشخص شد که تیمار نوری آبی (B) جوانه‌زنی بذور گاوزبان ایرانی را کاهش داد. از سویی دیگر، دو تیمار نوری سفید (W) و ترکیب دو نور آبی و قرمز (BR) بر شاخص‌های درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه، انرژی جوانه‌زنی، کارایی بذر، کارایی گیاهچه، شاخص بنیه بذر، ضریب سرعت جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی روزانه تأثیر مشابهی داشتند. در این میان، نور LED قرمز (R) نسبت به سایر تیمارها، شاخص‌های درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه، انرژی جوانه‌زنی، کارایی بذر، کارایی گیاهچه، شاخص بنیه بذر و ضریب سرعت جوانه‌زنی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داد. اگرچه در افزایش شاخص‌های کارایی گیاهچه و ضریب سرعت جوانه‌زنی، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای نور R، W و BR مشاهده نشد (شکل ۲ و شکل ۳).

(Coomassie Brilliant Blue) مخلوط شد و سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت گردید. محتوای پروتئین محلول کل برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر با استفاده از منحنی استاندارد بویین سرم آلبومین (BSA) محاسبه گردید (Bradford, 1976).

استخراج ترکیبات فنلیک و تهیه عصاره متانولی طبق روش وانگ و همکاران (Wang et al., 2015) انجام شد و محتوای فنل کل با استفاده از معرف فولین سیوکالتیو (Folin-Ciocalteu) اندازه‌گیری گردید (Singleton et al., 1965). به این منظور، ۲۰ میکرولیتر از عصاره حاصل با ۱۵۸۰ میکرولیتر آب مقطر و ۱۰۰ میکرولیتر معرف فولین سیوکالتیو (۱:۱ رقیق شده) مخلوط شد. پس از یک دقیقه، مقدار ۱۵۰۰ میکرولیتر سدیم کربنات (۲۰ درصد) به مخلوط افزوده گردید و در دمای اتاق به مدت دو ساعت در شرایط تاریکی قرار گرفت. جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد و محتوای فنل کل برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر طبق منحنی استاندارد اسیدگالیک تعیین شد.

تجزیه و تحلیل آماری: این آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار (چهار پتری دیش محتوی ۲۵ عدد بذر در مرحله بررسی جوانه‌زنی و چهار گلدان پلاستیکی محتوی پنج دانهال در مرحله بررسی مشخصه‌های رشدی) اجرا شد. مطالعه حاضر حداقل دو بار با نتایج مشابه تکرار گردید. تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SPSS Inc نسخه ۱۶ انجام شد. میانگین‌ها طبق

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر کیفیت‌های نوری بر ویژگی‌های جوانه‌زنی گاوزبان ایرانی

Table 1- ANOVA for the effect of light qualities on the germination characteristics of *Echium amoenum*

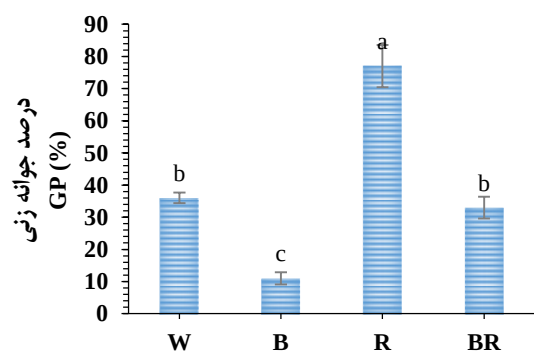
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares								
		درصد جوانه‌زنی GP	سرعت جوانه‌زنی SG	میانگین جوانه‌زنی روزانه MDG	انرژی جوانه‌زنی GE	کارایی بذر Seed efficiency	کارایی گیاهچه Seedling efficiency	شاخص بنیه بذر SVI	ضریب سرعت جوانه‌زنی CVG	سرعت جوانه‌زنی روزانه DGS
کیفیت نور Light quality	3	3030.33**	11.02**	1.93**	0.40**	3235.66**	2601.57**	3835.14**	0.002*	9.19**
خطا Error	12	61.66	0.20	0.03	0.01	47.66	246.52	85.71	0.0006	0.42
ضریب تغییرات CV (%)		20.00	21.55	20.05	31.20	18.78	19.77	35.75	13.90	37.14

** و * به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح یک و پنج درصد می‌باشد.

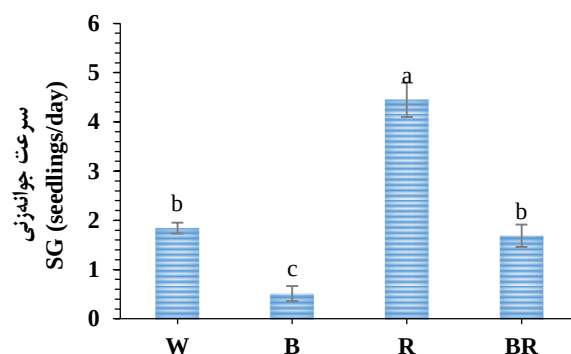
GP: درصد جوانه‌زنی، SG: سرعت جوانه‌زنی، MDG: میانگین جوانه‌زنی روزانه، GE: انرژی جوانه‌زنی، SVI: شاخص بنیه بذر، CVG: ضریب سرعت جوانه‌زنی، DGS: سرعت جوانه‌زنی روزانه.

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

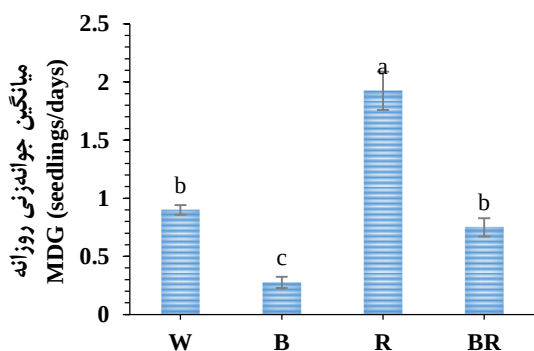
GP: germination percentage, SG: speed of germination, MDG: mean daily germination, GE: germination energy, SVI: seedling vigor index, CVG: coefficient of velocity of germination, DGS: daily germination speed.



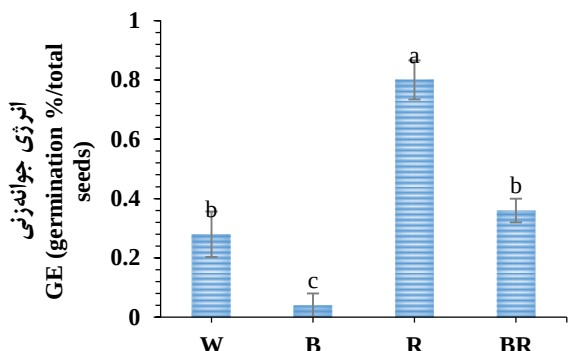
(الف)
(A)



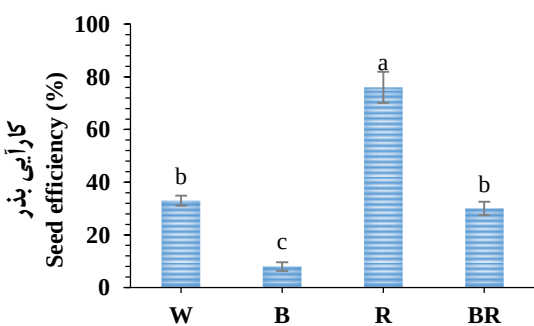
(ب)
(B)



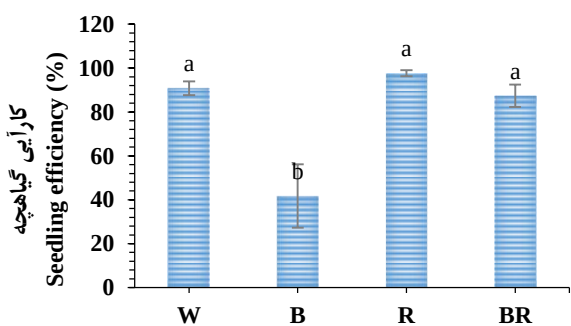
(ج)
(C)



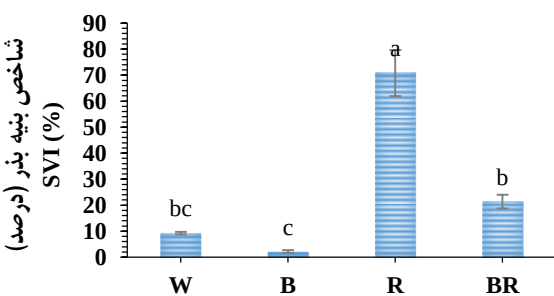
(د)
(D)



(ه)
(E)

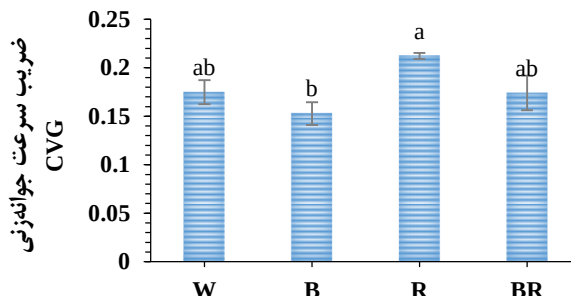


(و)
(F)



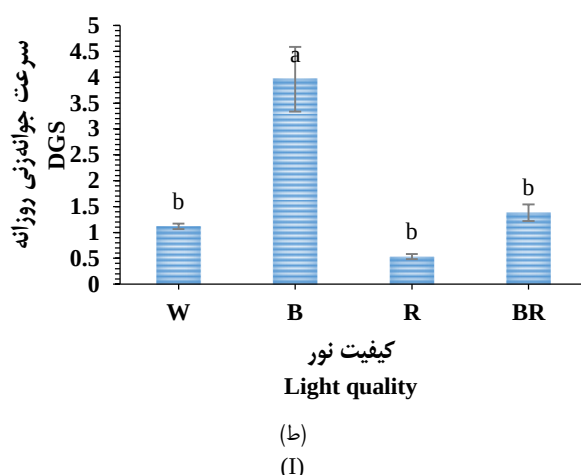
کیفیت نور
Light quality

(ز)
(G)



کیفیت نور
Light quality

(ح)
(H)



شکل ۲- تأثیر کیفیت‌های نوری بر ویژگی‌های جوانه‌زنی گاوزبان ایرانی

Figure 2- The effect of light qualities on the germination characteristics of *Echium amoenum*

(الف) درصد جوانه‌زنی، (ب) سرعت جوانه‌زنی، (ج) میانگین جوانه‌زنی روزانه، (د) انرژی جوانه‌زنی، (ه) کارایی بذر، (و) کارایی گیاهچه، (ز) شاخص بنیه بذر، (ح) ضریب سرعت جوانه‌زنی، (ط) سرعت جوانه‌زنی روزانه.

(A) germination percentage (GP), (B) speed of germination (SG), (C) mean daily germination (MDG), (D) germination energy (GE), (E) seed efficiency, (F) seedling vigor index (SVI), (H) coefficient of velocity of germination (CVG), (I) daily germination speed (DGS). (Error bars represent mean $\pm$ SE (n=4); DMRT, $p \leq 0.05$).

می‌گیرند (Wang et al., 2021). در مطالعه حاضر، اگرچه نور B درصد جوانه‌زنی را کاهش داد، کاربرد نورهای رنگی R، W و BR به ترتیب موجب تقویت جوانه‌زنی تا ۷۷، ۳۶ و ۳۳ درصد شد. علاوه بر این، نور قرمز کارایی بذر و گیاهچه، شاخص بنیه بذر و ضریب سرعت جوانه‌زنی را بهبود بخشید. این نتایج نشان می‌دهد که بذور گاوزبان ایرانی به طور متفاوتی به کیفیت نور پاسخ می‌دهند. مطابق با مطالعه حاضر، در آزمایش‌های وانگ و همکاران (Wang et al., 2021)، کاربرد نور قرمز چنین نتیجه مشابهی را در گیاه دارویی *Momordica charantia* L ایجاد کرد. علاوه بر این، در مطالعه پانیگوا پاردو و همکاران (Paniagua Pardo et al., 2015)، نور قرمز به طور قابل ملاحظه‌ای سرعت جوانه‌زنی را در *Brassica oleracea* L. داد. براساس مشاهدات، نور یک محرک مثبت بر جوانه‌زنی بذور گاوزبان ایرانی در نظر گرفته می‌شود و گیاه گاوزبان ایرانی متعلق به گروه گیاهان فتوبلاستیک مثبت است.

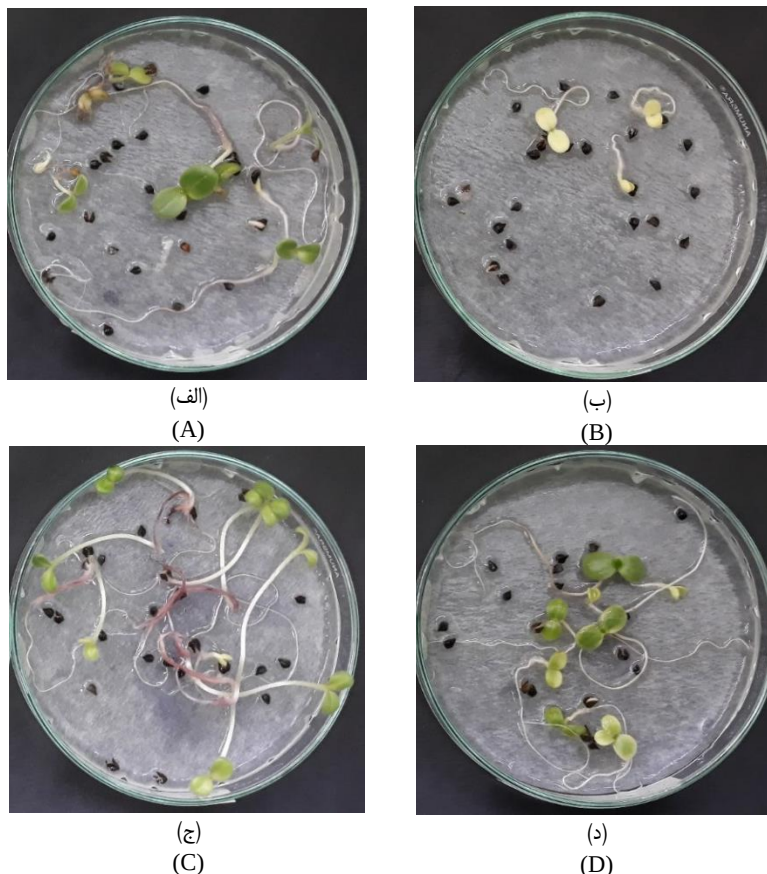
شاخص‌های رشدی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ویژگی‌های رشدی (وزن تر دانه‌ها، وزن خشک دانه‌ها، طول ساقه و طول ریشه، درصد ماده خشک ریشه‌چه و درصد ماده خشک ساقه-چه) گاوزبان ایرانی به طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تیمارهای LED قرار گرفت (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۴)، تیمار نوری قرمز (R) نسبت به سایر تیمارهای نوری به طور قابل توجهی وزن تر دانه‌ها (۱۴۹۸/۰ گرم)، وزن خشک دانه‌ها (۵۵۶/۰ گرم)، طول ساقه (۳/۴ سانتی‌متر)،

مطالعات پیشین نشان داده است که افزایش درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی دو عامل مهم در بهبود رشد اولیه گیاهچه‌ها، دستیابی به پوشش یکنواخت در مزارع، افزایش قدرت رقابت با علف‌های هرز و ... است (Baskin & Baskin, 2014). شاخص کارایی بذر و گیاهچه و شاخص بنیه بذر نیز به ترتیب با جوانه‌زنی و توانایی بذر در تولید گیاهچه طبیعی و جوانه‌زنی در شرایط نامساعد مرتبط است. همچنین ضریب سرعت جوانه‌زنی (CVG) نشان‌دهنده سرعت جوانه‌زنی است و ارزش آن زمانی افزایش می‌یابد که تعداد بذورهای جوانه‌زده افزایش و مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی کاهش یابد (Bahrasemani et al., 2023). بر این اساس، کاربرد تیمارهای بهبود جوانه‌زنی بذور گیاهان به‌ویژه در گیاهان دارویی می‌تواند در راستای اهداف مذکور سودبخش باشد. گیاهان دارویی با دارا بودن سازوکار خواب در بذور خود توانسته‌اند که سالیان متمادی بقاء خود را تضمین کنند (Baskin & Baskin, 2014). باین‌حال، اغلب اوقات وجود خواب در بذور گیاهان دارویی، مشکلات بزرگی را برای محققان و پرورش‌دهندگان به وجود می‌آورد. در مطالعات پیشین گزارش شده است که بذور گیاه گاوزبان ایرانی دارای خواب فیزیولوژیک هستند و درصد جوانه‌زنی پایین (۲۱ درصد) دارند، ازاین‌رو برای جوانه‌زنی به پیش تیمارهای ویژه‌ای نیازمند هستند (Jamnani et al., 2023).

نور نه‌تنها انرژی را برای فتوسنتز فراهم می‌کند، بلکه نمو ریخت‌شناختی گیاهان را تنظیم می‌کند. برخی فرآیندهای رشدونمو گیاهان مانند جوانه‌زنی، نمو دانه‌ها و القاء گل‌دهی تحت تأثیر نور قرار

مشاهده شد. در شاخص طول ریشه، ترکیب نوری آبی و قرمز (BR)، مشابه با نور R، منجر به افزایش طول ریشه شد (شکل ۵).

طول ریشه (۵/۷ سانتی‌متر)، درصد ماده خشک ریشه‌چه (۳/۱۷۲۵ گرم) و درصد ماده خشک ساقه‌چه (۲/۳۹ گرم) را افزایش داد. همچنین ضعیف‌ترین ویژگی‌های رشدی در تیمار نوری آبی (B)



(الف)
(A)

(ب)
(B)

(ج)
(C)

(د)
(D)

شکل ۳- دانهال‌های هفت‌روزه گاوزبان ایرانی

Figure 3- Seven-day-old seedlings of *Echium amoenum*

دانهال‌های رشدیافته تحت نورهای سفید (الف)، آبی (ب)، قرمز (ج) و ترکیب آبی و قرمز (د).

Seedlings grown under white (A), blue (B), red (C) and a combination of blue and red (D) lights.

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر کیفیت‌های نوری بر ویژگی‌های رشدی گاوزبان ایرانی

Table 2- ANOVA for the effect of light qualities on the growth characteristics of *Echium amoenum*

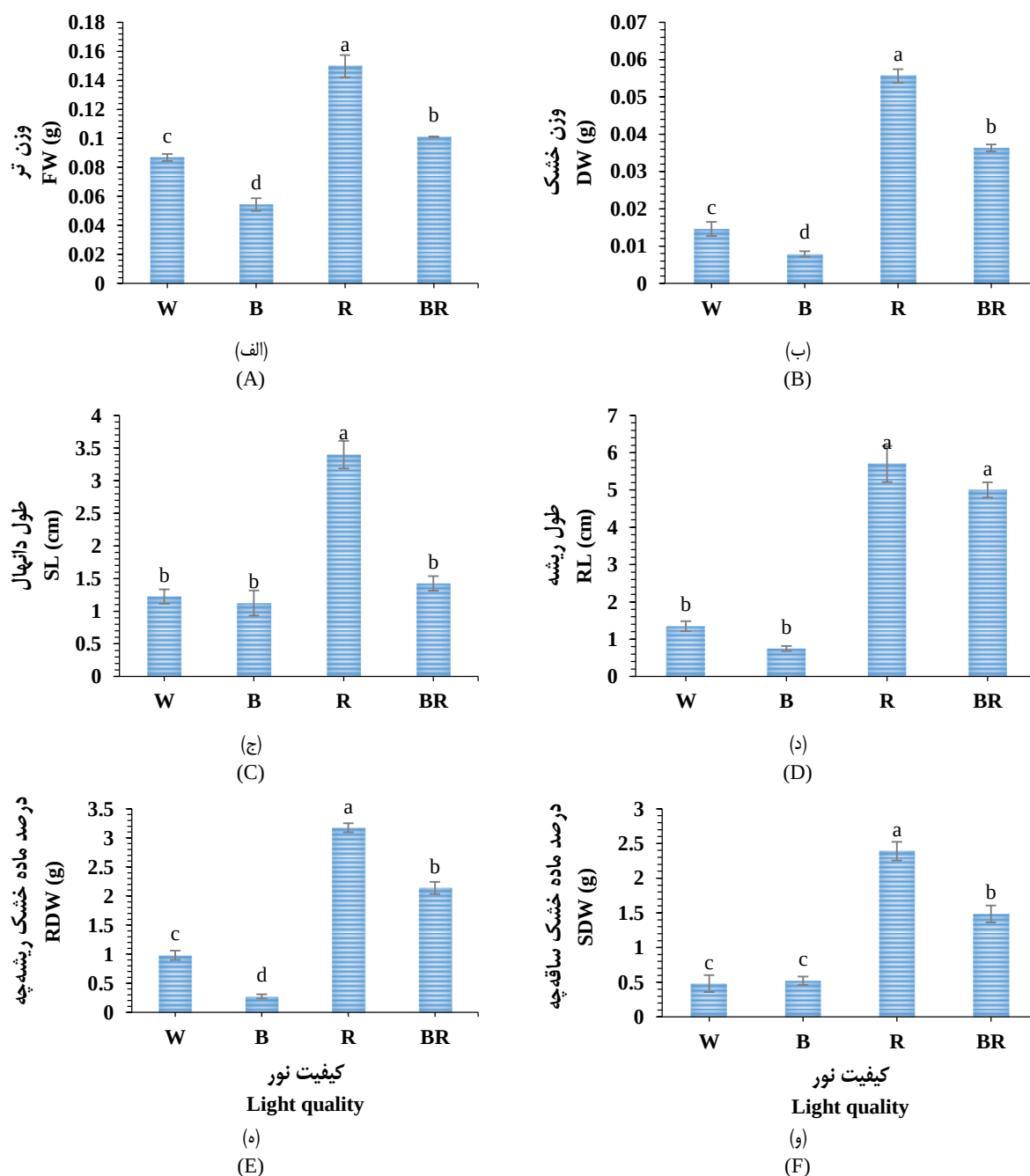
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares					
		وزن تر دانهال FW	وزن خشک دانهال DW	طول ساقه SL	طول ریشه RL	درصد ماده خشک ریشه‌چه RDW	درصد ماده خشک ساقه‌چه SDW
کیفیت نور Light quality	3	0.0063**	0.0018**	4.64**	25.22**	6.53**	3.30**
خطا Error	12	0.00008	0.000008	0.10	0.29	0.025	0.050
ضریب تغییرات CV (%)		9.36	10.02	18.22	17.02	9.55	18.52

** و * به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح یک و پنج درصد می باشد.

FW: وزن تر دانهال، DW: وزن خشک دانهال، SL: طول ساقه، RL: طول ریشه، RDW: درصد ماده خشک ریشه‌چه، SDW: درصد ماده خشک ساقه‌چه.

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

FW: fresh weight, DW: dry weight, SL: seedling length, RL: root length, RDW: root dry weight, SDW: shoot dry weight.



شکل ۴- تأثیر کیفیت‌های نوری بر ویژگی‌های رشدی گاوزبان ایرانی

Figure 4- The effect of light qualities on the germination characteristics of *Echium amoenum*

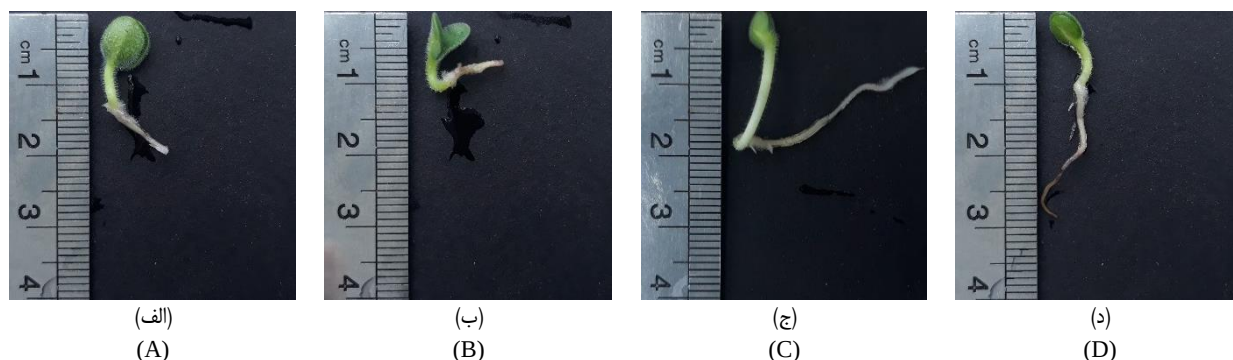
(الف) وزن تر، (ب) وزن خشک، (ج) طول دانه‌ال، (د) طول ریشه، (ه) درصد ماده خشک ریشه‌چه، (و) درصد ماده خشک ساقه‌چه.

(A) fresh weight, (B) dry weight, (C) seedling length, (D) root length, (E) root dry weight, (F) shoot dry weight.

(Error bars represent mean $\pm$ SE (n=4); DMRT, $p \leq 0.05$).

ساقه‌چه گیاه گاوزبان ایرانی در مرحله دانه‌الی تحت تأثیر نور قرمز (R) افزایش یافت، همان‌طور که در (Sharma *Lactuca sativa* L. et al., 2024) و (Li et al., 2022) نیز مشاهده شده است.

تغییرات در کیفیت و کمیت نوری می‌تواند بر کارایی فتوسنتز و به‌طور غیرمستقیم در دسترس بودن کربوهیدرات‌ها و انرژی برای رشد تأثیر بگذارد (Toldi et al., 2019). بر این اساس، وزن تر دانه‌ال، وزن خشک دانه‌ال، درصد ماده خشک ریشه‌چه و درصد ماده خشک



شکل ۵- تأثیر کیفیت‌های نوری بر شاخص طول دانهال و طول ریشه

Figure 5- The effect of light qualities on the seedling length and root length

دانهال‌های رشد یافته تحت نور (الف) سفید، (ب) آبی، (ج) قرمز و (د) ترکیب نوری آبی و قرمز seedlings grown under white(A), blue(B), red (C) and a combination of blue and red (D) lights.

گرم وزن تر)، پروتئین کل (۲۸/۴۶۲ گرم بر گرم وزن تر) و فنل کل (۲۰/۷۱۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) نیز تیمار ترکیبی نور آبی و قرمز (BR) تأثیر بیشتری نسبت به سایر تیمارها در افزایش شاخص‌های مذکور نشان داد. در این میان، تیمار نوری قرمز (R) محتوای کربوهیدرات و فنل کل را کاهش داد (شکل ۶).

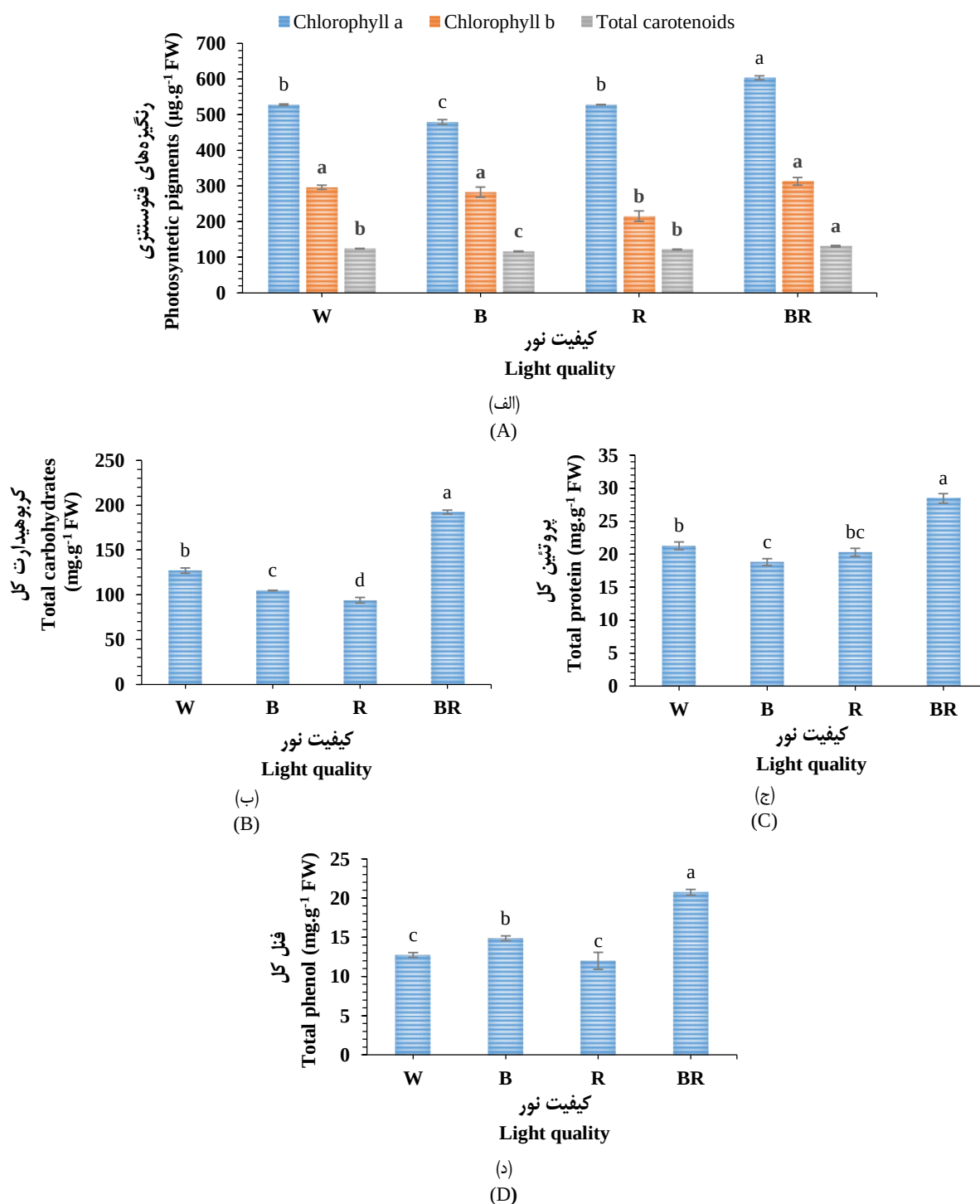
مطالعات نشان داده است که تأثیر تغییرات طیفی نور بر مشخصه‌های رشدی و بیوشیمیایی (علاوه بر گونه گیاهی) احتمالاً به مرحله رشدی گیاهان نیز وابسته است (Toldi et al., 2019). در مطالعه حاضر، شاخص‌های بیوشیمیایی با کاربرد ترکیب نور آبی و قرمز (BR) افزایش یافتند. نور قرمز و آبی بیشترین سهم از کل نور دریافتی توسط گیاهان را تشکیل می‌دهند و به‌عنوان تأثیرگذارترین طول موج‌ها در نظر گرفته می‌شوند (Li et al., 2022). کلروفیل و کاروتنوئیدها با جذب طیف نور آبی و قرمز موجب فتوسنتز در گیاهان می‌گردند (Johkan et al., 2010).

در این آزمایش، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تیمار نوری BR افزایش یافت. مطالعات نشان داده است که پیک جذب رنگیزه-های فتوسنتزی با پیک انتشار نورهای آبی و قرمز مطابقت دارد. از این رو، ترکیب این دو طیف نوری می‌تواند فتوسنتز را بهبود ببخشد (Lee et al., 2014)، همان‌طور که در *Lactuca sativa* L. cv. Banchu Red Fire (Johkan et al., 2010) و *Stevia rebaudiana* Bertonii (Simlat et al., 2016) مشاهده شده است. علاوه بر این، نور آبی در تشکیل کلروفیل و نمو کلروپلاست دخیل است (Simlat et al., 2016).

کربوهیدرات محلول، پروتئین‌های محلول و پلی‌فنل‌ها متابولیت‌های اولیه و ثانویه مهم گیاهان هستند که ثابت شده است برای سلامتی انسان مفید هستند. گزارش شده است که کیفیت نور، عامل مهمی است که بر سنتز و تجمع این متابولیت‌ها تأثیر می‌گذارد (Li et al., 2022).

از طرفی، نور قرمز اغلب موجب طولیل شدن ساقه و ریشه‌ها می‌شود. این اثرات در برخی گونه‌های گیاهی از جمله *Stevia rebaudiana* Bertonii (Simlat et al., 2016) و *Ocimum basilicum grandiflorum* (Kim et al., 2004) مشاهده شده است. به نظر می‌رسد که کاربرد نور قرمز می‌تواند با افزایش رشد اولیه ریشه و جذب آب و مواد مغذی، رشد ساقه را تسهیل کند (Solano et al., 2020). همان‌طور که در مطالعه حاضر و مطالعه کیم و همکاران (Kim et al., 2004) در گیاهچه‌های *Dendranthema grandiflorum* افزایش رشد ساقه و ریشه تحت تأثیر نور قرمز مشاهده شد. همچنین گزارش شده است که فیتوکروم‌ها، طول ریشه اولیه را با واسطه نور قرمز تنظیم می‌کنند (Li et al., 2022). با این حال در مطالعات پیشین، اثرات نور قرمز بر طولیل شدن ساقه متناقض به نظر می‌رسد. برخی گزارش‌ها حاکی از آن است که نور قرمز تک‌رنگ موجب عدم تعادل در توزیع انرژی برای فتوسیستم‌های I و II می‌شود که در نهایت از رشد ساقه جلوگیری می‌کند. در مجموع، به نظر می‌رسد که بسته به گونه گیاهی و مرحله رشدی، طولیل شدن ساقه را بتوان با فعل و انفعالات هم‌افزایی مختلف بین گیرنده‌های نور آبی/قرمز و فیتوکروم افزایش داد یا مهار کرد (Solano et al., 2020).

شاخص‌های بیوشیمیایی: براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تیمارهای نوری به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای کربوهیدرات کل، پروتئین کل و فنل کل مؤثر بودند (جدول ۳). تیمار نوری آبی (B) موجب کاهش قابل توجه محتوای کلروفیل a و کارتنوئید کل شد. دو تیمار نوری سفید (W) و قرمز (R) نتایج مشابهی را در مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان دادند. از طرف دیگر، تیمار ترکیبی نور آبی و قرمز (BR) منجر به افزایش قابل ملاحظه محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی شد. در سه شاخص محتوای کربوهیدرات کل (۱۹۲/۲۵ میلی‌گرم بر



شکل ۶- تأثیر کیفیت‌های نوری بر ویژگی‌های بیوشیمیایی گاوزبان ایرانی

Figure 6- The effect of light qualities on the biochemical characteristics of *Echium amoenum*

(الف) رنگیزه‌های فتوسنتزی، (ب) کربوهیدرات کل، (ج) پروتئین کل، (د) فنل کل.

(A) photosynthetic pigments, (B) total carbohydrates, (C) total protein, (D) total phenol. (Error bars represent mean $\pm$ SE (n=4). DMRT, $p \leq 0.05$).

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر کیفیت‌های نوری بر ویژگی‌های بیوشیمیایی گاوزبان ایرانی

Table 3- ANOVA for the effect of light qualities on the biochemical characteristics of *Echium amoenum*

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares					
		کلروفیل a CHL a	کلروفیل b CHL b	کاروتنوئید CAR	کربوهیدرات کل TC	پروتئین کل TP	فنل کل TPH
کیفیت نور Light quality	3	10508.867*	7332.871**	152.816**	7756.529**	73.718**	62.527**
خطا Error	12	75.336	559.326	8.695	23.554	1.493	1.489
ضریب تغییرات CV (%)		1.62	8.54	2.39	3.74	5.50	8.09

** و *: به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح یک و پنج درصد می باشد.

CHL a: کلروفیل a، CHL b: کلروفیل b، CAR: کاروتنوئید، TC: کربوهیدرات کل، TP: پروتئین کل، TPH: فنل کل.

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

CHL a: chlorophyll a, CHL b: chlorophyll b, CAR: carotenoid, TC: total carbohydrates, TP: total protein, TPH: total phenol.

کوآنزیم آ و کومارول کوآ، سنتز ترکیبات فنلی را افزایش می‌دهد (Qian et al., 2016).

نتیجه‌گیری

این مطالعه ویژگی‌های جوانه‌زنی، رشدی و بیوشیمیایی گیاه گاوزبان ایرانی را تحت منابع LED با طیف‌های مختلف نوری بررسی کرد. تیمار بذور گاوزبان ایرانی با نور قرمز (R) جوانه‌زنی را تقویت نمود. همچنین موجب افزایش وزن تر، وزن خشک، طول دانه‌ها و طول ریشه، درصد ماده خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه شد. در مقابل، تیمار نور آبی (B) جوانه‌زنی بذور گاوزبان ایرانی را کاهش داد و رشد را به‌شدت تحت تأثیر قرار داد. در مراحل بعدی رشدی، واکنش گیاه گاوزبان ایرانی به طیف‌های نوری متفاوت از مراحل دانه‌پالی بود. به‌طوری‌که، تحت تیمار نوری BR، بیشترین محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای کربوهیدرات کل، محتوای پروتئین کل و محتوای فنل کل به دست آمد. این مطالعه مبنایی برای دست‌ورزی طیف نوری و انتخاب نسبت مناسب نور آبی و قرمز با توجه به اهداف پرورش‌دهندگان فراهم کرد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح پسادکتری دانشگاه محقق اردبیلی با شماره قرارداد ۱۶۶ است. از دانشگاه محقق اردبیلی برای حمایت مالی تشکر و قدردانی می‌شود.

در این مطالعه، محتوای کربوهیدرات کل، پروتئین محلول و فنل کل تحت تیمار نوری BR بالاترین میزان بود. در برخی گونه‌های گیاهی مانند *Momordica charantia* L. (Wang et al., 2021) و *Cunninghamia lanceolata* (Xu et al., 2019) افزایش محتوای کربوهیدرات کل تحت نور BR گزارش شده است که ناشی از دخالت نور قرمز و آبی در بهبود فتوسنتز گیاهان، بیوسنتز کربوهیدرات‌ها و افزایش رشد است (Sharma et al., 2024).

با وجود اینکه پروتئین‌ها بر عملکرد فتوسنتزی تأثیر دارند، در مطالعات کیفیت نوری کمتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Bantis et al., 2016). مشابه با نتایج این مطالعه، محتوای پروتئین کل تحت تیمار BR در گیاه *Cunninghamia lanceolata* افزایش یافت. در گزارش‌ها مشخص شده است که نور آبی دارای انرژی فوتون بیشتری است و می‌تواند در سنتز ماکرومولکول‌هایی مانند پروتئین نقش داشته باشد. علاوه بر این، نور آبی، پروتئین پیرووات کیناز را در مسیر گلیکولیز افزایش می‌دهد (Xu et al., 2019).

تأثیر کیفیت نور بر متابولیسم ثانویه بسیاری از گونه‌ها بررسی شده و مشخص شده است که نور آبی به‌صورت تک‌رنگ و یا در ترکیب با تیمار نوری قرمز می‌تواند نقش مثبتی در سنتز و تجمع پلی‌فنل‌ها داشته باشد. این مورد در برخی گونه‌های گیاهی مانند *Fagopyrum* (Bantis et al., 2016)، *Ocimum basilicum* L. (Lee et al., 2014) و *Pisum sativum* L. (Liu et al., 2016) مشاهده شده است. همچنین با افزایش تولید مالونیل

References

1. Bahrasemani, S., Seyedi, A., Fathi, S., & Jowkar, M. (2023). Improvement of germination indices , growth , and biochemical characteristics of indigo seedlings under salinity stress due to seed priming with pistachio wood vinegar. *IRAnian Journal of Plant Biology*, 14(2), 43–64 (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22108/IJPB.2023.135181.1298>
2. Bantis, F., Ouzounis, T., & Radoglou, K. (2016). Artificial LED lighting enhances growth characteristics and total phenolic content of *Ocimum basilicum*, but variably affects transplant success. *Scientia Horticulturae*, 198, 277–283. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.11.014>
3. Baskin, C.C., & Baskin, J.M. (2014). Seeds: Ecology, biogeography, and, evolution of dormancy and germination. In Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-00597-X>
4. Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1–2), 248–254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
5. Buso, P., Manfredini, S., Ahmadi-Ashtiani, H.R., Sciabica, S., Buzzi, R., Vertuani, S., & Baldisserotto, A. (2020). Iranian medicinal plants: From ethnomedicine to actual studies. *Medicina (Lithuania)*, 56(3), 2014–2023. <https://doi.org/10.3390/medicina56030097>
6. Catana, R., Lazar, M., Holobiuc, I., & Florescu, L. (2020). Seed germination of some medicinal plant species for conservative purpose. *Romanian Biotechnological Letters*, 25(3), 1621–1627. <https://doi.org/10.25083/rbl/25.3/1621.1627>
7. Costa, A., Dias, A.S., Grenho, M.G., & Dias, L.S. (2016). Effects of dark or of red, blue or white light on germination of subterranean clover seeds. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(12), 853–864. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-06-774>
8. Jamnani, M.J., Holmelid, B., Vedeler, A., Parsian, H.H., Andersen, H.L., & Fossen, T. (2023). Natural Products from leaves of the ancient iraninan medicinal plant *Echium amoenum* Fisch. & C. A. Mey. *Molecules*, 28(1), 1–10. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.3390/molecules28010385>
9. Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S., Nosuke, & Yoshihara, T. (2010). Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *HortScience*, 45(12), 1809–1814. <https://doi.org/10.21273/hortsci.45.12.1809>
10. Kim, S.J., Hahn, E.J., Heo, J.W., & Paek, K.Y. (2004). Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets *in vitro*. *Scientia Horticulturae*, 101(1–2), 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.10.003>
11. Lee, S.W., Seo, J.M., Lee, M.K., Chun, J.H., Antonisamy, P., Arasu, M.V., Suzuki, T., Al-Dhabi, N.A., & Kim, S.J. (2014). Influence of different LED lamps on the production of phenolic compounds in common and Tartary buckwheat sprouts. *Industrial Crops and Products*, 54, 320–326. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.01.024>
12. Li, J., Guo, X., Zhang, S., Zhang, Y., Chen, L., Zheng, W., & Xue, X. (2022). Effects of light quality on growth, nutritional characteristics, and antioxidant properties of winter wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 13(September), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.978468>
13. Lichtenthaler, H.K., & Buschmann, C. (2005). *Chlorophylls and Carotenoids: Measurement And Characterization by UV-VIS Spectroscopy. Handbook of Food Analytical Chemistry*, 2–2(1), 171–178. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>
14. Liu, H.K., Chen, Y.Y., Hu, T.T., Zhang, S.J., Zhang, Y.H., Zhao, T.Y., Yu, H.E., & Kang, Y.F. (2016). The influence of light-emitting diodes on the phenolic compounds and antioxidant activities in pea sprouts. *Journal of Functional Foods*, 25, 459–465. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.06.028>
15. McCree, K.J. (1971). The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agricultural Meteorology*, 9(C), 191–216. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(71\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0002-1571(71)90022-7)
16. Omokolo Doumou, D., Ndzomo, T.G., & Djocgoue, P.F. (1996). Changes in carbohydrate, amino acid and phenol contents in cocoa pods from three clones after infection with *Phytophthora megakarya* Bra. and Grif. *Annals of Botany*, 77(2), 153–158. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0017>
17. Paniagua Pardo, G., Hernández Aguilar, C., Rico Martínez, F., Domínguez Pacheco, F.A., Martínez Ortiz, E., & Martínez González, C.L. (2015). Efecto de la luz led de alta intensidad sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de brócoli (*Brassica oleracea* L.). *Polibotánica*, 0(40). <https://doi.org/10.18387/polibotanica.40.13>
18. Qian, H., Liu, T., Deng, M., Miao, H., Cai, C., Shen, W., & Wang, Q. (2016). Effects of light quality on main health-promoting compounds and antioxidant capacity of Chinese kale sprouts. *Food Chemistry*, 196, 1232–1238. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.055>
19. Sanoubar, R., Calone, R., Noli, E., & Barbanti, L. (2018). Data on seed germination using LED versus fluorescent light under growth chamber conditions. *Data in Brief*, 19, 594–600. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.05.040>

20. Sena, S., Kumari, S., Kumar, V., & Husen, A. (2024). Light emitting diode (LED) lights for the improvement of plant performance and production: A comprehensive review. *Current Research in Biotechnology*, 7(November 2023), 100–184. <https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2024.100184>
21. Sharma, R.K., Bhatia, B., Chhibbar, A.K., Mukherjee, S., Ritika, K., Kumari, K., & Indu, S. (2024). Substitute of Light requirement for germination in positive photoblastic seeds of inula racemosa - a critically endangered medicinal and aromatic plant of North-Western Himalaya, India. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 50(3), 377–383. <https://doi.org/10.55863/ijees.2024.0015>
22. Simlat, M., Ślęzak, P., Moś, M., Warchoń, M., Skrzypek, E., & Ptak, A. (2016). The effect of light quality on seed germination, seedling growth and selected biochemical properties of Stevia rebaudiana Bertoni. *Scientia Horticulturae*, 211, 295–304. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.009>
23. Singleton, V.L., & Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158. <http://www.ajevonline.org/cgi/content/abstract/16/3/144>
24. Solano, C.J., Hernández, J.A., Suardíaz, J., & Barba-Espín, G. (2020). Impacts of LEDs in the red spectrum on the germination, early seedling growth and antioxidant metabolism of pea (*Pisum sativum* L.) and melon (*Cucumis melo* L.). *Agriculture (Switzerland)*, 10(6), 1–11. <https://doi.org/10.3390/agriculture10060204>
25. Toldi, D., Gyugos, M., Darkó, É., Szalai, G., Gulyás, Z., Gierczik, K., Székely, A., Boldizsár, Á., Galiba, G., Müller, M., Simon-Sarkadi, L., & Kocsy, G. (2019). Light intensity and spectrum affect metabolism of glutathione and amino acids at transcriptional level. *Plos ONE*, 14(12), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227271>
26. Vasilean, I., Cîrciumaru, A., Garnai, M., & Patrascu, L. (2018). The influence of light wavelength on the germination performance of legumes. *Annals of the University Dunarea de Jos of Galati, Fascicle VI: Food Technology*, 42(2), 95–108.
27. Wang, G., Chen, Y., Fan, H., & Huang, P. (2021). Effects of Light-Emitting Diode (LED) red and blue light on the growth and photosynthetic characteristics of *Momordica charantia* L. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 10(01), 1–15.
28. Wang, X., Li, C., Liang, D., Zou, Y., Li, P., & Ma, F. (2015). Phenolic compounds and antioxidant activity in red-fleshed apples. *Journal of Functional Foods*, 18, 1086–1094. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.06.013>
29. Xu, Y., Liang, Y., & Yang, M. (2019). Effects of composite LED light on root growth and antioxidant capacity of *Cunninghamia lanceolata* tissue culture seedlings. *Scientific Reports*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46139-2>

Comparison of the Effects of Chicken Manure and Blood Meal versus Chemical Fertilizer on the Growth Traits and Yield of Potatoes (*Solanum tuberosum* L.) under Deficit Irrigation Conditions

Kh., Parvizi^{1*}, A., Ghadami Firoozabadi², M., Khataar³, M. Ahmadian³

1- Horticulture Crops Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran

2- Agricultural Engineering Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran

3- Soil and Water Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran

(* - Corresponding author's Email: k.parvizi@areeo.ir)

Received: 04 February 2025

Revised: 25 May 2025

Accepted: 07 June 2025

Available Online: 07 June 2025

How to cite this article:

Parvizi, Kh., Ghadami Firoozabadi, A., Khataar, M., & Ahmadian, M. (2026). Comparison of the effects of chicken manure and blood meal versus chemical fertilizer on the growth traits and yield of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) under deficit irrigation conditions. *Journal of Horticultural Science*, 39(3), 715-733. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91970.1408>

Introduction

The limited amount of organic matter in most potato-growing soils in the country reduces their biological activity and limits the availability and absorption of some nutrients by plants (Khatar *et al.*, 2017). One of the most effective management strategies in this field is to maintain and enhance soil organic matter, as improving the physical and chemical conditions of the soil can greatly help increase yield and achieve sustainable agriculture. Given the limitations and high costs of livestock and poultry manure, which are key components of organic fertilizers in the country, efforts should focus on new organic sources such as blood meal, as blood meal is used in smaller amounts per unit area while providing higher nitrogen content to plants. Blood meal is also known as a growth stimulant due to its high amino acid content (Ciavatta *et al.*, 1997; Bhunia *et al.*, 2021). So far, limited studies have been conducted in the world to investigate the effects of blood meal for important agricultural products. Furthermore, there are very few experiments to investigate the effects of blood meal especially under irrigation deficit conditions. Therefore, this project aims to investigate the effects of using blood meal as a nitrogen-rich organic fertilizer under stress conditions on growth traits, as well as the quality and quantity of potato production in the country.

Materials and Methods

This research was conducted as a factorial experiment based on randomized complete block design at the Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (Ekbatan Agricultural Research Station). In this study, two potato cultivars, Bamba and Sante, were considered as the first factor at two levels. The irrigation water amount was examined at three levels (100, 75, and 50 percent of Cumulative Evapotranspiration from Class A Evaporation Pan). Additionally, fertilizer treatments at three levels; chemical fertilizer, poultry manure, and blood powder were considered as the other two factors. The application of chemical fertilizers, used as the control treatment, was based on soil test results. This treatment involved the use of 120 kg of pure nitrogen from a urea source (260 kg of urea fertilizer per hectare), along with 150 kg of triple superphosphate, 100 kg of potassium sulfate, and two applications of complete micro-fertilizers: one at the



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

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91970.1408>

flowering stage and another two weeks later. One third of urea fertilizer was applied at the planting, and the other two splits were applied as a top dress (the first application at the full coverage stage and the second application at the beginning of tuberization). It is worth mentioning that complete micro fertilizer injection was also performed in two simultaneous times in the blood meal and chicken manure treatments. The drip irrigation system was conducted as a tape type, and was placed at a depth of five to six centimeters on the ridge at the time of planting the tubers. The growth stage traits measured included: the time necessary to achieve 50% germination, date of full emergence, date of full coverage, number and length of stolons, leaf area index, fresh and dry weight of roots and stems, and finally, chlorophyll content, with the chlorophyll content being measured using the Gross method (Gross, 1999). At harvest time, the total yield was calculated and the tubers produced were separated into three sizes: seed, large, and small. Tuber dry matter percentage and water use efficiency were also measured. The resulting data were statistically analyzed using SAS 9.1 software, and treatment means were compared using Duncan's multiple range test with a five percent probability level.

Results and Discussion

The analysis of variance results showed that the main effects of irrigation levels and fertilizer treatment types were significant on all growth traits and yield. The effect of potato cultivar was also significant for most growth traits (except for leaf area index and chlorophyll content) as well as for yield. Interaction effect of irrigation levels and fertilizer treatment types were significant on other growing traits, including the time to reach full coverage, plant height at flowering time, number and length of stolons, chlorophyll content, leaf area index and fresh and dry weight of roots and stems. The main effects of cultivar and irrigation treatment were significant at the 1% level ($p \leq 0.01$) on tuber size and water use efficiency. The tuber dry matter percentage was not statistically affected by cultivar at the 5% level, but irrigation treatment had a significant effect on tuber dry matter percentage at the 5% level ($p \leq 0.05$). The type of fertilizer was significant on the average number of tubers in all three sizes, as well as water use efficiency at the 1% level ($p \leq 0.01$) and on yield and percentage of tuber dry matter at the 5% level ($p \leq 0.05$). None of the two-way interactions of cultivar $\times$ irrigation levels, cultivar $\times$ fertilizer type, and three-way interactions of cultivar $\times$ irrigation levels $\times$ fertilizer type were significant in tuber size, total yield, tuber dry matter percentage, and water use efficiency. However, the interaction effect of irrigation levels $\times$ fertilizer type was significant on tuber production in all three sizes, as well as tuber dry matter, total yield, and water use efficiency. An increase in the ratio of nitrogen to phosphorus leads to a relative increase in stolon length. While the opposite ratio leads to a decrease in stolon length. Establishing a proportional and balanced amount of these two elements and providing sufficient amounts of them depending on the nutritional needs of the potato leads to an increase in the number of stolons (Jackson, 1999). Recent research has demonstrated that chicken manure and blood meal are capable of significantly reducing stolon length and increasing their number under stress conditions. It seems that both of these types of organic fertilizers (blood meal and chicken manure) provide the potato plant with a balanced access of nitrogen to phosphorus under stress conditions, and by relatively increasing the stolon length and helping to increase its number, delay the potato plant's tuberization stage and achieve maximum storage capacity. Increased plant growth rate and faster canopy formation as a result of blood meal consumption, especially under deficit irrigation conditions, can be due to the low carbon to nitrogen ratio and zero lignin to nitrogen ratio, which results in faster mineralization and consequently more nitrogen provision in blood meal and increased nitrogen uptake efficiency in the plant. The increase in the number of tubers per plant in potato is positively correlated with the delay in entering flowering time and the increase in leaf area and stem growth in the stolon production stage before the start of tuberization (Menzel, 1985). In this study, blood meal had a positive effect on the fresh and dry weight of potato stems and roots, and also increased growth rate and created complete coverage in the stolon production stage. Therefore, blood meal had a positive effect on the number of tubers and ultimately the total yield. The results of this study demonstrated that under severe stress conditions, the use of blood meal positively impacted the number of tubers and total yield compared to chemical fertilizers (control) in deficit irrigation treatments. This was achieved by releasing amino acids and aiding in nutrient absorption. As a result, in conditions of severe stress, the use of blood meal regulates the effects of water stress and partially compensates adverse effects of deficit irrigation.

Conclusion

Overall, the results of this experiment indicated that using chicken manure and blood meal significantly enhanced the vegetative growth and yield of potatoes compared to chemical fertilizers. Moreover, under deficit irrigation conditions, these organic fertilizers proved to be more effective than chemical fertilizers. Therefore, the use of these two organic fertilizers, especially blood meal, can help mitigate yield reduction under water stress conditions.

Keywords: Fertilizer treatment, Growing Index, Reduction of water consumption, Sustainability of production

مقایسه اثرات کود مرغی و پودر خون با کود شیمیایی بر صفات رشد و عملکرد سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در شرایط کم‌آبیاری

خسرو پرویزی^{۱*} ID - علی قدمی فیروزآبادی^۲ - مهناز ختار^۳ - مهدی احمدیان^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۷

چکیده

جهت بررسی و مقایسه اثرات پودر خون و کود مرغی با کود شیمیایی بر صفات رشد، عملکرد کل و همچنین کارایی مصرف آب سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در شرایط کم‌آبیاری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۱۴۰۲ و در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان به اجرا درآمد. در این تحقیق، دو رقم سیب‌زمینی 'بانب' و 'سانته' در دو سطح به‌عنوان عامل اول و مقدار آب آبیاری در سه سطح (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی براساس تبخیر و تعرق از تشتک تبخیر کلاس A) و تیمارهای کودی در سه سطح کود شیمیایی، کود مرغی و پودر خون به‌عنوان دو عامل دیگر مد نظر قرار گرفتند. صفات مرحله داشت شامل زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی، تاریخ سبز شدن کامل، تاریخ پوشش کامل، شاخص‌های رشدی (میزان کلروفیل، ارتفاع بوته، تعداد و طول استولون، سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه و ساقه) اندازه‌گیری شدند. در هنگام برداشت، عملکرد کل برآورد شده و کارایی مصرف آب تعیین گردید. همچنین میزان ماده خشک غده نیز اندازه‌گیری گردید. با مقایسه میانگین تیمارهای آزمایش مشخص شد که میزان آبیاری و نوع تیمار کودی بر تمامی صفات رشد و همچنین عملکرد کل غده تأثیر معنی‌دار داشته‌اند. تفاوت معنی‌داری در استفاده از نوع رقم سیب‌زمینی در اغلب صفات رشد (به‌غیر از شاخص سطح برگ و میزان کلروفیل) و همچنین عملکرد کل غده به وجود آمد. با مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم × تیمارهای کودی مشخص شد که واکنش دو رقم سیب‌زمینی 'سانته' و 'بانب' به اثرات استفاده از نوع کود در تمامی صفات رشد و همچنین عملکرد کل غده مشابه بود. اما اثر تیمارهای کودی با سطوح مختلف آبیاری در تمامی صفات رشد، عملکرد و کارایی مصرف آب معنی‌دار نبود. به این ترتیب که کود مرغی و پودر خون در بهبود صفات رشد و عملکرد غده کل، در شرایط کم‌آبیاری نسبت به آبیاری نرمال تأثیر بیشتری نشان دادند؛ هرچند میزان تأثیرگذاری آن‌ها در مقایسه با همدیگر نیز متفاوت بود. در مجموع، با اعمال کم‌آبیاری و به‌ویژه با افزایش شدت تنش، صفات رشد و عملکرد کل سیب‌زمینی کاهش پیدا کردند، اما با کاربرد پودر خون و همچنین کود مرغی در مقایسه با کود شیمیایی اثرات نامطلوب کم‌آبیاری بر صفات رشد و همچنین عملکرد کل به‌صورت معنی‌داری جبران شده و حتی بهبود یافت. در شرایط تنش متوسط و شدید، کاربرد کود مرغی و پودر خون، عملکرد کل را در مقایسه با عدم استفاده از آن‌ها به‌ترتیب ۱۱/۷۴ و ۱۰/۷۶ درصد افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: پایداری تولید، تیمار کودی، شاخص رشد، کاهش مصرف آب

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza sativa*) و ذرت (*Zea mays*) قرار دارد. نظر به نقش و اهمیت سیب‌زمینی در تأمین انرژی و نیاز غذایی جهان، سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو) سال ۲۰۰۸ را سال سیب‌زمینی معرفی نمودند. یکی از ویژگی‌های مهم سیب‌زمینی در بین محصولات زراعی آن است که بیشترین میزان انرژی قابل استفاده در واحد سطح را در روز تولید می‌کند، به‌نحوی که با تولید ۲۱۶ مگاژول در هکتار در روز در مقابل ۱۵۹ مگاژول در ذرت، ۱۳۵ مگاژول در گندم و ۱۲۱ مگاژول در برنج در رتبه اول قرار دارد. همچنین بهره‌وری این محصول در میزان آب مصرفی در واحد سطح در مقایسه با ذرت ۱/۸ برابر و در مقایسه با گندم بیش از ۲/۵ برابر است، لذا نسبت به آب مصرفی بالاترین

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی بوده و از نظر اهمیت غذایی و تولید در جهان بعد از

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
۲- بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

۳- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

(*) نویسنده مسئول: Email: k.parvizi@areeo.ir

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91970.1408>

راندمن تولید انرژی را دارا می‌باشد (Hassan-Panah & Hassan-Abadi, 2018). وقوع خشکسالی‌های متعدد و مکرر در طی سال‌های اخیر، رشد جمعیت و نیاز به مواد غذایی بیشتر و مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی باعث کاهش میزان ماده آلی، افزایش شوری خاک و پایین آمدن قابلیت تولید در خاک‌های کشور از جمله استان همدان شده است. علاوه بر این بخش‌های وسیعی از دشت‌های استان همدان به‌طور چشمگیری با آلودگی روزافزون سفره‌های زیرزمینی به نترات روبه‌رو شده است. از سوی دیگر، به‌دلیل تغییر شرایط آب‌وهوایی و وجود تشکیلات آهکی، بخش عمده‌ای از خاک‌های کشور، دارای آهک و pH بالایی بوده و در مقابل، مقدار ماده آلی محدودی دارند. این شرایط موجب می‌شود تا قابلیت دسترسی و جذب برخی عناصر غذایی برای گیاهان با محدودیت مواجه شود (Khatar et al., 2017). یکی از مؤثرترین راهکارهای مدیریتی در این زمینه، حفظ و ارتقاء مواد آلی خاک است، زیرا بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک می‌تواند تا حدود زیادی به افزایش عملکرد و رسیدن به کشاورزی پایدار کمک کند. به‌دلیل محدودیت و هزینه‌های بالای کودهای دامی و مرغی که به‌عنوان بخش عمده‌ای از کودهای آلی در کشور مورد استفاده قرار می‌گیرند، باید تلاش شود تا از منابع آلی جدیدی همچون پودر خون بهره‌مند شد که به‌مقدار کمتر در واحد سطح مورد استفاده قرار می‌گیرد و در عین حال محتوای نیتروژن بالاتری را در اختیار گیاه قرار می‌دهد. این کود آلی از ضایعات کشتارگاه‌ها تولید شده و دارای pH اسیدی است و با داشتن مقدار بالایی از عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و آهن در مقایسه با سایر کودهای آلی از جمله کود مرغی (میزان نیتروژن و آهن پودر خون تقریباً سه برابر بیشتر و مقدار pH آن دو واحد کمتر از کود مرغی است) می‌تواند ارجحیت داشته باشد. همچنین به‌دلیل بالا بودن میزان اسیدهای آمینه، این کود به‌عنوان ماده تحریک‌کننده رشد شناخته می‌شود. بنابراین استفاده از این ماده علاوه بر تولید محصول سالم، می‌تواند در جهت رسیدن به کشاورزی پایدار، بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و افزایش عملکرد محصولات کشاورزی مؤثر باشد. از طرف دیگر، بوی این ماده موجب دفع بعضی از آفات می‌شود. در آزمایش‌های مختلف، مزیت مصرف کودهای آلی نسبت به کودهای شیمیایی جهت کشت گیاهان مورد اثبات قرار گرفته است. از جمله مواد آلی جدیدی که امروزه جهت تأمین برخی مواد غذایی مورد نیاز گیاه معرفی شده، پودر خون می‌باشد (Bhuniah et al., 2021; Ciavatta et al., 1997).

قربانزاده و همکاران (Ghorbanzade et al., 2008) اثر نیتروژن و آهن پودر خون در سه سطح ۱/۵، ۳ و ۶ تن در هکتار را بر گیاه ذرت بررسی کرده و نشان دادند که کاربرد پودر خون یک ماه قبل از کاشت گیاه ذرت، ضمن تأمین نیازهای نیتروژن و آهن ذرت، بر رشد

آن تأثیری مثبت داشت. در آزمایشی دیگر، از سه منبع پودر خون، سکسترین آهن و سولفات آهن با سطوح ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک آهکی استفاده شد. نتایج حاکی از آن بود که سولفات آهن تأثیری کمی بر آهن عصاره‌گیری‌شده از خاک داشت، ولی سکسترین آهن آن را به‌میزان بسیار معنی‌داری افزایش داد. میزان این تأثیر ثابت بود و تابعی از زمان نبود. این در حالی است که تیمارهای حاوی پودر خون، آهن قابل عصاره‌گیری خاک را به‌صورت معنی‌داری نسبت به شاهد، سولفات آهن و سکسترین آهن افزایش داد (Ejraei & Karimian, 2008). محصلی و فرهود (Mohasseli & Farbood, 2019) استفاده از پودر خون به‌جای سکسترین آهن در چهار سطح صفر، ۰/۷۵، ۱/۵ و ۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک را در گیاه دارویی بادرنجویه مورد بررسی قرار دادند و بیان داشتند که پودر خون سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک، غلظت آهن، کلروفیل، کارتنوئیدها و عملکرد اسانس در گیاه بادرنجویه شد. حداکثر وزن خشک گیاه ۱۴۱/۴ گرم در گلدان در شرایط مصرف کود آهن و پودر خون به‌ترتیب به‌میزان ۲/۵ میلی‌گرم و ۱/۵ گرم در کیلوگرم به دست آمد. مصرف پودر خون در سطح اول، دوم و سوم به‌ترتیب سبب ۱۳/۸، ۶/۸ و ۱۱/۷ درصد افزایش در غلظت آهن گیاه شد. کاربرد آهن و پودر خون به‌ترتیب به‌میزان پنج میلی‌گرم و سه گرم در کیلوگرم خاک سبب افزایش ۲۴۱/۷ درصد میزان اسانس گیاه نسبت به شاهد گردید. همچنین مصرف همین میزان آهن و پودر خون موجب تولید حداکثری عملکرد اسانس (۳۰۸/۵ درصد افزایش نسبت به شاهد) شد. سولومن (Solomon, 2004) بیان داشت که در میان کودهای آلی، پودر خون حاوی مقدار بالایی نیتروژن قابل حل در آب است که می‌تواند به‌راحتی در اختیار گیاه قرار گیرد. کونینگ و جانسون (Koenig & Johnson, 1999) اظهار داشتند که پودر خون نسبت به سایر کودهای آلی، با سرعت بیشتری تجزیه می‌شود و شدت رهاسازی عناصر در شرایط گرم و مرطوب بالاتر است. درصد زیادی از نیتروژن پودر خون به‌صورت آمونیوم تبدیل می‌شود که این امر اسیدیته (pH) خاک را کاهش داده و اثر مثبتی بر جذب عناصر غذایی دارد. بخش عمده‌ای از کودهای شیمیایی نیتروژنه از طریق نترات‌زدایی و آبشویی از دسترس گیاه خارج می‌شوند، درحالی‌که با استفاده از کودهای آلی همچون پودر خون این روند کاهش یافته و علاوه بر راندمن بالای آن نسبت به کودهای شیمیایی، از آلوده‌شدن آب‌های زیرزمینی نیز جلوگیری می‌کند.

در حال حاضر، هر کیلوگرم کود مرغی با قیمت تقریبی ۵۰-۶۰ هزار ریال، در دسترس‌ترین و پرمصرف‌ترین کود آلی است که براساس عرف کشاورز به‌میزان ۱۰ تن در هکتار در زمین‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجاکه بالاترین میزان مصرف

پودر خون در این پروژه شش تن در هکتار است و از سوی دیگر، قیمت هر کیلو پودر خون ۱۲۰-۱۰۰ هزار ریال می‌باشد، بنابراین تفاوت قابل ملاحظه‌ای از نظر قیمت تمام‌شده بین مصرف این دو کود آلی در واحد سطح وجود ندارد. لذا لازم است که بررسی این ماده جدید به‌عنوان تأمین‌کننده نیتروژن، برای محصولات عمده کشاورزی که نقش راهبردی در کشور دارند، با دقت نظر بیشتری انجام شود. با توجه به مطالب ذکرشده، استفاده از پودر خون در صورت موفقیت پروژه، علاوه بر بازچرخانی ضایعات کشتارگاه‌های صنعتی و کمک به افزایش ماده آلی خاک، راهگشای بسیاری از مسائل و معضلات تولید محصول سیب‌زمینی در کشور خواهد بود و علاوه بر افزایش عملکرد و ارتقاء قدرت جذب عناصر غذایی، تا حدودی در تعدیل تنش‌های محیطی نیز اثرگذار است. همان‌طوری که قبلاً ذکر گردید، تاکنون مطالعات کمتری در زمینه بررسی اثرات پودر خون و تعیین میزان مصرف مورد نیاز برای محصولات مهم کشاورزی در مقایسه با کود مرغی و سایر کودهای آلی در دنیا انجام شده است. ضمن اینکه در خصوص بررسی اثرات پودر خون (به‌ویژه در شرایط کم‌آبایی) و مقایسه آن با کود مرغی بر عملکرد و صفات رشد سیب‌زمینی آزمایش‌ها نسبتاً محدودتر می‌باشد. بنابراین لازم بود که اثرات استفاده از پودر خون به‌عنوان منبع کود آلی غنی از نیتروژن بر صفات رشد و همچنین کیفیت و کمیت تولید این محصول مهم در کشور در قالب این پروژه مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان (ایستگاه تحقیقات کشاورزی اکباتان) و به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی به اجرا درآمد. در این تحقیق، دو رقم سیب‌زمینی 'بانا' و 'سانته' به‌عنوان عامل اول و مقدار آب آبیاری در سه سطح (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد تبخیر تجمعی از تحت تبخیر کلاس A) به‌عنوان عامل دیگر و سه سطح کود شیمیایی، کود مرغی و پودر خون به‌عنوان عامل سوم مد نظر قرار گرفتند. با توجه به تعداد سطوح عامل‌ها (۳×۳×۲)، تعداد کل کرت‌ها در هر بلوک آزمایشی ۱۸ عدد بود، لذا در مجموع، طرح با ۵۴ کرت آزمایشی اجرا گردید. هر کدام از کرت‌ها به‌طول ۱۰ متر و عرض

۳ متر بوده و کاشت غده‌ها به‌صورت ردیفی و فاصله بوته و ردیف ۷۵×۲۵ انجام شد. کود شیمیایی (شاهد) براساس آزمون خاک مصرف گردید. کود مرغی و پودر خون به‌ترتیب در دو میزان ۱۰ و ۶ تن در هکتار مورد استفاده قرار گرفت. تیمار کود شیمیایی با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن خالص با منبع اوره (۲۶۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار)، ۱۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل، ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم سولفات و دو نوبت تزریق کود میکرو کامل در مرحله گل‌دهی و دو هفته پس از آن انجام شد. یک سوم کود اوره در هنگام کاشت و دو قسمت دیگر به‌صورت سرک و در مراحل داشت (نوبت اول در مرحله پوشش کامل و نوبت دوم در شروع غده‌زایی) مورد استفاده قرار گرفت. قابل ذکر اینکه تزریق کود میکرو کامل در دو نوبت به‌صورت همزمان در تیمارهای پودر خون و کود مرغی نیز انجام شد. سیستم آبیاری به‌صورت قطره‌ای و نوار تیپ در عمق پنج تا شش سانتی‌متری بر روی پشته و در هنگام کاشت غده‌ها قرار گرفت. غده‌های بذری مورد استفاده قبل از کاشت با استفاده از قارچ‌کش کاربندازیم با نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند.

جهت اجرای عملیات آماده‌سازی زمین، ابتدا زمین مورد نظر شخم شده و سپس به‌وسیله روتوشیپر جهت خرد شدن کلوخه‌ها بر روی آن عملیات خاک‌ورزی صورت گرفت. قبل از کاشت نمونه خاک از محل آزمایش تهیه و در معرض هوا خشک شده و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن از جمله فسفر قابل جذب به‌روش اولسون و همکاران (Olsen et al., 1954) و اندازه‌گیری با استفاده از دستگاه جذب اتمی، بافت به‌روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986)، پتاسیم قابل جذب توسط عصاره‌گیری با استات آمونیومیک نرمال (Nelson & Sommers, 1982) و واکنش و هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل اشباع تعیین شد (جدول ۱).

جهت محاسبه نیاز آبیاری، ابتدا با استفاده از رابطه پنمن مانتیث اصلاح‌شده، تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o) محاسبه گردید. سپس با در نظر گرفتن ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد و راندمان آبیاری، نیاز آبیاری با استفاده از معادله‌های ۱ و ۲ محاسبه شد.

$$Di = \left(\frac{Etc - Pe}{Ei} \right) \quad (1)$$

$$Etc = Kc \times Eto \quad (2)$$

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک قبل از کاشت در محل اجرای آزمایش

Table 1-Physico-chemical properties of the soil before planting

بافت Texture	EC (dS.m ⁻¹)	pH	فسفر قابل استفاده Available P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب Available K (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن Nitrogen (%)	کربن آلی Organic carbon (%)
لوم رسی Clay loam	1.7	7.8	4.2	342.6	0.38	0.57

که در آن، Etc: تبخیر و تعرق گیاهی (میلی‌متر)، Kc: ضریب گیاهی ضریب، ETo: تبخیر و تعرق پتانسیل، Di: میزان نیاز آبیاری (میلی‌متر)، Ei: راندمان آبیاری و Pe: میزان بارندگی مؤثر (میلی‌متر) است.

آبیاری به صورت قطره‌ای نواری با لوله‌های ۱۶ میلی‌متری با فاصله قطره‌چکان‌های ۳۳ سانتی‌متر و دبی ۱/۶ لیتر بر ساعت در فشار ۱/۲ بار بر روی پشته‌ها صورت گرفت. مقدار آب مصرفی توسط کنتورهای کالیبره شده اندازه‌گیری شد. به منظور محاسبه کارایی مصرف آب آبیاری از معادله ۳ استفاده شد.

$$WUE = \frac{Yield}{I} \quad (3)$$

که در آن، WUE، شاخص کارایی مصرف آب، Yield: عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم و I: حجم آب آبیاری می‌باشد.

از صفات مرحله داشت شامل زمان کسب ۵۰ درصد جوانه‌زنی، تاریخ سبز کرد کامل، تاریخ پوشش کامل، ارتفاع بوته در گل‌دهی، میزان کلروفیل، تعداد و طول استولون، سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه و ساقه اندازه‌گیری به عمل آمد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک ساقه و ریشه در زمان رسیدن به پوشش کامل بوته در روی ردیف (حدود ۴۰ روز پس از کشت) به صورت تصادفی و با رعایت حاشیه یک ردیف از هر پلات و یک متر از ابتدا و انتهای هر پلات به صورت تصادفی دو بوته انتخاب و به طور کامل برداشت شدند.

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل، در هنگام اندازه‌گیری سطح برگ (حدود دو هفته پس از پوشش کامل) ۰/۵ گرم برگ تازه (برگ‌های کاملاً توسعه یافته) انتخاب شده و کاملاً در یک هاون چینی با پنج میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد مخلوط و سپس سانتریفیوژ گردید (۳۰۰۰ دور در دقیقه). پس از سانتریفیوژ محلول رویی برداشته و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، جذب آن در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد. در نهایت غلظت کلروفیل‌های a و b و کل بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ و به روش گراس (Gross, 1991) محاسبه شد. رکوردگیری در مرحله برداشت به صورت انتخاب واحدهای یک مترمربعی و به صورت تصادفی در دو نقطه از هر رقم و تیمار مربوطه انجام شد. در محصول برداشتی، غده‌ها براساس اندازه آن‌ها در گروه‌هایی با اندازه کوچک‌تر از ۳۵، ۳۵-۵۵ و بزرگ‌تر از ۵۵ میلی‌متر تقسیم‌بندی شده و توزین و شمارش گردید.

برای تعیین درصد ماده خشک غده، برش‌های نازک از چهار غده متوسط (۸۰-۴۰ میلی‌متر) از هر رقم تهیه شده و به صورت جداگانه در داخل آون به ۴۸ ساعت و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و از طریق معادله ۴ اندازه‌گیری شد.

$$= \text{درصد ماده خشک} \quad (4)$$

$100 \times (\text{وزن غده اولیه} / \text{وزن غده پس از خشک شدن})$

جهت آنالیز داده‌های حاصل از صفات مختلف و تجزیه و تحلیل آن‌ها از نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده شد. مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد محاسبه گردید. تجزیه واریانس بر روی کلیه داده‌های حاصل از آزمایش شامل صفات رشد و همچنین عملکرد، ماده خشک غده و کارایی مصرف آب صورت گرفت. پس از انجام آزمون نرمال بودن داده‌ها و تست اشتباهات آزمایشی بر روی داده‌های حاصل از صفات مورد بررسی براساس آزمون بارتلت، تجزیه واریانس انجام و میانگین مربعات نیز براساس امید ریاضی مورد آزمون قرار گرفت.

نتایج و بحث

الف- صفات رشد

نتایج تجزیه واریانس صفات رشد (جدول ۲) نشان داد که هیچ‌کدام از اثرات سطوح آبیاری، کود شیمیایی و کود مرغی و پودر خون بر زمان لازم تا کسب ۵۰ درصد جوانه‌زنی و نیز سبزکرد کامل معنی‌دار نشدند. اما اثرات سطوح آبیاری و نوع کود و نیز اثر متقابل آن‌ها بر سایر صفات رشد شامل زمان رسیدن به پوشش کامل، ارتفاع گیاهان در گل‌دهی، تعداد و طول استولون، میزان کلروفیل، شاخص سطح برگ و وزن تر و خشک ریشه و ساقه معنی‌دار شدند. اثر رقم بر زمان لازم تا کسب ۵۰ درصد جوانه‌زنی و نیز سبزکرد کامل، طول استولون، میزان کلروفیل و شاخص سطح برگ معنی‌دار نشد، اما نوع رقم سیب‌زمینی تأثیر معنی‌داری بر سایر صفات رشد داشت. اثرات متقابل دوجانبه رقم $\times$ تیمار آبیاری و همچنین رقم $\times$ کود شیمیایی، کود مرغی و پودر خون و نیز اثر متقابل سه‌جانبه رقم $\times$ تیمار آبیاری $\times$ کود شیمیایی، کود مرغی و پودر خون در هیچ‌کدام از صفات رشد معنی‌دار نشد. اما اثر متقابل سطوح آبیاری $\times$ کود شیمیایی، کود مرغی و پودر خون بر تمامی صفات رشد به غیر از زمان لازم تا کسب ۵۰ درصد جوانه‌زنی و جوانه‌زنی کامل معنی‌دار شد (جدول ۲).

با مقایسه میانگین داده‌های حاصل مشخص شد که با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی در سیب‌زمینی و در هر سه تیمار کود شیمیایی، مرغی و پودر خون با متوسط ۴۰ روزه، وضعیت رسیدن به پوشش کامل بوته‌ها یکنواخت بود. در این تیمارها، پوشش کامل در سریع‌ترین زمان ممکن اتفاق افتاد و از نظر آماری نیز تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند. با اعمال کم‌آبیاری به طور معنی‌داری پوشش کامل بوته‌ها به تأخیر افتاد. اما با مصرف کود مرغی و پودر خون در هر دو تیمار کم‌آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، رسیدن به پوشش کامل سریع‌تر شد. در تیمار کم‌آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و با عدم کاربرد کود مرغی و پودر خون، طولانی‌ترین زمان ممکن تا پوشش کامل ایجاد شد، به طوری که با متوسط ۴۸/۳۳ روز با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار

را در شرایط تنش فراهم کرده و با افزایش نسبی طول استولون‌ها، ضمن کمک به افزایش تعداد آن، گیاه سیب‌زمینی را با کسب حداکثر ظرفیت ذخیره‌سازی با تأخیر به مرحله غده‌زایی وارد می‌نماید.

میزان کلروفیل برگ با متوسط ۲/۰۹ گرم در وزن تازه برگ و در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی در هر سه تیمار کود شیمیایی، مرغی و پودر خون، تقریباً یکسان بود، اما با کاهش میزان آبیاری و به‌ویژه در شدت تنش بیشتر (تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی)، کود مرغی و پودر خون به‌ترتیب به‌میزان ۱/۸۵ و ۲/۰۵ گرم در وزن تازه برگ در مقایسه با کاربرد کود شیمیایی (متوسط ۱/۶۶ گرم در وزن تازه برگ) موجب افزایش میزان کلروفیل در برگ شدند. اگرچه اثر پودر خون در افزایش کلروفیل بیشتر بود (جدول ۵ و ۶). شاخص سطح برگ در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد تحت تأثیر نوع کود قرار نگرفت. اما در هر دو سطح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، مصرف کود مرغی و پودر خون به‌ترتیب با متوسط ۲/۱۸ و ۱/۹۵ در مقایسه با کود شیمیایی (با متوسط ۱/۷۸) به‌شدت منجر به افزایش شاخص سطح برگ شدند (جدول ۶).

وزن تر و خشک ساقه و ریشه تحت تأثیر کاربرد کود مرغی و پودر خون قرار گرفت. به‌طوری‌که در آبیاری نرمال نیز وزن تر و خشک ریشه و ساقه با استفاده از کود مرغی و پودر خون به‌طور معنی‌داری نسبت به کود شیمیایی افزایش پیدا کرد. این اثرات مثبت در سطوح آبیاری کمتر نیز به‌صورت معنی‌داری تداوم داشته و حتی شدیدتر بود. ضمن اینکه تأثیر پودر خون در افزایش وزن خشک ریشه و ساقه در مقایسه با تأثیر آن بر وزن تر در هر سه تیمار آبیاری نسبت به کود مرغی چشمگیرتر بود (جدول ۵ و ۶). متوسط وزن تر ساقه در بوته و در تیمار آبیاری ۷۵ درصد و ۵۰ درصد نیاز آبی و با کاربرد کود مرغی و پودر خون به‌ترتیب ۶۲۵/۴۵ و ۵۸۵/۹۴ گرم در بوته بود که نسبت به تیمار استفاده از کود شیمیایی در این سطوح آبیاری که از وزن تر بوته به‌ترتیب به‌میزان ۶۰۳/۴۴ و ۵۶۵/۸۷ گرم در بوته برخوردار شدند، اختلاف معنی‌دار نشان دادند (جدول ۶). وزن خشک ساقه در دو سطح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی با استفاده از کود مرغی و پودر خون به‌ترتیب با میزان ۹۰/۶۵، ۹۲/۷۰ و ۸۲/۶۶، ۸۳/۷۰ گرم در بوته در مقایسه با استفاده از کود شیمیایی و در همین تیمارهای آبیاری (به‌ترتیب ۶۶/۸۳ و ۷۷/۱۴ گرم در بوته) افزایش معنی‌دار نشان داد. در ارتباط با وزن خشک ریشه نیز این وضعیت با روندی نسبتاً مشابه ایجاد شد، به‌طوری‌که متوسط وزن خشک ریشه با کم‌آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی و استفاده از کود مرغی و پودر خون به‌ترتیب ۲۱/۳۴، ۲۱/۲۸ و ۱۹/۵۲، ۲۰/۰۵ گرم در بوته حاصل گردید که با تیمارهای کود شیمیایی از همین سطوح آبیاری به‌ترتیب با متوسط ۱۸/۸۵ و ۱۷/۲۴ اختلاف معنی‌دار نشان دادند (جدول ۶).

داشت ($p \leq 0.05$). ارتفاع بوته در گل‌دهی با تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی و استفاده از کود شیمیایی نسبت به سایر تیمارها در کمترین میزان قرار گرفت که با متوسط ۴۵/۸۶ سانتی‌متر از نظر آماری نیز نسبت به سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت. کاربرد کود مرغی و پودر خون در هر دو تیمار کم‌آبیاری و همچنین آبیاری نرمال به‌طور مشخص منجر به افزایش ارتفاع بوته در گل‌دهی شد (جدول ۳ و ۴). کاربرد کود مرغی در هر دو سطح آبیاری نرمال و ۷۵ درصد نیاز آبی، تأثیر معنی‌داری بر متوسط تعداد استولون در بوته (به‌ترتیب با متوسط ۷/۵۸ و ۷/۶۵ عدد استولون در بوته) نسبت به مصرف کود شیمیایی با متوسط ۷/۰۱ عدد استولون در بوته نداشت، اما استفاده از کود مرغی در سطح آبیاری ۵۰ درصد، با متوسط ۶/۶۵ در مقایسه با مصرف کود شیمیایی در همین سطح آبیاری (متوسط ۵/۲۱ عدد استولون در بوته) تعداد استولون را به‌صورت معنی‌داری افزایش داد. در مقابل با کاربرد پودر خون در هر دو سطح کم‌آبیاری، تعداد استولون در بوته به‌میزان ۱/۰۳ عدد در مقایسه با استفاده از کود شیمیایی افزایش پیدا کرد. در آبیاری نرمال تفاوت معنی‌داری از نظر استفاده از هر سه نوع کود شیمیایی، مرغی و پودر خون در تعداد استولون در بوته ایجاد نشد (جدول ۴).

کود مرغی در آبیاری نرمال و همچنین آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی به‌ترتیب با متوسط ۱۱/۵۲ و ۱۱/۳۲ سانتی‌متر تأثیری بر طول استولون در مقایسه با مصرف کود شیمیایی در این دو سطح آبیاری (متوسط ۱۱/۱۵ سانتی‌متر در طول استولون) نداشت، اما در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی هم کود مرغی و همچنین پودر خون به‌طور معنی‌داری طول استولون را افزایش دادند (جدول ۴). طول استولون و تعداد آن در سیب‌زمینی اگرچه ارتباط نزدیکی با ریخته ارثی رقم دارد، اما تأثیر عوامل محیطی بر آن قابل توجه می‌باشد. ثابت شده است که سطوح نیتروژن بالا به‌شدت بر طول استولون و میزان فسفر بر تشکیل تعداد استولون در سیب‌زمینی مؤثر می‌باشد (Yuan et Menzel, 1985; al., 2014). افزایش نسبت نیتروژن به فسفر منجر به افزایش نسبی طول استولون می‌شود، درحالی‌که نسبت عکس آن سبب کاهش طول استولون می‌گردد. برقراری مقدار متناسب و متعادل از این دو عنصر و تأمین مقدار کافی از آن‌ها بسته به نیاز غذایی سیب‌زمینی منجر به افزایش تعداد استولون‌ها می‌گردد (Jackson, 1999). کاهش میزان آب آبیاری و افزایش سطح تنش آبی در سیب‌زمینی سبب کاهش طول استولون و در عین حال کاهش تعداد آن‌ها شده و زمان ورود به مرحله آغازین غده را سریع‌تر می‌نماید که می‌تواند اثر منفی در عملکرد نهایی داشته باشد، چرا که گیاه را قبل از رسیدن به حداکثر ظرفیت انباشت زیست‌توده وارد مرحله غده‌زایی می‌نماید. با پژوهش اخیر مشخص شد که کود مرغی و پودر خون قادر به کاهش قابل توجه در طول استولون و افزایش تعداد آن‌ها در شرایط تنش می‌باشند. به نظر می‌رسد که هر دو نوع کود آلی (پودر خون و کود مرغی) سرعت دسترسی متوازن و متعادل گیاه سیب‌زمینی به نیتروژن و فسفر

جدول ۲- تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اثرات رقم، سطوح آبیاری و کود شیمیایی، کود مرئی و پودر خون بر صفات رشد در سیب‌زمینی
Table 2- ANOVA for the effects of cultivar, irrigation levels, chemical fertilizer, chicken manure, and blood meal on the growth traits of potato

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات (MS)					
		زمان لازم تا کسب ۵۰ درصد جوانه‌زنی Germination (day)	تکمیل جوانه‌زنی Complete germination (day)	زمان رسیدن به پوشش کامل Overlapping time (day)	ارتفاع بوته در گل‌دهی Height of plant in flowering time (cm)	تعداد استولون در گیاه Stolon number per plant	طول استولون Stolon length (cm)
تکرار Replication	2	0.34 ^{ns}	2.03 ^{ns}	5.06 ^{ns}	3.38 ^{ns}	1.58 ^{ns}	2.01 ^{ns}
رقم Cultivar (A)	1	3.14 ^{ns}	5.52 ^{ns}	120.70*	76.32*	4.65**	2.04 ^{ns}
تیمار آبیاری Water treatment (B)	2	0.05 ^{ns}	1.48 ^{ns}	48.79**	185.19**	7.64**	23.45**
رقم × آبیاری A × B	2	0.82 ^{ns}	3.04 ^{ns}	6.29 ^{ns}	17.51 ^{ns}	1.012 ^{ns}	2.12 ^{ns}
کود شیمیایی، مرئی و پودر خون Chemical fertilizers, chicken manure and blood meal (C)	2	0.43 ^{ns}	1.44 ^{ns}	72.05**	79.69**	4.06*	1.83*
رقم × کود A × C	2	0.21 ^{ns}	0.07 ^{ns}	5.40 ^{ns}	4.21 ^{ns}	1.38 ^{ns}	0.12 ^{ns}
آبیاری × کود B × C	4	0.64 ^{ns}	0.43 ^{ns}	35.21**	16.27**	1.36 ^{ns}	4.16**
رقم × آبیاری × کود A × B × C	4	0.63 ^{ns}	0.72 ^{ns}	0.38 ^{ns}	1.86 ^{ns}	0.64 ^{ns}	0.09 ^{ns}
خطای Error	36	1.12	0.88	1.96	1.83	0.99	0.31
کل Total	53						
ضریب تغییرات CV (%)		9.23	5.32	4.16	2.86	12.87	4.62

ns، * و **: به ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
ns، * and **: Non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اثرات رقم، سطوح آبیاری و کود شیمیایی، کود مرغی و پودر خون بر صفات رشد در سیب زمینی
Continued table 2- ANOVA for the effects of cultivar, irrigation levels, chicken manure, and blood meal on the growth traits of potato

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میزان کلروفیل Chlorophyll	شاخص سطح برگ Leaf area index	میانگین مربعات Means of squares				وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight
				وزن تر ساقه Shoot fresh weight	وزن خشک ساقه Shoot dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight		
تکرار Replication	2	0.037 ^{ns}	0.028 ^{ns}	27.37 ^{ns}	9.70 ^{ns}	3.34 ^{ns}	0.07 ^{ns}		
رقم Cultivar (A)	1	1.012 ^{ns}	1.023 ^{ns}	37.52 ^{**}	23.95 [*]	5.62 ^{**}	0.94 [*]		
تیمار آبیاری Water treatment (B)	2	0.17 ^{**}	1.58 ^{**}	27920.17 ^{**}	908.37 ^{**}	2138.14 ^{**}	14.45 ^{**}		
رقم × آبیاری A × B	2	0.03 ^{ns}	0.18 ^{ns}	342.25 ^{ns}	0.28 ^{ns}	15.90 ^{ns}	3.18 ^{ns}		
کود شیمیایی، مرغی و پودر خون Chemical fertilizers, chicken manure and blood meal (C)	2	0.34 ^{**}	0.78 ^{**}	4190.00 ^{**}	220.49 ^{**}	1692.38 ^{**}	42.23 ^{**}		
رقم × کود A × C	2	0.014 ^{ns}	0.018 ^{ns}	62.44 ^{ns}	11.04 ^{ns}	3.41 ^{ns}	0.69 ^{ns}		
آبیاری × کود B × C	4	0.056 ^{**}	0.21 ^{**}	712.17 ^{**}	78.15 [*]	342.48 ^{**}	5.92 ^{**}		
رقم × آبیاری × کود A × B × C	4	0.006 ^{ns}	0.018 ^{ns}	61.60 ^{ns}	16.80 ^{ns}	9.08 ^{ns}	0.402 ^{ns}		
خطای Error	36	0.013	0.018	80.51	28.26	6.58	1.52		
کل Total	53								
ضریب تغییرات CV (%)		4.32	3.68	2.40	6.64	1.97	6.30		

^{ns}، *، ** و ***: به ترتیب عدم تفاوت معنی دار و تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد. ^{ns}، *، ** و ***: Non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

جدول ۳- اثرات اصلی رقم، سطوح آبیاری و تیمارهای کود شیمیایی، کود مرغی و پودر خون بر صفات رشد سیب زمینی
Table 3-The main effects of cultivar, irrigation levels, chemical fertilizer, chicken manure and blood meal treatments on potato growth traits

تیمارها Treatments	زمان لازم تا کسب ۵۰ درصد جوانه زنی Time to fifty percent germination	تکمیل جوانه زنی Complete germination	زمان رسیده به پوشش کامل Overlapping time	ارتفاع بوته در گل دهی Height of plant in flowering time	تعداد استولون در گیاه Stolon number per plant	طول استولون Stolon length
‘سانته’ Sante	12.66 b*	18.33 b	38.33 b	53.33 b	8.7 a	9.68 b
‘بانبا’ Banba	14.33 a	20.33 a	43.38 a	57.63 b	6.8 b	11.56 a
۱۰۰٪ نیاز آبی 100% water requirement	13.35 a	19.75 a	40.00 b	55.38 a	7.28 a	11.36 a
۷۵٪ نیاز آبی 75% water requirement	12.66 a	18.33 a	43.71 a	52.37 b	7.44 a	10.09 ab
۵۰٪ نیاز آبی 50% water requirement	13.33 a	18.66 a	45.73 a	50.45 c	6.24 b	9.51 b
کود شیمیایی (شاهد) Chemical fertilizer (control)	12.33 a	18.33 a	44.44 a	53.69 c	6.41 b	10.12 b
کود مرغی Chicken manure	13.00 a	18.33 a	43.39 ab	56.35 b	7.29 a	11.09 a
پودر خون Blood meal	13.66 a	19.05 a	42.29 b	55.72 b	7.28 a	10.56 a

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون از عامل اصلی مربوطه اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

* Means with the same letters in each column of the related main factor did not differ significantly at the 5% of probability level based on Duncan's multiple range test

پودر خون در افزودن اسیدهای آلی خاک قبلاً در پژوهش‌های یانتا و همکاران (et al., 2013 Yunta) و پولیکوییت و گاموسا (Poliquit & Gamusa, 2022) نیز به اثبات رسیده است. افزایش سرعت رشد گیاهان، تشکیل تاج پوشش سریع‌تر در نتیجه مصرف پودر خون به‌ویژه در شرایط کم‌آبیاری می‌تواند به دلیل وجود نسبت کربن به نیتروژن پایین و لیگنین در حد صفر نسبت به نیتروژن باشد که این دو عامل، معدنی شدن سریع‌تر و در نتیجه فراهمی بیشتر نیتروژن را در پودر خون و افزایش کارایی جذب نیتروژن را در گیاه به دنبال دارد. همچنین به دلیل اینکه آهن خون به شکل کلات می‌باشد، لذا این امر سبب می‌شود که آهن از واکنش‌های شیمیایی و تبدیل شدن به شکل‌های غیرقابل استفاده محافظت شود (Johnson, Koenig & Momtaz et al., 2021; 1999).

تغییرات میزان کلروفیل، شاخص سطح برگ و به دنبال آن افزایش وزن تر و خشک ساقه، می‌تواند ناشی از اثر مستقیم کود مرغی و پودر خون در فراهم کردن متعادل و متوازن مواد غذایی ریزمغذی و پرمصرف در خاک و دسترسی سریع‌تر ریشه‌ها به کلیه عناصر غذایی و در نتیجه بهبود رشد نسبی در گیاهان تیمار شده باشد. دلیل دیگر اثرات مثبت پودر خون در افزایش شاخص‌های رشد سیب-زمینی می‌تواند ناشی از اثرات غیرمستقیم پودر خون در افزودن اسیدهای آلی به خاک و کمک به کلاته شدن و جذب و انتقال عناصر آهن و روی و سایر عناصر کم‌مصرف باشد. شریعتمداری (Shariatmadari, 1989) توان پودر خون در جذب یا کلاته نمودن آهن محلول خاک را مورد بررسی قرار داد و اعلام کرد که پودر خون قادر به جذب آهن بیشتر از محلول‌های استاندارد می‌باشد. تأثیر مثبت

جدول ۴- اثرات متقابل سطوح آبیاری × تیمارهای کود شیمیایی، کود مرغی و پودر خون بر صفات رشد سیب زمینی
Table 4- The interaction effect of irrigation levels × chemical fertilizer, chicken manure, and blood meal treatments on the potato growth traits

تیمارها Treatments	زمان لازم تا کسب ۵۰ درصد جوانه زنی Time to fifty percent Germination	تکمیل جوانه زنی Complete germination	زمان رسیده به پوشش کامل Overlapping time	ارتفاع بوته در گل دهی Height of plant in flowering time	تعداد استولون در گیاه Stolon number per plant	طول استولون Stolon length
۱۰۰٪ نیاز آبی × کود شیمیایی 100% water requirement × chemical fertilizer	12.66 a*	18.00 b	38.33 gh	53.40 b	7.16 ab	11.20 a
۱۰۰٪ نیاز آبی × کود مرغی 100% water requirement × chicken manure	13.33 a	18.66 ab	41.70 efg	56.33 a	7.58 ab	11.52 a
۱۰۰٪ نیاز آبی × پودر خون 100% water requirement × blood meal	12.66 a	18.66 ab	40.00 g	56.40 a	7.16 ab	11.36 a
۷۵٪ نیاز آبی × کود شیمیایی 75% water requirement × chemical fertilizer	12.66 a	19.00 ab	46.66 b	48.56 d	6.86 b	11.11 a
۷۵٪ نیاز آبی × کود مرغی 75% water requirement × chicken manure	13.33 a	19.33 ab	42.27 ef	53.98 b	7.65 ab	11.32 a
۷۵٪ نیاز آبی × پودر خون 75% water requirement × blood meal	13.16 a	19.00 ab	42.22 ef	53.92 b	7.82 a	10.27 b
۵۰٪ نیاز آبی × کود شیمیایی 50% water requirement × chemical fertilizer	13.33 a	18.66 ab	48.33 a	45.86 e	5.21 c	8.05 c
۵۰٪ نیاز آبی × کود مرغی 50% water requirement × chicken manure	12.66 a	19.66 a	44.22 cd	52.88 c	6.65 b	10.45 b
۵۰٪ نیاز آبی × پودر خون 50% water requirement × blood meal	13.00 a	19.00 ab	44.66 cd	52.62 c	6.86 b	10.05 b

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

* The means with similar letters in each column did not have a significant difference at the 5% of probability level based on Duncan's multiple range test

ب- اندازه غده، عملکرد کل، درصد ماده خشک غده و کارایی مصرف آب

براساس تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۷) مشخص شد که اثر رقم و تیمار آبیاری بر تولید غده در اندازه ریز، بذری و خوراکی، عملکرد کل و کارایی مصرف آب در سطح یک درصد ($p \leq 0.01$) معنی‌دار شد. درصد ماده خشک غده از نظر آماری و در سطح پنج درصد تحت تأثیر نوع رقم قرار نگرفت، اما تیمار آبیاری بر درصد ماده خشک غده تأثیر معنی‌داری در سطح پنج درصد ($p \leq 0.05$) داشت. نوع کود مصرفی بر متوسط تعداد غده در هر سه اندازه ریز، بذری و خوراکی و همچنین کارایی مصرف آب در سطح یک درصد ($p \leq 0.01$) و بر عملکرد و درصد ماده خشک غده در سطح پنج درصد

($p \leq 0.05$) معنی‌دار شد. هیچ‌کدام از اثرات متقابل دوجانبه رقم × تیمار آبیاری، رقم × کود شیمیایی، مرغی و پودر خون و اثر سه‌جانبه رقم × تیمار آبیاری × کود شیمیایی، مرغی و پودر خون بر تولید غده در سه اندازه ریز، بذری و خوراکی، عملکرد کل، درصد ماده خشک غده و کارایی مصرف آب معنی‌دار نشدند. اما اثر متقابل تیمار آبیاری × کود شیمیایی، مرغی و پودر خون در متوسط تولید غده در هر سه اندازه خوراکی، بذری و ریز و همچنین ماده خشک غده، عملکرد کل و نیز کارایی مصرف آب معنی‌دار شد (جدول ۷). با معنی‌دار نشدن اثر متقابل رقم در تیمار آبیاری و همچنین رقم در نوع کود بر تعداد غده تولیدی، عملکرد کل، درصد ماده خشک غده و همچنین کارایی مصرف آب به‌خوبی مشخص می‌شود که دو رقم سیب‌زمینی 'سانته'

و 'بانبا' واکنش یکسانی به تغییرات سطوح آبیاری و همچنین نوع کود مصرفی در تمامی صفات مذکور داشته و اثرگذاری نوع کود و تیمار آبیاری بر این صفات در هر دو رقم روندی مشابه داشته. معنی دار شدن اثر متقابل سطوح آبیاری و نوع کود مصرفی، حاکی از اثرگذاری متفاوت نوع کود مصرفی در سطوح مختلف آبیاری بر صفات مذکور دارد.

با مقایسه میانگین تیمارها مشخص شد که مصرف کود مرغی و همچنین پودر خون با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی در متوسط تعداد غده تولیدی در اندازه بذری و ریز، افزایش معنی داری ایجاد نکرد و صرفاً در اندازه غده خوراکی مصرف کود مرغی و پودر خون منجر به تولید تعداد غده خوراکی بیشتری شد. در مقابل با کاهش میزان آب آبیاری، مصرف کود مرغی و پودر خون در مقایسه با کود شیمیایی منجر به افزایش قابل توجه تعداد غده در دو اندازه بذری و خوراکی شد. اما در تعداد غده ریز برعکس عمل کرده و با مصرف کود شیمیایی غده‌های غیر بذری (کوچک‌تر از ۳۵ میلی‌متر) افزایش پیدا کرد (جدول ۸ و ۹). متوسط تعداد غده ریز، درشت و بذری در تیمارهای کود مرغی و پودر خون با سطح آبیاری ۷۵ درصد به ترتیب ۶/۶۶، ۱۱/۲۱، ۳۱/۵۴ و ۷/۳۳، ۱۲/۵۶ و ۱۳/۲۵ عدد در مترمربع بود که در مقایسه با میزان آن‌ها (با متوسط تعداد ۹/۵۸ غده ریز، ۸/۶۷ غده درشت و ۲۸/۸۱ غده

بذری در مترمربع) در استفاده از کود شیمیایی و در سطح آبیاری ۷۵ با آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی داری نشان دادند. در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیز وضعیت به همین صورت بود، به طوری که متوسط تعداد غده ریز، درشت و بذری در تیمارهای کود مرغی و پودر خون با سطح آبیاری ۵۰ درصد به ترتیب ۸/۳۶، ۱۰/۳۲، ۲۷/۵۱ و ۸/۷۲، ۱۰/۷۱، ۲۹/۳۱ عدد در مترمربع بود که در مقایسه با میزان آن‌ها در استفاده از کود شیمیایی و در سطح آبیاری ۵۰ درصد با متوسط تعداد ۱۱/۶۸ غده ریز، ۷/۳۵ غده درشت و ۲۲/۵۸ غده بذری در مترمربع در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی دار نشان دادند. مصرف کود مرغی و پودر خون در مقایسه با کود شیمیایی در هر سه سطح آبیاری منجر به افزایش قابل توجه میزان عملکرد کل شد، اما این تأثیر مثبت متناسب با میزان کاهش سطح آبیاری به مراتب بیشتر بود، به طوری که با مصرف کود مرغی و پودر خون در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی، افزایش ۲/۹۹ تن در هکتار و در تیمار آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد، به ترتیب افزایش ۳/۸۶ و ۳/۷۶ تن در هکتار ایجاد شد. اثرات استفاده از کود مرغی و پودر خون در افزایش عملکرد تقریباً یکسان بود و از نظر آماری تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۹).

جدول ۵- اثرات اصلی رقم، سطوح آبیاری و تیمارهای کود شیمیایی، کود مرغی و پودر خون بر صفات رشد سیب زمینی

Table 5- The main effects of cultivar, irrigation levels, chemical fertilizer, chicken manure and blood meal treatments on the potato growth traits

تیمارها Treatments	میزان کلروفیل Chlorophyll (mg.g ⁻¹)	شاخص سطح برگ Leaf area index	وزن تر ساقه Shoot fresh weight (g)	وزن خشک ساقه Shoot dry weight (g)	وزن تر ریشه Root fresh weight (g)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)
'سانته' Sante	1.97 a	3.97 a	643.25 b	91.31 b	254.34 b	24.23 b
'بانبا' Banba	2.03 a	4.12 a	652.34 a	97.12 a	259.12 a	25.64 a
۱۰۰٪ نیاز آبی 100% water requirement	2.09 a	4.08 a	650.60 a	94.61 a	250.32 a	21.42 a
۷۵٪ نیاز آبی 75% water requirement	1.95 a	3.80 b	615.53 b	89.12 b	243.84 b	21.02 a
۵۰٪ نیاز آبی 50% water requirement	1.9 a	3.58 c	581.88 c	81.16 c	229.01 c	19.23 b
کود شیمیایی (شاهد) Chemical fertilizer (control)	1.85 c	3.58 b	603.81 c	85.28 b	228.89 b	18.92 b
کود مرغی Chicken manure	1.99 b	3.94 a	621.44 b	89.71 b	247.04 a	21.88 a
پودر خون Blood meal	2.22 a	3.93 a	622.76 ab	91.78 a	247.98 a	21.64 a

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون از عامل اصلی مربوطه اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند

* Means with the same letters in each column of the related main factor did not differ significantly at the 5% of probability level based on Duncan's multiple range test

جدول ۶- اثرات متقابل سطوح آبیاری × تیمارهای کود شیمیایی، کود مرغی و پودر خون بر صفات رشد سیبزمینی
Table 6- The interaction effect of irrigation levels × chemical fertilizer, chicken manure, and blood meal treatments on the potato growth traits

تیمارها Treatments	میزان کلروفیل Chlorophyll (mg.g ⁻¹)	شاخص سطح برگ Leaf area index	وزن تر ساقه Shoot fresh weight (g)	وزن خشک ساقه Shoot dry weight (g)	وزن تر ریشه Root fresh weight (g)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)
۱۰۰٪ نیاز آبی × کود شیمیایی 100% water requirement × chemical fertilizer	2.03a	4.15a	653.14c	100.00abc	258.50bc	24.27def
۱۰۰٪ نیاز آبی × کود مرغی 100% water requirement × chicken manure	2.03a	4.19b	655.01bc	93.59def	263.60a	25.68abc
۱۰۰٪ نیاز آبی × پودر خون 100% water requirement × blood meal	2.13a	4.10bc	675.73a	104.92a	261.88ab	25.56bcd
۷۵٪ نیاز آبی × کود شیمیایی 75% water requirement × chemical fertilizer	1.90bc	3.81e	614.45de	88.71fg	241.67e	23.35f
۷۵٪ نیاز آبی × کود مرغی 75% water requirement × chicken manure	2.02ab	4.11bc	661.21bc	95.73cde	259.75bc	26.25abc
۷۵٪ نیاز آبی × پودر خون 75% water requirement × blood meal	2.17a	4.08bc	658.72bc	97.73bcd	261.01abc	26.22abc
۵۰٪ نیاز آبی × کود شیمیایی 50% water requirement × chemical fertilizer	1.66d	3.19f	656.87g	82.06g	219.60f	21.08g
۵۰٪ نیاز آبی × کود مرغی 50% water requirement × chicken manure	1.85c	3.84de	603.97ef	87.58fg	249.35d	25.16cde
۵۰٪ نیاز آبی × پودر خون 50% water requirement × blood meal	2.05a	3.79e	596.98f	87.73fg	249.91e	24.08ef

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

* The means with similar letters in each column did not have a significant difference at the 5% of probability level based on Duncan's multiple range test

میزان کارایی مصرف آب با سطح آبیاری نرمال (۱۰۰ درصد نیاز آبی) تحت تأثیر نوع مصرف کود قرار نگرفت. اما با کاهش میزان آب آبیاری، نوع کود تأثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب گذاشت، به‌گونه‌ای که به‌ترتیب از میزان ۱۰/۲۳ و ۱۳/۵۶ کیلوگرم در مترمکعب آب مصرفی و در تیمار ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی و در استفاده از کود شیمیایی به‌مقدار ۱۱/۴۱ و ۱۴/۶۳ کیلوگرم در مترمکعب با استفاده از کود مرغی و پودر خون افزایش پیدا کرد. همچنین تفاوت معنی‌داری بین کود مرغی و پودر خون از نظر میزان افزایش کارایی مصرف در

استفاده از کود مرغی و پودر خون و در هر دو سطح آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی، تأثیر معنی‌داری بر میزان ماده خشک غده ایجاد نکرد. اما کاربرد کود مرغی و پودر خون در سطح آبیاری ۵۰ درصد، مقدار ماده خشک غده را نسبت به استفاده از کود شیمیایی به‌صورت معنی‌داری در هر دو رقم سیبزمینی افزایش داد. متوسط میزان ماده خشک غده در استفاده از کود مرغی و پودر خون و در سطح آبیاری ۵۰ درصد به‌ترتیب ۱۹/۸۵ و ۱۹/۶۵ درصد بود که با مقدار آن در تیمار کود شیمیایی (متوسط ۱۸/۲۴ درصد) تفاوت معنی‌دار داشت.

هر دو سطح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد مشاهده نشد و با اختلاف بسیار جزئی اثرات مشابهی داشتند (جدول ۹).

در این آزمایش نتیجه گرفته شد که کود مرغی و پودر خون هر دو نقش قابل توجهی در بالا بردن تعداد کل غده تولیدی و به‌ویژه در اندازه بذری داشتند. اثرات پودر خون و کود مرغی در افزایش تعداد غده در بوته تأثیر مستقیم بر میزان عملکرد کل داشت. این اثرات مثبت در افزایش تعداد غده و به‌تبع آن بالا بردن عملکرد، هماهنگی کامل با میزان جذب و سرعت به‌کارگیری عناصر غذایی ریزمغذی به‌ویژه آهن و همچنین عناصر پرمصرف فسفر و نیتروژن دارد (داده‌های دیگر حاصل از انجام این تحقیق در ارزیابی میزان جذب عناصر غذایی). در خصوص عنصر فسفر، اگرچه میزان فسفر پودر خون ناچیز می‌باشد (حدود ۰/۲۳ تا ۰/۲۵ درصد)، اما به‌دلیل اثرات مفید پودر خون در افزایش سطح اسیدهای آلی در ریزوسفر ریشه، بالا بردن فعالیت باکتری‌های حل‌کننده فسفات در خاک و سایر قارچ‌های مفید خاکزی، نقش قابل توجهی در فعالیت بیولوژیکی خاک و آزادسازی فسفر از بخش ذخیره، تثبیت‌شده و غیرمتحرک خاک دارد. در پژوهش لی (Lee, 2010) و همچنین غلامی و همکاران (Gholami et al., 2023) نقش مؤثر پودر خون در افزایش ظرفیت بیولوژیکی خاک با بالا رفتن فعالیت زیستی باکتری‌های حل‌کننده فسفر و همچنین ازتوباکترها و تسریع در احیاء نیترات و کاهش نیترات‌زدایی به اثبات رسیده است. تأثیر مثبت پودر خون در افزایش جذب نیتروژن و آهن و بالا رفتن حجم زیست‌توده گیاهی و در نتیجه عملکرد کل با گزارش روی و همکاران (Roy et al., 2015) در گوجه فرنگی، محصلی و فربود (Mohasseli & Farbood, 2019) روی بادنجه، ممتاز و همکاران (Momtaz et al., 2021) روی پیاز و پولیکوییت و گاموسا (Poliquit & Gamusa, 2022) روی کلم به اثبات رسیده است.

افزایش تعداد غده در بوته در سیب‌زمینی، با تأخیر در ورود به گل‌دهی و افزایش سطح برگ و رشد ساقه در مرحله استولون‌زایی تا قبل از شروع غده‌زایی همبستگی مثبت داشت (Menzel, 1985). در این پژوهش، پودر خون با تأثیر مثبت بر وزن تر و خشک ساقه و ریشه سیب‌زمینی، افزایش شاخص سطح برگ و سرعت رشد و ایجاد پوشش کامل در مرحله استولون‌زایی، بر تعداد غده و در نهایت عملکرد کل اثرگذار بود. براساس نتایج این پژوهش مشخص شد که

در شرایط تنش شدید، استفاده از پودر خون از طریق آزادسازی اسیدهای آمینه و همچنین کمک به جذب و به‌کارگیری عناصر غذایی، اثرات تنش آبی را تعدیل و تا حدودی کم‌آبیاری را جبران کرد. این اثرات مثبت سبب افزایش تعداد غده و همچنین عملکرد کل نسبت به استفاده صرف از کود شیمیایی (شاهد) در تیمارهای کم‌آبیاری شد.

مقدار ماده خشک غده در سیب‌زمینی با مقدار جذب عناصر غذایی و همچنین میزان ماده خشک ساقه و ریشه همبستگی مثبت داشت (Ekelof, 2007). با توجه به اینکه فسفر، عنصری ضروری برای متابولیسم‌های گیاهی به‌خصوص در متابولیسم کربوهیدرات است، تأمین فسفر مورد نیاز گیاه و تقویت انجام متابولیسم‌های لازم باعث افزایش ذخیره کربوهیدرات غده می‌شود. چون در غده سیب‌زمینی بیشترین میزان کربوهیدرات ذخیره نشاسته می‌باشد، این امر باعث افزایش ماده خشک گیاه و در نتیجه ماده خشک غده‌ها می‌شود (Carl & Peter, 2008). همچنین با تجزیه برگی مشخص شد که در گیاهان تیمار شده با پودر خون، سطح جذب فسفر و همچنین عناصر ریزمغذی و به‌ویژه آهن افزایش معنی‌دار داشت (داده‌های دیگر حاصل از انجام این تحقیق). نقش عنصر آهن در تحریک سنتز کلروفیل، افزایش ظرفیت فتوسنتز و در نتیجه کمک به تجمع زیست‌توده گیاهی کاملاً مشخص شده است. بر این اساس می‌توان بخشی از دلایل افزایش ماده خشک غده به‌ویژه در تیمارهای تنش را به اثرات مثبت ناشی از تأثیر پودر خون بر فراهم نمودن نیتروژن و آهن و کمک به جذب و به‌کارگیری فسفر، روی و منگنز و در نتیجه افزایش ظرفیت فتوسنتز، سرعت آسمیلاسیون و در نهایت تجمع مواد ذخیره‌ای کربوهیدرات در غده‌ها نسبت داد.

دلیل محکم و قابل قبول افزایش میزان کارایی مصرف آب در تیمارهای تنش (به‌ویژه در تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی) با مصرف پودر خون در مقایسه با کاربرد کود شیمیایی، می‌تواند افزایش قابل توجه میزان عملکرد در تیمار پودر خون در مقایسه با کود شیمیایی در شرایط کم‌آبیاری باشد. به‌طوری‌که استفاده از پودر خون در دو شرایط ۷۵ درصد و ۵۰ درصد نیاز آبی نسبت به مصرف کود شیمیایی در همین سطوح آبیاری به‌ترتیب ۳/۳۵ و ۳/۹۲ تن افزایش عملکرد در هکتار ایجاد کرد، درحالی‌که عملاً میزان آب یکسانی به مصرف رسیده بود.

جدول ۷- تجزیه واریانس اثرات رقم، سطوح آبیاری و کود شیمیایی، کود مرغی و پودر خون بر اندازه غده، عملکرد، درصد ماده خشک غده و کارایی مصرف آب در سیب زمینی
Table 7- ANOVA for the effects of cultivar, irrigation levels, chemical fertilizer, chicken manure, and blood meal on the tuber size, yield, tuber dry matter percentage and water use efficiency of potato

میانگین مربعات Means of squares							
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	تعداد غده بذری در مترمربع Seed tuber size (Number per m ²)	تعداد غده درشت در مترمربع Larg tuber size (Number per m ²)	تعداد غده ریز در مترمربع Small tuber size (Number per m ²)	عملکرد کل Total yield (ton.ha ⁻¹)	درصد ماده خشک غده Tuber dry matter (%)	کارایی مصرف آب Water use efficiency (kg.m ⁻³)
تکرار Replication	2	0.32 ns	4.62 ns	0.36 ns	0.019 ns	0.034 ns	0.09 ns
رقم Cultivar (A)	1	19.78 **	3.30 **	12.26 **	42.13**	0.55 ns	3.04 **
تیمار آبیاری Water treatment (B)	2	182.65 **	79.28 **	68.36 **	631.82 **	1.54*	163.21 **
رقم × آبیاری A × B	2	0.32 ns	0.65 ns	5.94 ns	15.02 ns	0.07 ns	0.09 ns
کود شیمیایی، مرغی و پودر خون Chemical fertilizers, chicken manure and blood meal (C)	2	68.62 **	36.72 **	50.36 **	56.31 *	1.68 *	7.46 **
رقم × کود A × C	2	1.89 ns	0.24 ns	0.92 ns	8.03 ns	0.06 ns	0.08 ns
آبیاری × کود B × C	4	18.12 **	5.02 *	22.68 **	15.94*	1.65 **	2.25 **
رقم × آبیاری × کود A × B × C	4	1.63 ns	0.74 ns	0.91 ns	9.63 ns	0.18 ns	0.02 ns
خطای Error	36	3.01	1.71	2.05	14.64	0.37	0.045
کل Total	53						
ضریب تغییرات CV (%)		5.15	9.32	13.64	9.12	3.51	2.05

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

جدول ۸- اثرات اصلی رقم، سطوح آبیاری و تیمارهای کود شیمیایی، کود مرغی و پودر خون بر اندازه غده، عملکرد کل، درصد ماده خشک غده و کارایی مصرف آب در سیبزمینی

Table 5-The main effects of cultivar, irrigation levels, chemical fertilizer, chicken manure, and blood meal treatments on the tuber size, total yield, tuber dry matter percentage and water use efficiency of potato

تیمارها Treatments	تعداد غده بذری در مترمربع Seed tuber size (number per m ²)	تعداد غده درشت در مترمربع Larg tuber size (number per m ²)	تعداد غده ریز در مترمربع Small tuber size (number per m ²)	عملکرد کل Total yield (ton.ha ⁻¹)	درصد ماده خشک غده Tuber dry matter (%)	کارایی مصرف آب Water use efficiency (kg.m ⁻³)
سانته Sante	34.96 a*	10.52 b	5.02 b	39.82 b	19.87 a	14.65 a
بانبا Banba	32.84 b	12.31 a	7.85 a	45.23 a	20.52 a	12.38 b
۱۰۰٪ نیاز آبی 100% water requirement	32.23 a	13.65 a	5.71 c	46.68 a	20.69 a	9.56 c
۷۵٪ نیاز آبی 75% water requirement	30.53 b	10.81 b	7.85 b	39.27 b	20.48 a	11.02 b
۵۰٪ نیاز آبی 50% water requirement	26.34 c	9.46 c	9.58 a	34.51 b	19.24 b	14.27 a
کود شیمیایی (شاهد) Chemical fertilizer (control)	28.01 c	9.52 b	9.08 a	38.53 b	19.66 b	11.03 b
کود مرغی Chicken manure	30.70 a	11.89 a	6.84 b	41.21 a	20.43 a	11.95 a
پودر خون Blood meal	31.39 a	12.50 a	7.23 b	40.73 a	20.31 a	11.87 a

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون از عامل اصلی مربوطه اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

* Means with the same letters in each column of the related main factor did not differ significantly at the 5% of probability level based on Duncan's multiple range test

نتیجه‌گیری

در مجموع، براساس نتایج این آزمایش مشخص شد که مصرف کود مرغی و پودر خون در مقایسه با کود شیمیایی، رشد رویشی و عملکرد را در سیبزمینی به‌صورت معنی‌داری افزایش می‌دهد. همچنین اثربخشی هر دو نوع کود آلی در مقایسه با کود شیمیایی در شرایط کم‌آبیاری بیشتر بوده و لذا مصرف این دو کود آلی و به‌ویژه پودر خون می‌توانند در شرایط تنش آبی بخش قابل توجهی از کاهش

عملکرد را جبران نمایند. در ضمن، مصرف پودر خون علاوه بر تأمین نیاز غذایی کافی در محصول سیبزمینی، با اثرات مثبت دیگری از قبیل افزایش اسیدهای آلی و آمینواسیدها به خاک همراه می‌باشد که به‌نوبه خود منجر به احیاء و پویایی فعالیت بیولوژیکی خاک و پایداری تولید محصول سیبزمینی در اغلب مناطق سیبزمینی‌کاری کشور می‌گردد.

جدول ۹- اثرات متقابل سطوح آبیاری × تیمارهای کود شیمیایی، کود مرغی و پودر خون بر اندازه غده، عملکرد کل، درصد ماده خشک غده و کارایی مصرف آب در سیب‌زمینی

Table 9- The interaction effect of irrigation levels × chemical fertilizer, chicken manure, and blood meal treatments on the tuber size, total yield, and tuber dry matter percentage and water use efficiency of potato

تیمارها Treatments	تعداد غده بذری در مترمربع Seed tuber size (number per m ²)	تعداد غده درشت در مترمربع Larg tuber size (number per m ²)	تعداد غده ریز در مترمربع Small tuber size (number per m ²)	عملکرد کل Total yield (ton.ha ⁻¹)	درصد ماده خشک غده Tuber dry matter (%)	کارایی مصرف آب Water use efficiency (kg.m ⁻³)
۱۰۰٪ نیاز آبی × کود شیمیایی 100% water requirement × chemical fertilizer	32.65ab*	12.56b	6.00d	44.35b	20.31a	9.32e
۱۰۰٪ نیاز آبی × کود مرغی 100% water requirement × chicken manure	33.42a	14.15a	5.50d	47.71a	20.85a	9.65e
۱۰۰٪ نیاز آبی × پودر خون 100% water requirement × blood meal	33.61a	14.23a	5.64d	46.98a	20.91a	9.72e
۷۵٪ نیاز آبی × کود شیمیایی 75% water requirement × chemical fertilizer	28.81c	8.67e	9.58b	36.27d	20.45a	10.23d
۷۵٪ نیاز آبی × کود مرغی 75% water requirement × chicken manure	31.54b	11.21bc	6.66d	40.65c	20.61a	11.46c
۷۵٪ نیاز آبی × پودر خون 75% water requirement × Blood meal	31.25b	12.56b	7.33d	39.62c	20.38a	11.37c
۵۰٪ نیاز آبی × کود شیمیایی 50% water requirement × chemical fertilizer	22.58d	7.350f	11.68a	31.67f	18.24c	13.56b
۵۰٪ نیاز آبی × کود مرغی 50% water requirement × chicken manure	27.51c	10.32d	8.36c	35.28e	19.85b	14.74a
۵۰٪ نیاز آبی × پودر خون 50% water requirement × blood meal	29.31c	10.71d	8.72c	35.59e	19.65b	14.52a

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

* The means with similar letters in each column did not have a significant difference at the 5% of probability level based on Duncan's multiple range test

References

- Bhunias, S., Bhowmik, A., Mallick, R., Debsarcar, A., & Mukherjee, J. (2021). Application of recycled slaughterhouse wastes as an organic fertilizer for successive cultivations of bell pepper and amaranth. *Scientia Horticulture*, 280, 109927. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109927>
- Carl, J.R., & Peter, M.B. (2008). Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization. *American Journal of Potato Research*, 85(2), 110-120. <https://doi.org/10.1007/s12230-008-9001-y>
- Ciavatta, C.M., Govi, L., Sitti, L., & Gessa, C. (1997). Influence of blood meal organic fertilizer on soil organic matter: A laboratory study. *Journal Plant Nutrition*, 20(11), 1573-1591. <https://doi.org/10.1080/01904169709365358>

4. Ejraei, A.K., & Karimian, N.A. (1997). *Comparison of iron release time from blood powder and iron sulfate used in a calcareous soil*. Sixth Iranian Soil Science Congress. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. pp. 178-179. (in Persian with English abstract).
5. Ekelof, J. (2007). *Potato yield and tuber set as affected by phosphorous fertilization*. Master Project in the Horticultural Science Program, Netherland, Ed (ECTS). pp. 2-20. (30 p).
6. Gee, G.W., & Bauder, J.W. (1986). *Particle-size analysis*. pp. 383-411. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
7. Gholami, M., Sharifi, Z., & Renella, G. (2023). Agro-environmental assessment of recycling abattoir blood meal powder as an organic fertilizer using soil quality index and hazard quotient. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, Special Issue*, 75-91. <https://doi.org/10.30486/IJROWA.2023.1963320.1506>
8. Ghorbanzadeh, N., Haqnia, G.H., Lakzian, A., & Fatout, A. (2008). Availability of nitrogen and iron from soil enriched with blood powder and its effect on corn plant growth. *Journal of Water and Soil*, 22(2), 175-186. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i22.1015>
10. Gross, J. (1991). *Pigments in Vegetables*. 2th ed. Von Nostrand Rrinhold, New York. 351 p.
11. Hassan-Panah, D., & Hassan-Abadi, H. (2018). Studying the tolerance of promising potato cultivars and clones to low irrigation. *Scientific Research Journal of Ecophysiology of Crop Plants and Weeds*, 16, 1-18. (In Persian with English abstract).
12. Jackson, D.S (1999). Multiple signaling pathways control tuber induction in potato plant. *Plant Physiology Journal*, 119, 1-8. <https://doi.org/10.1104/pp.119.1.1>
13. Khatar, M., Mohammadi, M.H., & Shekari, F. (2017). Effect of soil salinity on the wheat and bean nutrients in low matric suctions. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(1), 25-38. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijswr.2017.61338>
14. Koenig, R., & Johnson, M. (1999). Selection and using organic fertilizers. Utah State University Extension. Department of Agriculture, Utah State University: Logan, UT, USA.
15. Lee, J. (2010). Effect of application methods of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production, *Science Horticulture*, 124, 299-305. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.01.004>
16. Menzel, C.M. (1985). Tubertization in potato at high temperature: Interaction between tem-perature and irradiance. *Annual Botany*, 55, 35-39.
17. Mohasseli, V., & Farbood, F. (2019). The possibility of replacing blood powder instead of Fe EDDHA consumption in *Melissa Officinalis* L. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17(3), 457-463. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v17i3.74666>
18. Momtaz, N., Parvin, A., Hossain, M.K., Saha, B., Moniruzzaman, M., Kibria, A., Sarkerand, M.A.M., & Munshi., J.L. (2021). Blood meal organic fertilizer application on onion yield. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 56(2), 87-94. <https://doi.org/10.3329/bjsir.v56i2.54315>
19. Nelson, D.W., & Sommers, L.E. (1982). *Total carbon, organic carbon and organic matter*. In: D.L.Sparks A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabaei, C.T. Johnson and M.E. Sumner (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods*. Soil Sci. Soc. Am. Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI, USA. pp. 967-1010.
20. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. & Dean, L.A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular. 939. US Gov. Print. Office, Washington, DC.
21. Poliquit, D.E., & Gamusa, E.V. (2022). Soil chemical properties as BM strengths on fertilizer in cabbage (*Brassica oleracea* var. Capitata) under protected cultivation. *Journal of the Austrian Society of Agricultural Economics*, 18, 977-987.
22. Roy, M., Das, R., Kundu, A., Karmakar, S., Das, S., Sen, P., Debsarcar, A., & Mukherjee, J. (2015). Organic cultivation of tomato in India with recycled slaughterhouse wastes: Evaluation of fertilizer and fruit safety. *Agriculture*, 5, 826–856. <https://doi.org/10.3390/agriculture503082>
23. Shariatmadari, H. (1989). *Investigating the possibility of using blood powder as iron fertilizer*. MSc. Thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, 112 p. (in Persian with English abstract)
24. Solomon, S. (2004). *Organic Gardener's Composting*. Chapter 4. All about Materials. p. 49-66.
25. Yuan, G., Ligu, J., Bo, H., Ashok, A., & Mingshou, F. (2014). Potato stolon and tuber growth influenced by nitrogen form. *Plant Production Science*, 17(2), 138-143. <https://doi.org/10.1626/pp.17.138>
26. Yunta, F., Di Foggia, M., Bellido-Díaz, V., Morales-Calderón, M., Tessarin, P., López-Rayó, S., Tinti, A., Kovacs, K., Klencsar, Z., Fodor, F., & Rombola, A.D. (2013). Blood meal-based compound. Good choice as iron fertilizer for organic farming. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 3995–4003. <https://doi.org/10.1021/jf305563b>

Assessment of Active Compound Extraction from the Marjoram (*Origanum vulgare*) Influenced by Dielectric Barrier Discharge (DBD) Plasma Pretreatment

S. Mohtashami ^{1*}

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

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

Received: 13 February 2025

Revised: 28 April 2025

Accepted: 10 May 2025

Available Online: 10 May 2025

How to cite this article:

Mohtashami, S. (2026). Assessment of active compound extraction from the marjoram (*Origanum vulgare*) influenced by dielectric barrier discharge (DBD) plasma pretreatment. *Journal of Horticultural Science*, 39(3), 735-748. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92105.1415>

Introduction

Plant materials contain many bioactive compounds such as alkaloids, flavonoids, terpenoids, phenolic compounds, etc., which can be used to prepare health products, cosmetics, medicines, food additives, etc., and have great importance for improving human health and quality of life (Ahmadian *et al.*, 2023). In recent years, the extraction of bioactive compounds from plant materials has attracted much attention. Extracting these active compounds is a challenging task because they are usually present in small amounts in plants and special techniques and methods are required for their successful isolation (Qin *et al.*, 2022). Bioactive substances are usually found inside or between plant cells. The main resistance factor to the diffusion of bioactive substances into the solvent during extraction is the plant cell wall (Zhao *et al.*, 2014). In order to improve extraction efficiency, pretreatments are usually performed before the extraction operation to destroy cell wall structure, increase cell wall permeability, and promote release of active substances (Ijod *et al.*, 2022). Cold plasma has shown a wide application prospect in food processing, pharmaceutical and health care, environmental protection, biomedicine, and many other fields due to its many advantages such as low temperature, high efficiency, low energy consumption, and environmental compatibility (Melotti *et al.*, 2021). When cold plasma is applied to plant materials, it can destroy the cell wall structure and increase the surface hydrophilicity of the materials, thereby improving the extraction efficiency (Keshavarzi *et al.*, 2020). Therefore, it can be widely used as a pre-extraction treatment. Nevertheless, there is no comprehensive study on DBD cold plasma pretreatment technology to enhance the extraction of bioactive compounds from plant materials, which is suitable for researchers to continue their research. Therefore, the present study aimed to investigate the effect of cold plasma pretreatment on the extraction rate of active compounds from *Origanum vulgare*.

Materials and Methods

Oregano seeds were sown in the medicinal plant farm of Jahrom University in October 2023, and aerial parts of the plant was harvested in May 2024 at the flowering stage and dried in shade. After drying, the samples were subjected to DBD cold plasma pretreatment, with air as the carrier gas and different voltages and times. Then, essential oil extraction and extraction were performed on the pretreated samples, and some of the active substances such as essential oil content, total phenolic compounds, flavones and flavonols, total flavonoids, tannin contents, antioxidant activity, and total carbohydrates were measured. In this study, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with 3 replications. The first factor included time at three levels (0, 3, and 6 minutes) and the second factor included voltage at two levels (20 and 30 kV). For the pretreatment of the samples for essential oil extraction, 30 g of dried marjoram plant were hand-cut and crushed for each treatment, and then 30 ml of water was added to them, and then they were placed in a plasma device.



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

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92105.1415>

After the treatments, the samples were extracted. Plasma pretreatment was applied to investigate its effect on the phytochemical compounds in the extract, as follows: the plant samples were powdered using an electric grinder, and then five g of the powdered sample was weighed for each treatment and 25 ml of 70% methanol solvent was added to them. After the powdered samples were completely mixed with the solvent, they were placed in a plasma device for plasma pretreatment. After the treatments, the samples were extracted.

Results and Discussion

The findings of this study showed that a voltage of 30 kV for 3 minutes was more effective in extracting the non-volatile active substances of oregano and led to an increase in all of their measured traits compared to the control treatment. Also, the lowest amount of active substances measured in this study was observed in the 30 kV treatment for 6 minutes. According to the results obtained from this study, it can be concluded that the duration of plasma pretreatment has a greater effect than the output voltage on the extraction of non-volatile active ingredients. So that in this study, using a voltage of 30 kV for 3 minutes led to an increase in the active substances of oregano, while using the same voltage for 6 minutes led to the opposite result. Although the effect of plasma pretreatment on the extraction of essential oil was not significant. However, the highest amount of essential oil was measured in the control treatment and the lowest amount was in the 30 kV voltage treatment for 3 minutes, indicating the destruction of essential oil glands and loss of essential oil at this voltage. At present, the mechanism of cold plasma treatment to improve the extraction efficiency of active substances is not fully understood, but it is generally believed that it can be attributed to two possible mechanisms: the decomposition of cell wall structure and increase of surface hydrophilicity. Disruption of plant cell wall structure can reduce diffusion resistance of active substances, thereby promoting their release. Meanwhile, increase of surface hydrophilicity of materials facilitates the dissolution and diffusion of hydrophilic active substances, thereby improving the extraction efficiency (Bao *et al.*, 2020a; 2020b).

Conclusion

The findings of this study showed that a voltage of 30 kV for 3 minutes was more effective than other treatments in extracting non-volatile active ingredients of oregano and led to an increase in all measured traits compared to the control treatment. While the effect of plasma treatments on the extraction rate of essential oil was not significant.

Keywords: Antioxidant activity, Essential oil, Extract, Phenolic compounds, Voltage

ارزیابی میزان استخراج مواد مؤثره گیاه دارویی مرزنجوش (*Origanum vulgare*) تحت تأثیر پیش تیمار پلاسمای تخلیه سد دی الکتریک (DBD)

سعیده محتشمی^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰

چکیده

ساختار دیواره سلولی گیاهی، مقاومت اصلی در برابر انتشار مواد زیست فعال به حلال را در فرآیند استخراج آن ها از مواد گیاهی ایجاد می کند. اخیراً پلاسمای سرد به عنوان یک فناوری پیش تیمار قبل از استخراج استفاده می شود که می تواند به طور مؤثر ساختار دیواره سلولی را مختل و در نتیجه راندمان استخراج مواد مؤثره را به طور قابل توجهی بهبود بخشد. در این تحقیق، به منظور بررسی تأثیر پیش تیمار پلاسمای تخلیه سد دی الکتریک (DBD) بر میزان استخراج مواد مؤثره گیاه دارویی مرزنجوش (*Origanum vulgare*)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. عامل اول شامل زمان در سه سطح (صفر، سه و شش دقیقه) و عامل دوم شامل ولتاژ در دو سطح (۲۰ و ۳۰ کیلوولت) بود. مواد مؤثره اندازه گیری شده شامل میزان اسانس، فلاون ها و فلاونول ها، فلاونوئیدها، ترکیبات فنلی کل، فعالیت آنتی اکسیدانی، تانن ها و کربوهیدرات کل بود. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار فلاونوئیدها (۲۵۳/۳۳ میلی گرم معادل کوئرستین در گرم نمونه خشک)، ترکیبات فنلی کل (۱۰۸/۴۹ میلی گرم معادل اسید گالیک بر گرم وزن خشک) و فعالیت آنتی اکسیدانی (۸۳/۶۵ درصد) در عصاره مرزنجوش در ولتاژ ۳۰ کیلوولت به مدت سه دقیقه مشاهده شد، در حالی که کمترین میزان فلاونوئیدها (۸۸/۱ میلی گرم)، ترکیبات فنلی کل (۶۲/۱ میلی گرم) و فعالیت آنتی اکسیدانی (۴۸/۱۲ درصد) در ولتاژ ۳۰ کیلوولت به مدت شش دقیقه اندازه گیری شد. تأثیر پیش تیمار پلاسمای بر میزان استخراج اسانس معنی دار نبود. با این حال بیشترین (۰/۷ درصد) و کمترین (۰/۵۸ درصد) میزان اسانس به ترتیب در شاهد و ولتاژ ۳۰ کیلوولت به مدت سه دقیقه مشاهده شد که نشان دهنده تخریب غده های اسانس و از دست رفتن اسانس در این ولتاژ بود. یافته های این پژوهش نشان داد که ولتاژ ۳۰ کیلوولت به مدت سه دقیقه منجر به افزایش مواد مؤثره غیر فرار نسبت به شاهد شد، در حالی که تیمار ۳۰ کیلوولت به مدت شش دقیقه مواد مؤثره غیر فرار را کاهش داد.

واژه های کلیدی: اسانس، ترکیبات فنلی، عصاره، فعالیت آنتی اکسیدانی، ولتاژ

مقدمه

متنوعی با ارزش کاربردی بالا تولید کرد که نقش مثبتی در بهبود سلامت و کیفیت زندگی انسان ایفا خواهد کرد (Xi et al., 2024). در سال های اخیر، استخراج مواد فعال زیستی از مواد گیاهی توجه زیادی را به خود جلب کرده است. استخراج این ترکیبات فعال یک کار چالش برانگیز است، زیرا معمولاً به مقدار کمی در گیاه وجود دارند و به تکنیک ها و روش های خاصی برای جداسازی موفقیت آمیز آن ها نیاز است (Qin et al., 2022). روش های استخراج سنتی مانند جوشاندن، خیساندن، سوکسله، رفلاکس گرم، تقطیر با بخار و غیره و برخی از روش های استخراج جدید مانند مافوق صوت، مایکروویو، سیال فوق بحرانی و غیره به طور گسترده در استخراج اجزاء فعال از گیاهان استفاده شده اند (Ray et al., 2023; Tan et al., 2022; Tran et al., 2023; Wang et al., 2023). مواد زیست فعال معمولاً

مواد گیاهی حاوی بسیاری از ترکیبات زیست فعال مانند آلکالوئیدها، فلاونوئیدها، ترپنوئیدها، ترکیبات فنلی و غیره هستند که می توان از آن ها برای تهیه محصولات بهداشتی، آرایشی، داروها، افزودنی های غذایی و غیره استفاده کرد و برای بهبود سلامت و کیفیت زندگی انسان از اهمیت بالایی برخوردار می باشند (Ahmadian et al., 2023). بنابراین استخراج ترکیبات زیست فعال از مواد گیاهی از اهمیت بالایی برخوردار است و می توان محصولات

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

(*)- نویسنده مسئول: Email: s.mohtashami@jahromu.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92105.1415>

در داخل یا بین سلول‌های گیاهی یافت می‌شوند. عامل مقاومت اصلی در برابر انتشار مواد زیست‌فعال به حلال در طول استخراج، دیواره سلولی گیاهی است (Zhao et al., 2014). به‌منظور بهبود راندمان استخراج، پیش‌تیمارهایی معمولاً قبل از عملیات استخراج انجام می‌شود تا ساختار دیواره سلولی را از بین برده، نفوذپذیری دیواره سلولی را افزایش دهد و باعث انتشار مواد فعال شود (Ijod et al., 2022). فناوری‌های رایج پیش‌تیمار فعلی عمدتاً شامل آسیاب کردن مکانیکی، همگن‌سازی فشار بالا، میدان الکتریکی پالسی، اولتراسونیک، مایکروویو، یخ-ذوب، آنزیم، انفجار بخار و غیره است (Ghazanfari et al., 2023) و هرکدام دارای محدودیت‌هایی می‌باشند. بالین‌حال، قطر ذرات پس از آسیاب مکانیکی معمولاً خیلی کوچک است، به‌طوری‌که دشواری جداسازی و عملیات استخراج را افزایش می‌دهد (Tan et al., 2020). اعمال همگن‌سازی فشار بالا در فرآیندهای پیوسته یا نیمه‌پیوسته دشوار بوده و هزینه مخزن تحت فشار بالا است (Huang et al., 2023). میدان الکتریکی پالسی و پیش‌تیمار اولتراسوند نمی‌تواند مواد گیاهی را به‌طور یکنواخت تیمار کند، به همین دلیل کاربرد وسیع آن‌ها را در صنعت محدود می‌کند (Ghazanfari et al., 2023). دمای پیش‌تیمار مایکروویو برای اجزای حساس به حرارت بسیار بالا است (Regan et al., 2023). پیش‌تیمار یخ و ذوب دارای هزینه عملیاتی بالا و زمان پردازش طولانی است (Bassey et al., 2022). پیش‌تیمار آنزیمی پرهزینه و به شرایط محیطی حساس است (Zhang et al., 2023). انفجار بخار شامل فشار بالا و دمای بالا است که نیاز به تجهیزات تخصصی و هزینه‌های عملیاتی را افزایش می‌دهد (Huang et al., 2023). بنابراین، توسعه یک فناوری پیش‌تیمار سبز، اقتصادی و ساده برای بهبود کارایی استخراج مهم است.

پلاسما حالتی از ماده است که در آن یک گاز خنثی (مانند هوا، نیتروژن، هلیوم، آرگون و غیره) به‌طور کامل یا تا حدی یونیزه می‌شود و در نتیجه مخلوطی از ذرات باردار (الکترون‌های آزاد، یون‌های مثبت و منفی)، رادیکال‌ها، مولکول‌های برانگیخته و غیربرانگیخته و همچنین فوتون‌های فرابنفش را در بر می‌گیرد (Ahmadian et al., 2023). پلاسما به‌دلیل تفاوت زیاد آن با خواص حالت جامد، مایع و گاز، به‌عنوان "وضعیت چهارم" ماده نیز شناخته می‌شود (Birania et al., 2022). روش‌های مختلفی از جمله تخلیه کرونا، تخلیه دی-الکترونیک، تخلیه قوس‌گلاید، پلاسمای مایکروویو و پلاسمای امواج رادیویی برای تولید پلاسما وجود دارد. در تخلیه سد دی‌الکترونیک^۱ (DBD)، پلاسما معمولاً بین دو الکترود که توسط یک لایه دی-الکترونیک از هم جدا شده‌اند، ایجاد می‌شود. در یک محفظه بسته، از

ترکیب گازهای خنثی یا بی‌اثر استفاده می‌شود که با جریان بین دو الکترود و اعمال یک مدار ولتاژ بالا به یکی از الکترودها، گازها یونیزه و پلاسما تولید می‌شود. یکی از مهم‌ترین مزیت‌های این روش، سازگاری با طیف وسیعی از گازها می‌باشد که DBD را به متداول‌ترین منبع تولید پلاسما تبدیل کرده است. پلاسما را می‌توان به دو نوع پلاسمای حرارتی و غیرحرارتی (سرد) تقسیم کرد. پلاسمای سرد به پلاسمایی اطلاق می‌شود که دمای کل سیستم آن نزدیک یا کمی بالاتر از دمای اتاق باشد (Birania et al., 2022). با توجه به مزایای آن در دمای پایین، راندمان بالا، مصرف کم انرژی، سازگاری با محیط زیست، پلاسمای سرد چشم‌انداز کاربرد گسترده‌ای را در فرآوری مواد غذایی، دارویی و بهداشتی، حفاظت از محیط‌زیست، زیست‌پزشکی و بسیاری از زمینه‌ها نشان داده است (Melotti et al., 2021). هنگامی که پلاسمای سرد روی مواد گیاهی اعمال می‌شود، می‌تواند ساختار دیواره سلولی را از بین ببرد و آب‌دوستی سطحی مواد را افزایش دهد و در نتیجه کارایی استخراج را بهبود بخشد (Keshavarzi et al., 2020). بنابراین، می‌تواند به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان یک تیمار قبل از عملیات استخراج استفاده شود. در حال حاضر، پلاسمای سرد با موفقیت در پیش‌تیمار تفاله انگور (*Vitis vinifera*)، تفاله گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*)، زوفا (*Hyssopus officinalis*)، برگ چای سبز (*Camellia sinensis*) و غیره برای استخراج پلی‌فنل‌ها، فلاونوئیدها، آنتوسیانین، اسانس‌ها، روغن و غیره استفاده شده است که چشم‌انداز توسعه گسترده آن را نشان می‌دهد (Keshavarzi et al., Bao et al., 2020a; 2020b; 2020; Ahmadian et al., 2023).

مرزنجوش (*Origanum vulgare*) گیاهی از خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است که در سراسر جهان به‌عنوان یک ادویه و طعم‌دهنده بسیار محبوب مورد استفاده قرار می‌گیرد. این گیاه به‌علت دارا بودن ترکیب تیمول، دارای خواصی شبیه به آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) بوده و در طب سنتی از آن به‌عنوان دارویی مقوی، قاعده‌آور، ضدنفخ، ملین، مدر، مقوی معده و آرام‌بخش اعصاب استفاده می‌شود (Mozaffarian, 1998). در تحقیقات فارماکولوژیکی اخیر نشان داده شده است که گونه‌های مختلف مرزنجوش به‌دلیل داشتن تیمول، کارواکرول و برخی دیگر از ترکیبات فنلی دارای فعالیت‌های ضدباکتری، ضدقارچی، ضدویروسی و آنتی‌اکسیدانی هستند (Morshedloo et al., 2018).

با توجه به اینکه تاکنون بررسی جامعی در ارتباط با تأثیر فناوری پیش‌تیمار پلاسمای سرد DBD بر افزایش استخراج مواد فعال زیستی از مواد گیاهی وجود ندارد، بررسی حاضر با هدف بررسی تأثیر پیش-

نمونه‌های پودر شده به‌طور کامل با حلال مخلوط شدند، جهت اعمال پیش‌ تیمار پلاسما در دستگاه پلاسما قرار گرفتند. پس از اعمال تیمارها، عصاره‌گیری کامل از نمونه‌ها انجام شد. در نمونه‌های شاهد بدون هیچ‌گونه پیش‌ تیماری از آن‌ها عصاره‌گیری و اسانس‌گیری به عمل آمد.

عصاره‌گیری

عصاره‌گیری به‌روش وجدی‌لو و همکاران (Wojdylo et al., 2007) با مختصر تغییرات انجام شد. بدین منظور به هر کدام از نمونه‌های پیش‌ تیمار شده، میزان ۲۵ میلی‌لیتر حلال متانول ۷۰ درصد دیگر اضافه گردید (عصاره‌گیری نهایی با نسبت پنج به یک: حلال به نمونه گیاهی انجام شد) و به مدت ۲۴ ساعت بر روی شیکر با دور ۲۰۰ دور در دقیقه^۱ نگهداری شدند و سپس عصاره به‌دست‌آمده جهت یکنواختی به مدت ۱۰ دقیقه داخل سانتریفیوژ با دور ۵۰۰۰ قرار گرفت و بخش مایع روشن‌تر جدا شد و به‌عنوان عصاره جهت انجام آزمایش‌های مربوط به ویژگی‌های فیتوشیمیایی (اندازه‌گیری میزان فلاون‌ها و فلاونول‌ها، فلاونوئید کل، میزان تانن، کربوهیدرات کل، ترکیبات فنلی کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی) به کار برده شد.

اندازه‌گیری میزان فلاون‌ها و فلاونول‌ها

برای اندازه‌گیری میزان فلاون‌ها و فلاونول‌ها براساس روش ارائه‌شده توسط پوپوا و همکاران (Popova et al., 2004) با تغییرات جزئی انجام شد. بدین صورت که در ابتدا میزان دو میلی‌لیتر از عصاره تهیه‌شده از هر نمونه برداشته و میزان ۲۰ میلی‌لیتر متانول به آن اضافه شد و سپس مقدار یک میلی‌لیتر آلومینیوم کلرید پنج درصد به آن اضافه گردید و در نهایت با متانول به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی و دمای محیط نگهداری گردید و سپس عدد جذب در طول موج ۴۲۵ نانومتر خوانده شد. میزان این ترکیبات براساس استاندارد کوثرستین (رسم نمودار منحنی استاندارد از غلظت‌های مختلف) محاسبه شد.

اندازه‌گیری میزان فلاونوئیدها

شناسایی و محاسبه میزان ترکیبات فلاونوئیدی براساس روش منی‌چینی و همکاران (Menichini et al., 2009) با تغییرات جزئی انجام شد. در ابتدا مقدار یک میلی‌لیتر از عصاره هر نمونه برداشته شد و به آن ۳۰۰ میکرولیتر سدیم نیتريت پنج درصد اضافه گردید. پس از پنج دقیقه بعد از اضافه کردن سدیم نیتريت، ۶۰۰ میکرولیتر آلومینیوم کلرید ۱۰ درصد اضافه شد و پس از گذشت شش دقیقه از زمان اضافه

تیمار پلاسما سرد بر میزان استخراج برخی از مواد مؤثره موجود در گیاه مرزنجوش انجام شد.

مواد و روش‌ها

بذر گیاه مرزنجوش در مهرماه ۱۴۰۲ در مزرعه گیاهان دارویی دانشگاه جهرم (شهرستان جهرم، استان فارس: ۲۸ درجه و ۵۳ دقیقه عرض جغرافیایی، ۱۰۸۲ متر ارتفاع از سطح دریا) کشت شدند و برداشت پیکره رویشی گیاه در اردیبهشت ماه ۱۴۰۳ مصادف با مرحله گل‌دهی کامل، از سطح حدود ۱۰ سانتی‌متری خاک انجام گردید و در شرایط سایه در دمای آزمایشگاه ($30 \pm 2^\circ\text{C}$) خشک شدند. پس از خشک شدن (گذشت پنج روز)، نمونه‌ها تحت تأثیر پیش‌ تیمار پلاسما سرد DBD قرار گرفتند، به‌طوری‌که هوا به‌عنوان گاز حامل بود و از ولتاژ و زمان‌های متفاوت استفاده شد. سپس از نمونه‌های پیش‌ تیمار شده اسانس‌گیری و عصاره‌گیری انجام شد و برخی از مواد مؤثره این گیاه مانند فلاون‌ها و فلاونول‌ها، فلاونوئید کل، میزان تانن، کربوهیدرات کل، ترکیبات فنلی کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و میزان اسانس اندازه‌گیری گردید.

پیش‌ تیمار پلاسما

در این تحقیق از دستگاه پلاسما سرد تخلیه سد دی‌الکتریک (DBD) ساخت کشور ایران (شرکت کاوش یاران، مدل Enhanced Tech-18A) استفاده شد. به‌طوری‌که هوا به‌عنوان گاز حامل، با خروجی ولتاژ ۲۰ و ۳۰ کیلوولت، فاصله الکترودی دو سانتی‌متر و زمان صفر، سه و شش دقیقه جهت تیمار نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. فاکتور اول شامل زمان در سه سطح (صفر، سه و شش دقیقه) و فاکتور دوم شامل ولتاژ در دو سطح (۲۰ و ۳۰ کیلوولت) بود. اعمال پیش‌ تیمار پلاسما جهت بررسی اثر آن بر میزان اسانس و ترکیبات فیتوشیمیایی موجود در عصاره انجام شد. بدین صورت که جهت پیش‌ تیمار پلاسما به‌منظور استخراج اسانس، برای هر تیمار میزان ۳۰ گرم گیاه خشک مرزنجوش با دست به قطعات کوچک خرد شدند و سپس ۳۰ میلی‌لیتر آب به آن‌ها اضافه گردید و سپس در دستگاه پلاسما قرار داده شدند (علت پودر نکردن نمونه‌ها، جلوگیری از تبخیر بیشتر اسانس به‌دلیل پودر شدن و همچنین شرایط پلاسما بود). پس از اعمال تیمارها، اسانس‌گیری از نمونه‌ها به‌روش تقطیر با آب به‌وسیله دستگاه کلونجر انجام شد. اعمال پیش‌ تیمار پلاسما جهت بررسی اثر آن بر ترکیبات فیتوشیمیایی موجود در عصاره، بدین صورت بود که نمونه‌های گیاهی به‌وسیله آسیاب برقی کاملاً پودر گردید و سپس برای هر تیمار به‌میزان پنج گرم نمونه پودر شده وزن شد و ۲۵ میلی‌لیتر حلال متانول ۷۰ درصد به آن‌ها اضافه گردید. پس از اینکه

کردن آلومینیوم کلرید، دو میلی‌لیتر سود یک نرمال اضافه گردید. در ادامه، این محلول با استفاده از آب مقطر به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد و اعداد جذب در طول موج ۵۱۰ نانومتر قرائت گردید. در نهایت، تبدیل داده‌های حاصل از جذب به غلظت‌های مختلف کوئرتستین با رسم منحنی استاندارد کوئرتستین انجام شد و نتایج براساس میلی‌گرم معادل کوئرتستین در گرم وزن خشک بیان گردید.

اندازه‌گیری مقادیر تانن

برای تعیین مقادیر تانن در نمونه‌ها از معرف وانیلین-اسیدکلریدریک^۱ که توسط برودهورست و جونز (Broadhurst & Jones, 1978) ارائه شده است، استفاده گردید. در ابتدا مقدار ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره هر نمونه برداشته شد و مقدار سه میلی‌لیتر معرف وانیلین (چهار درصد حجمی وزنی: ۴ گرم وانیلین در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول) اضافه و کاملاً مخلوط گردید. سپس میزان ۱/۵ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک به محلول‌های قبلی افزوده شد و به‌صورت کامل مخلوط گردید. محلول حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در تاریکی و در دمای اتاق نگهداری و بعد از آن، اعداد جذب در طول موج ۵۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری گردید. تبدیل داده‌های حاصل از جذب به غلظت‌های مختلف کاتکین^۲ با رسم منحنی استاندارد انجام شد و نتایج به‌صورت میلی‌گرم معادل کاتکین در گرم وزن خشک بیان گردید.

اندازه‌گیری کربوهیدرات کل

جهت اندازه‌گیری قندهای محلول، ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره هر نمونه برداشته شد، سپس سه میلی‌لیتر معرف آنترون به نمونه‌ها اضافه گردید. در نهایت پس از ۱۰ دقیقه قرار دادن نمونه‌ها در حمام آب جوش، نمونه‌ها داخل آب سرد قرار گرفت و سپس میزان جذب نور در ۶۳۰ نانومتر انجام گرفت. جهت تهیه محلول استاندارد در این آزمایش از گلوکز خالص استفاده شد و نتایج به‌صورت میلی‌گرم معادل گلوکز در گرم نمونه خشک بیان گردید (Yemm & Willis, 1954).

اندازه‌گیری میزان ترکیبات فنلی کل

اندازه‌گیری ترکیبات فنلی در نمونه‌ها با استفاده از معرف فولین سیوکالتیو^۳ انجام شد. در این روش، از هر نمونه میزان ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره با ۲۰۰ میکرولیتر فولین ۵۰ درصد کاملاً مخلوط گردید و سپس میزان ۲۰۰۰ میکرولیتر آب مقطر به محلول اضافه شد و بعد از

سه دقیقه، ۱۰۰۰ میکرولیتر سدیم کربنات ۲۰ درصد به محلول اضافه شد و بعد از ۱۰ ثانیه تکان شدید توسط دستگاه شیکر انگشتی، جهت انجام کامل واکنش و جدا شدن ترکیبات فنلی، نمونه‌ها به مدت یک ساعت در دمای اتاق و شرایط تاریکی نگهداری گردید. در نهایت عدد جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (Wojdylo et al., 2007). تبدیل داده‌های حاصل از جذب به غلظت‌های مختلف اسیدگالیک با رسم منحنی استاندارد اسیدگالیک انجام گردید و نتایج به‌صورت میلی‌گرم معادل اسیدگالیک در گرم وزن خشک بیان شد.

اندازه‌گیری میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی

روش‌های مختلفی جهت ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان دارویی وجود دارد. یکی از روش‌های مرسوم استفاده از آزمون دی‌پی-پی‌اچ^۴ DPPH می‌باشد. در این آزمایش، از روش توصیه‌شده توسط اک و همکاران (Oke et al., 2009) با اندکی تغییر استفاده شد. به همین منظور، ابتدا مقدار ۲۰ میکرولیتر از عصاره‌های هر نمونه به پنج میلی‌لیتر محلول DPPH با غلظت ۰/۰۰۴ درصد اضافه گردید. در محلول شاهد به‌جای عصاره، ۲۰ میکرولیتر متانول اضافه شد. محلول‌ها به مدت پنج ثانیه به‌وسیله شیکر انگشتی به‌شدت تکان داده شدند و مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط و شرایط تاریکی جهت انجام واکنش نگهداری شدند و در نهایت، اعداد جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. هرچه اعداد جذب پایین‌تر باشد، نشان‌دهنده فعالیت آنتی‌اکسیدانی قوی‌تر عصاره می‌باشد. درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد.

$$(۱) \quad \text{درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی} = ۱۰۰ \times \frac{\text{عدد جذب شاهد}}{\text{عدد جذب نمونه}} - \text{عدد جذب شاهد}$$

استخراج اسانس

جهت اسانس‌گیری، به نمونه‌های پیش‌تیمارشده پس از انتقال به بالن‌های ۵۰۰ میلی‌لیتری به‌میزان ۳۵۰ میلی‌لیتر آب اضافه شد و توسط دستگاه کلونجر به‌روش تقطیر با آب به‌مدت سه ساعت پس از به جوش آمدن در شرایط یکسان استخراج اسانس انجام گردید. بازده اسانس براساس وزن خشک نمونه‌ها به‌صورت حجمی-وزنی (v/w) میلی‌لیتر در ۱۰۰ گرم نمونه خشک محاسبه شد.

1- Vanillin-HCL

2- Catechin

3- Folin-Ciocalteu

4- 2,2- diphenyl picrylhydrazyl

طرح آماری و تجزیه تحلیل داده‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل (فاکتور اول: زمان در سه سطح (صفر، سه و شش دقیقه) و فاکتور دوم: ولتاژ در دو سطح (۲۰ و ۳۰ کیلوولت) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار جامپ (JMP) نسخه ۸ و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار زمان و ولتاژهای مختلف پلاسما بر بیشتر صفات اندازه‌گیری شده می‌باشد که به تفصیل در زیر ارائه شده است.

میزان فلاون‌ها و فلاونول‌ها و فلاونوئید کل

نتایج آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده زمان و ولتاژ و اثر متقابل آن‌ها بر میزان فلاون‌ها و فلاونول‌ها معنی‌دار شد (جدول ۱). در بررسی اثر متقابل زمان و ولتاژ پلاسما بر میزان فلاون‌ها و فلاونول‌ها، بیشترین میزان (۰/۸۱ میلی گرم معادل کوئرستین بر گرم نمونه خشک) در ولتاژ ۲۰ کیلوولت به مدت سه دقیقه مشاهده شد که

با تیمارهای ۳۰ کیلوولت به مدت سه دقیقه و شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت. درحالی‌که کمترین میزان (۰/۳۹ میلی گرم) در ولتاژ ۳۰ کیلوولت به مدت شش دقیقه حاصل گردید (شکل ۱). در بررسی اثرات ساده تیمارها (نتایج آن آورده نشده است)، کمترین میزان فلاون‌ها و فلاونول‌ها (۰/۴۸ میلی گرم کوئرستین بر گرم وزن خشک) در زمان شش دقیقه مشاهده شد، درحالی‌که بیشترین میزان (۰/۷۹ میلی گرم) مربوط به زمان سه دقیقه بود که تفاوت معنی‌داری با شاهد (۰/۷۶ میلی گرم) نداشت. کمترین میزان این ترکیب (۰/۷۱ و ۰/۶۴ میلی گرم) به ترتیب مربوط به ولتاژ ۲۰ و ۳۰ کیلوولت بود. براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اثر ساده زمان و اثر متقابل زمان و ولتاژ بر میزان فلاونوئید کل معنی‌دار بود، درحالی‌که اثر ساده ولتاژ معنی‌دار نبود (جدول ۱). در این تحقیق، بیشترین مقدار فلاونوئید کل (۲۵۳/۳۳ میلی گرم معادل کوئرستین در گرم نمونه خشک) در ولتاژ ۳۰ کیلوولت به مدت سه دقیقه مشاهده شد، درحالی‌که کمترین میزان (۸۸/۱ میلی گرم) در ولتاژ ۳۰ کیلوولت به مدت شش دقیقه به دست آمد (شکل ۱). در بررسی اثر ساده زمان، بیشترین میزان فلاونوئید کل (۲۳۰/۳۳ میلی گرم) در زمان سه دقیقه و کمترین میزان (۱۰۲/۴۶ میلی گرم) در زمان شش دقیقه مشاهده شد.

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر زمان و ولتاژهای مختلف پلاسما بر ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه مرزنجوش (*Origanum vulgare*)

Table 1- ANOVA (mean of squares) for the effect of time and different plasma voltages on the biochemical properties of *Origanum vulgare*

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	فلاون و فلاونول Flavone and flavonol	فلاونوئید کل Total flavonoid	میزان تانن Tannin content	کربوهیدرات کل Total carbohydrate	فنل کل Total phenol	فعالیت آنتی اکسیدانی Antioxidant activity	درصد اسانس Essential oil percent
زمان Time	2	0.17**	27718**	4.55**	13135.5**	1893.72**	1648.12**	0.02**
ولتاژ Voltage	1	0.02**	148.8ns	0.54**	450ns	27.68*	9.45ns	0.001ns
زمان × ولتاژ Time × voltage	2	0.01**	2132.5**	0.21**	218.3ns	202.32**	68.03**	0.0002ns
ضریب تغییرات CV (%)	-	22.09	22.31	21.07	24.28	18.06	19.49	8.04

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

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

مقدار تانن و کربوهیدرات کل

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، کلیه اثرات ساده و متقابل تیمارها بر میزان تانن استخراج شده از مرزنجوش معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین میزان تانن (۴/۴۷ میلی گرم معادل کاتکین در گرم نمونه خشک) در ولتاژ ۳۰ کیلوولت به مدت سه دقیقه اندازه‌گیری

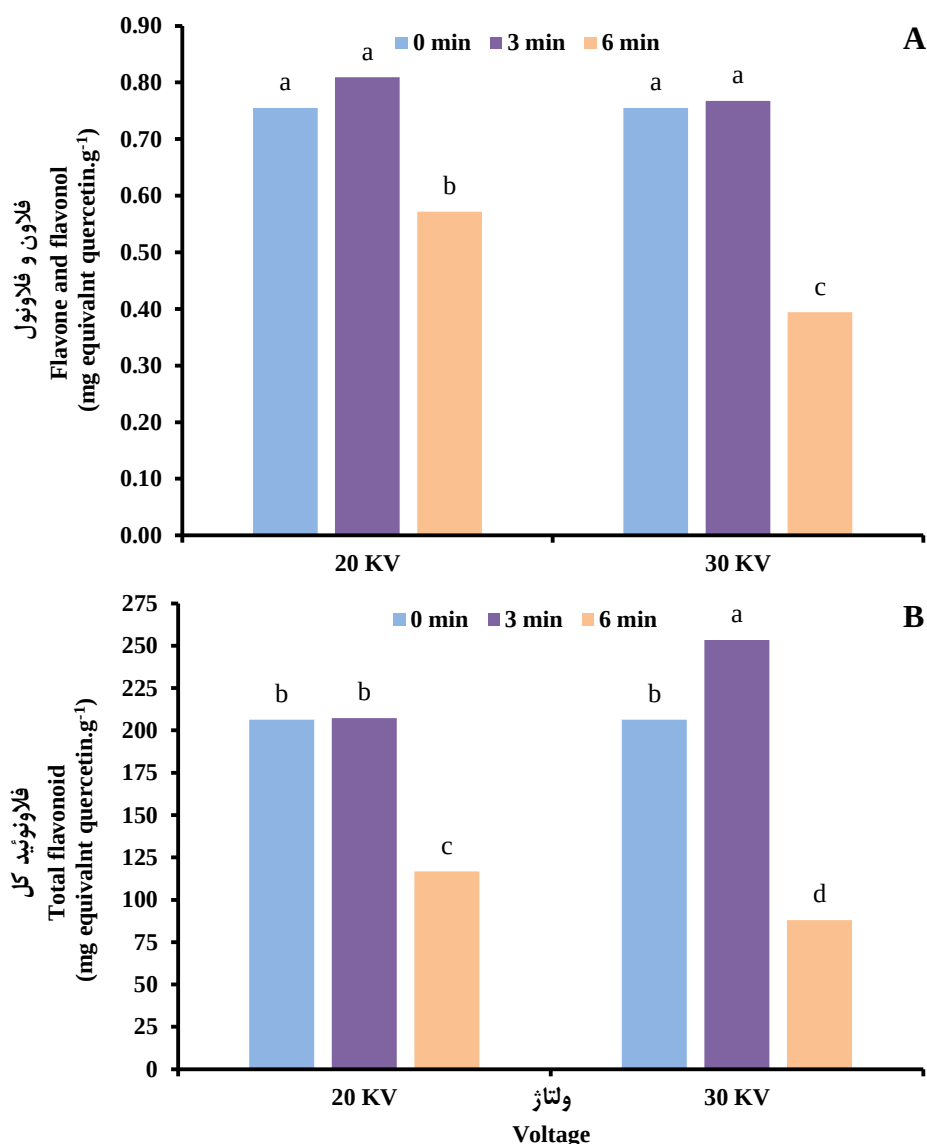
شد، و بعد از آن شاهد قرار داشت. درحالی‌که کمترین میزان (۲/۴۳ میلی گرم) در ولتاژ ۲۰ کیلوولت به مدت شش دقیقه مشاهده شد که با تیمار ولتاژ ۳۰ کیلوولت به مدت شش دقیقه در یک گروه قرار داشتند (شکل ۲). در بررسی اثرات ساده (نتایج آن آورده نشده است)، بیشترین میزان تانن‌ها مربوط به زمان سه دقیقه (۴/۰۹ میلی گرم) و

(جدول ۱). در این تحقیق، بیشترین میزان ترکیبات فنلی در ولتاژ ۳۰ کیلوولت به مدت سه دقیقه (۱۰۸/۴۹ میلی گرم معادل اسیدگالیک بر گرم وزن خشک) مشاهده شد که بعد از آن ولتاژ ۲۰ کیلوولت به مدت سه دقیقه (۹۳/۳۶ میلی گرم) قرار داشت. کمترین میزان (۶۲/۱ میلی گرم) در ولتاژ ۳۰ کیلوولت به مدت شش دقیقه اندازه گیری شد (شکل ۴). در بررسی اثرات ساده (نتایج آن آورده نشده است)، زمان سه دقیقه و ولتاژ ۳۰ کیلوولت نسبت به سایر تیمارها در استخراج ترکیبات فنلی مؤثرتر بودند.

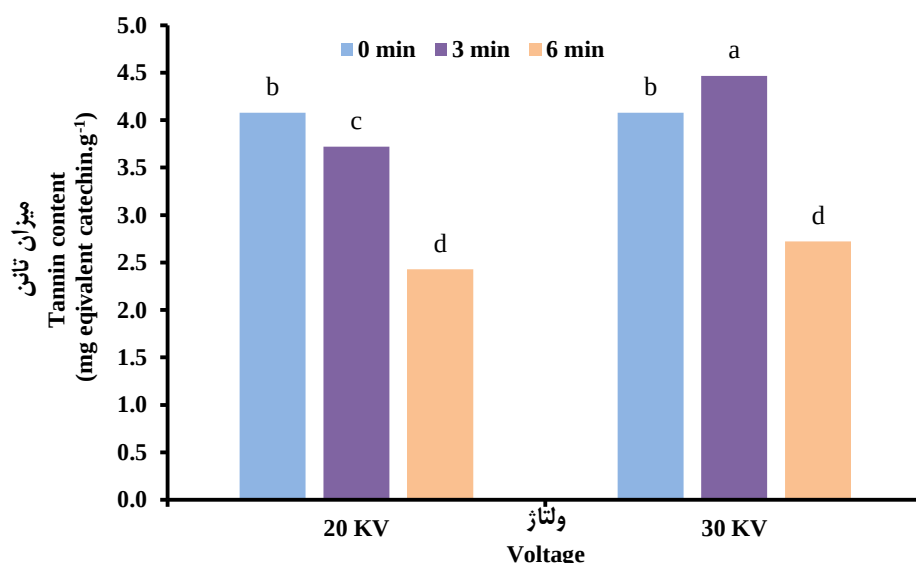
ولتاژ ۳۰ کیلوولت (۳/۷۶ میلی گرم) بود. براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، تنها اثر ساده زمان بر میزان کربوهیدرات کل معنی دار بود (جدول ۱). در بررسی اثر ساده زمان، بیشترین و کمترین میزان کربوهیدرات کل (۲۲۱/۷۰ میلی گرم و ۱۲۸/۷۰ میلی گرم) به ترتیب مربوط به زمان سه دقیقه و شش دقیقه بود که نسبت به شاهد اختلاف معنی داری داشتند (شکل ۳).

میزان ترکیبات فنلی کل و فعالیت آنتی اکسیدانی

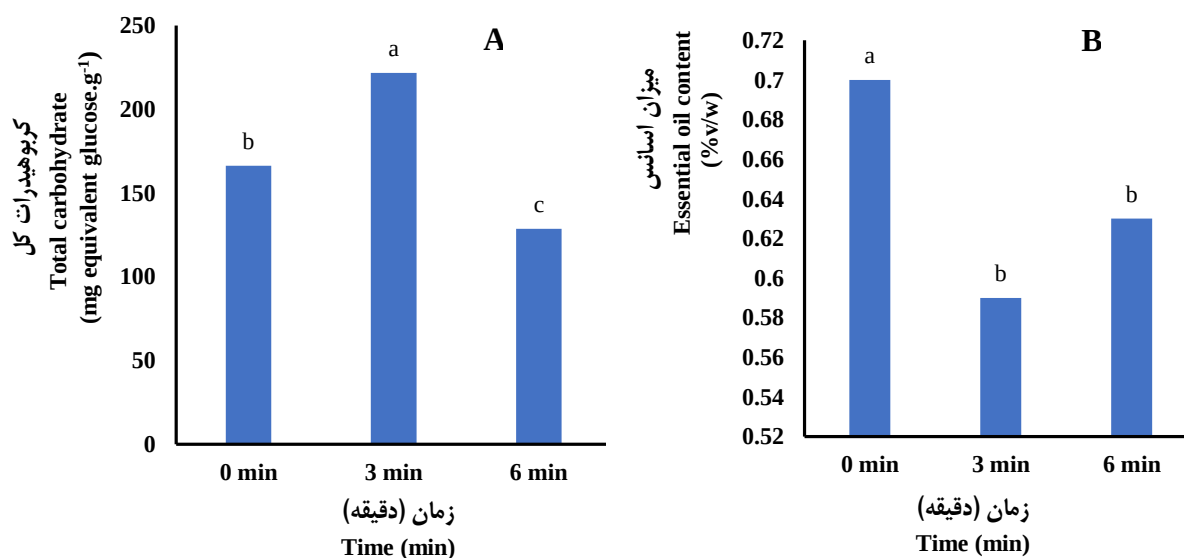
براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اثرات ساده و متقابل زمان و ولتاژهای مختلف پلاسما بر میزان ترکیبات فنلی معنی دار بود



شکل ۱- تغییر در میزان فلاون ها و فلاونول ها (A) و فلاونوئید کل (B) گیاه دارویی مرزنجوش تحت تأثیر متقابل زمان × ولتاژهای مختلف پلاسما
Figure 1- Changes in flavones and flavonols (A) and total flavonoid (B) contents in *Origanum vulgare* influenced by time × plasma voltage interaction (Tukey, $p \leq 0.05$)



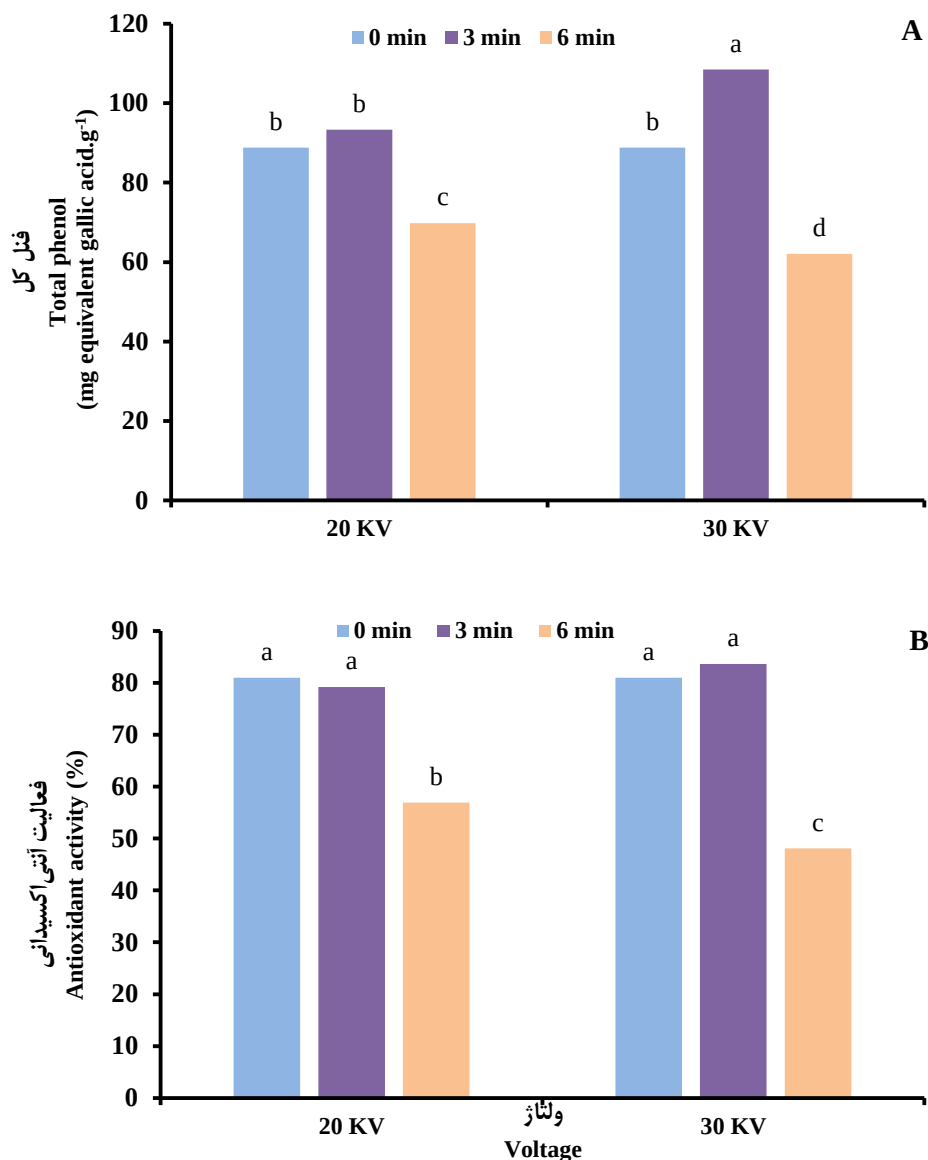
شکل ۲- اثر متقابل زمان × ولتاژهای مختلف پلاسما بر تغییرات میزان تانن موجود در عصاره گیاه مرزنجوش
Figure 2- The interaction effect of time × different plasma voltages in tannin content variation in *Origanum vulgare* (Tukey, $p \leq 0.05$)



شکل ۳- اثر زمان پلاسما بر میزان کربوهیدرات کل (A) و درصد اسانس (B) گیاه مرزنجوش
Figure 3- The effect of plasma time on the total carbohydrate (A) and essential oil percentage (B) in *Origanum vulgare* (Tukey, $p \leq 0.05$)

درحالی که کمترین میزان (۴۸/۱۲ درصد) در ولتاژ ۳۰ کیلوولت به مدت شش دقیقه مشاهده شد (شکل ۴). در بررسی اثر ساده زمان (نتایج آن آورده نشده است)، بیشترین فعالیت آنتی اکسیدانی (۸۱/۴۳ درصد) مربوط به زمان سه دقیقه بود که نسبت به شاهد تفاوت معنی داری نداشت، درحالی که کمترین میزان (۵۲/۵۲ درصد) در زمان شش دقیقه مشاهده شد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان دهنده معنی دار بودن اثر ساده زمان و اثر متقابل زمان و ولتاژ بر فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره مرزنجوش بود، درحالی که اثر ساده ولتاژ معنی دار نبود. بالاترین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی در مرزنجوش (۸۳/۶۵ درصد) مربوط به ولتاژ ۳۰ کیلوولت به مدت سه دقیقه بود که در مقایسه با تیمارهای ۲۰ کیلوولت به مدت سه دقیقه و شاهد تفاوت معنی داری نداشت،



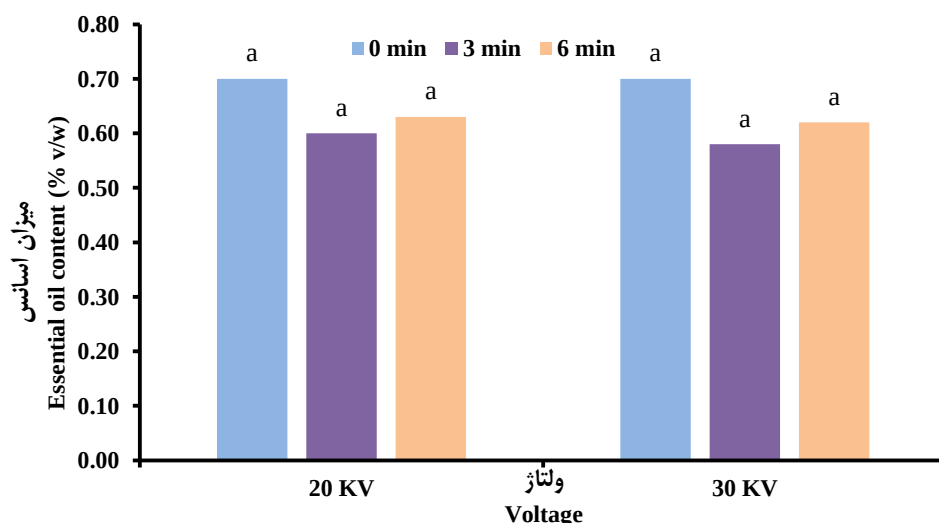
شکل ۴- اثر متقابل زمان × ولتاژهای مختلف پلاسما بر میزان فنل کل (A) و فعالیت آنتی اکسیدانی (B) عصاره گیاه مرزنجوش
Figure 4- The interaction effect of time × plasma voltages on the total phenols (A) and antioxidant activity (B) in *Origanum vulgare* extract (Tukey, $p \leq 0.05$)

اختلاف معنی داری وجود نداشت (شکل ۳).

یافته‌های این پژوهش نشان داد که ولتاژ ۳۰ کیلوولت به مدت سه دقیقه در استخراج مواد مؤثره غیرفرار مرزنجوش مؤثرتر بود و منجر به افزایش کلیه صفات اندازه‌گیری شده آن‌ها نسبت به شاهد شد. همچنین کمترین میزان مواد مؤثره اندازه‌گیری شده در این تحقیق در تیمار ۳۰ کیلوولت به مدت شش دقیقه حاصل گردید. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق، مدت زمان انجام پیش تیمار پلاسما نسبت به میزان ولتاژ خروجی اثر بیشتری در استخراج مواد مؤثره غیرفرار دارد.

میزان اسانس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده ولتاژ و اثر متقابل زمان و ولتاژهای مختلف پلاسما بر میزان اسانس معنی دار نبود و فقط اثر ساده زمان معنی دار گردید (جدول ۱). اگرچه اثر متقابل تیمارها از نظر آماری بر میزان استخراج اسانس معنی دار نبود، پایین‌ترین و بیشترین میزان اسانس (۰/۷۰ و ۰/۵۸ درصد) به ترتیب در شاهد و ولتاژ ۳۰ کیلوولت به مدت سه دقیقه مشاهده شد (شکل ۵). همچنین در بررسی اثر ساده زمان، بیشترین میزان اسانس در زمان صفر (شاهد) حاصل گردید و بین زمان‌های سه و شش دقیقه



شکل ۵- اثر متقابل زمان × ولتاژ پلاسما بر میزان اسانس گیاه مرزنجوش

Figure 5- The interaction effect of time × plasma voltage on the essential oil percentage in *Origanum vulgare* (Tukey, $p \leq 0.05$)

مکانیکی موج ضربه، آسیب برساند (Ahmadian et al., 2023) (شکل ۶). اثر اچینگ ذرات باردار به برخورد ذرات باردار و مولکول‌های دیواره سلولی اشاره دارد که پیوندهای شیمیایی درون مولکول‌ها را می‌شکند و منجر به تخریب ساختار دیواره سلولی می‌شود (Bao et al., 2020a). اثر اچینگ می‌تواند الکترون‌های پرانرژی تولید کند که قادر به عبور از دیواره سلولی هستند و واکنش‌های بیوشیمیایی زیادی را آغاز می‌کنند و باعث شکسته شدن پیوندهای داخلی مولکول می‌شوند که به نوبه خود مواد دیواره سلولی را شکننده‌تر می‌کند (Bao et al., 2020a; 2020b).

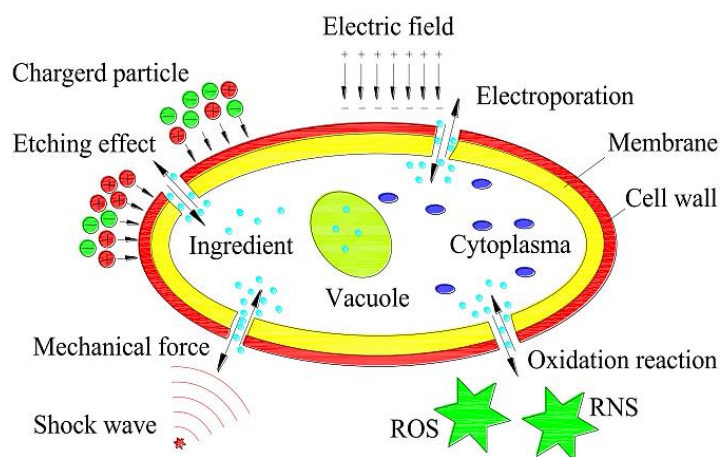
اکسیداسیون گونه واکنشی به واکنش اکسیداسیون تولیدشده توسط ROS^3 یا RNS^4 با مولکول‌های دیواره سلولی اشاره دارد. ROS و RNS دارای ظرفیت اکسیداتیو قوی برای اکسید کردن مولکول‌های آلی داخل دیواره سلولی به قطعات کوچک‌تر و شروع واکنش‌های هیدرولیز و پلیمریزاسیون دیواره سلولی هستند (Melotti et al., 2021). این واکنش‌ها منجر به تغییراتی در ساختار مولکولی دیواره سلولی و در نتیجه تخریب دیواره سلولی می‌شود. علاوه بر این، تیمار پلاسما سرد، قدرت میدان الکتریکی قوی ایجاد می‌کند که می‌تواند باعث شکست غیرقابل برگشت ساختار سلولی شود که مشابه سازوکار الکتروپوراسیون میدان‌های الکتریکی پالسی است (Birania et al., 2022). علاوه بر این، نیروی مکانیکی ایجادشده توسط موج شوک پلاسما نیز می‌تواند دیواره سلولی را تخریب کند (Danijela et al., 2018).

به‌طوری‌که در این تحقیق، استفاده از ولتاژ ۳۰ کیلوولت به‌مدت سه دقیقه منجر به افزایش مواد مؤثره گیاه دارویی مرزنجوش شد، درحالی‌که استفاده از همین ولتاژ به‌مدت شش دقیقه منجر به نتیجه عکس شد. به عبارت دیگر، زمان شش دقیقه نه‌تنها تأثیر مثبت نداشت، بلکه باعث کاهش مواد مؤثره غیرفرار نیز شد. بنابراین با توجه به نتایج این تحقیق، تأثیر زمان می‌تواند بیشتر از ولتاژ باشد. درحالی‌که بیشترین میزان اسانس در شاهد حاصل شد و کمترین میزان مربوط به تیمار ولتاژ ۳۰ کیلوولت به‌مدت سه دقیقه بود که نشان‌دهنده تخریب غده‌های اسانس و از دست رفتن اسانس در این ولتاژ بود. اگرچه تأثیر پیش‌تیمار پلاسما بر استخراج اسانس معنی‌دار نبود.

در حال حاضر، سازوکار تیمار پلاسما سرد برای بهبود راندمان استخراج مواد مؤثره به‌طور کامل شناخته نشده است، اما به‌طور کلی اعتقاد بر این است که می‌توان آن را به دو سازوکار احتمالی نسبت داد: ۱- تجزیه ساختار دیواره سلولی و ۲- افزایش آب‌دوستی سطح می‌تواند مقاومت در برابر انتشار مواد مؤثره را کاهش دهد و در نتیجه باعث آزاد شدن آن‌ها شود. در همین حال، افزایش آب‌دوستی سطح مواد، انحلال و انتشار مواد مؤثره آب‌دوست را تسهیل می‌کند و در نتیجه راندمان استخراج را بهبود می‌بخشد. هنگامی که پلاسما سرد روی سلول‌های گیاهی اعمال می‌شود، می‌تواند به ساختار دیواره سلولی از طریق اثر اچینگ^۱ ذرات باردار، اکسیداسیون گونه‌های واکنش‌پذیر شیمیایی، الکتروپوراسیون^۲ میدان‌های الکتریکی و نیروی

3- Reactive oxygen species
4- Reactive nitrogen species

1- Etching
2- Electroporation



شکل ۶- سازوکار تخریب دیواره سلولی توسط پلاسمای سرد (Xi et al., 2024)
Figure 6- The mechanism of cell wall destruction by cold plasma (Xi et al., 2024)

DBD) تحت تأثیر پلاسمای سرد نیتروژن (*Camellia sinensis*) به ترتیب به میزان ۴۱/۱۴ و ۴۱/۰۶ درصد افزایش یافت (Keshavarzi et al., 2020). دلیل اینکه تیمار پلاسمای سرد می تواند آبدوستی سطح مواد را بهبود بخشد، این است که می تواند باعث واکنش های شیمیایی و اصلاح سطح شود (Bao et al., 2020a; 2020b). وقتی گاز توسط میدان الکتریکی برانگیخته می شود، گونه های واکنش پذیر شیمیایی مانند الکترون های پرانرژی، یون های مثبت و رادیکال های آزاد تولید می گردند. این گونه های فعال با سطح مواد گیاهی واکنش نشان می دهند و می توانند برخی از گروه های عاملی آبدوست مانند آمین، کربنات، آمید و کربوکسیل را در سطح ماده ایجاد کنند (Karunanithi et al., 2023). نتایج حاصل از این تحقیق نیز اثر مثبت پیش تیمار پلاسما بر استخراج مواد مؤثره غیرفرار مرزنجوش را به دلایل فوق الذکر نشان داد. علاوه بر این، ولتاژها و زمان های به کاررفته در این تحقیق، اثر زیادی بر میزان استخراج اسانس نداشت. احتمالاً ولتاژها و زمان های به کارگرفته شده در این تحقیق موجب شکسته شدن زیاد غده های اسانس و در نهایت منجر به از دست رفتن اسانس شده است. به نظر می رسد در صورتی که هدف، استخراج اسانس مرزنجوش باشد، باید از سایر ولتاژها و زمان های مختلف استفاده کرد تا منجر به افزایش استخراج اسانس شود.

نتیجه گیری

یافته های این پژوهش نشان داد که ولتاژ ۳۰ کیلوولت به مدت سه دقیقه در استخراج مواد مؤثره غیرفرار مرزنجوش مؤثرتر از سایر تیمارها بود و منجر به افزایش کلیه صفات اندازه گیری شده نسبت به

به طور کلی، این احتمال وجود دارد که ترکیبی از این سازوکارها منجر به تخریب دیواره سلولی توسط پلاسمای سرد شود. بائو و همکاران (Bao et al., 2020a) تغییرات قابل توجهی در ریخت شناسی سلولی تفاله انگور (*Vitis vinifera*) تیمار شده با ۶۰ کیلوولت پلاسمای سرد DBD به مدت ۵ دقیقه، ۱۰ دقیقه و ۱۵ دقیقه با میکروسکوپ الکترونی مشاهده کردند. در بررسی اثر پیش تیمار پلاسما بر استخراج ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) گزارش شده است که پیش تیمار پلاسما موجب افزایش استخراج ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی اکسیدانی در این گیاه شد. همچنین در این تحقیق نشان داده شده است که پیش تیمار پلاسما موجب کاهش زاویه تماس و در نتیجه افزایش آبدوستی سطح می شود (Ahmadian et al., 2023). بائو و همکاران (Bao et al., 2020b) در مطالعه پلاسمای سرد اتمسفر ولتاژ بالا با گازهای مختلف (هوا، آرگون، هلیوم و نیتروژن)، برای اصلاح سطح تفاله گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum*) با هدف تسهیل مهاجرت ترکیبات فنلی در حین استخراج و در نتیجه افزایش راندمان استخراج گزارش دادند که علاوه بر پاره شدن سلول های اپیدرمی تفاله گوجه فرنگی، تیمارهای پلاسمای سرد اتمسفر ولتاژ بالا برای کاهش زاویه تماس پوست با آب و تسریع خشک شدن میوه گوجه فرنگی، موجب آبدوست تر شدن سطوح تیمار شده می شود. تفاله گوجه فرنگی تیمار شده با پلاسمای هلیوم و نیتروژن، بازده استخراج ترکیبات فنلی را نزدیک به ۱۰ درصد افزایش داد و تمام تیمارهای پلاسمای سرد اتمسفر ولتاژ بالا، ظرفیت آنتی اکسیدانی عصاره تفاله گوجه فرنگی را افزایش داده و غلظت ترکیبات فنلی آن ها را کمی تغییر دادند. همچنین گزارش شده است که میزان ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی اکسیدانی برگ های چای سبز

شاهد شد. همچنین کمترین میزان مواد مؤثره غیرفرار اندازه‌گیری شده در این تحقیق در تیمار ۳۰ کیلوولت به مدت شش دقیقه مشاهده گردید. تأثیر پیش‌تیمار پلاسما بر میزان استخراج اسانس معنی‌دار نبود. با این حال کمترین میزان اسانس در ولتاژ ۳۰ کیلوولت به مدت سه دقیقه مشاهده گردید و بیشترین میزان اسانس در شاهد مشاهده شد

که نشان‌دهنده تخریب غده‌های اسانس و از دست رفتن اسانس در این ولتاژ بود. به طور کلی با توجه به نتایج این تحقیق، استفاده از پیش‌تیمار ۳۰ کیلو ولت به مدت سه دقیقه جهت استخراج مواد مؤثره غیرفرار مرزنجوش پیشنهاد می‌گردد و برای استخراج اسانس از این گیاه ولتاژهای پایین‌تر توصیه می‌گردد.

References

- Ahmadian, S., Kenari, R.E., Amiri, Z.R., Sohbatazadeh, F., & Khodaparast, M.H.H. (2023). Effect of ultrasound-assisted cold plasma pretreatment on cell wall polysaccharides distribution and extraction of phenolic compounds from hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). *International Journal of Biological Macromolecules*, 233, 123557. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123557>
- Bao, Y., Reddivari, L., & Huang, J.Y. (2020a). Enhancement of phenolic compounds extraction from grape pomace by high voltage atmospheric cold plasma. *LWT – Journal of Food Science and Technology*, 133, 109970. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109970>
- Bao, Y., Reddivari, L., & Huang, J.Y. (2020b). Development of cold plasma pretreatment for improving phenolics extractability from tomato pomace. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 65, 102445. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102445>
- Bassey, E.J., Cheng, J.H., & Sun, D.W. (2022). Thermoultrasound and microwave-assisted freeze-thaw pretreatments for improving infrared drying and quality characteristics of red dragon fruit slices. *Ultrasonics Sonochemistry*, 91, 106225. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106225>
- Birania, S., Attkan, A.K., Kumar, S., Kumar, N., & Singh, V.K. (2022). Cold plasma in food processing and preservation: A review. *Journal of Food Process*, 45, e14110. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14110>
- Broadhurst, R.B., & Jones, W.T. (1978). Analysis of condensed tannins using acidified vanillin. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 29, 788-794. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740290908>
- Danijela, B.K., Marta, M., Francisco, J.B., Daniel, G., Shahin, R., Kumar, M., Domenico, M., Jose, M.L., & Predrag, P. (2018). Innovative technologies for the recovery of phytochemicals from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves: A review. *Food Chemistry*, 268, 513–521. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.091>
- Ghazanfari, N., Yazdi, F.T., Mortazavi, S.A., & Mohammadi, M. (2023). Using pulsed electric field pretreatment to optimize coriander seeds essential oil extraction and evaluate antimicrobial properties, antioxidant activity, and essential oil compositions. *LWT - Food Science and Technology*, 18, 114852. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114852>
- Huang, Q., Hong, T., Zheng, M., Yang, Y., Zhu, Y., Jiang, Z., Ni, H., & Li, Q. (2023). High-pressure homogenization treatment of red seaweed *Bangia fusco-purpurea* affects the physicochemical, functional properties and enhances in vitro anti-glycation activity of its dietary fibers. *Innovative Food Science and Emerging*, 86, 103369. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103369>
- Ijod, G., Musa, F.N., Anwar, F., Suleiman, N., Adzahan, N.M., & Azman, E.M. (2022). Thermal and nonthermal pretreatment methods for the extraction of anthocyanins: A review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46, e17255. <https://dx.doi.org/10.1111/jfpp.17255>
- Karunanithi, S., Guha, P., & Srivastav, P.P., (2023). Cold plasma-assisted microwave pretreatment on essential oil extraction from betel leaves: Process optimization and its quality. *Food and Bioprocess Technology*, 16, 603–626. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02957-3>
- Keshavarzi, M., Najafi, G., Gavligi, H.A., Seyfi, P., & Ghomi, H. (2020). Enhancement of polyphenolic content extraction rate with maximal antioxidant activity from green tea leaves by cold plasma. *Journal of Food Science*, 85 (10), 3415–3422. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15448>
- Melotti, L., Martinello, T., Perazzi, A., Martines, E., Zuin, M., Modenese, D., Cordaro, L., Ferro, S., Maccatrozzo, L., Iacopetti, I., & Patruno, M. (2021). Could cold plasma act synergistically with allogeneic mesenchymal stem cells to improve wound skin regeneration in a large size animal model? *Research in Veterinary Science*, 136, 97–110. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2021.01.019>
- Menichini, F., Tundis, R., Bonesi, M., Loizzo, M.R., Conforti, F., Statti, G., De Cindio, B., Houghton, P.J., & Menichini, F. (2009). The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinense* Jacq. cv. Habanero. *Food Chemistry*, 114(2), 553-560. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.086>
- Morshedloo, M.R., Ahmadi, H., Pir, Ali Hamedani, M., & Yazdani, D. (2018). An over review to *Origanum vulgare* L. and its pharmacological properties. *Journal of Medicinal Plants*, 17(68), 15-31. (In Persian with English abstract). <http://jmp.ir/article-1-1809-en.html>

16. Mozaffarian, V.A. (1998). *Dictionary of Iranian Plants Names*. Farhange Moaser. Iran. pp. 381. (In Persian)
17. Oke, F., Aslim, B., Ozturk, S., & Altundag, S. (2009). Essential oil composition, antimicrobial and antioxidant activities of *Satureja cuneifolia* Ten. *Food Chemistry*, 112, 874-879. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.061>
18. Popova, M., Bankova, V., Butovska, D., Petkov, V., Nikolova-Damyanova, B., Sabatini, A.G., Marcazzan, G.L., & Bogdanov, S. (2004). Validated methods for the quantification of biologically active constituents of poplar-type propolis. *Phytochemical Analysis*, 15, 235-240. <https://doi.org/10.1002/pca.777>
19. Qin, D., Xiang, B., Zhou, X., Qiu, S., & Xi, J. (2022). Microemulsion as solvent for naphthoquinones extraction from walnut (*Juglans mandshurica Maxim*) green husk using high voltage electrical discharge. *Separation and Purification Technology*, 281, 119983. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.119983>
20. Ray, A., Dubey, K.K., Marathe, S.J., & Singhal, R. (2023). Supercritical fluid extraction of bioactives from fruit waste and its therapeutic potential. *Food Bioscience*, 52, 102418. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102418>
21. Regan, C., Silvia, R., Daniel, M., Magda, C., & Francisc, M. (2023). Optimization of softwood pretreatment by microwave-assisted deep eutectic solvents at high solids loading. *Bioresource Technology*, 369, 128470. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128470>
22. Tan, J., Cui, P., Ge, S., Cai, X., Li, Q., & Xue, H. (2022). Ultrasound assisted aqueous two-phase extraction of polysaccharides from *Cornus officinalis* fruit: Modeling, optimization, purification, and characterization. *Ultrasonics Sonochemistry*, 84, 105966. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.105966>
23. Tan, J., Hua, X., Liu, J., Wang, M., Liu, Y., Yang, R., & Cao, Y. (2020). Extraction of sunflower head pectin with superfine grinding pretreatment. *Food Chemistry*, 320, 126631. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126631>
24. Tran, N.T.K., Nguyen, V.B., Tran, T.V., & Nguyen, T.T.T. (2023). Microwave-assisted extraction of pectin from jackfruit rags: Optimization, physicochemical properties and antibacterial activities. *Food Chemistry*, 418, 135807. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135807>
25. Wang, Y., Zhou, X., Wei, S., Wang, G., & Xi, J. (2023). Current status and future challenges in extraction, purification and identification of cepharanthine (a potential drug against COVID-19). *Separation and Purification Technology*, 309, 123038. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.123038>
26. Wojdylo, A., Oszmianski, J., & Czemerys, R. (2007). Antioxidant activity and phenolic compound in 32 selected herbs. *Food Chemistry*, 1005, 940-949. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.038>
27. Xi, J., Wang, Y., Zhou, X., Wei, Sh., & Zhang, D. (2024). Cold plasma pretreatment technology for enhancing the extraction of bioactive ingredients from plant materials: A review. *Industrial Crops & Products*, 209, 117963. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117963>
28. Yemm, E., & Willis, A. (1954). The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemical Journal*, 57(3), 508. <https://doi.org/10.1042/bj0570508>
29. Zhang, Z., Lu, J., Pan, Q., Cheng, Y., Tao, Y., Du, J., & Wang, H. (2023). Highly efficient pretreatment at low enzyme loading from reed: Synergy of liquid hot water-ammonia/oxygen and non-ionic surfactants as enzymatic hydrolysis additive. *Industrial Crops & Products*, 193, 116257. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116257>
30. Zhao, S., Baik, O.D., Choi, Y.J., & Kim, S.M. (2014). Pretreatments for the efficient extraction of bioactive compounds from plant-based biomaterials. *Critical Reviews in Food Science*, 54(10), 1283-1297. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.632698>

Contents

Effect of Propanol, Butanol and Pentanol on Vase Life and Quality of Cut Carnation cv. Nelson (<i>Dianthus caryophyllus</i> cv. Nelson) Flower	549
D. Hashemabadi, A. Soleimani, B. Kaviani, N. Naziri Moghaddam	
Study the Effect of some Biofertilizers on Growth, Leaf Nutrient Contents and Yield Properties of Apple (<i>Malus domestica</i> cv. Red delicious)	567
A. Salehi, F. Nekounam, F. Razavi	
Study Flowering and Effect of Various Hand Pollination Methods on Fertility of some Native <i>Salvia</i> Species of Iran	583
Gh. Esmaili, M. Azizi, H. Aroiee, J. Vaezi	
Evaluation of the Allelopathic Effects of some Plant Species on the Germination and Growth of Lettuce Seedlings (<i>Lactuca sativa</i> var. Great Lakes 366) using the Sandwich Method	597
S. Amini, M. Shamshirkesh Shahri	
Supplementary LED Light Impact (type and duration) on Some Physiological Traits and Hypericine content of <i>Hypericum perforatum</i>	611
E. Ghafourian Hozouri Esfahan, M. Azizi	
Effect of Red and Blue LED Lights on Morphological and Physiological Characteristics of Hyssop (<i>Hyssopus officinalis</i> L.)	631
F. Esmaili, H. Bayat, H. Nastari Nasrabadi, M.H. Aminifard	
The Effect of Foliar Application of Sodium Selenite and Calcium Nitrate on Nitrate Accumulation in Spinach (<i>Spinacia oleracea</i> L.) in Shahrekord Region	647
A. Farahmandi, B. Haghighati, B. Madani	
Estimation of Frost Damage in Walnut Trees (<i>Juglans regia</i>) using Remote Sensing	663
E. Gohari, H. Torabzadeh Khorasani, S. Alvandy, M. Heidari Mozaffar	
Evaluation of Promising Almond Genotypes (<i>Prunus dulcis</i> L) Base on Vegetative, Phenological, and Quantitative and Qualitative Characteristics of Nuts and Kernels	677
S.A. Mousavi, A. Vatankhah, A. Imani	
The Improvement of Germination, Growth and Biochemical Indices of <i>Echium amoenum</i> Fisch & Mey. under Different Light Qualities	699
R. Nabipour Sanjbod, E. Chamani, Y. Pourbeyrami Hir	
Comparison of the Effects of Chicken Manure and Blood Meal versus Chemical Fertilizer on the Growth Traits and Yield of Potatoes (<i>Solanum tuberosum</i> L.) under Deficit Irrigation Conditions	715
Kh., Parvizi, A., Ghadami Firoozabadi, M., Khataar, M. Ahmadian	
Assessment of Active Compound Extraction from the Marjoram (<i>Origanum vulgare</i>) Influenced by Dielectric Barrier Discharge (DBD) Plasma Pretreatment	735
S. Mohtashami	

(AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY)

Vol. 39

No. 4 Winter 2026

Published by: College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Editor in charge: Valizadeh,R.(Ruminant Nutrition) Prof. Ferdowsi University of Mashhad

General Chief Editor: Tehranifar,A. (Horticultural Sciences) Prof. Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board:

Arouiee, H.	Horticultural Sciences	Ferdowsi University of Mashhad
Abedi, B.	Horticultural Sciences	Ferdowsi University of Mashhad
Tehraniyar,A.	Horticultural Sciences	Ferdowsi University of Mashhad
Shoor, M.	Horticultural Sciences	Prof. Ferdowsi University of Mashhad
Haghighi, M.	Horticultural Sciences	Prof. Isfahan University of Technology
Hassanzadeh Mobini , S	Phytotron Facility Manager	Department of Biology, Faculty of Arts and Science, Queen's University 'Kingston, Canada
Khanizadeh,SH.	Research Scientist	Bioproducts and Bioprocesses, Agriculture and Agri-Food Canada
Khazaei, H	Plant Breeding	Plant Breeding, AVRDC - The World Vegetable Center
Davarynejad, GH.	Horticultural Sciences	Ferdowsi University of Mashhad
M. Rahemi	Horticultural Sciences	Shiraz University
Zamani, Z.	Horticultural Sciences	University of Tehran, Iran
Sharifani, M.M.	Horticultural Sciences	Gorgan University of Agricultural Science & Natural Resources
Azizi, M.	Medicinal Plants	Ferdowsi University of Mashhad
Ebadi,A.	Horticultural Sciences	Tehran University
Fallahi,E.	Horticultural Sciences	Department of Plant Sciences, University of Idaho
Farsi, M.	Plant Breeding and Genetics	Ferdowsi University of Mashhad
Kafi, M.	Floriculture and landscaping	Tehran University
Fujii, Y.	Agricultural	Tokyo University of Agriculture and Technology, International Environmental and Agricultural Sciences

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad

Address: College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

P.O.BOX: 91775- 1163

Tel: +98-0511- 38804621

Fax: +98-0511- 8787430

E-Mail: Jhorts4@um.ac.ir

Web Site: <https://jhs.um.ac.ir>

Contents

Effect of Propanol, Butanol and Pentanol on Vase Life and Quality of Cut Carnation cv. Nelson (<i>Dianthus caryophyllus</i> cv. Nelson) Flower	549
D. Hashemabadi, A. Soleimani, B. Kaviani, N. Naziri Moghaddam	
Study the Effect of some Biofertilizers on Growth, Leaf Nutrient Contents and Yield Properties of Apple (<i>Malus domestica</i> cv. Red delicious).....	567
A. Salehi, F. Nekounam, F. Razavi	
Study Flowering and Effect of Various Hand Pollination Methods on Fertility of some Native <i>Salvia</i> Species of Iran	583
Gh. Esmacili, M. Azizi, H. Aroiee, J. Vaezi	
Evaluation of the Allelopathic Effects of some Plant Species on the Germination and Growth of Lettuce Seedlings (<i>Lactuca sativa</i> var. Great Lakes 366) using the Sandwich Method	597
S. Amini, M. Shamshirkesh Shahri	
Supplementary LED Light Impact (type and duration) on Some Physiological Traits and Hypericine content of <i>Hypericum perforatum</i>	611
E. Ghafourian Hozouri Esfahan, M. Azizi	
Effect of Red and Blue LED Lights on Morphological and Physiological Characteristics of Hyssop (<i>Hyssopus officinalis</i> L.)	631
F. Esmacili, H. Bayat, H. Nastari Nasrabadi, M.H. Aminifard	
The Effect of Foliar Application of Sodium Selenite and Calcium Nitrate on Nitrate Accumulation in Spinach (<i>Spinacia oleracea</i> L.) in Shahrekord Region.....	647
A. Farahmandi, B. Haghighati, B. Madani	
Estimation of Frost Damage in Walnut Trees (<i>Juglans regia</i>) using Remote Sensing	663
E. Gohari, H. Torabzadeh Khorasani, S. Alvandy, M. Heidari Mozaffar	
Evaluation of Promising Almond Genotypes (<i>Prunus dulcis</i> L) Base on Vegetative, Phenological, and Quantitative and Qualitative Characteristics of Nuts and Kernels	677
S.A. Mousavi, A. Vatankhah, A. Imani	
The Improvement of Germination, Growth and Biochemical Indices of <i>Echium amoenum</i> Fisch & Mey. under Different Light Qualities.....	699
R. Nabipour Sanjbod, E. Chamani, Y. Pourbeyrami Hir	
Comparison of the Effects of Chicken Manure and Blood Meal versus Chemical Fertilizer on the Growth Traits and Yield of Potatoes (<i>Solanum tuberosum</i> L.) under Deficit Irrigation Conditions.....	715
Kh., Parvizi, A., Ghadami Firoozabadi, M., Khataar, M. Ahmadian	
Assessment of Active Compound Extraction from the Marjoram (<i>Origanum vulgare</i>) Influenced by Dielectric Barrier Discharge (DBD) Plasma Pretreatment	735
S. Mohtashami	