نشریه علمی
علـوم باغبـانی
(علوم و صنایع کشاورزی)

جلد ۴۰ شماره ۱
سال ۱۴۰۵

شماره پیاپی ۶۹
شاپا: ۲۰۰۸-۴۷۳۰

عنوان مقالات

عملکرد و کیفیت پرتقال 'ناولینا' (*Citrus sinensis* cv. Navelina) روی پایه‌های مختلف مرکبات در شمال ایران..... ۳
نگین اخلاقی امیری- علی اسدی کنگرشاهی

بهینه‌سازی شرایط کشت درون شیشه‌ای برای کالوس‌زایی گیاه گل راعی (*Hypericum perforatum* L.) بومی ایران ۲۱
منیژه عبدالله پور - مجید عزیزی - سیامک کلانتری - یوسف علی سعادت

تأثیر اسیدفولویک بر ویژگی‌های مورفو-فیزیولوژیکی و عمر گلجای رز رقم (*Rosa hybrida* c.v Dolce vita) تحت تنش شوری ۳۳
مریم داننده - رسول آذرمی - موسی ترابی گیگلو - اسماعیل چمنی - زهرا اصلانی

اثر محلول‌پاشی پوتریسین بر رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی نشاء گل‌گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum*) در شرایط شوری..... ۴۷
بهروز رحیم خانی- محبوبه ناصری- احمد احمدیان- مسعود علی پناه

تأثیر پیش‌تیمارهای مختلف بر جوانه‌زنی بذر گیاه دارویی درمنه سفید (*Artemisia herba-alba*): راهکاری برای احیای یک گونه در معرض خطر ۶۳
افسانه عزیزی- محمد محمودی سورستانی- حسین معتمدی- مجید بگ‌نظری

اثر محلول‌پاشی جلبک دریایی و ساکارز بر برخی از شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی ریحان (*Ocimum basilicum* L.)..... ۷۹
عارفه خوشنودی آبرودی- وحید اکبرپور- محمدعلی بهمنیار- محبوبه آشناور

بررسی صفات رویشی و زینتی گونه‌های مختلف مریم‌گلی (*Salvia* spp.) درشرایط آب‌وهوایی بیرجند..... ۹۵
مریم عباس پور - حسن بیات - محمد حسین امینی فرد - فرید مرادی نژاد

بررسی صفات کمّی و کیفی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill) تحت تأثیر زمان و سطوح مختلف محلول‌پاشی با نانوکودپتاسیم ۱۰۵
نساء قره باغلی - احمد مهربان

اسانس اکالیپتوس (*Eucalyptus* spp) در شمال ایران: مقایسه ترکیبات با استانداردهای جهان و تولیدکننده‌های برتر..... ۱۲۳
زکیه ضیائی موحد- عباس یداللهی- لیلا سمیعی- محمدتقی عبادی- علی مختصی بیدگلی

ارزیابی هیبریدهای امیدبخش گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) با تأکید بر صفات کیفیت میوه و ماندگاری..... ۱۳۹
زهره سادات قیاسی لیمنجوبی- محمود لطفی- حسین رامشینی- سعادت ساریخانی

ارزیابی کارآیی ترکیبات تیوسولفات کلسیم و پتاسیم بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکرد گردو ایرانی رقم 'چندلر' (*Juglans regia* L. var. Chandler)..... ۱۵۷
صغری حیدری- ولی ربیعی- اصغر سلیمانی- فهیمه نصر

نشریه علوم باغبانی

(علوم و صنایع کشاورزی)

۲۱/۲۰۱۵ **۲۶۵۲۴**

با شماره پروانه ـــــــــ و درجه علمی – پژوهشی شماره ـــــــــ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

۶۸/۴/۱۱ **۷۳/۱۰/۱۹**

جلد ۴۰ شماره ۱ بهار ۱۴۰۵

بر اساس مصوبه وزارت عتف از سال ۱۳۹۸، کلیه نشریات دارای درجه "علمی-پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند.

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: رضا ولی زاده — استاد- تغذیه نشخوارکنندگان (دانشگاه فردوسی مشهد)

سردبیر: علی تهرانی فر — استاد- علوم باغبانی ومهندسی فضای سبز (دانشگاه فردوسی مشهد)

اعضای هیئت تحریریه:

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

ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: مشهد- کد پستی ۹۱۷۷۵ صندوق پستی ۱۱۶۳دانشکده کشاورزی - دبیرخانه نشریات علمی- نشریه علوم باغبانی نمابر: ۸۷۸۷۴۳۰

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 (۴ شماره در سال) چاپ و منتشر می شود.

بسم الله الرحمن الرحیم

مندرجات

عملکرد و کیفیت پرتقال 'ناولینا' (*Citrus sinensis* cv. Navelina) روی پایه‌های مختلف مرکبات در شمال ایران ۳
نگین اخلاقی امیری- علی اسدی کنگرشاهی

بهینه‌سازی شرایط کشت درون شیشه‌ای برای کالوس‌زایی گیاه گل راعی (*Hypericum perforatum* L.) بومی ایران ۲۱
منیژه عبدالله پور - مجید عزیزی - سیامک کلانتری - یوسف علی سعادت

تأثیر اسیدفولویک بر ویژگی‌های مورفو-فیزیولوژیکی و عمر گلجای رز رقم (*Rosa hybrida* c.v Dolce vita) تحت تنش شوری ۳۳
مریم داننده - رسول آذرمی - موسی ترابی گیگلو - اسماعیل چمنی - زهرا اصلانی

اثر محلول‌پاشی پوتریسین بر رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی نشاء گل‌گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum*) در شرایط شوری ۴۷
بهروز رحیم خانی- محبوبه ناصری- احمد احمدیان- مسعود علی پناه

تأثیر پیش‌تیمارهای مختلف بر جوانه‌زنی بذر گیاه دارویی درمنه سفید (*Artemisia herba-alba*): راهکاری برای احیای یک گونه در معرض خطر ۶۳
افسانه عزیزی- محمد محمودی سورستانی- حسین معتمدی- مجید بگ‌نظری

اثر محلول‌پاشی جلبک دریایی و ساکارز بر برخی از شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) ۷۹
عارفه خوشنودی آبرودی- وحید اکبرپور- محمدعلی بهمنیار- محبوبه آشناور

بررسی صفات رویشی و زینتی گونه‌های مختلف مریم‌گلی (*Salvia* spp.) درشرایط آب‌وهوایی بیرجند ۹۵
مریم عباس پور - حسن بیات - محمد حسین امینی فرد - فرید مرادی نژاد

بررسی صفات کمّی و کیفی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill) تحت تأثیر زمان و سطوح مختلف محلول‌پاشی با نانوکودپتاسیم ۱۰۵
نساء قره باغلی - احمد مهربان

اسانس اکالیپتوس (*Eucalyptus* spp) در شمال ایران: مقایسه ترکیبات با استانداردهای جهان و تولیدکننده‌های برتر ۱۲۳
زکیه ضیائی موحد- عباس یداللهی- لیلا سمیعی- محمدتقی عبادی- علی مختصی بیدگلی

ارزیابی هیبریدهای امیدبخش گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) با تأکید بر صفات کیفیت میوه و ماندگاری ۱۳۹
زهره سادات قیاسی لیمنجوبی- محمود لطفی- حسین رامشینی- سعادت ساریخانی

ارزیابی کارآیی ترکیبات تیوسولفات کلسیم و پتاسیم بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکرد گردو ایرانی رقم 'چندلر' (*Juglans regia* L. var. Chandler) ۱۵۷
صغری حیدری- ولی ربیعی- اصغر سلیمانی- فهیمه نصر

Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 40, No. 1, Spring 2026, p. 1-18

Yield and Quality of 'Navelina' Sweet Orange (*Citrus sinensis* cv. Navelina) on Different Citrus Rootstocks in the North of Iran

N. Akhlaghi Amiri[1*], A. Asadi Kangarshahi[2]

1- Horticulture Crops Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Iran
2- Soil and Water Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Iran
(*- Corresponding author's Email: n.akhlaghi@areeo.ac.ir)

Received: 02 December 2024
Revised: 27 August 2025
Accepted: 14 September 2025
Available Online: 14 September 2025

How to cite this article:
Akhlaghi Amiri, N., & Asadi Kangarshahi, A. (2026). Yield and quality of Navelina sweet orange (*Citrus sinensis* cv. Navelina) on different citrus rootstocks in the north of Iran. *Journal of Horticultural Science, 40*(1), 1-18. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90972.1396

Introduction

Citrus industry in Iran with 288 thousand hectares cultivated area, 5.5 million tons annual production and 20 tons per hectare Iran ranks sixth, seventh and fifth in the world, respectively. About 70% of orange production in Mazandaran province, the most important region for citrus production in Iran, is dedicated to the 'Thomson navel' variety and sour orange rootstock. So, it is very important to evaluate new varieties and suitable rootstocks to replace them, if necessary. In the present study, the effects of three trifoliate citrus rootstocks on vegetative growth, quantitative and qualitative yield of early maturing 'Navelina' orange was studied over a seven-year period in Mazandaran province in the North of Iran.

Materials and Methods

Research was performed in a complete randomized block design with 'Navelina' orange and three rootstocks ('Carrizo citrange'; 'Swingle citrumelo' and 'C-35 citrange') with six replications and with 5 × 3 m planting distances during 2011 -2020. After planting in the main land, the young trees were trained for four years and then pruned annually in winter. Plant responses was included tree canopy volume, rootstock and scion morphological compatibility (affinity), fruit yield, yield efficiency, fruit characteristics in different time and on different rootstocks, appropriate time to start harvesting, and the theoretical space requirements of the trees for better land utilization.

Results and Discussion

Three trees on 'C-35 citrange' rootstock showed severe leaf chlorosis and leaf abscission in 2018 and 2019, but with nutrition and irrigation management, two of them returned to normal condition and one of them was completely declined. In the final year (2020), 'Carrizo citrange' rootstock showed the highest (0.765) and 'Swingle citrumelo' the lowest (0.655) morphological compatibility with 'Navelina' orange. The average tree canopy volume in 2020 ranged from a minimum of 4.48 m^3 on 'Swingle citrumelo' to a maximum of 5.24 m^3 on 'C-35 citrange' rootstock. So, the volume of Navolina orange trees on all three rootstocks were small. In early November of 2017-2020 some characteristics of fruits were evaluated. Results showed that 'Navelina' orange had elongated fruits (the ratio of fruit length to fruit width was higher than one), with a large size and weight (more than 280 grams), thick peel (about 4.4 mm), peel weight to the fruit weight was more than 46%, the juice

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.2025.90972.1396

content to fruit weight was more than 41%, and fruits in this time had a pale orange peel color. Average of harvest index in early November ranged from a minimum of 8.84 in 'Swingle citrumelo' to a maximum of 10.74 in 'Carrizo citrange' rootstock. 'Carrizo citrange' rootstock had the highest average four-year yield (16.61 ton.ha^{-1}) and the highest average and final-year yield efficiency (6.07 and 7.77 kg.m^{-3}, respectively). In the present study, of the seven-year field trials after planting on the main land, based on tree height and crown diameter and considering 2.5 m of space between rows of trees, the theoretical space required for each tree was about 7.5 m^2. Therefore, the number of trees can be increased to 1000 trees per hectare to make better use of the land in this region

Conclusion

Harvest time of 'Navelina' orange on 'Carrizo' and 'C-35 citrange' rootstocks begin in the third decade of October and on 'Swingle citrumelo' rootstock, starts at the first decade of November, at the same time as harvesting 'Thomson navel' orange (the common variety in the region). Due to the early discoloration of the fruit peel and the contamination of the region with the Mediterranean citrus fly, delay in harvesting causes high crop losses and pre-harvest fruit drop due to the bites of this insect pest. As well as, delay in harvest reasons the fruit to become larger and heavier, which reduces fruits marketability. Of the three rootstocks studied in this research, 'Carrizo citrange' was the best rootstock for 'Navelina' orange variety. In addition to showing no signs of decline, it had the highest average yield of four years and the highest average yield efficiency and final year. Also, the fruit harvest index reached the standard harvest level in late October, which is two weeks earlier than the common variety in the region.

Acknowledgement

We would like to express our sincere gratitude to the experts and colleagues of the Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center who sincerely cooperated in the field and laboratory work of this research.

Keywords: Graft compatibility, Decline, Harvest time, Intensive planting, Trifoliate rootstocks

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۴۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص. ۱۸-۱

عملکرد و کیفیت پرتقال 'ناولینا' (*Citrus sinensis* cv. Navelina) روی پایه‌های مختلف مرکبات در شمال ایران

نگین اخلاقی امیری[1*] - علی اسدی کنگرشاهی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۳

چکیده

استان مازندران، ۷۰ درصد کل پرتقال کشور را تولید می‌کند. برای تداوم تولید پایدار، استفاده از ارقام و پایه‌های متنوع و بررسی آن‌ها در شرایط منطقه ضروری است. ازاین‌رو، تأثیر سه پایه سه‌برگچه‌ای مرکبات بر رشد رویشی و عملکرد کمّی و کیفی پرتقال رقم 'ناولینا' (*Citrus sinensis* cv. 'Navelina') طی هفت سال از زمان کاشت (۱۳۹۲) بررسی شد. در سال هفتم، پایه 'کاریزو سیترنج' ('Carrizo citrange')، بیشترین (۰/۷۶۵) و پایه 'سوینگل سیترومِلو' ('Swingle citrumelo') کمترین (۰/۶۵۵) سازگاری ریخت‌شناختی را با رقم 'ناولینا' نشان دادند. حجم متوسط درختان در سال هفتم از حداقل ۴/۴۸ مترمکعب روی پایه 'سوینگل سیترومِلو' تا حداکثر ۵/۲۴ مترمکعب روی پایه 'سیترنج C-35' ('C-35 citrange') متغیر بود. سه اصله از درختان روی پایه 'سیترنج C-35' در سال‌های پنجم و ششم، علائم کلروز شدید و ریزش برگ نشان دادند که دو اصله با مدیریت تغذیه و آبیاری دوباره به حالت طبیعی برگشتند، ولی یک اصله به‌طور کامل زوال یافت. با اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های میوه در نیمه آبان سال‌های چهارم تا هفتم، متوسط اندازه میوه ۲۸۲ گرم، متوسط ضخامت پوست ۴/۴ میلی‌متر، نسبت طول به عرض میوه ۱/۰۱۱، مقدار پوست به وزن میوه ۴۶/۴ درصد، مقدار آب میوه به وزن میوه ۴۱/۲ درصد و شاخص برداشت از حداقل ۸/۸۴ روی پایه 'سوینگل سیترومِلو' تا حداکثر ۱۰/۷۴ روی پایه 'کاریزو سیترنج' متغیر بود. بالاترین متوسط عملکرد چهار سال (۱۶/۶۱ تن در هکتار) و بالاترین کارآیی عملکرد متوسط و سال پایانی (به‌ترتیب ۶/۰۷ و ۷/۷۷ کیلوگرم بر مترمکعب) روی پایه 'کاریزو سیترنج' ثبت شد. با توجه به نتایج، شروع برداشت پرتقال 'ناولینا' روی پایه‌های 'کاریزو سیترنج' و 'سیترنج C-35' از ابتدای آبان ماه (دو هفته زودتر از پرتقال 'تامسون ناول'، رقم غالب منطقه) و روی پایه 'سوینگل سیترومِلو'، ۲۰-۱۵ آبان (هم‌زمان با پرتقال 'تامسون ناول') می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پایه‌های سه‌برگچه‌ای، سازگاری پیوند، زمان برداشت، زوال، کاشت متراکم

مقدمه

کشور ایران با سطح زیرکشت ۲۸۸ هزار هکتار، تولید ۵/۵ میلیون تن و متوسط عملکرد ۲۰ تن در هکتار به‌ترتیب مقام‌های ششم، هفتم و پنجم جهان را دارا می‌باشد. ارقام پرتقال با حدود ۳/۳ میلیون تن، بالاترین محصول مرکبات کشور را به خود اختصاص داده‌اند (Agricultural Statistics, 2022).

تحقیقات انجام‌شده در دنیا نشان داده است که پایه‌های مرکبات در شرایط مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک، پاسخ‌های متفاوتی نشان می‌دهند. همچنین پایه‌های مرکبات بر جنبه‌های مختلف رشد و نمو مرکبات از جمله ویژگی‌های رشدی درخت و نیز تحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده تأثیر می‌گذارند. بنابراین برای داشتن یک سیستم تولید ایده‌آل، لازم است در انتخاب پایه و رقم مناسب با شرایط اکولوژیک هر منطقه، دقت کافی به خرج داد (Morales et al., 2021).

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

۲- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

(*- نویسنده مسئول: (Email: n.akhlaghi@areeo.ac.ir

https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90972.1396

پایه 'کاریزو سیترنج'[1]، دورگ پرتقال 'واشنگتن ناول' (*Citrus sinensis* 'Washington navel') و 'پونسیروس' (*Poncirus trifoliata*) است که در کشورهای مهم تولیدکننده مرکبات از جمله اسپانیا، آفریقای جنوبی، استرالیا، کالیفرنیا و ایتالیا بسیار استفاده می‌شود (Morales et al., 2021). این پایه متحمل به ویروس تریستزای مرکبات است و عملکرد و کیفیت میوه روی آن بسیار خوب گزارش شده است (Singh et al., 2002). بررسی مقدار رشد و ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی نارنگی 'انشو' (*Citrus unshiu*) روی پایه 'کاریزو سیترنج' در خاک‌های آهکی میانه و شرق مازندران نشان داد که بافت خاک و مقدار آهک خاک در تحمل این پایه به خاک‌های آهکی بیشترین تأثیر را داشت، به‌طوری‌که در خاک‌های با بافت سنگین و متوسط و آهک کل بیشتر از ۱۴ درصد، علائم شدید زرد برگی و کاهش رشد نشان داد، امّا در خاک‌های با بافت سبک و آهک کل ۴۰ درصد، علایم کلروز ظاهر نشد یا بسیار خفیف بود (Asadi Kangarshahi & Akhlaghi Amiri, 2022).

پایه 'سوینگل سیترومِلو'[2]، دورگ گریپ فروت 'دانکن' (*Citrus paradisi* 'Duncan') و 'پونسیروس' است که در سال ۱۹۷۴ توسط وزارت کشاورزی ایالات متحده امریکا معرفی شد و به‌دلیل عملکرد بالا، تغییر رنگ و زمان برداشت دیرتر میوه مورد توجه قرار گرفت. این پایه با برخی دورگ‌های نارنگی از جمله مورکات و پیج و برخی کلون‌های پرتقال، ناسازگاری نشان داده است (Caruso et al., 2024). یکی از ویژگی‌های 'سوینگل سیترومِلو'، رشد بیش از حد در واحد پیوند در ترکیب با اکثر پیوندک‌ها است. این مشکل می‌تواند منجر به فشرده شدن آوندها و عدم تولید و توسعه گیاه شود و در برخی موارد موجب زوال درختان شود (Lee et al., 2009). 'سوینگل سیترومِلو' به‌ویژه در برخی از مناطق مدیترانه، در جایی‌که آهک فعال عامل محدودکننده‌ای نیست و در ترکیب با پیوندک‌هایی مانند ناول‌های دیررس، 'کلمانتین' ها و دورگ‌های نارنگی مانند 'نوا'[3]، پایه خوبی است (Caruso et al., 2024). واکنش تغذیه‌ای نارنگی 'انشو' روی پایه 'سوینگل سیترومِلو' به خاک‌های آهکی شرق مازندران بررسی و گزارش شد که این پایه در خاک‌های با آهک کل بیشتر از ۱۴ درصد و آهک فعال بیشتر از ۵ درصد به‌دلیل رسوب آهن در آپوپلاست سلول‌های برگ و ریشه و کاهش راندمان فیزیولوژیکی آن، قابل توصیه نیست (Asadi Kangarshahi & Akhlaghi Amiri, 2023).

پایه 'سیترنج C-35'[4]، دورگ پرتقال خونی[5] و 'پونسیروس' است که در سال ۱۹۸۶ توسط دانشگاه کالیفرنیا معرفی شد (Caruso et al., 2024). این پایه در دو دهه اخیر به‌دلیل توانایی آن در کاهش اندازه گیاه در ترکیب با بسیاری از پیوندک‌ها و عملکرد بالا و کیفیت خوب میوه روی آن مورد توجه قرار گرفته است (Morales et al., 2021; Gullo et al., 2021). درختان نارنگی 'انشو' میاگاوا روی پایه 'سیترنج C-35' در دشت قائم‌شهر و کوهپایه ساری در شرق مازندران طی ۱۰ سال پژوهش، تاج کم‌رشد و عملکرد متوسطی داشتند. با وجود چندین تنش سرما، بقای درختان در هر دو منطقه ۱۰۰ درصد بود، اگرچه درختان کوهپایه در اثر تنش وارد چرخه تناوب باردهی شدند (Akhlaghi Amiri & Asadi Kangarshahi, 2022a).

پژوهش‌ها نشان داده است که پایه‌های 'سیترنج C-35' در خاک‌های آهکی، کلروز آهن نشان داد و شدت کلروز به‌تدریج با افزایش سن درختان تشدید و موجب زوال درختان گردید (Louzada et al., 2008). بررسی مقدار رشد و ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی نارنگی 'انشو' روی پایه 'سیترنج C-35' در چند خاک آهکی در میانه و شرق مازندران نشان داد که بافت خاک در تحمل پایه 'سیترنج C-35' به خاک‌های آهکی تأثیر دارد و در خاک‌های با بافت نسبتاً سنگین و آهک کل بیش از ۹ تا ۱۴ درصد، این پایه علائم شدید زرد برگی و کاهش رشد نشان دادند (Asadi Kangarshahi & Akhlaghi Amiri, 2020).

حدود ۷۰ درصد از محصول پرتقال مازندران به رقم 'تامسون ناول' اختصاص دارد که در بیشتر موارد پایه مورد استفاده، نارنج می‌باشد. یکی از موارد مهم برای تولید پایدار، تنوع رقم و پایه در هر منطقه است. در پژوهش حاضر، تأثیر سه پایه دورگ مهم و در حال توسعه مرکبات بر رشد رویشی، عملکرد کمّی و کیفی و زمان برداشت رقم پرتقال ناول 'ناولینا' (*Citrus sinensis* cv. Navelina) که به‌تازگی وارد ایران شده است طی هفت سال (۱۳۹۹-۱۳۹۲) در منطقه شرق مازندران بررسی شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر طی هفت سال در ایستگاه تحقیقات باغبانی قائم‌شهر مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران انجام شد. این ایستگاه با بافت خاک لومی، آهک کل ۱۱ درصد و pH حدود ۷/۸ در منطقه دشت قرار گرفته است و دارای عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی و

1- 'Carrizo citrange'
2- 'Swingle citrumelo'
3- Nova

4- 'C-35 citrange'
5- Blood orange

ارتفاع ۱۴/۷ متر از سطح دریا می‌باشد. داده‌های طولانی‌مدت اداره هواشناسی مازندران نشان می‌دهد که بارندگی سالانه ۷۱۹ میلی‌متر، میانگین حداکثر دمای ۲۳/۳، میانگین حداقل دمای ۱۲/۵، حداکثر مطلق دما ۴۰/۶، حداقل مطلق دما ۶- درجه سانتی‌گراد و میانگین رطوبت نسبی ۷۹ درصد است (MMGO, 2020). قبل از کاشت نهال‌ها در زمین اصلی، نمونه خاک از قطعه آزمایشی برداشت شد و در آزمایشگاه خاک و آب مرکز تحقیقات مازندران تجزیه گردید (جدول ۱).

تهیه پیوندک‌ها و پایه‌ها از سال ۱۳۹۱ شروع شد. پیوندک رقم پرتقال زودرس 'ناولینا' از درخت مادری در شرکت زراعی فجر ساری تهیه شد و روی سه پایه مختلف سه‌برگچه‌ای دانهال نوسلار مرکبات: ۱- 'کاریزو سیترنج'، ۲- 'سوینگل سیترومیلو' و ۳- 'سیترنج C-35' در ایستگاه باغبانی قائم‌شهر پیوند زده شد. نهال‌ها به مدت شش ماه در گلخانه نگهداری گردید. سپس در خرداد ۱۳۹۲ نهال‌های پیوندشده به پایلوت آماده‌شده در ایستگاه تحقیقات باغبانی قائم‌شهر منتقل شدند. این پژوهش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تکرار و با فواصل کاشت ۵ × ۳ متر اجرا گردید. مقدار مصرف کودهای شیمیایی در سه سال اول براساس سن درخت و نتایج آزمون خاک و از سال چهارم تا پایان آزمایش براساس نتایج آزمون خاک، برگ و عملکرد تعیین شد و برای همه تیمارهای آزمایشی به‌طور یکسان استفاده گردید. آبیاری به‌وسیله سیستم نواری قطره‌ای از زمان کاشت نهال‌ها به‌طور یکسان برای همه درختان آزمایش انجام شد (Asadi Kangarshahi & Akhlaghi Amiri, 2018). هرس فرم‌دهی از ابتدای کاشت نهال‌ها در زمین اصلی به مدت چهار سال (۱۳۹۲-۱۳۹۵) انجام شد و در این مدت، همه گل‌های تشکیل‌شده روی درختان، برای تحریک رشد رویشی درخت، به‌طور دستی حذف شدند و بعد از شروع فاز زایشی، هرس زمستانه سالانه تا پایان پژوهش در همه درختان انجام شد (Akhlaghi Amiri & Asadi Kangarshahi, 2020).

از سال ۱۳۹۴ تا سال ۱۳۹۹، برخی خصوصیات رویشی شامل ارتفاع درخت با استفاده از متر فلزی، محیط تنه ۱۰ سانتی‌متر پایین و ۱۰ سانتی‌متر بالای محل پیوند با استفاده از متر نواری اندازه‌گیری شدند. همچنین قطر عرضی تاج با استفاده از متر فلزی از سال ۱۳۹۵ تا پایان پژوهش اندازه‌گیری گردید. با استفاده از نسبت بین محیط تنه در رقم به محیط تنه در پایه، سازگاری ریخت‌شناختی (تجانس) بین آن‌ها محاسبه شد (Ziogas et al., 2023) و حجم درختان با استفاده از معادله $V\ (m^3) = 2/3\pi R^2 H$ به‌دست آمد که در آن، R: نصف قطر تاج و H: ارتفاع درخت می‌باشد. مساحت تئوری مورد نیاز درختان براساس معادله $E = (D \times 0.75) \times (D + 2.5)$ محاسبه شد که در آن، D: برابر با قطر تاج و E: مساحت تئوری مورد نیاز درختان است. این معادله بر این اساس تنظیم شده است که شاخه‌های درختان در خطوط کاشت ۲۵ درصد هم‌پوشانی داشته باشند و بین خطوط کاشت ۲/۵ متر فضای خالی (برای انجام عملیات زراعی) وجود داشته باشد (Tazima et al., 2013).

در اواخر آبان ماه سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹، ۱۰ نمونه میوه از هر درخت به آزمایشگاه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران منتقل شد و برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میوه شامل وزن میوه و پوست (با استفاده از ترازوی دیجیتال)، ضخامت پوست (با استفاده از کولیس دیجیتال)، میزان عصاره (با استفاده از آب‌میوه‌گیر دستی)، میزان مواد جامد محلول (با استفاده از قندسنج چشمی) و اسیدیته قابل تیتراسیون عصاره (به‌وسیله تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال) اندازه‌گیری گردید. شاخص برداشت با استفاده از نسبت مواد جامد محلول به اسیدیته قابل تیتراسیون عصاره، درصد عصاره میوه با استفاده از نسبت عصاره به وزن میوه و درصد پوست میوه با استفاده از نسبت وزن پوست به وزن میوه محاسبه شد (Ziogas et al., 2023). رنگ پوست از طریق مقایسه چشمی با استفاده از جدول رنگی که برای دسته‌بندی میوه‌ها، درجات مختلف رنگ پوست را تعریف می‌کند (سطح ۸: سبز تیره، تا سطح ۱: نارنجی تیره) تعیین شد (Stuchi et al., 2009). در سال ۱۳۹۷، برای ارزیابی روند تغییرات خصوصیات میوه، نمونه‌برداری میوه در چهار مرحله: ۱- ۱۰ مهر، ۲- ۱۰ آبان، ۳- ۲۵ آبان و ۴- ۲۵ آذر ماه انجام شد و برخی از صفات میوه از جمله شاخص برداشت و وزن میوه، در آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی مازندران اندازه‌گیری گردید.

جدول ۱- تجزیه خاک قطعه آزمایشی قبل از کاشت درختان در زمین اصلی

Table 1- Soil analysis of the experimental plot before planting the trees in the main field

عمق Depth (cm)	اسیدیته pH	آهک کل Total lime	مواد آلی organic matherials	کربن آلی Organic C	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	بافت Text	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K
		(%)							(ppm)		
0-30	7.7	11	2.19	1.28	33	44	23	L	0.106	43.5	181
30-60	7.8	12	0.42	0.24	57	32	11	S-L	0.020	10.6	199

عملکرد درختان با برداشت همه میوه‌ها و توزین آن‌ها در هر درخت ثبت شد و عملکرد در هکتار با توجه به تعداد درختان در هکتار با فواصل کاشته‌شده (۶۶۰ درخت در هکتار با فواصل ۵×۳ متر) محاسبه گردید. با استفاده از نسبت عملکرد (کیلوگرم در درخت) و حجم هر درخت (مترمکعب در درخت)، کارآیی عملکرد درختان (کیلوگرم بر مترمکعب) محاسبه شد. تعداد تئوری درختان از نسبت مساحت یک هکتار بر مساحت تئوری یک درخت و عملکرد تئوری درختان براساس تعداد تئوری درخت در هکتار و عملکرد درختان محاسبه شد (Tazima et al., 2013). در پایان پژوهش، تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از مدل آزمایشی شماره ۱۵ نرم‌افزار MSTAT-C (تجزیه مرکب زمان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی یک عاملی) انجام شد و مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون دانکن با سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

برخی صفات رویشی پرتقال 'ناولینا' روی سه پایه مختلف طی شش سال در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که محیط پایه طی سال‌های آزمایش افزایش یافت و از متوسط ۱۷/۰۲ سانتی‌متر در سال ۱۳۹۴ به ۳۳/۵۰ سانتی‌متر در سال ۱۳۹۹ رسید که افزایش معنی‌داری نسبت به سال‌های پیش نشان داد. در مقابل، محیط پایه بین سه پایه مختلف در سال‌های متوالی، اختلاف معنی‌دار نشان نداد. در آخرین سال پژوهش (۱۳۹۹)، پایه 'سوینگل سیترومیلو' با محیط ۳۵/۳۳ سانتی‌متر، بیشترین و پایه 'کاریزو سیترنج' با محیط ۳۰/۳۳ سانتی‌متر، کمترین محیط پایه را به خود اختصاص دادند. محیط پیوندک نیز طی سال‌های آزمایش افزایش یافت و از متوسط ۱۳/۰۷ سانتی‌متر در سال ۱۳۹۴ به ۲۳/۳۹ سانتی‌متر در سال ۱۳۹۹ رسید که نسبت به سال‌های گذشته، از نظر آماری افزایش داشت. محیط رقم پیوندک نیز روی پایه‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری نشان نداد و افزایش سالانه آن روی پایه‌های مختلف، مشابه و از نظر آماری غیرمعنی‌دار بود. در آخرین سال پژوهش (۱۳۹۹)، درختان روی پایه 'کاریزو سیترنج' با محیط ۲۲/۵۰ سانتی‌متر، کمترین و روی پایه 'سیترنج C-35' با محیط ۲۴/۶۷ سانتی‌متر، بیشترین محیط پیوندک را به خود اختصاص دادند. سازگاری ریخت‌شناختی (تجانس) که با نسبت بین محیط پایه و محیط پیوندک اندازه‌گیری شد، طی سال‌های آزمایش روند کاهشی نشان داد و از ۰/۷۷۰ در سال ۱۳۹۴ به ۰/۷۰۲ در سال ۱۳۹۹ رسید، البته تغییرات این شاخص در طول مدت شش سال پژوهش، معنی‌دار نبود. در آخرین سال آزمایش (۱۳۹۹)، پایه سیترومیلو کمترین سازگاری ریخت‌شناختی (۰/۶۵۵) و پایه 'کاریزو سیترنج' بیشترین سازگاری ریخت‌شناختی (۰/۷۶۵) را با رقم 'ناولینا' نشان دادند. سازگاری ریخت‌شناختی در پایه 'کاریزو سیترنج' و 'سیترنج C-35' (۰/۷۰۷) تفاوت آماری معنی‌داری نشان نداد. اندازه‌گیری محیط پیوندک و پایه و محاسبه نسبت بین آن‌ها به‌عنوان یک شاخص قوی برای سازگاری محسوب می‌شود و مقادیر نزدیک یک نشان‌دهنده تجانس بسیار خوب است (Bassal, 2009). گیاهانی که از نظر ژنتیکی خویشاوندی نزدیک‌تری با هم داشته باشند، واحد پیوند سازگارتری نیز خواهند داشت. پیوند میان ارقام یک گونه و یا گونه‌های یک جنس معمولاً موفقیت‌آمیز است. پیوند میان جنس‌های مختلف در یک خانواده گاهی پایدار است و از آن‌ها به‌صورت تجاری به‌عنوان پیوندهای بین ژنی استفاده می‌شود، همانند پیوند سازگار جنس 'پونسیروس' و ارقام مرکبات (Habibi et al., 2022). در این نوع پیوند، محیط پایه و پیوندک به‌علت خویشاوندی دور، گاهی اختلاف زیادی دارد، ولی درخت پیوندی، سال‌های زیادی پربار و سالم باقی می‌ماند. در پژوهش حاضر نیز چون دو جنس مختلف ('سیتروس' و دورگ 'پونسیروس' و 'سیتروس') از خانواده روتاسه با هم پیوند زده شدند، تجانس نزدیک عدد یک نبود. کمتر بودن این شاخص در 'سیترومیلو' نسبت به 'سیترنج'ها در پژوهش‌های مختلف داخلی (Akhlaghi Amiri & Asadi Kangarshahi, 2022a; 2022b; Akhlaghi Amiri et al., 2023) و خارجی (Aviles et al., 2011; Cruz et al., 2019; Gullo et al., 2021; Hayat et al., 2022) گزارش شده است. ارتفاع درختان و قطر تاج در طول شش سال پژوهش، به‌دلیل سه سال هرس فرم‌دهی و هرس منظم سالانه با روند کندی افزایش یافت و در سال پایانی پژوهش، درختان بیشترین متوسط ارتفاع (۲۰۲ سانتی‌متر) و قطر تاج (۲۱۴ سانتی‌متر) را نشان دادند. در آخرین سال پژوهش، حداکثر ارتفاع درختان با ۲۱۰ سانتی‌متر و بیشترین قطر تاج با ۲۱۷/۵ سانتی‌متر روی پایه 'سیترنج C-35' مشاهده شد. حجم متوسط درختان از ۲/۹۱ مترمکعب در سال ۱۳۹۵ به متوسط ۴/۹۴ مترمکعب در سال ۱۳۹۹ رسید که از نظر آماری افزایش معنی‌داری نسبت به همه سال‌های پیش از آن نشان داد. در سال ۱۳۹۹، درختان 'ناولینا' روی سه پایه پژوهش، از نظر حجم درخت تفاوت آماری معنی‌داری نشان ندادند. البته اندازه حجم درختان از ۵/۲۴ مترمکعب روی پایه 'سیترنج C-35'، ۵/۱۱ مترمکعب روی پایه 'کاریزو سیترنج' و ۴/۴۸ مترمکعب روی پایه 'سوینگل سیترومیلو' متفاوت بود. پاکوتاهی، یک صفت مهم در کشت متراکم است. برای مدیریت بهتر باغ‌های تجاری مرکبات، پیوند روی پایه‌هایی که رشد درخت را کاهش می‌دهند، انجام می‌شود. در حال حاضر، باغداران سراسر جهان به استفاده از درختان پاکوتاه و درختان پیوندی با حجم کم تمایل دارند، زیرا موجب کاشت تعداد بیشتر درخت، افزایش تولید، هرس و برداشت ساده‌تر و محلول‌پاشی کارآمدتر می‌شود (Hayat et al., 2022). براساس دسته‌بندی

انجام‌شده، پایه‌های استاندارد، درختانی با ارتفاعی بیشتر از شش متر تولید می‌کنند و پایه‌های پاکوتاه، درختانی کمتر از ۲/۵ متر ارتفاع در ترکیب با هر یک از ارقام درختان و بدون توجه به شرایط محیطی تولید می‌کنند (Girardi et al., 2021). بنابراین در پژوهش حاضر، همه ترکیبات پایه و پیوندک از نظر ارتفاع در دسته پاکوتاه قرار می‌گیرند (شکل ۱).

در آبان ماه سال ۱۳۹۷، یک اصله درخت 'ناولینا' روی پایه 'سیترنج C-35' به‌طور کامل از بین رفت (شکل ۲). در خرداد ماه سال ۱۳۹۸، دو اصله دیگر از درختان 'ناولینا' روی پایه 'سیترنج C-35' دچار کلروز شدید و تا حدودی ریزش برگ‌ها و مرگ سرشاخه‌ها شدند (شکل‌های ۳ و ۴، قسمت C). با مراجعه به داده‌ها و تصاویر سال‌های گذشته، مشخص شد که این درختان در اردیبهشت ۱۳۹۶ کاملاً سالم بودند (شکل‌های ۳ و ۴، قسمت A). هر دو درخت در آبان ماه ۱۳۹۷ دچار کلروز خفیف شده بودند (شکل‌های ۳ و ۴، قسمت B) و نیز یکی از آن‌ها در آبان ماه ۱۳۹۷ محصول زیادی تولید کرده بود (شکل ۴، قسمت B). به‌دلیل شروع گرم شدن هوا و عدم راه‌اندازی مجدد سیستم آبیاری قطره‌ای، احتمال تنش خشکی وجود داشت، بنابراین سیستم آبیاری بلافاصله راه‌اندازی شد و نیز احتمال داده شد که این درختان به‌علت تجانس پایین بین پایه‌های سه برگچه‌ای با جنس مرکبات و حجم تاج کم و تولید محصول زیاد، دچار کمبود عناصر غذایی شده باشند.

جدول ۲- برخی از صفات رویشی پرتقال 'ناولینا' روی پایه‌های مختلف در سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۹۴

Table 2- Some vegetative characteristics of 'Navelina' orange on different rootstock, 2015-2020

منابع تغییر S.O.V		محیط پایه Rootstock perimeter (cm)	محیط پیوندک Scion perimeter (cm)	سازگاری مورفولوژیکی Morphological compatibility	ارتفاع Height (cm)	قطر تاج Canopy diameter (cm)	حجم درخت Tree volume (m^3)
سال Year	۱۳۹۴ 2015 (A1)	17.02 d*	13.07 e	0.770 a	135.6 d	-	-
	۱۳۹۵ 2016 (A2)	20.00 cd	15.04 de	0.755 a	176.1 c	175.6 d	2.91 d
	۱۳۹۶ 2017 (A3)	23.00 c	16.44 cd	0.715 a	183.3 bc	187.2 cd	3.43 cd
	۱۳۹۷ 2018 (A4)	27.14 b	19.11 bc	0.714 a	187.8 a-c	195.0 bc	3.80 bc
	۱۳۹۸ 2019 (A5)	29.42 b	21.17 ab	0.714 a	193.6 ab	202.8 ab	4.24 b
	۱۳۹۹ 2020 (A6)	33.50 a	23.39 a	0.702 a	202.2 a	213.9 a	4.94 a
پایه Root stock	Carizo (B1)	23.40 b	18.17 ab	0.782 a	181.9 a	199.0 a	4.12 a
	Swingle (B2)	25.46 ab	16.59 b	0.651 b	170.3 b	188.5 a	3.41 b
	C-35 (B3)	26.17 a	19.34 a	0.752 a	187.1 a	197.2 a	4.06 a
سال × پایه Year × rootstock	A1 B1	16.81 h	13.56 g-i	0.807 ab	136.7 d	-	-
	A1 B2	16.99 h	11.25 i	0.660 c-e	128.3 d	-	-
	A1 B3	17.25 h	14.40 f-i	0.843 a	141.7 d	-	-
	A2 B1	19.18 gh	15.73 e-i	0.820 ab	176.7 bc	188.3 b-e	3.37 b-d
	A2 B2	20.02 gh	12.82 hi	0.642 c-e	168.3 c	163.3 e	2.41 d
	A2 B3	20.79 gh	16.57 d-h	0.803 ab	183.3 a-c	175.0 de	2.95 cd
	A3 B1	21.75 f-h	16.75 d-h	0.770 a-d	188.3 a-c	195.0 a-d	3.85 a-c
	A3 B2	22.92 e-h	14.33 f-i	0.623 e	173.3 c	178.3 c-e	2.94 cd
	A3 B3	24.33 d-g	18.25 b-g	0.752 a-e	188.3 a-c	188.3 b-e	3.51 b-d
	A4 B1	25.08 c-g	19.42 a-f	0.773 a-c	190.0 a-c	196.7 a-d	3.96 a-c
	A4 B2	27.33 c-f	17.42 c-h	0.633 de	178.3 bc	188.3 b-e	3.33 b-d
	A4 B3	29.00 b-e	20.50 a-e	0.707 b-e	195.0 a-c	200.0 a-d	4.11 a-c
	A5 B1	27.25 c-f	21.08 a-e	0.775 a-c	195.0 a-c	201.7 a-d	4.33 a-c
	A5 B2	30.17 a-d	20.75 a-e	0.695 b-e	181.7 a-c	201.7 a-d	3.88 a-c
	A5 B3	30.83 a-c	21.67 a-d	0.702 b-e	204.2 ab	205.0 a-c	4.50 ab
	A6 B1	30.33 a-d	22.50 a-c	0.745 a-e	205.0 ab	213.3 ab	5.11 a
	A6 B2	35.33 a	23.00 ab	0.655 c-e	191.7 a-c	210.8 ab	4.48 ab
	A6 B3	34.83 ab	24.67 a	0.707 b-e	210.0 a	217.5 a	5.24 a

* میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، در سطح احتمال پنج درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means with the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at 5% of probability level.



درخت 'ناولینا' با پایه 'کاریزو سیترنج'
'Navelina' tree on 'Carrizo citrange'



درخت 'ناولینا' با پایه 'سوینگل سیترواملو'
'Navelina' tree on 'Swingle citrumelo'



درخت 'ناولینا' با پایه' سیترنج C-35'
'Navelina' tree on 'C-35 citrange'

شکل ۱- درختان پرتقال 'ناولینا' روی سه پایه مختلف، اردیبهشت ۱۳۹۶
Figure 1- 'Navelina' trees on three different rootstocks, mid-november 2019

ازاین‌رو، محلول‌پاشی و مصرف خاکی کودهای مورد نیاز (۴۰۰ گرم نیتروژن از منبع اوره، ۳۰۰ گرم پتاسیم از منبع پتاسیم سولفات پودری و ۱۰۰ گرم سولفات روی به‌ازای هر درخت متناسب با فنولوژی رشد به‌صورت خاکی و اوره ۵ در هزار و مونو پتاسیم فسفات ۴ در هزار به همراه مویان ۰/۵ در هزار در سه مرحله اوایل خرداد، تیر و شهریور به‌صورت محلول‌پاشی) مصرف شد (Asadi Kangarshahi, 2019) و به‌تدریج درختان تا اواسط پاییز ۱۳۹۸، به حالت طبیعی خود برگشتند (شکل‌های ۳ و ۴، قسمت D). مدیریت نامناسب تغذیه باغ‌ها در طول فصل رشد به‌ویژه بعد از برداشت میوه در سال پرمحصول و تأخیر در برداشت میوه موجب تخلیه کربوهیدرات‌ها و عناصر غذایی ریشه‌ها شده و سپس بارندگی زیاد و مانداب شدن خاک منطقه ریشه به‌دنبال آن می‌تواند موجب تشدید این تخلیه و خشکیدگی سرشاخه‌ها و در مواردی نیز موجب زوال مرکبات شود. تنش آبی به‌ویژه بعد از برداشت میوه در فصل پاییز (به‌ویژه در سال‌های با بارندگی کم در این فصل) که اکثر باغداران می‌پندارند که عملیات باغبانی با شروع فصل پاییز و برداشت میوه به اتمام رسیده است، موجب صدمه به ریشه‌های فیبری شده و می‌تواند در خشکیدگی سرشاخه‌ها در بهار سال بعد مؤثر باشد (Asadi Kangarshahi & Akhlaghi Amiri, 2003).

در پژوهشی دیگر با پرتقال 'فوکوموتو'[1] نیز برخی از درختان پرتقال روی پایه 'سیترنج C-35' بعد از گذشت چند سال از کاشت در زمین اصلی، علائم تاولی شدن پوست در قسمت پایه و پیوندک را نشان دادند. این درختان در سال‌های بعد دچار زرد برگی و ریزش برگ و در یک مورد دچار زوال کامل شدند (Akhlaghi Amiri & Asadi Kangarshahi, 2024). گزارش‌هایی از ناسازگاری با تأخیر در مرکبات تا ۱۵ سال بعد از پیوند نیز وجود دارد (Habibi et al., 2022). در پژوهشی طی دو دهه از سال ۱۹۹۷ در استرالیا، با هشت پایه و سه رقم پرتقال ناول (۲۴ ترکیب پایه و رقم)، رقم پرتقال 'ناولینا' روی پایه‌های 'سیترنج C-35' و سیترومولوهای F80-5[2] و F80-7[3] دچار ناسازگاری در محل پیوند شدند و در دهه دوم بعد از کاشت، حدود ۷۵ درصد درختان این سه ترکیب از بین رفتند. در هیچ یک از ترکیب‌های دیگر پایه و رقم بعد از ۲۰ سال، زوال و مرگ درخت اتفاق نیفتاد. البته اندازه درخت در ارقام دیگر روی پایه 'سیترنج C-35' کوچک‌تر از درختان دیگر بود (Skewes, 2015). ناسازگاری، اغلب در ابتدا به‌صورت مشکلاتی در واحد پیوند مشاهده می‌شود که البته همیشه منجر به مرگ درخت نمی‌شود. نشانه‌های ناسازگاری شامل تفاوت چشمگیر در قطر تنه پیوندک و پایه است که اغلب منجر به رشد بیش از حد در پیوندک یا پایه می‌شود. حتی بدون تفاوت قابل توجهی در اندازه تنه ممکن است یک چین‌خوردگی در واحد پیوند توسعه پیدا کند (Castle, 1987). دلایل اصلی ناسازگاری پیوند را می‌توان ناهنجاری‌های آناتومیکی، پاسخ‌های بیوشیمیایی، هورمونی و فیزیولوژیکی نامطلوب بین پایه و پیوندک و یا آلودگی به برخی از ویروس‌ها و فایتوپلاسم‌ها ذکر کرد. به‌هرحال سازوکار دقیق ناسازگاری همچنان مبهم است (Sahin Cevik & Moore, 2006).

اندازه‌گیری برخی از خصوصیات میوه در زمان برداشت (اواسط آبان ماه) (شکل ۵) از سال ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ (جدول ۳) نشان داد که وزن متوسط میوه طی چهار سال روند افزایشی داشت و از ۲۶۳ گرم در سال ۱۳۹۶ به ۲۹۳ گرم در سال ۱۳۹۹ رسید. اگرچه این تغییرات از نظر آماری معنی‌دار نبودند. آخرین سال اندازه‌گیری صفات میوه (۱۳۹۹)، ضخامت پوست میوه‌ها به‌طور معنی‌داری کمتر از سال‌های پیش از آن بود (۳/۴۱ میلی‌متر). درصد وزنی پوست میوه نسبت به وزن کل میوه در دو سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ نسبت به دو سال پیش از آن به‌طور معنی‌داری کمتر بود (متوسط ۴۳/۴ درصد نسبت به متوسط ۴۹/۳ درصد)، ولی درصد وزنی عصاره میوه در این سال‌ها با وجود افزایش مختصر، از نظر آماری با سال‌های اول اختلاف نداشت. میوه‌هایی که در اوایل مرحله زایشی روی درختان جوان تولید می‌شوند، غالباً پوست ضخیم‌تر و سنگین‌تر و میزان عصاره کمتری دارند که در نتایج پژوهش حاضر نیز این صفات مشاهده شد. در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷، چهار و پنج سال از زمان کاشت نهال در زمین اصلی گذشته بود و در واقع درختان در مرحله گذار از جوانی، به مرحله بلوغ بودند. اسیدیته قابل تیتراسیون عصاره، در سال ۱۳۹۷ نسبت به سال‌های قبل و بعد از خود، از نظر آماری بالاتر بود (۱/۴۶) و در مقابل، شاخص برداشت در همین سال کاهش معنی‌داری نسبت به سال‌های دیگر نشان داد (۷/۸۴ نسبت به ۱۰/۵۵ و ۱۱/۲۸). وزن میوه در سال‌های متوالی روی سه پایه مختلف، تفاوت آماری نشان نداد. ضخامت پوست میوه روی پایه 'کاریزو سیترنج'، بیشتر (۴/۷۵ میلی‌متر) و درصد وزنی عصاره، کمتر (۳۸ درصد) از دو پایه دیگر بود. میوه‌های پرتقال ناولینا روی پایه 'سوینگل سیترومولو' دیرتر از دو پایه سیترنج تغییر رنگ دادند (شاخص چشمی رنگ ۴/۱۷ نسبت به ۳/۷۵ و ۳/۶۷). میزان مواد جامد محلول در سال‌های متوالی و پایه‌های مختلف تفاوت آماری معنی‌داری نشان نداد و میزان آن بین ۱۱/۰۰ تا ۱۲/۱۳ متغیر بود. میزان اسیدیته قابل تیتراسیون عصاره میوه‌های روی پایه 'سوینگل سیترومولو' نسبت به میوه‌های روی سیترنج‌ها به‌طور معنی‌داری بالاتر بود (۱/۳۶) و در مقابل، شاخص برداشت روی این پایه، کاهش آماری نسبت به سیترنج‌ها نشان داد (۸/۸۴ نسبت به ۱۰/۷۴ و ۱۰/۰۹).

1 - 'Fucumoto'
2- F80-5 citrumelo
3 - F80-7 citrumelo



درخت سالم پرتقال 'ناولینا' روی پایه 'سیترنج C-35'، اردیبهشت ۱۳۹۶

Healthy 'Navelina' orange tree on 'C-35 citrange', May 2017



زوال پرتقال 'ناولینا' روی پایه 'سیترنج C-35' در آبان سال ۱۳۹۷

Decline of 'Navelina' orange tree on 'C-35 citrange', November 2018

شکل ۲- زوال درخت پرتقال 'ناولینا' روی پایه 'سیترنج C-35' در سال ۱۳۹۷

Figure 2- Decline of 'Navelina' orange with 'C-35 citrange' rootstock in 2018



الف- اردیبهشت ۱۳۹۶

A- May 2017



ب- آبان ۱۳۹۷

B- November 2018



ج- خرداد ۱۳۹۸

C- June 2019



د- آبان ۱۳۹۸

D- November 2019

شکل ۳- مراحل شروع زوال یکی از درختان 'ناولینا' روی پایه 'سیترنج C-35' و برگشت آن به حالت طبیعی با مدیریت آبیاری و تغذیه

Figure 3- Decline of two of 'Navelina' orange trees on 'C-35 citrange' rootstock and returning it to its natural state with irrigation and nutrition management



الف- اردیبهشت ۱۳۹۶

A- May 2017



ب- آبان ۱۳۹۷

B- November 2018



ج- خرداد ۱۳۹۸

C- June 2019



د- آبان ۱۳۹۸

D- November 2019

شکل ۴- پرتقال 'ناولینا' روی پایه 'سیترنج C-35'

Figure 4- 'Navelina' orange on 'C-35 citrange' rootstock

بنابراین می‌توان گفت که روند بلوغ فیزیولوژیک و تغییر رنگ پوست میوه در پرتقال ناولینا روی پایه 'سوینگل سیترومیلو' بعد از پایه‌های سیترنج رخ می‌دهد. در پژوهشی با درختان ۴ تا ۱۲ ساله پرتقال ناولینا در برزیل، وزن متوسط میوه طی نُه سال روی پایه 'سوینگل سیترومیلو'، ۳۳۰ گرم و نسبت طول میوه به قطر میوه ۱/۱۱ و درصد وزنی عصاره ۴۶ درصد بود که نسبت به پایه‌های سیترنج C-13[1]، کلوپاترا ماندارین[2]، سانکی ماندارین[3] و رانگپورلایم[4] بالاتر بود (Cruz et al., 2019).

برای بررسی روند تغییرات کیفی میوه و نیز تعیین بهترین زمان شروع برداشت ناولینا روی پایه‌های این پژوهش، از ۱۰ مهر تا ۲۵ آذر ماه سال ۱۳۹۷ میوه‌ها در چهار مرحله برداشت شدند و برخی از صفات آن‌ها در هر مرحله با هم مقایسه شدند (جدول ۴). وزن میوه از اولین مرحله نمونه‌برداری تا سومین مرحله روند افزایشی داشت و از ۲۵۳ گرم در ۱۰ مهر با افزایش معنی‌داری به ۳۱۷ گرم در ۲۵ آبان رسید و از آن پس تا آخرین مرحله نمونه‌برداری در یک ماه بعد در ۲۵

1- C-13 citrange

2- Cleopatra mandarin
3- 'Sanki' mandarin
4- 'Rangpour' lime

آذر، وزن میوه ثابت ماند. ضخامت پوست طی چهار مرحله نمونه‌برداری تغییر معنی‌داری نداشت. درصد وزنی پوست با روندی کاهشی، از ۵۹ درصد در ۱۰ مهر به ۴۴ درصد در ۲۵ آذر رسید، البته به‌جز مرحله اول نمونه‌برداری، سه مرحله بعد با هم تفاوت آماری نداشتند. درصد وزنی عصاره با روندی افزایشی از ۳۲/۵ درصد در ۱۰ مهر به ۴۵/۶ در ۲۵ آذر افزایش یافت، البته مرحله سوم (۲۵ آبان) و مرحله چهارم (۲۵ آذر) نمونه‌برداری، تفاوت معنی‌داری نسبت به هم نداشتند. بافت پوست از نظر شاخص زبری و صافی، روند کاهشی نشان داد، اگرچه تغییرات آن معنی‌دار نبود. تغییرات رنگ پوست با شاخص چشمی رنگ‌سنجی طی چهار مرحله نمونه‌برداری معنی‌دار بود و از رنگ سبز–زرد در ۱۰ مهر به رنگ زرد–نارنجی در ۱۰ آبان و رنگ نارنجی روشن در ۲۵ آبان رسید و سپس تغییر رنگ پوست تا ۲۵ آذر از نظر آماری غیرمعنی‌دار بود.

جدول ۳- برخی از صفات کمّی و کیفی میوه پرتقال 'ناولینا' در زمان برداشت در دهه دوم آبان ماه در سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۹۶

Table 2- Some quantitative and qualitative traits of 'Navelina' fruit at harvest time in 2017-2020

منابع تغییر S.O.V			وزن میوه Fruit weight (g)	ضخامت پوست Peel thickness (mm)	طول میوه: عرض میوه Fruit length: width	پوست Peel (%)	عصاره Juice (%)	رنگ پوست Peel color	مواد جامد محلول TSS (%)	اسید قابل تیتراسیون TA (%)	شاخص برداشت TSS:TA
سال	Year	۱۳۹۶ 2017 (A1)	263.2 a*	4.28 ab	1.029 a	49.0 a	40.8 a	4.58 a	11.63 a	1.10 b	10.55 a
		۱۳۹۷ 2018 (A2)	284.1 a	4.78 a	0.983 a	49.6 a	40.8 a	3.00 b	11.08 a	1.46 a	7.84 b
		۱۳۹۸ 2019 (A3)	287.0 a	5.11 a	1.023 a	44.4 b	41.7 a	4.00 ab	11.37 a	1.04 b	11.28 a
		۱۳۹۹ 2020 (A4)	293.2 a	3.41 b	1.010 a	42.4 b	41.5 a	--	--	--	--
پایه	Rootstock	Carizo (B1)	295.8 a	4.75 a	1.028 a	46.3 a	38.0 b	3.75 ab	11.19 a	1.07 b	10.74 a
		Swingle (B2)	271.0 a	4.32 ab	1.004 a	44.8 a	41.9 ab	4.17 a	11.38 a	1.36 a	8.84 b
		C-35 (B3)	278.8 a	4.12 b	1.001 a	48.0 a	43.7 a	3.67 ab	11.51 a	1.17 b	10.09 a
سال × پایه	Year × rootstock	A1 B1	286.5 ab	5.26 ab	1.070 a	46.3a-c	42.3 ab	4.25 ab	11.38 a	0.96 c	11.52 ab
		A1 B2	240.5 b	3.46 de	1.033 a	48.2a-c	44.4 a	4.75 a	12.13 a	1.17 bc	10.38 bc
		A1 B3	262.5 ab	4.14 b-e	0.985 a	52.5 ab	44.7 a	4.75 a	11.38 a	1.17 bc	9.74 cd
		A2 B1	272.8 ab	4.60 a-d	0.965 a	52.7 a	36.3 b	3.25 ab	11.13 a	1.29 b	8.78 d
		A2 B2	281.5 ab	5.67 a	0.993 a	48.6a-c	40.0 ab	3.25 ab	11.00 a	1.74 a	6.49 e
		A2 B3	298.0 ab	4.06 b-e	0.990 a	47.4a-c	43.2 a	2.50 b	11.13 a	1.35 b	8.26 d
		A3 B1	277.5 ab	5.56 a	1.043 a	43.7 bc	37.5 b	3.75 ab	11.07 a	0.96 c	11.93 a
		A3 B2	280.0 ab	5.00 ab	0.980 a	42.4 c	41.4 ab	4.50 a	11.00 a	1.16 bc	9.66 cd
		A3 B3	303.5 ab	4.77 a-c	1.045 a	47.1a-c	43.3 a	3.75 ab	12.02 a	1.00 c	12.25 a
		A4 B1	345.3 a	3.58 c-e	1.035 a	42.4 c	36.0 b	--	--	--	--
		A4 B2	283.0 ab	3.17 e	1.013 a	39.9 c	41.9 ab	--	--	--	--
		A4 B3	251.3 ab	3.50 c-e	0.983 a	44.9a-c	43.7 a	--	--	--	--

* میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، در سطح احتمال پنج درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means with the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at 5% of probability level.



شکل ۵- میوه پرتقال 'ناولینا' روی سه پایه 'سیترنج C-35'، 'سوینگل سیترومِلو' و 'کاریزو سیترنج' (بالا)، فرم کشیده و پوست دو رنگ میوه در آبان ماه (پایین، راست) و برش طولی و عرضی میوه و میوه ثانویه بزرگ (ناف) در این رقم از پرتقال ناول (پایین، چپ) آبان ۱۳۹۷

Figure 5- 'Navelina' orange on 'Carrizo citrange', 'Swingle citrumelo', and 'C-35 citrange' rootstock (top), the elongated shape and two-tone peel of the fruit in November (bottom, right) and a longitudinal and transverse section of the fruit and the large secondary fruit (navel) in this cultivar of navel orange (bottom, left), November 2018

مواد جامد محلول در اولین مرحله نمونه‌برداری نسبت به سه مرحله بعدی کمتر بود و اختلاف آن با سه زمان آخر، از نظر آماری معنی‌دار بود. اسیدیته قابل تیتراسیون با روند کاهشی منظم و معنی‌داری از ۱/۷۴ در ۱۰ مهر به ۱/۰۳ در ۲۵ آذر رسید و شاخص برداشت با روند افزایشی منظم و معنی‌داری از ۶/۰۴ در ۱۰ مهر به ۱۱/۹ در ۲۵ آذر رسید. آستانه شروع برداشت پرتقال‌ها از نظر شاخص برداشت عدد هفت است که در پروژه حاضر در مرحله نمونه‌برداری ۱۰ آبان، متوسط این شاخص به ۷/۸۴ رسیده بود. رنگ میوه، میزان عصاره، قند، اسید و نسبت قند به اسید (شاخص برداشت)، از مهم‌ترین شاخص‌های تشخیص بلوغ میوه و مرحله رسیدن هستند. این یافته‌ها به تولیدکنندگان مرکبات کمک می‌کند تا محصول خود را در زمان مناسب، برای مصرف تازه در بازار برداشت کنند و نیز میزان میوه‌های با کیفیت پایین را کاهش دهند. علاوه‌بر این به‌منظور به حداقل رساندن ضایعات میوه، برداشت در زمان مناسب بسیار مهم است (Manzoor et al., 2023). میزان عصاره یکی از عوامل کیفی مهم برای مرکبات است و میوه‌های آبدارتر در بازار تازه‌خوری پذیرفته‌شده‌تر هستند و میوه‌هایی که میزان عصاره آن‌ها از ۳۵ درصد کمتر باشد، استاندارد مناسب برداشت را ندارند (Ziogas et al., 2023). زمان مناسب شروع برداشت پرتقال‌ها وقتی است که شاخص برداشت به عدد هفت و درصد عصاره میوه به ۳۵ درصد رسیده باشد و تغییر رنگ نیمی از سطح پوست از سبز به زرد اتفاق افتاده باشد (Lado et al., 2018). متوسط ضخامت پوست میوه، درصد وزنی پوست و عصاره، شاخص چشمی بافت و رنگ پوست و نیز مواد جامد محلول پرتقال ناولینا روی سه پایه مختلف تفاوت آماری معنی‌داری نشان ندادند. در نتایج جدول ۴ (زمان‌های مختلف نمونه‌برداری طی یک سال) همانند نتایج جدول ۳ (نمونه‌برداری در سال‌های متوالی)، میزان اسیدیته قابل تیتراسیون روی پایه سیترومِلو به‌طور معنی‌داری بیشتر از پایه‌های سیترنج کاریزو و C-35 بود و در مقابل، شاخص برداشت میوه روی این پایه، به‌طور معنی‌داری کمتر از دو پایه سیترنج بود (۷/۱۲ در سیترومِلو نسبت به ۹/۸۵ در کاریزو و ۹/۰۵ در C-35). با بررسی اثر متقابل مراحل نمونه‌برداری و پایه‌های مختلف در جدول ۴، در دومین مرحله نمونه‌برداری (۱۰ آبان)، شاخص برداشت روی پایه‌های کاریزو و C-35 به‌ترتیب به ۸/۷۸ و ۸/۲۶ رسید که بالاتر از عدد هفت (استاندارد شاخص شروع برداشت پرتقال) است، ولی روی پایه سیترومِلو این شاخص هنوز ۶/۴۹ است. بنابراین میوه‌های ناولینا روی پایه سیترومِلو از ۲۵ آبان، آماده شروع برداشت می‌شوند، درحالی‌که پرتقال‌های ناولینا روی پایه‌های سیترنج از ۱۰ آبان به آستانه استاندارد شاخص برداشت می‌رسند و می‌توان در این زمان برداشت آن‌ها را

به‌تدریج شروع کرد. در نتایج پژوهشی روی پرتقال 'تامسون ناول' و پایه‌های مشابه در پژوهش حاضر، بهترین زمان شروع برداشت در منطقه شرق مازندران از اواسط آبان ماه توصیه شده است (Akhlaghi Amiri et al., 2023). در پژوهشی دیگر روی پرتقال فوکوموتو و پایه‌های مشابه، زمان شروع برداشت پرتقال روی همه پایه‌ها، دهه سوم مهر گزارش شده است (Akhlaghi Amiri & Asadi Kangarshahi, 2024).

جدول ۴- روند تغییرات برخی از صفات کمّی و کیفی میوه پرتقال 'ناولینا' در چهار مرحله برداشت میوه در سال ۱۳۹۷

Table 4- Changes in some quantitative and qualitative characteristics of 'Navelina' orange fruit in four stages of fruit harvesting in 2018

منابع تغییر S.O.V		وزن میوه Fruit weight (g)	ضخامت پوست Peel thickness (mm)	پوست Peel (%)	عصاره Juice (%)	بافت پوست Peel texture	رنگ پوست Peel color	مواد جامد محلول TSS (%)	اسید قابل تیتراسیون TA (%)	شاخص برداشت TSS/TA
زمان برداشت Harvest time	۱۳۹۷/۷/۱۰ 2018.10.1(A1)	253 b*	4.37 a	59.1 a	32.5 b	2.33 a	5.58 a	9.75 b	1.74 a	6.04 c
	۱۳۹۷/۸/۱۰ 2018.11.1(A2)	284ab	4.78 a	49.6 b	39.8 ab	1.92 a	3.00 b	11.08 a	1.46 ab	7.84 b
	۱۳۹۷/۸/۲۵ 2018.11.15(A3)	317 a	4.39 a	47.0 b	43.2 a	1.83 a	1.58 c	11.07 a	1.32 bc	8.96 b
	۱۳۹۷/۹/۲۵ 2018.12.15(A4)	316 a	4.23 a	43.9 b	45.6 a	1.67 a	1.00 c	11.39 a	1.03 c	11.9 a
پایه Rootstock	Carizo (B1)	317 a	4.19 a	49.0 a	40.4 a	2.06 a	2.88 a	10.78 a	1.18 b	9.85 a
	Swingle (B2)	270ab	4.79 a	48.8 a	39.9 a	1.88 a	2.94 a	10.94 a	1.71 a	7.12 b
	C-35 (B3)	291ab	4.34 a	51. 9 a	40.6 a	1.88 a	2.56 a	10.74 a	1.27 b	9.05 a
زمان برداشت × پایه Harvest time × rootstock	A1 B1	291 ab	3.90 ab	56.7 a-c	35.4a-c	2.50 a	5.50 a	9.50 c	1.44 b-d	6.92 ef
	A1 B2	215 b	4.16 ab	58.4 ab	31.9 bc	2.00 a	5.75 a	10.00a-c	2.21 a	4.76 f
	A1 B3	254 ab	5.04 ab	62.3 a	30.3 c	2.50 a	5.50 a	9.75 bc	1.56 bc	6.44 ef
	A2 B1	273 ab	4.60 ab	52.7 b-d	36.3a-c	2.50 a	3.25 b	11.13 a-c	1.29 b-d	8.78 c-e
	A2 B2	282 ab	5.67 a	48.6 c-e	40.0a-c	2.00 a	3.25 b	11.00 a-c	1.74 ab	6.49 ef
	A2 B3	298 ab	4.06 ab	47.4 de	43.2 ab	1.25 a	2.50 b	11.13 a-c	1.35 b-d	8.26 c-e
	A3 B1	369 a	3.60 b	44.6 de	45.1 a	1.75 a	1.75 c	10.80 a-c	1.11 b-d	9.89 bc
	A3 B2	296 ab	4.63 ab	47.0 de	42.9 ab	2.00 a	1.75 c	11.20 a-c	1.64 ab	7.35 de
	A3 B3	318 ab	4.96 ab	49.2 c-e	41.6a-c	1.75 a	1.25 c	11.20 a-c	1.22 b-d	9.62 b-d
	A4 B1	338 a	4.66 ab	42.1 e	44.6 a	1.50 a	1.00 c	11.70 a	0.87 d	13.81 a
	A4 B2	289 ab	4.72 ab	41.0 e	44.9 a	1.50 a	1.00 c	11.57 ab	1.26 b-d	9.89 bc
	A4 B3	293 ab	3.32 b	48.7 c-e	47.2 a	2.00 a	1.00 c	11.00 a-c	0.95 cd	11.86 ab

* میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، در سطح احتمال پنج درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means with the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at 5% of probability level.

اندازه‌گیری حجم درختان، نسبت میزان عملکرد هر درخت بر حجم تاج (کارآیی عملکرد) و عملکرد هکتاری درختان براساس فاصله کاشت (جدول ۵) نشان داد که طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹، عملکرد متوسط درختان از سال ۱۳۹۶ از ۱۰/۱۷ تن در هکتار با روند افزایشی و معنی‌داری به ۱۸/۹۵ تن در هکتار در سال ۱۳۹۹ رسید. بنابراین به نظر می‌رسد که درختان پرتقال ناولینا روی پایه‌های سه‌برگچه‌ای در این پژوهش برخلاف بسیاری از ارقام و پایه‌های مرکبات، تناوب باردهی نداشتند. حجم تاج نیز از ۳/۴۳ مترمکعب در سال ۱۳۹۶ با روند افزایشی سالانه به ۴/۹۴ مترمکعب در سال ۱۳۹۹ رسید. کارآیی عملکرد که نسبت بین عملکرد درخت و حجم درخت است نیز از ۴/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۹۶ به ۶/۰۲ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۹۹ رسید. در پژوهشی با درختان 'ناولینا' روی پایه‌های مختلف در برزیل، عملکرد درختان 'ناولینا' روی پایه 'سوینگل سیترومیلو' در سال چهارم، هشت تن در هکتار بود، در سال پنجم به ۲۰ تن افزایش یافت و در سال ششم مجدداً به ۱۳ تن کاهش یافت. همین نوسان باردهی روی پایه C-13 و پایه‌های دیگر پژوهش مذکور نیز مشاهده شد. بنابراین درختان 'ناولینا' در شرایط خاکی و اقلیمی برزیل تناوب باردهی نشان دادند. در همین پژوهش، کارآیی عملکرد روی پایه 'سوینگل سیترومیلو' در درختان پنج ساله، ۵/۵ و در درختان ۱۲ ساله ۴/۹ بود که در هر دو مورد، بالاتر از این شاخص روی پایه‌های 'سیترنج C-13'، 'کلوپاترا' ماندارین، 'سانکی' ماندارین و 'رانگپورلایم' بود (Cruz et al., 2019).

جدول ۵- عملکرد و کارآیی عملکرد پرتقال 'ناولینا' روی سه پایه مختلف در سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۹۶

Table 4- Yield and yield efficiency of 'Navelina' orange on three different rootstocks in 2017-2020

منابع تغییر S.O.V		عملکرد Yield ($ton.ha^{-1}$)	حجم تاج Volume (m^3)	کارآیی عملکرد Yield efficiency ($kg.m^{-3}$)	فضای تئوری Theoretical space ($m^2.tree^{-1}$)	تعداد تئوری درختان Theoretical number of tree (ha)	عملکرد تئوری Theoretical yield ($ton.ha^{-1}$)
سال Year	۱۳۹۶ 2017 (A1)	10.17 c*	3.43 c	4.52 c	6.17 c	1658 a	24.61 b
	۱۳۹۷ 2018 (A2)	12.58 bc	3.80 bc	4.97 bc	6.53 bc	1556 ab	28.56 ab
	۱۳۹۸ 2019 (A3)	16.02 ab	4.24 b	5.95 ab	6.91 ab	1474 bc	35.10 a
	۱۳۹۹ 2020 (A4)	18.95 a	4.94 a	6.02 a	7.48 a	1366 c	38.13 a
پایه Rootstock	Carizo (B1)	16.61 a	4.31 a	6.07 a	6.88 a	1505 a	36.00 a
	Swingle (B2)	12.07 b	3.66 b	4.94 b	6.53 a	1568 a	27.19 b
	C-35 (B3)	14.61 ab	4.34 a	5.09 ab	6.90 a	1468 a	31.61 ab
سال × پایه Year × rootstock	A1 B1	10.72 cd	3.85 a-c	4.34 c	6.54 a-c	1565 ab	24.62 c
	A1 B2	8.10 d	2.94 c	4.24 c	5.76 c	1784 a	20.97 c
	A1 B3	11.70 cd	3.51 bc	4.98 bc	6.21 bc	1626 ab	28.23 c
	A2 B1	12.82 b-d	3.96 a-c	4.87 bc	6.62 a-c	1548 ab	28.43 c
	A2 B2	10.06 cd	3.33 bc	4.63 c	6.21 bc	1628 ab	24.45 c
	A2 B3	14.86 bc	4.11 a-c	5.41 a-c	6.77 a-c	1493 ab	32.78 bc
	A3 B1	18.99 ab	4.33 a-c	7.31 ab	6.89 a-c	1513 ab	42.12 ab
	A3 B2	13.73 b-d	3.88 a-c	5.38 a-c	6.85 a-c	1474 ab	30.22 bc
	A3 B3	15.35 bc	4.50 ab	5.15 bc	7.01 a-c	1434 b	32.97 bc
	A4 B1	23.89 a	5.11 a	7.77 a	7.48 ab	1394 b	48.83 a
	A4 B2	16.41 bc	4.48 ab	5.49 a-c	7.31 ab	1384 b	33.12 bc
	A4 B3	16.55 bc	5.24 a	4.80 bc	7.64 a	1320 b	32.45 bc

* میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، در سطح احتمال پنج درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means with the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple test at 5% of probability level.

پایه 'کاریزو سیترنج'، بالاترین متوسط عملکرد چهار سال (۱۶/۶۱ تن در هکتار) و پایه 'سوینگل سیترومیلو' کمترین متوسط عملکرد چهار سال (۱۲/۰۷ تن در هکتار) را با حدود ۲۵ درصد کاهش نسبت به 'کاریزو سیترنج' تولید کرد. حجم درخت طی سال‌های متوالی در پایه‌های سیترنج تفاوت معنی‌دار آماری نشان نداد، ولی نسبت به حجم درخت روی پایه سیترومیلو، افزایش آماری نشان داد. در آخرین سال پژوهش (۱۳۹۹)، بیشترین حجم تاج روی پایه 'سیترنج C-35' (۵/۲۴ مترمکعب) بود که با پایه 'کاریزو سیترنج' (۵/۱۱ مترمکعب) در یک گروه آماری قرار گرفت و کوچک‌ترین حجم درخت روی پایه سیترومیلو (۴/۴۸ مترمکعب) ثبت شد. کارآیی عملکرد

در سال‌های مختلف براساس عملکرد درختان و حجم تاج متفاوت بود. بالاترین متوسط کارآیی عملکرد در روی پایه 'کاریزو سیترنج' با ۶/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب و همچنین بالاترین کارآیی عملکرد در سال پایانی پژوهش روی این پایه با ۷/۷۷ کیلوگرم بر مترمکعب ثبت شد. بیشترین کارآیی عملکرد در سال اول پژوهش روی پایه 'سیترنج C-35' ثبت شد. در حالی‌که به‌دلیل کلروز و ریزش برگ که در تعدادی از درختان روی این پایه در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ رخ داد، عملکرد کل روی این درختان کاهش یافت، ازاین‌رو کمترین کارآیی عملکرد در سال پایانی پژوهش، روی همین پایه با ۴/۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب ثبت شد.

فضای تئوری درخت روی هر سه پایه این پژوهش و در سال‌های مشابه، تفاوت معنی‌داری نسبت به هم نشان نداد و براساس ارتفاع درخت و قطر تاج، برای درختان با سن شش سال در این پژوهش و با احتساب ۲/۵ متر فضای خالی بین درختان در فاصله بین ردیف‌ها، فضای تئوری مورد نیاز حداکثر ۷/۵ مترمربع بود. اگر روند کند افزایشی حجم تاج و فضای مورد نیاز درختان در سال‌های آتی در نظر گرفته شود، می‌توان با انجام هرس سالانه در اواخر زمستان که در پژوهش حاضر جزء عملیات مدیریتی بود، حداکثر فضای مورد نیاز درختان این ترکیب پایه و پیوند را ۱۰ مترمربع در نظر گرفت. در پژوهشی روی پرتقال 'تامسون ناول'، فضای تئوری درختان تقریباً با شرایط و پایه‌های مشابه با اعداد به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر مشابهت داشت (Akhlaghi Amiri et al., 2023) درحالی‌که در پرتقال فوکوموتو حدود ۵/۵ مترمربع بود (Akhlaghi Amiri & Asadi Kangarshahi, 2024).

در پژوهشی در برزیل، حجم درختان پرتقال روی پایه 'سیترنج C-35' و 'سوینگل سیترومِلو'، ۱۰ سال بعد از کاشت در زمین اصلی ۴/۵ مترمکعب و روی پایه‌های کاریزو و ترویر سیترنج ۸/۵ مترمکعب بود (Gullo et al., 2021). مقایسه بین عملکرد هکتاری درختان با فواصل نیمه‌متراکم کاشته‌شده در این پژوهش (۵ × ۳) (که البته کمتر از فواصل سنتی رایج در منطقه است) با عملکرد تئوری با فواصل تئوری محاسبه‌شده براساس ارتفاع درخت و قطر تاج نشان می‌دهد که با استفاده صحیح از زمین، می‌توان عملکرد را تا بیش از دو برابر افزایش داد و در زمان احداث باغ و طراحی فاصله کاشت و تعداد درختان، از فضای باغ بیشترین استفاده را نمود و عملکرد در واحد سطح را نیز به همین نسبت افزایش داد. در پژوهشی طی ۱۰ سال در برزیل برای امکان افزایش عملکرد اقتصادی در واحد سطح از پایه‌های با قدرت رشدی مختلف و تراکم کاشت متفاوت استفاده شد. نتایج نشان داد که عملکرد تجمعی با تراکم کاشت ۱۰۰۰ درخت در هکتار بدون توجه به قدرت رشد پایه، ۲۷ درصد افزایش یافت و میزان عملکرد پایه‌های پررشد ۲/۵ برابر پایه‌های پاکوتاه بود. البته پایه‌های نیمه‌پاکوتاه و پاکوتاه برای سودآورتر کردن باغ با تراکم کاشت بسیار بالا اهمیت زیادی دارد (Girardi et al., 2021). برای استفاده بهینه از زمین، فاصله کاشت درختان باید براساس حجم تاج مورد انتظار درخت بالغ روی پایه انتخاب‌شده در خاک و اقلیم منطقه در نظر گرفته شود. یک باغ متراکم‌تر ممکن است با وجود سرمایه‌گذاری اولیه بالاتر، بازگشت و بازده اقتصادی زودتری نیز فراهم کند.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، با توجه به نتایج میدانی پژوهش حاضر طی هفت سال، رقم جدید پرتقال نافدار ناولینا دارای میوه‌هایی کشیده با اندازه و وزن بالا، پوستی ضخیم، میزان عصاره زیاد و رنگ نارنجی کم‌رنگ است که حدود دو هفته زودتر از رقم غالب منطقه ('تامسون ناول') مناسب برداشت می‌شود. در واقع، می‌توان زمان شروع برداشت پرتقال ناولینا روی پایه‌های سیترنج را ابتدای آبان و روی پایه 'سوینگل سیترومِلو' را هم‌زمان با پرتقال تامسون، ۲۰–۱۵ آبان اعلام کرد. به‌علت تغییر رنگ زودهنگام پوست میوه و آلودگی منطقه به مگس مدیترانه‌ای مرکبات، تأخیر در برداشت سبب ریزش قبل از برداشت میوه و ضایعات بالای محصول در اثر گزش این حشره می‌شود. همچنین اندازه میوه در برداشت دیرهنگام در پایان آبان ماه، بسیار بزرگ شده و سنگین‌تر از ۳۱۰ گرم می‌شود که بازارپسندی میوه را کاهش می‌دهد. حجم درختان پرتقال ناولینا روی هر سه پایه مورد پژوهش کوچک بود و بعد از گذشت هفت سال از کاشت در زمین اصلی براساس ارتفاع درخت و قطر تاج و با احتساب ۲/۵ متر فضای خالی بین درختان در فاصله بین ردیف‌ها، فضای تئوری مورد نیاز هر درخت حدود ۷/۵ مترمربع بود. از میان سه پایه مورد بررسی در این پژوهش، پایه 'کاریزو سیترنج' بهترین پایه برای این رقم از پرتقال بود. علاوه‌بر اینکه علائم زوال نشان نداد، بالاترین متوسط عملکرد چهار سال (۱۶/۶۱ تن در هکتار) و بالاترین کارآیی عملکرد متوسط (۶/۰۷) و سال پایانی (۷/۷۷ کیلوگرم بر مترمکعب) را نیز به خود اختصاص داد. همچنین شاخص برداشت میوه در اوایل آبان به‌میزان استاندارد برداشت رسید که دو هفته زودتر از رقم غالب منطقه (پرتقال 'تامسون ناول') می‌باشد.

سپاسگزاری

از کارشناسان و همکاران محترم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران که در امور میدانی و آزمایشگاهی این پژوهش صمیمانه همکاری داشتند، قدردانی و سپاسگزاری می‌شود.

References

1. Agricultural Statistics. (2022). Third volume: Horticultural and greenhouse products, Ministry of Agricultural Jihad, Planning and Economic Deputy of Information and Communications Technology Center, 328 p. (In Persion)
2. Akhlaghi Amiri, N., & Asadi Kangarshahi, A. (2024). Investigating vegetative growth, yield and harvest time of Fukumoto orange (*Citrus sinensis* cv. Fukumoto) with some citrus rootstocks Iran. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, *25*(4), 501-518. (In Persian)
3. Akhlaghi Amiri, N., & Asadi Kangarshahi, A. (2020). Pruning of Citrus Trees. Agricultural Extension and Education Publications, Tehran, Iran. 128 p. (In Persian)
4. Akhlaghi Amiri, N., & Asadi Kangarshahi, A. (2022a). Effect of 'C-35 citrange' rootstock on vegetative and reproductive characteristics of Miyagawa Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* 'Miyagawa') in the plain and foothills of East Mazandaran. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, *23*(1), 79-88. (In Persian)
5. Akhlaghi Amiri, N., & Asadi Kangarshahi, A. (2022b). Vegetative and reproductive characteristics of Miyagawa Satsuma mandarin on 'Swingle citrumelo' in alluvial and piedmont-plain of East Mazandaran. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *53*(1), 1-14. (In Persian). http://doi.org/10.22059/ijhs.2021.308459.1836
6. Akhlaghi Amiri, N., Asadi Kangarshahi, A., & Fattahi Moghadam, J. (2023). Investigating the vegetative growth, quantitative and qualitative yield and harvesting time of 'Thomson navel' orange with different rootstocks in east of Mazandaran. *Journal of Research in Hortural Science*, *2*(2), 209-226. (In Persian) https://doi.org/10.22092/rhsj.2024.362581.1063
7. Asadi Kangarshahi, A. (2019). Nutrition Management of Citrus Trees. Agricultural Extension and Education Publications, Tehran, Iran. 174 p. (In Persian)
8. Asadi Kangarshahi, A., & Akhlaghi Amiri, N. (2003). Citrus dieback and decline in east of Mazandaran. Agricultural Jihad Organization of Mazandaran Province. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). 92/217/01.
9. Asadi Kangarshahi, A., & Akhlaghi Amiri, N. (2018). Establishment of Sustainable Citrus Orchard. Agricultural Extension and Education Publications, Tehran, Iran. 180 p. (In Persian)
10. Asadi Kangarshahi, A., & Akhlaghi Amiri, N. (2020). Evaluation of growth rate and vegetative and physiological characteristics of satsuma mandarin on 'C-35' rootstock in some calcareous soils. *Iranian Journal of Soil Research*, *34*(2), 215-234. (In Persian). https://doi.org/10.22092/ijsr.2020.122521
11. Asadi Kangarshahi, A., & Akhlaghi Amiri, N. (2022). Evaluation of vegetative, physiological, and chlorosis characteristics of Satsuma mandarin on 'Carrizo citrange' rootstock in some calcareous soils. *Iranian Journal of Soil Research*, *36*(1), 47-67. (In Persian). https//doi.org/10.22092/IJSR.2022.126890
12. Asadi Kangarshahi, A., & Akhlaghi Amiri, N. (2023). Performance of Miyagawa Satsuma Mandarin raised on 'Swingle citrumelo' in calcareous soils. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, *10*(3), 161-172. https//doi.org/10.22059/IJHST.2022.326739.480
13. Aviles, T. C., Filho, F. A., Stuchi, E.S., Silva, S. R., & Espinoza, E. (2011). Horticultural performance of Folha Murcha sweet orange on to twelve rootstocks. *Scientia Horticulturae*, *129*(2), 259-265. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.039
14. Bassal, M. A. (2009). Growth, yield and fruit quality of 'Marisol' Clementine grown on four rootstocks in Egypt. *Scientia Horticulturae*, *119*, 132-137. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.07.020
15. Caruso, M., Giuffrida, A., & Malfa, S. L. (2024). Rootstocks for the Mediterranean citrus industry: Current choices and new releases. *Italus Hortus*, *31*(1), 1-17. http://10.26353/j.itahort/2024.1.0117
16. Castle, W. S. (1987). Citrus Rootstocks. In: R. C. Rom and R. F. Carlson (Ed.) Rootstocks for Fruit Crops. John Wiley & Sons Inc. p. 361-399
17. Cruz, M. A., Neves, C. S. V., Carvalho, D. U., Colombo, R. C., Junior, R. P., & Tazima, Z. H. (2019). Navelina sweet orange trees on five rootstocks in Northern Parana state. *Revista Brasileira de Fruticultura*, *41*(3), 1-9. https://dx.doi.org /10.1590/0100-29452019006
18. Girardi, E. A., Sola, J. G. P., Scapin, M. S., Moreira, A. S., Bassanezi, R. B., Ayres, A. J., & Pena, L. (2021). The perfect match: Adjusting high tree density to rootstock vigor for improving cropping and land use efficiency of sweet orange. *MDPI, Agronomy, 11*, 2569, 1-33. https://doi.org/10.3390/agronomy11122569
19. Gullo, G., Dattola, A., Vonella, V., & Zappia, R. (2021). Performance of the Brasiliano 92 orange cultivar with six trifoliate rootstocks. *Agriculture and Food*, *6*(1), 203-215. https://doi.org/10.3934/agrfood.2021013
20. Habibi, F., Liu, T., Folta, K., & Sarkhosh, A. (2022). Physiological, biochemical, and molecular aspects of grafting in fruit trees. *Horticulture Research*, *9*, 1-18. https://doi.org/10.1093/hr/uhac032

21. Hayat, F., Li, J., Iqal, Sh., Peng, Y., Hong, L., Balal, R. M., Nawaz Khan, M., Khan, U., Farhan, M. A., Li, C., Song, W., Tu, P., & Chen, J. (2022). A mini review of citrus rootstocks and their role in high-density orchards. *Plants*, *11*(2876), 1-14. https://doi.org/10.3390/plants11212876
22. Lado, J., Gambetta, G., & Zacarias, L. (2018). Key determinants of citrus fruit quality: Metabolites and main changes during maturation. *Scientia Horticulturae*, *233*, 238-248. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.055
23. Lee, A. T. C., Joubert, J., & Vuuren, S. P. V. (2009). Rootstock choice. In: J. Joubert and S. P. Van Vuuren (Ed.) Integrated Production Guidelines for Export Citrus. *Citrus Research International*, *1*(6), 1-28.
24. Louzada, E. S., Rio, H. S., Setamou, M., Watson, J. W., & Swietlik, D. M. (2008). Evaluation of citrus rootstocks for the high pH, calcareous soils of South Texas. *Euphytica*, *164*, 13-18. https://doi.org/10.1007/s10681-008-9701-x
25. Manzoor, M., Hussain, S. B., Anjum, M. A., Naseer, M., Ahmad, R., & Ziogas, V. (2023). Effects of harvest time on the fruit quality of Kinnow and Feutrell's Early Mandarins (Citrus reticulata Blanco). *MDPI Agronomy*, *13*(3), 802. https://doi.org/10.3390/agronomy13030802
26. MMGO (2020). Mazandaran Meterology General Oficce. (In Persian). from http://www.mazmet.ir
27. Morales, J., Bermejo, A., Navarro, P., Quinones, A., & Salvador, A. (2021). Effect of Rootstock on Citrus Fruit Quality: A Review. *Food Reviews International*, 19 pp. https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1978093
28. Sahin Cevik, M., & Moore, G. A. (2006). Identification and expression analysis of cold-regulated genes from the cold-hardy citrus relative *Poncirus trifoliata* (L.). *Plant Molecular Biology*, *62*, 83-97. https://doi.org/10.1007/s11103-006-9005-2
29. Singh, A., Naqvi, S., & Singh, S. (2002). Citrus Germplasm Cultivar and Rootstocks. National Research Centre of Citrus, Kalyani Publication, New Delhi, India. 166 p.
30. Skewes, M. (2015). Navelina orange rootstock incompatibility. South Australian Research and Development Institute, Technical Report. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1577.9288
31. Stuchi, E. S., Martins, A. B. G., Lemo, R. R., & Aviles, T. C. (2009). Fruit quality of Tahiti lime (*Citrus latifolia* Tanaka) grafted on 12 different rootstocks. *Revista Brasileira de Fruticultura*, *31*(2), 454-460. https://doi.org/10.1590/S0100-29452009000200020
32. Tazima, Z. H., Neves, C. S. V. J., Yada, I. F. U., & Junior, R. P. L. (2013). Performance of 'Okitsu' Satsuma Mandarin on nine rootstocks. *Scientia Agricola*, *70*(6), 422-427. https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000600007
33. Ziogas, V., Kokkinos, E., Karagiaai, A., Ntamposi, E., Voulgarakis, A. S., & Hussain, B. (2023). Effect of rootstock selection on tree growth, yield, and fruit quality of lemon varieties cultivated in Greece. *MDPI, Agronomy*, *13*, 2265, 1-15. https://doi.org/10.3390/agronomy13092265

Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 40, No. 1, Spring 2026, p. 19-30

Optimizing the *in vitro* Culture for Callus Induction of Iranian St John's Wort (*Hypericum perforatum* L.)

M. Abdollahpoor[1], M. Azizi[2*], S. Kalantari[1], Y. A. Saadat[3]

1- Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran
2- Department of Horticulture Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Fars, Iran

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

Received: 06 March 2017
Revised: 09 March 2021
Accepted: 05 April 2021
Available Online: 05 April 2021

How to cite this article:
Abdollahpoor, M., Azizi, M., Kalantari, S., & Saadat, Y. A. (2026). Optimizing the *in vitro* culture for callus induction of Iranian St John's wort (*Hypericum perforatum* L.). *Journal of Horticultural Science*, *40*(1), 19-30. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2021.59629.0

Introduction

Hypericum perforatum L. is an important medicinal plant that used for depression treatment. *In vitro* regeneration has been successfully achieved for many *Hypericum* species from a range of explants sources with different growth regulators. Recent studies have demonstrated that *in vitro* culture is an option for multiplication of different *Hypericum* species. With consideration this notice that tissue culture can provide an affordable alternative method for propagation with high speed to production of intensive plant material as well as suitable materials for breeding programs of *H. perforatum*, the objective of this study was to investigate the effects of explant types (leaf and stem), plant growth regulators (2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D), Naphthalene Acetic Acid (NAA), Benzyl Adenine (BA) and Kinetin (Kin)), light (dark and weak light), media culture (MS medium and MS medium with B5 vitamins) and poly vinyl pyrrolidone (PVP) on callus induction in *H. perforatum* at *in vitro* culture condition.

Materials and Methods

For preparation of sterile plantlets, the seeds of Iranian *H. perforatum* (Azadshahr population) were cultured in 1.2 MS growth regulator free-media. For investigation the callus induction of Iranian *H. perforatum* the leaf and stem explants of *in vitro* obtained plantlets were used. Explants were cultured in different concentrations of 2,4-D (0.2, 0.5 and 1 mg.l^{-1}) with two kinds of cytokines BA and Kin (0.2, 0.5 and 1 mg.l^{-1}) as well as 1 mg.l^{-1} NAA. For browning control of calli the effects of light (dark and weak light), media culture (MS medium and MS medium with B5 vitamins) and four concentrations of poly vinyl pyrrolidone (0, 50, 100 and 200 mg.l^{-1}) were also surveyed.

Results and Discussion

Callus cultures could be used for cell suspension initiation, studying of their morphogenetic potential and screening of secondary metabolite profile**.** In present study the response of two *H. perforatum* explants (leaf and stem) to different levels and combinations of auxins and cytokinins were tested. The callus induction in both studied explants (leaf and stem) was just observed in supplemented media with plant growth regulators. The calli of leaf explants were showed better growth in dark and the highest callus fresh weight was obtained in 0.25 mg.l^{-}

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.2021.59629.0

[1] 2,4-D + 1 mg.l^{-1} Kin and 0.5 mg.l^{-1} 2.4-D + 1 mg.l^{-1} BA. of the various concentrations and combination of growth regulators, the minimum response about callus induction was observed in the presence of 1 mg.l^{-1} 2,4-D in combination with 1 mg.l^{-1} NAA. The obtained calli got browning shortly after induction. The investigation of light effect on callus quantity and quality showed that not only light did not affect the callus induction and callus browning but also reduced the callus growth. The highest callus fresh weight was obtained in 100 mg.l^{-1} poly vinyl pyrrolidone in leaf explant. Few species within the genus *Hypericum* have been used to produce callus. In *H. perforatum* seedling, different explants such as shoot apical meristem, stem segments and leaves were used for callus induction. In *H. erectum* callus induction was obtained by culturing seedlings in the presence of Indole Acetic Acid (IAA) and BA under darkness. The combination of cytokinins and auxins did not support callus growth of *H. brasiliense* and callus of nodal explants was only obtained in the presence of 2,4-D or NAA using either MS or B5 medium. These differences among literatures can be due to different cultivars, culture conditions, explant type and medium composition.

Conclusion

The plant growth regulators is necessary for callus induction in Iranian *H. perforatum* and leaf is suitable for this purpose. The light intensity and poly vinyl pyrrolidone did not control the browning of of *H. perforatum* calli.

Keywords: Browning, Media culture, Medicinal plant, Plant growth regulators, Poly vinyl pyrrolidone

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۴۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص. ۳۰-۱۹

بهینه‌سازی شرایط کشت درون شیشه‌ای برای کالوس‌زایی گیاه گل راعی بومی ایران (*Hypericum perforatum* L.)

منیژه عبدالله پور[۱]- مجید عزیزی[۲*]- سیامک کلانتری[۱]- یوسف علی سعادت[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۶

چکیده

گل راعی (*Hypericum perforatum* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی می‌باشد که در درمان افسردگی به کار برده می‌شود. این تحقیق با هدف بهینه‌سازی کالوس‌زایی گیاه گل راعی در شرایط کشت درون شیشه‌ای انجام گردید. به‌منظور مطالعه و بررسی وضعیت کالوس‌زایی گیاه گل راعی بومی ایران (توده آزاد شهر) از ریزنمونه‌های برگ و ساقه حاصل از شاخساره‌های درون شیشه‌ای این گیاه استفاده شد. ریزنمونه‌ها در غلظت‌های مختلف 2,4-D (۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ میلی‌گرم در لیتر) همراه با دو نوع سیتوکینین بنزیل آمینو پورین (BA) و کینیتین (Kin) (۰/۲، ۰/۵ و ۱ میلی‌گرم در لیتر) و نیز غلظت یک میلی‌گرم در لیتر نفتالین استیک اسید (NAA) کشت شدند. کالوس‌ها در ریزنمونه برگ در شرایط تاریکی رشد بیشتری داشته و بیشترین وزن‌تر کالوس (۲/۳۰ گرم) در تیمارهای ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D + یک میلی‌گرم در لیتر کینیتین و ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D + یک میلی‌گرم در لیتر بنزیل آمینو پورین به دست آمد. کالوس‌های به‌دست‌آمده پس از مدت کوتاهی قهوه‌ای شدند. به‌منظور کنترل قهوه‌ای شدن کالوس‌ها، اثر نور (تاریکی و روشنایی ضعیف)، محیط کشت (محیط کشت MS و محیط کشت MS با ویتامین‌های محیط B5) و چهار غلظت پلی‌ونیل پیرولیدین (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) مورد بررسی قرار گرفت. روشنایی اثری بر کالوس‌زایی و قهوه‌ای شدن کالوس‌ها نداشت، ولی موجب کاهش رشد آن‌ها گردید. استفاده از پلی‌ونیل پیرولیدین منجر به کنترل قهوه‌ای شدن کالوس‌ها نشد، اگرچه رشد کالوس‌ها را بهبود بخشید و بیشترین وزن تر کالوس (۴/۱۰ گرم) در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر پلی‌ونیل پیرولیدین و در ریزنمونه برگ به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: پلی وینیل پیرولیدون، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، قهوه‌ای شدن، گیاه دارویی، محیط کشت

مقدمه

روند روبه‌رشد مصرف گیاهان دارویی بدون توسعه روش‌های مناسب کاشت، مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح، پیامد تخریب طبیعت را در بر خواهد داشت. کشت بافت یکی از بخش‌های مهم بیوتکنولوژی است که کاربردهای مختلف آن در زمینه گیاهان دارویی از جنبه‌های مختلفی قابل بررسی است. کشت بافت گیاهی، نقطه عطفی را برای کنترل تولید هزاران متابولیت ثانویه مفید ایجاد کرده است و از این طریق می‌توان ترکیبات دارویی خاص را با سرعتی مشابه یا بالاتر از گیاه سالم تولید نمود (Azizi et al., 2002). افزون‌بر این استفاده از این تکنیک، امکان دست‌ورزی بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه و افزایش کارآیی تکثیر ریزنمونه‌ها را در مقایسه با گیاهان کامل ممکن می‌سازد (Kirakosyan et al., 2004). ایران با وسعت زیاد و آب‌وهوای متنوع جزء مراکز مهم انتشار گونه‌های مختلف دارویی می‌باشد که در حال حاضر به‌علت برداشت نادرست و بی‌رویه، بسیاری از آن‌ها در خطر انقراض قرار گرفته‌اند، بنابراین شناسایی و حفاظت از این منابع ژنتیکی امری ضروری است. استفاده از تکنیک‌های کشت بافت می‌تواند در زمینه حفظ و تولید گیاهان دارویی و مواد مؤثره آن مفید واقع گردد.

گل راعی با نام علمی *Hypericum perforatum* L. از جمله گیاهان دارویی ارزشمند و مهم خانواده Hypericaceae می‌باشد.

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

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

۳- مرکز تحقیقات آموزش علوم کشاورزی و منابع طبیعی، استان فارس، ایران

(*- نویسنده مسئول: (Email: azizi@um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/jhs.2021.59629.0

جنس گل راعی بیش از ۴۶۹ گونه در جهان دارد که ۱۹ گونه آن تاکنون در ایران گزارش شده است (Azadi, 1999; Crockett, 2010). گیاه گل راعی دارای متابولیت ثانویه مهمی از جمله نفتودیانترون‌ها (هیپریسین و سودوهیپریسین)، آسیل فلورو گلوگسینول‌ها (هیپرفورین و آدهیپرفورین)، زانتون‌ها و فلاونوئیدها می‌باشد (Radusienea et al., 2005). به‌دلیل پتانسیل بالای این گیاه در درمان برخی از بیماری‌های مهم به‌ویژه افسردگی، اکنون تقاضا برای ترکیبات حاصل از این گیاه در حال افزایش است (Kirakosyan et al., 2008). القای کالوس می‌تواند برای بیوسنتز تولیدات طبیعی این گیاه مانند هیپریسین مفید باشد و از این طریق امکان تولید متابولیت‌های ثانوی گیاه گل راعی در سطح وسیع فراهم می‌گردد (Bais et al., 2002).

پاسخ‌های مورفوژنتیک کشت بافت گل راعی وابسته به نوع و غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و شرایط نوری دارد. برای تولید کالوس در گل راعی از ریزنمونه‌های مختلف مانند برگ، ساقه، هیپوکوتیل و قطعات گره به‌طور معمول در محیط کشت MS (Murashige & Skoog, 1962) استفاده شده است. ترکیب اکسین و سیتوکینین برای القای کالوس در گل راعی مفید می‌باشد (Dias et al., 1998). توسی و همکاران (Tocci et al., 2010) از تنظیم‌کننده‌های رشد 2,4-D [1]، کینتین (Kin) [2] و نفتالین استیک اسید (NAA) [3] برای القای کالوس‌زایی در گل راعی استفاده کرده‌اند. پرتو و سانتارم (Pretto & Santarem, 2000) کالوس‌زایی ریزنمونه‌های برگ گل راعی را در محیط کشت MS حاوی 2,4-D به همراه بنزیل آمینو پورین (BA) [4] یا Kin در هر دو شرایط روشنایی و تاریکی گزارش نموده‌اند. قاضیان تفریشی و عزیزی (Ghazian Tafrishi et al., 2006) کالوس‌زایی و شاخه‌زایی گل راعی بومی ایران توده اردبیل را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش آن‌ها نشان داد که بیشترین مقدار کالوس از نظر وزن در محیط کشت دارای یک میلی‌گرم در لیتر Kin به همراه ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D به دست آمد. کشت ریزنمونه برگی حاصل از گیاهچه‌های درون شیشه‌ای توده آذربایجان در محیط‌های کشت دارای ترکیبی از اکسین‌ها و سیتوکینین‌ها و در شرایط تاریکی، پس از حدود ۱۴ روز منجر به تشکیل کالوس‌های به رنگ زرد و با نواحی متراکم قرمز رنگ شد (Farsad Akhtar et al., 2013).

این مطالعه با هدف بهینه‌سازی محیط کشت از نظر نوع و مقدار استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی برای کالوس‌زایی گیاه گل راعی بومی ایران انجام گرفت. افزون‌بر این اثر نور، محیط کشت و ترکیب پلی‌ونیل پیرولیدین (PVP) [5] برای افزایش کیفیت کالوس‌های تولیدشده بررسی گردید.

1- 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid
2- Kinetin
3- Naphthaleneacetic acid (NAA)
4- Benzylaminopurine (BA)

مواد و روش‌ها

اثر ریزنمونه و تنظیم‌کننده‌های رشد بر کالوس‌زایی

به‌منظور مطالعه و بررسی وضعیت کالوس‌زایی در گیاه گل راعی بومی ایران (توده آزاد شهر) از ریزنمونه‌های برگ و ساقه حاصل از شاخساره‌های درون شیشه‌ای تولیدشده این گیاه در محیط کشت MS دارای ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر BA و ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر ایندول بوتریک استیک اسید (IBA) [6] استفاده گردید. برگ‌ها به‌طور کامل و قطعات ساقه‌ها به طول ۱/۵-۱ سانتی‌متر دارای ۳-۱ گره در محیط کشت MS دارای ۳ درصد ساکارز، ۰/۸ درصد آگار و غلظت‌های مختلف 2,4-D (۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ میلی‌گرم در لیتر) همراه با دو نوع سیتوکینین BA و Kin (۰/۲، ۰/۵ و ۱ میلی‌گرم در لیتر) و نیز غلظت یک میلی‌گرم در لیتر NAA کشت گردید. شاهد فاقد تنظیم‌کننده رشد بود. نمونه‌های کشت‌شده به اتاقک رشد با دمای ۲±۲۵ درجه سانتی‌گراد در شرایط تاریکی منتقل شدند. pH محیط‌های کشت قبل از اتوکلاو، روی ۰/۱±۵/۷ تنظیم گردید و ضدعفونی محیط‌های کشت توسط اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد با فشار ۱/۵ کیلوگرم در مترمربع به مدت ۱۵ دقیقه صورت گرفت. بازکشت ریزنمونه‌ها در فواصل زمانی هر ۲۰ روز انجام شده و هشت هفته پس از کشت تعداد روز تا کالوس‌زایی، درصد کالوس‌زایی، حجم و وزن تر کالوس بررسی شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و چهار ریزنمونه انجام شد.

ازآنجایی‌که کالوس‌های تولیدشده در این آزمایش پس از مدتی قهوه‌ای شدند، دو احتمال برای آن در نظر گرفته شد: ۱- قهوه‌ای شدن کالوس‌ها ناشی از محیط کشت و یا شرایط نوری باشد، ۲- کالوس و اندام‌های گل راعی سرشار از ترکیبات فنلی می‌باشند و مواد فنلی در معرض هوا اکسیده شده و باعث ایجاد رنگ قهوه‌ای در اندام‌های گیاه می‌شود. بنابراین آزمایش‌های تکمیلی برای کنترل قهوه‌ای شدن و بهبود کیفیت و رشد در کالوس‌ها به‌شرح زیر انجام گرفت.

اثر نور و محیط کشت بر کالوس‌زایی

برای بررسی اثر شرایط نوری (روشنایی و تاریکی) و محیط کشت بر کالوس‌زایی گل راعی، با توجه به نتایج آزمایش قبلی، تیمارهای

5- Poly Vinyl Pyrrolidone (PVP)
6- Indolebutyric acid (IBA)

مناسب از تنظیم‌کننده‌های رشد برای القای کالوس‌زایی انتخاب شدند که در این آزمایش برای ریزنمونه‌های برگی تیمارهای ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D + ۱ میلی‌گرم در لیتر Kin، ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D + ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر BA و ۱ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D + ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر Kin + ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر NAA و برای ریزنمونه‌های ساقه تیمارهای ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D + یک میلی‌گرم در لیتر BA و یک میلی‌گرم در لیتر 2,4-D + ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر Kin + ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر NAA انتخاب گردید. از محیط کشت MS با ترکیب ویتامین‌های توصیف‌شده توسط موراشیک و اسکوگ (Murashige & Skoog, 1962) و محیط کشت MS با ویتامین‌های محیط B5 (Gamborg et al., 1968) استفاده گردید. ریزنمونه‌های کشت‌شده به اتاقک رشد با شرایط تاریکی و روشنایی ضعیف (دارای یک لامپ مهتابی سفید) منتقل شدند. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و پنج ریزنمونه انجام شد. بازکشت ریزنمونه‌ها در فواصل زمانی هر ۱۵ روز انجام گردید و ۱۲ هفته پس شروع کشت تعداد روز تا القای کالوس، درصد کالوس‌زایی و حجم و وزن تر کالوس اندازه‌گیری شد.

اثر پلی‌ونیل پیرولیدین برکالوس‌زایی

پلی‌ونیل پیرولیدین یک ترکیب جاذب پلی‌فنل‌ها می‌باشد که به‌طور معمول برای جذب مواد فنلی استفاده می‌گردد (Pick Kiong et al., 2008). برای کنترل قهوه‌ای شدن در کشت کالوس‌هایی گل راعی، در این آزمایش از چهار غلظت PVP (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به همراه ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر کازئین هیدورلیزشده استفاده شد و اثر آن در دو سطح هورمونی ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D همراه با یک میلی‌گرم در لیتر Kin و یا یک میلی‌گرم در لیتر BA با استفاده از دو ریزنمونه برگ و ساقه بررسی شد. این آزمایش به‌صورت طرح فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و پنج ریزنمونه انجام گردید. بازکشت ریزنمونه‌ها در فواصل زمانی هر ۲۰ روز انجام گردید و هشت هفته پس شروع کشت، تعداد روز تا القای کالوس، درصد کالوس‌زایی و وزن تر کالوس اندازه‌گیری شد.

داده‌های حاصل از آزمایش به وسیله نرم افزار SAS 9.3 تجزیه و تحلیل آماری شدند و میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

اثر ریزنمونه و تنظیم‌کننده‌های رشد بر کالوس‌زایی گل راعی بومی ایران

در این مطالعه برای تولید کالوس از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی شامل 2,4-D، BA، Kin و NAA در سطوح مختلف استفاده شد و اثر آن‌ها بر کالوس‌زایی ریزنمونه‌های برگ و ساقه گیاهچه‌های درون شیشه‌ای گل راعی در شرایط تاریکی بررسی شد. براساس نتایج تجزیه واریانس، زمان آغاز کالوس‌زایی، درصد کالوس‌زایی، وزن و حجم کالوس‌ها در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشد و نوع ریزنمونه قرار گرفتند. القای کالوس در تمام تیمارهای هورمونی مورد مطالعه به‌جز شاهد بعد از ۱۰ تا ۱۷ روز مشاهده شد. در این آزمایش، بین ریزنمونه‌های برگ و ساقه در سطوح مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد از نظر القای کالوس تفاوت چندانی مشاهده نشد، ولی رشد کالوس در ریزنمونه برگ نسبت به ساقه از نظر وزن و حجم بهتر بود (جدول ۱). پاسخ متفاوت ریزنمونه به تولید کالوس در سایر گیاهان نیز گزارش شده است (Kalidass et al., 2010).

نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد برای کالوس‌زایی گیاه گل راعی ضروری می‌باشد و اکسین 2,4-D در ترکیب با سیتوکینین BA و Kin بر کالوس‌زایی تأثیر مثبت دارد و زمانی‌که مقدار 2,4-D کمتر یا مساوی با این سیتوکینین‌ها باشد، اثر بهتری بر رشد کالوس‌ها می‌گذارد، چرا که 2,4-D در غلظت‌های نسبتاً بالا هم به‌عنوان محرک و هم بازدارنده تقسیم سلولی عمل می‌کند و سلول‌ها با غلظت بالای 2,4-D به مرحله رکود می‌روند که سبب عدم رشد کالوس می‌گردد (Feher, 2001). این نتایج مشابه با گزارش‌های قبلی در خصوص کالوس‌زایی گل راعی با استفاده از ترکیبات مختلف اکسین و سیتوکینین است (Pretto & Santarem, 2000).

وزن تر کالوس حاصل از ریزنمونه برگ و ساقه در تیمارهای هورمونی مختلف تفاوت معنی‌داری داشت و بیشترین وزن تر و حجم کالوس در ریزنمونه برگ و در تیمار ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D + ۱ میلی‌گرم در لیتر Kin و نیز در غلظت ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر 2,4-D + ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر BA به‌دست آمد که به‌ترتیب ۲/۳۰، ۲/۰۹ گرم و ۱/۴۳ و ۱/۱ سانتی‌مترمکعب بود. کمترین وزن تر کالوس در ریزنمونه برگ و ساقه در غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D و ۱ میلی‌گرم در لیتر NAA به دست آمد. پرتتو و سانتارم (Pretto & Santarem, 2000) نیز گزارش کرده‌اند که رشد کالوس در گل راعی به‌شدت به‌وسیله تنظیم‌کننده‌های رشد مختلف تحت تأثیر قرار می‌گیرد و 2,4-D به‌تنهایی نتیجه مثبتی بر تولید کالوس ندارد و باعث نکروزه شدن نمونه‌ها بعد از سه هفته می‌شود. قاضیان و همکاران (Ghazian Tafrishi et al., 2006) در مطالعه روی گل راعی بومی ایران توده اردبیل نیز بیان کردند که با افزایش مقدار NAA، تولید

کالوس کاهش پیدا می‌کند. کیبر و اسچالر (Kieber & Schaller, 2014) گزارش کردند که سیتوکینین خارجی، متابولیسم اکسین داخلی را به‌وسیله کاهش فعالیت آنزیم ایندول استیک اسید-اکسیداز تغییر می‌دهد و سطوح بالای ایندول استیک اسید، رشد سلول را با افزایش ساخت RNA و متعاقب آن سنتز پروتئین‌ها القاء می‌کند که منجر به تکثیر سلول‌های کالوس می‌شود. در گونه‌های مختلف جنس *Hypericum* برای تولید کالوس، نتایج متفاوتی نسبت به *H. perforatum* گزارش شده‌است، از جمله در *H. brasiliense* استفاده از قطعات گره‌ای در محیط کشت دارای ترکیب اکسین و سیتوکینین منجر به رشد کالوس‌ها نشده و رشد کالوس تنها در حضور 2,4-D و NAA در روی محیط کشت MS یا B5 و تحت فتوپریود ۱۶ ساعت به دست آمده است(Cardoso & de Oliviera, 1996).

جدول ۱- اثر متقابل نوع ریزنمونه × تنظیم‌کننده‌های رشد بر کالوس‌زایی گل راعی بومی ایران

Table 1- The interaction effects of explant type ×plant growth regulators on the callus induction of Iranian *H. perforatum*

تنظیم‌کننده‌های رشد Plant growth regulator (mg.l^{-1})	ریزنمونه Explant type	تعداد روز تا کالوس‌زایی Days to callus induction	درصد کالوس‌زایی Callus induction (%)	وزن کالوس Callus weight (g)	حجم کالوس Callus volume (cm^3)
0.5 2,4-D + 0.5 Kin	ساقه Stem	10 c*	100 a	0.83 g	0.40 ef
	برگ Leaf	10 c	100 a	1.13 ed	0.90 c
0.25 2,4-D + 1 Kin	ساقه Stem	10 c	93.75 a	1.14 ed	0.99 cb
	برگ Leaf	10 c	100 a	2.30 a	1.43 a
1 2,4-D+ 0.2 Kin + 0.1 NAA	ساقه Stem	10 c	100 a	0.70 h	0.34 f
	برگ Leaf	10 c	100 a	1.15 ed	0.65 d
0.5 2,4-D + 0.5 BA	ساقه Stem	10 c	100 a	0.82 g	0.83 c
	برگ Leaf	17 a	100 a	2.09 b	1.10 b
0.25 2,4-D + 1 BA	ساقه Stem	10 c	100 a	1.38 c	0.99 cb
	برگ Leaf	10 c	100 a	1.22 d	0.59 d
1 2,4-D+ 0.2 BA + 0.1 NAA	ساقه Stem	10 c	100 a	1.05 ef	0.53 ed
	برگ Leaf	14 b	100 a	0.96 f	0.33 f
1 2,4-D + 1 NAA	ساقه Stem	14 b	12.5 b	0.08 i	0
	برگ Leaf	7 d	18.7 b	0.02 i	0

* وجود حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها براساس آزمون دانکن چنددامنه‌ای در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

* Values followed by different letters are significantly different according to Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

در *H. erectum* القای کالوس در کشت دانهال در حضور ایندول استیک اسید (IAA)[1] و BA در شرایط تاریکی گزارش شده است (Yazaki & Okuda, 1990).

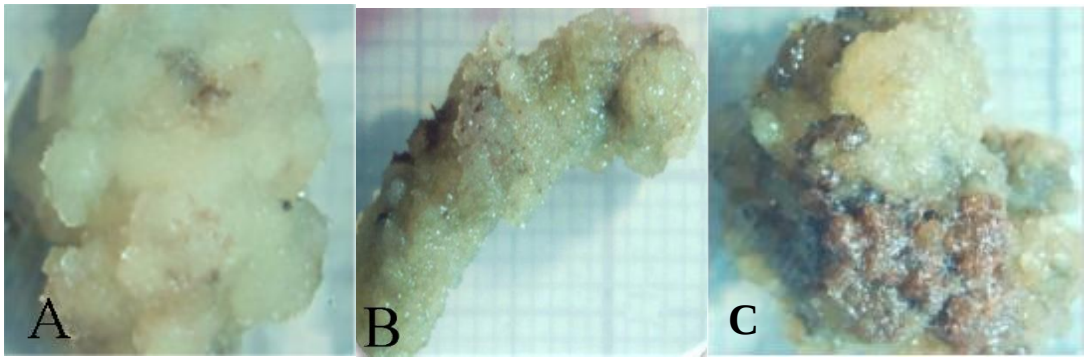
کالوس‌های تولیدشده در این مطالعه کرم‌رنگ بوده و حالت فشرده داشتند (شکل ۱-A و ۱-B) و نقاط قرمز که در مطالعات قبلی در کالوس‌زایی گل راعی گزارش شده بود (Bais et al., 2002) در این کالوس‌ها مشاهده نشد. کالوس‌های تولیدشده پس از ۱۰ تا ۲۰ روز شروع به قهوه‌ای شدن گردید (شکل ۱-C). براساس گزارش نو

1- Indole-3-acetic acid (IAA)

و همکاران (No et al., 2005) محتوای هیپریسین در کالوس‌های قهوه‌ای‌شده گل راعی ۷/۵ تا ۹ برابر بیشتر از کالوس‌هایی است که رشد بهتری دارند.

اثر نور و محیط کشت بر کالوس‌زایی گل راعی بومی ایران

در آزمایش اول، کالوس‌های تولیدشده گل راعی در تمام سطوح تنظیم‌کننده‌های رشد و هر دو ریزنمونه با گذشت زمان به‌تدریج قهوه‌ای شدند (شکل ۱-C)، در این راستا، آزمایش دیگری برای بررسی اثر نور و محیط کشت به‌منظور بهبود کیفیت کالوس گل راعی و کنترل قهوه‌ای شدن آن انجام گرفت. براساس نتایج آزمایش قبل، بهترین تیمارها از تنظیم‌کننده‌های رشد برای القای کالوس در ریزنمونه‌های برگ و ساقه انتخاب شدند (جدول ۲) و اثر روشنایی، تاریکی و دو نوع محیط کشت MS و محیط کشت MS همراه با ویتامین‌های محیط کشت B5 روی کالوس‌زایی ریزنمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۱- کالوس حاصل از ریزنمونه برگ گل راعی بومی ایران در محیط کشت MS دارای ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D + ۱ میلی‌گرم در لیتر Kin (A)، کالوس حاصل از ریزنمونه ساقه در محیط کشت MS دارای ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D + ۱ میلی‌گرم در لیتر BA (B)، قهوه‌ای شدن کالوس (C)

Figure 1- derived callus from leaf explant of Iranian *H. perforatum* in supplemented MS media with 0.25 mg.l^{-1} 2,4-D + 1 mg.l^{-1} Kin (A), derived callus from stem explant in MS media supplemented with 0.25 mg.l^{-1} 2,4-D + 1 mg.l^{-1} BA(B), browning callus (C)

براساس نتایج به‌دست‌آمده، بین القای کالوس در ریزنمونه‌های برگ و ساقه تفاوت معنی‌داری بین شرایط روشنایی و تاریکی وجود نداشت. ولی از نظر زمان القای کالوس‌زایی و وزن کالوس در ریزنمونه برگ و ساقه بین تیمارها در شرایط روشنایی و تاریکی تفاوت معنی‌دار مشاهده شد و القای کالوس در هر دو ریزنمونه در زمان کمتری در تاریکی صورت گرفته و همچنین کالوس‌ها رشد بهتری در تاریکی داشتند (جدول ۲ و ۳). وجود نور در شرایط درون شیشه‌ای، فعالیت آنزیم ایندول استیک اسید-اکسیداز را افزایش می‌دهد که سبب تغییر تعادل اکسین/سیتوکینین درونی شده و در نتیجه رشد کالوس کاهش پیدا می‌کند (Kieber & Schaller, 2014).

کالوس‌های تولیدشده در شرایط تاریکی کرم‌رنگ بود و حالت فشرده داشتند (شکل ۱)، ولی کالوس‌های تولیدشده در شرایط روشنایی در هر دو ریزنمونه برگ و ساقه سبزرنگ بوده و حالت فشرده داشتند (شکل ۲-A و ۲-B). در مرحله القای کالوس در شرایط روشنایی، نقاط قرمز شفاف روی کالوس‌ها مشاهده شد که در تیمارهای تاریکی چنین نقاطی دیده نمی‌شد (شکل ۲-C و ۲-D).

ریزنمونه‌هایی که نقاط قرمز روشن بیشتری داشتند، بعد از مدت تقریباً یک هفته، از محل این نقاط شروع به قهوه‌ای شدن کرده و رشد چندانی نکردند. این نقاط قرمز رنگ معمولاً به وجود هیپریسین یا آنتوسیانین نسبت داده می‌شود. مولیناسی و همکاران (Mulinacci et al., 2008) با آنالیز HPLC به این نتیجه رسیدند که هیپریسین فقط در نقاط سیاه رنگی وجود دارد که بر روی کالوس‌هایی که روی آن جوانه اولیه تولید شده تشکیل می‌شود و تنها ترکیباتی که در کالوس کاملاً تمایزنیافته گل‌راعی وجود دارد، زانتون‌ها می‌باشند. همچنین آن‌ها بیان کردند که در کالوس تمایزیافته گل‌راعی و نیز در شاخه‌های حاصل از این کالوس‌ها، آنتوسیانین وجود دارد که به‌شکل نقاط قرمز روشن مشاهده می‌شود و گاه با هیپریسین اشتباه گرفته می‌شود، ولی بون و همکاران (Bohn et al., 1996) در بررسی وضعیت کالوس-زایی هفت گونه جنس *Hypericum* با استفاده از ریزنمونه بذر، رنگ قرمز کالوس‌های حاصل را به هیپریسین نسبت دادند.

القای کالوس در هر دو ریزنمونه در دو محیط کشت MS و محیط کشت MS دارای ویتامین‌های B5 تفاوت معنی‌داری نداشتند.

رشد کالوس‌های حاصل از ریزنمونه‌های برگ و ساقه در غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد در محیط کشت MS نسبت به محیط کشت MS با ویتامین B5 بهتر بود و وزن تر کالوس‌های حاصل از دو محیط تفاوت معنی‌داری نشان دادند. کالوس‌های تشکیل‌شده از هر دو ریزنمونه برگ و ساقه در محیط کشت MS و در شرایط تاریکی رشد بهتری داشتند. بیشترین وزن تر کالوس در ریزنمونه برگ (۳/۲ گرم) در تیمار ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D + ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر BA و در ریزنمونه ساقه (۳/۲۹ گرم) در محیط کشت دارای ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D + ۱ میلی‌گرم در لیتر BA حاصل شد (جدول ۲ و ۳).

نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که شرایط تاریکی نسبت به روشنایی ضعیف برای رشد کالوس‌ها در گل راعی بومی ایران بهتر است، اگرچه این شرایط تأثیری بر قهوه‌ای شدن کالوس‌ها نداشت. همچنین دو نوع محیط کشت به‌کاررفته و باز کشت در فاصله زمانی کوتاه‌تر (۱۵ روز در مقایسه با ۲۰ روز در آزمایش اول) نیز بر کنترل قهوه‌ای شدن کالوس‌ها اثری نداشت.

اثر PVP بر کالوس‌زایی گل راعی بومی ایران

برای کنترل قهوه‌ای شدن کالوس، از چهار غلظت مختلف پلی‌وینیل پیرولیدون به همراه ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر کازئین هیدرولیزشده استفاده شد. PVP برای جذب ترکیبات فنلی استفاده می‌شود و باند-های هیدروژنی آن، این ترکیبات را جذب می‌کند (Pick Kiong et al., 2008). بنابراین این ترکیب برای جلوگیری از نکروزه شدن کالوس به محیط کشت اضافه می‌شود و کازئین هیدرولیزشده نیز یک منبع غنی از آمینو اسیدها می‌باشد که در بیان ژن‌های درگیر دربیوسنتز پلی‌فنل‌ها نقش دارد (Talapatra & Raychaudhuri, 2012).

جدول ۲- اثر متقابل نور × محیط کشت بر کالوس‌زایی ریزنمونه برگ گل‌راعی بومی ایران

Table 2- The interaction effect of light and media culture on the callus induction of leaf explant in Iranian *H. perforatum*

محیط کشت Media	تنظیم‌کننده‌های رشد Growth regulators ($mg.l^{-1}$)	نور Light	تعداد روز تا کالوس‌زایی Days to callus induction (day)	کالوس‌زایی Callus induction (%)	وزن کالوس Callus weight (g)
MS	0.25 2,4-D + 1 Kin	نور Light	17 a*	85 b	0.005 h
		تاریکی Dark	14 cb	100 a	2.23 c
MS	0.5 2,4-D + 0.5 BA	نور Light	14 cb	95 a	1.93 d
		تاریکی Dark	14 cb	100 a	3.2 a
MS	1 2,4-D + 0.2 Kin + 0.1 NAA	نور Light	14.25 b	95 a	0.005 h
		تاریکی Dark	13.75 cb	95 a	1.73 f
MSB5	0.25 2,4-D + 1 Kin	نور Light	17 a	100 a	0.008 h
		تاریکی Dark	12.25 d	100 a	1.99 d
MSB5	0.5 2,4-D + 0.5 BA	نور Light	17 a	95 a	0.25 g
		تاریکی Dark	13.5 bcd	95 a	2.64 b
MSB5	1 2,4-D + 0.2 Kin + 0.1 NAA	نور Light	14 bc	100 a	0.001 h
		تاریکی Dark	12.5 cd	95 a	1.36 e

* حروف غیرمشابه در هرستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها براساس آزمون جنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

* Values followed by different letters are significantly different based on Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

القای کالوس در تمام تیمارها و ریزنمونه‌های مورد استفاده ۱۰ تا ۱۴ روز پس از کشت صورت گرفت و تفاوتی در القای کالوس در غلظت‌های مختلف PVP وجود نداشت. کالوس‌های تولیدشده سبز تا سبز کم‌رنگ و حالت فشرده داشتند (شکل ۳). نتایج آزمایش نشان داد که PVP باعث بهبود رشد کالوس در ریزنمونه برگ و ساقه شده، ولی اثری در کنترل قهوه‌ای شدن کالوس‌ها نداشت که بیانگر آن است که قهوه‌ای شدن کالوس‌ها احتمالاً ناشی از اکسیداسیون ترکیبات فنلی نمی‌باشد، چرا که استفاده از PVP نتوانست از این اکسیداسیون جلوگیری کند.

جدول ۳- اثر متقابل نور × محیط کشت بر کالوس‌زایی ریزنمونه ساقه گل‌راعی بومی ایران

Table 3- The interaction effect of light ×media on the callus induction of stem explant in Iranian *H. perforatum*

محیط کشت Media	تنظیم‌کننده‌های رشد Growth regulators ($mg.l^{-1}$)	نور Light	تعداد روز تا کالوس‌زایی Days to callus induction (day)	کالوس‌زایی Callus induction (%)	وزن کالوس Callus weight (g)
MS	0.25 2,4-D + 1 BA	نور Light	12 c*	100 a	2.44 c
		تاریکی Dark	13 abc	90 ab	3.29 a
MS	1 2,4-D+ 0.2 Kin + 0.1 NAA	نور Light	14 a	90 ab	0.53 f
		تاریکی Dark	13.25 ab	100 a	1.21 e
MSB5	0.25 2,4-D + 1 BA	نور Light	14 a	100 a	2.75 b
		تاریکی Dark	12.5 bc	95 ab	2.89 b
MSB5	1 2,4-D + 0.2 Kin + 0.1 NAA	نور Light	14 a	80 b	0.6 f
		تاریکی Dark	12 c	100 a	1.6 d

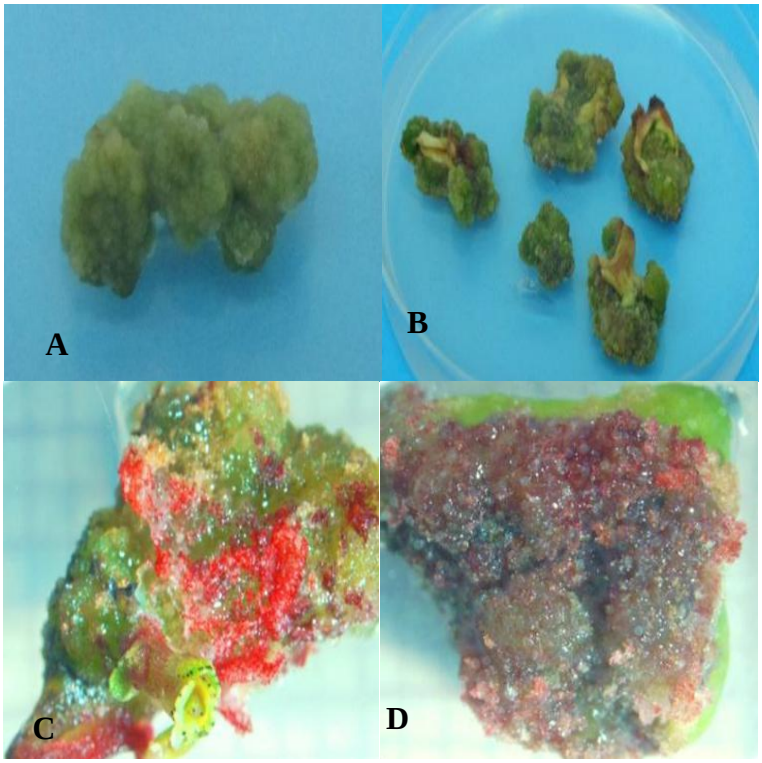
* حروف غیرمشابه در هرستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

* Values followed by different letters are significantly different according to Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

برخلاف نتایج حاضر، در *Cycas revoluta* اضافه کردن یک گرم در لیتر PVP باعث جلوگیری از نکروزه شدن کالوس به‌دلیل جذب مواد فنلی شده و کالوس‌ها در این محیط زنده و بافت نرم به رنگ سفید مایل به زرد داشتند (Pick Kiong et al., 2008). در آلوئه ورا (*Aloe vera*) نیز اضافه کردن یک گرم در لیتر PVP برای موفقیت در کشت درون شیشه‌ای آن مؤثر بوده است (Choudhary et al., 2011).

بیشترین وزن تر کالوس (۴/۱ گرم) در ریزنمونه برگ و در محیط کشت دارای ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D + ۱ میلی‌گرم در لیتر BA و در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر PVP به دست آمد. کمترین وزن تر کالوس (۱/۴۱گرم) در ریزنمونه ساقه و در محیط کشت دارای ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D + ۱ میلی‌گرم در لیتر Kin و در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر PVP حاصل گردید (جدول ۴). بین غلظت‌های PVP مورد استفاده، غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر در بهبود رشد کالوس در هر دو ریزنمونه‌های برگ و ساقه مؤثرتر بوده است.

براساس نتایج به‌دست‌آمده، اثر PVP بر رشد کالوس‌ها به نوع تنظیم‌کننده‌های رشد مورد استفاده نیز بستگی دارد که بین دو تیمار هورمونی به‌کاررفته، غلظت ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D + ۱ میلی‌گرم در لیتر BA اثر بهتری در القا کالوس داشت. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که کالوس‌های حاصل از ریزنمونه برگ در حضور PVP در محیط کشت دارای BA وزن تر بیشتری داشتند، ولی در محیط کشت فاقد PVP بیشترین وزن تر در محیط کشت دارای Kin بوده است، درحالی‌که رشد کالوس در ریزنمونه ساقه در صورت وجود و یا عدم وجود PVP در محیط کشت دارای BA بهتر بود (جدول ۴)، این یافته‌ها نتیجه آزمایش اول را تأیید می‌کند. در گزارش‌های قبلی در مورد گل راعی نیز اضافه کردن PVP به محیط کشت باعث بهبود رشد کالوس شده است (Xu et al., 2011). استفاده از PVP در کشت درون شیشه‌ای گیاهان دیگر نیز گزارش شده است. در بامبو (*Phyllostachys nigra*) اضافه کردن ۰/۲۵ گرم در لیتر PVP به محیط کشت باعث کنترل قهوه‌ای شدن محیط کشت و تحریک رشد جنین‌های سوماتیکی گردید (Ogita, 2005).



شکل ۲- کالوس سبزرنگ حاصل از ریزنمونه برگ گل راعی ایرانی در محیط کشت MS دارای ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D + ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر BA (A)، کالوس سبزرنگ تولیدشده از ریزنمونه ساقه در محیط کشت MS دارای ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D + ۱ میلی‌گرم در لیتر BA (B)، نقاط قرمز تشکیل‌شده روی کالوس حاصل از ریزنمونه برگ (C)، نقاط قرمز تشکیل‌شده روی کالوس حاصل از ریزنمونه ساقه(D)

Figure 2- green derived callus from leaf explant of Iranian *H. perforatum* in supplemented MS media with 0.5 mg.l^{-1} 2,4-D + 0.5 mg.l^{-1} BA (A), green derived callus from stem explant in MS media supplemented with 0.25 mg.l^{-1} 2,4-D + 1 mg l-1 BA (B), c: formed red points on derived callus from leaf explant (C), formed red points on derived callus from stem explant (D)

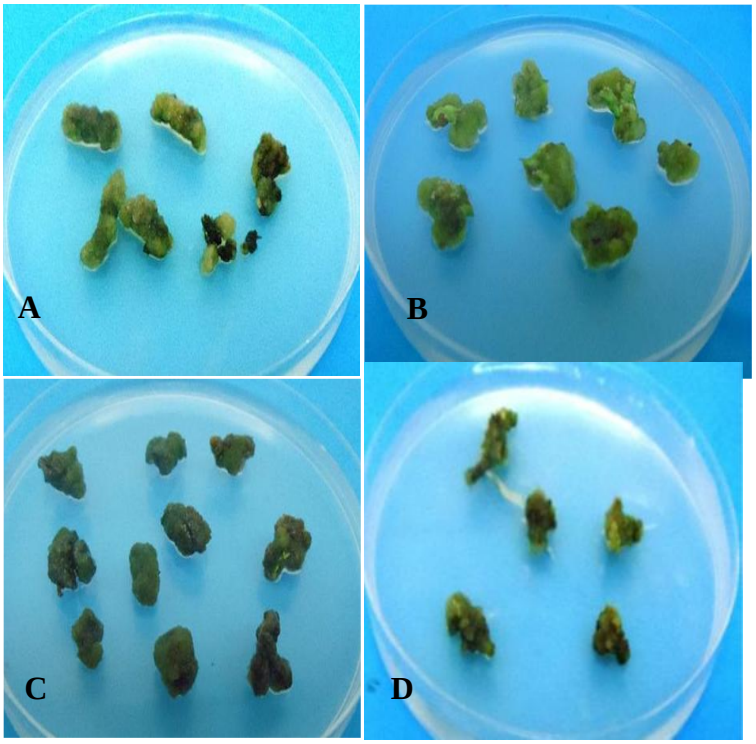
جدول ۴- اثر متقابل نوع ریزنمونه × غلظت‌های مختلف PVP بر کالوس‌زایی گل راعی بومی ایران

Table 4- The interaction effect of explant type × different concentrations of PVP on the callus induction of Iranian *H. perforatum*

تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی Growth regulator (mg.l^{-1})	ریزنمونه Explant	پلی‌ونیل پیرولیدون PVP (mg.l^{-1})	تعداد روز تا کالوس‌زایی Days to callus induction	کالوس‌زایی Callus induction (%)	وزن کالوس Callus weight (g)
0.25 2,4-D + 1 Kin	ساقه Stem	0	10.5 e	100 a	1.62 gh
		50	10.25 e	100 a	1.41 h
		100	10 e	100 a	1.41 h
		200	12.25 cd	100 a	1.53 gh
0.25 2,4-D + 1 Kin	برگ Leaf	0	13.88 a	97.5 ab	3.01 b
		50	12.67 b	97.5 ab	1.79 fg
		100	14 a	100 a	3.18 b
		200	13.5 a	100 a	2.29 ed
0.25 2,4-D + 1 BA	ساقه Stem	0	10 e	100 a	2.26 ed
		50	10 e	100 a	2.4 cd
		100	10 e	100 a	2.46 cd
		200	10 e	100 a	2 e
0.25 2,4-D + 1 BA	برگ Leaf	0	10.25 e	100 a	2.22 ed
		50	10.75 cde	95 b	2.34 d
		100	11.25 cd	97.5 ab	4.1 a
		200	11.5 c	97.5 ab	2.65 c

* حروف غیرمشابه در هرستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

* Values followed by different letters are significantly different according to Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.



شکل ۳- کالوس سبز رنگ تولیدشده از ریزنمونه برگ گل راعی ایرانی در محیط کشت دارای ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D + ۱ میلی‌گرم در لیتر BA و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر PVP (A)، کالوس سبز رنگ تولیدشده از ریزنمونه ساقه در محیط کشت دارای ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D + ۱ میلی‌گرم در لیتر BA و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر PVP (B)، رشد کم کالوس در ریزنمونه ساقه در محیط کشت دارای ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D + ۱ میلی‌گرم در لیتر Kin و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر PVP (C) ، عدم کنترل قهوه‌ای شدن کالوس در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر PVP (D)

Figure 3- green derived callus from leaf explant of Iranian *H. perforatum* in media supplemented with 0.25 mg.l^{-1} 2,4-D + 1 mg.l^{-1} BA and 100 mg.l^{-1} PVP (A), green derived callus from stem explant in media supplemented with 0.25 mg.l^{-1} 2,4-D + 1 mg.l^{-1} BA and 100 mg.l^{-1} PVP (B), low growth of stem derived callus in media supplemented with 0.25 mg.l^{-1} 2,4-D + 1 mg.l^{-1} Kin and 100 mg.l^{-1} PVP (C), uncontrolled callus browning in 200 mg.l^{-1} PVP (D)

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی برای کالوس‌زایی گیاه گل راعی بومی ایران ضروری می‌باشد و استفاده از ریزنمونه برگ برای دستیابی به حداکثر کالوس‌زایی در این گیاه مناسب‌تر می‌باشد. یکی از ویژگی‌های کالوس‌های گل راعی بومی ایران این است که کالوس‌ها به‌سرعت قهوه‌ای می‌شوند و تغییر شرایط نوری از تاریکی به روشنایی ضعیف و استفاده از محیط کشت MS همراه با ویتامین‌های محیط کشت B5 تأثیری بر کنترل قهوه‌ای شدن کالوس‌ها نداشت. اگرچه استفاده از ترکیب پلی‌ونیل پیرولیدین باعث بهبود رشد کالوس‌های حاصل از ریزنمونه برگ شد، ولی نتوانست قهوه‌ای شدن کالوس‌ها را کاهش دهد.

References

1. Azadi R. (1999). Flora Iranica. *Hypericaceae* family. Forest and Rangeland Institute, Iran, pp. 62.
2. Azizi M., Jafarymofid Abadi A., & Omidbaigi, R. (2002). Investigation the in vitro cultures of *Hypericum perforatum* L. in production of Hypercin and other secondary metabolites. *Pazhouhesh and Sazandeghi Journal, 54*, 40-45. (In Persian)
3. Bais. H. P., Walker. T. S., Mc Grew. J. J., & Vivanco. J. M. (2002). Factors affecting the growth of cell suspension cultures of *Hypericum perforatum* L. (St. Johns wort) and production of hypericin. *In Vitro Cellular and Developmental Biology, 38*, 58-65. https://doi.org/10.1079/IVP2001253
4. Bohn, T. H., Fabritius, E., Kauth, S., & Plotz ,S. (1996). First results of comparative investigation about callus and suspension culture of seven *Hypericum* species. Proceeding, International Symposiu: Breeding Research on Medicinal and Aromatic Plants, Quedlinburg, Germany, p. 286-289.

5. Cardoso, N. A., & de Oliviera, D. E. (1996). Tissue culture of *Hypericum brasiliense* Choisy: Shoot multiplication and callus induction. *Plant Cell and Tissue Organ Culture*, *44*, 91-94. https://doi.org/10.1007/BF00048184
6. Choudhary, A. K., Ray, A. K., Jha, S., Mishra, I. N. (2011). Callus formation, shoot initiation and *in vitro* culture of Aloevera. *Biotechnology Bioinformatics and Bioengineering*, *1*(4), 551-553.
7. Crockett, S. (2010). Essential oil and volatile components of the genus *Hypericum* (Hypericaceae). *Natural Product Communication, 5*, 1493-1506. https://doi.org/10.1177/1934578X1000500926
8. Dias, A. C. P., Barber, F. A., Ferreira, M., & Ferreres, F. (1998). Unusual flavonoids produced by callus of *Hypericum perforatum*. *Phytochemistry*, *48*, 1165-1168. https://doi.org/10.1016/S0031-9422(97)00963-1
9. Farsad Akhtar, N., Aharizad, S., Mohammadi, S.A., Motallebi-Azar, A., Movafeghi, A., & Banan Khojasteh, S. M. (2013). *In vitro* shoot regeneration and hypericin production in four *hypericum perforatum* genotypes. *International Journal of Agriculture: Research and Review*, *3*, 887-893
10. Feher, A. (2001). Why somatic plant cells start to form embryos. In: A. Mujib and J. Samaj (Eds). Somatic Emberyogenesis. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 58-101. https://doi.org/10.1007/7089_019
11. Gamborg, O. L., Miller, R. A., & Ojima, O. (1968). Nutrient requirements of suspension cultures of soybean root cell. *Experimental Cell Research*, *50*, 151-158. https://doi.org/10.1016/0014-4827(68)90403-5
12. Ghazian Tafrishi, G., Azizi, M., & Farsi, M. (2006). Investigation of *in vitro* culture of Iranian St Johns Wort (*Hypericum perforatum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *22*(3), 172-179. (in Persian with English abstract)
13. Kalidass, C. H., Mohan, V. R., & Daniel, A. (2010). Effect of auxin and cytokinin on vincristine production by callus cultures of *Catharanthus roseus* L. (Apocynaceae). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *12*, 283-288.
14. Kieber, J. J., & Schaller, G. E. (2014). Cytokinins. Arabidopsis Book, *American Society of Plant Biologists*, 12, e0168. https://doi.org/10.1199/tab.0168
15. Kirakosyan, A., Gibson, D. M., & Kaufman, P. B. (2008). The production of dianthrones and phloroglucinol derivatives in St. John's Wort. In: K. G. Ramawat & J. M. Merillon (Eds.). Bioactive Molecules and Medicinal Plants. Springer, Berlin, pp. 149-164. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74603-4_7
16. Kirakosyan, A., Sirvent, T. M., Gibson, D. M., & Kaufman, P. B. (2004). The production of hypericins and hyperforin by *in vitro* culture of St Johns Wort (*Hypericum perforatum* L.). *Biotechnology and Applied Biochemistry*, *39*(1), 71-81. https://doi.org/10.1042/BA20030144
17. Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. *Physiologia Plantarum*, *15*, 473-497.
18. No, Z., Xiu-qing, Z., Dong-Hai, S., Li, W., & Jun-She, S. (2005). Induction of *Hypericum Perforatum* L. callus and detection of hypericin in the cultures. *Journal of Henan Agricultural Science*, *6*, 66-69.
19. Ogita, S. (2005). Callus and cell suspension culture of bamboo plant, *Phyllostachys nigra*. *Plant Biotechnology*, *22*(2), 119-125. https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.22.119
20. Pick Kiong, A., Shu Thing, Y., Azlan Gansau, J., & Hussein, H. (2008). Induction and multiplication of callus from endosperm of *Cycas revolute*. *African Journal of Biotechnology*, *7*(23), 4279-4284.
21. Pretto, F. R., & Santarem, E. R. (2000). Callus formation and plant regeneration from *Hypericum perforatum* L. leaves. *Plant Cell and Tissue Organ Culture*, *67*, 107-113. https://doi.org/10.1023/A:1026534818574
22. Radusienea, J., Judzentieneb, A., & Bernotieneb, G. (2005). Essential oil composition and variability of *Hypericum perforatum* L. growing in Lithuania. *Biochemistry Systematic and Ecology*, *55*, 113-124. https://doi.org/10.1016/j.bse.2004.06.010
23. Mulinacci, N., Giaccherini, C., Santamaria, A. R., Caniato, R., Ferrari, F., Valletta, A., Vincieri, F. F., & Pasqua, G. (2008). Anthocyanins and xanthones in the calli and regenerated shoots of *Hypericum perforatum* var. Angustifolium (sin. Frohlich) Borkh. *Plant Physiology and Biochemistry*, *46*, 414-420. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2007.12.005
24. Talapatra, S., & Raychaudhuri, S.S. (2012). *In vitro* enhanced accumulation of polyphenols during somatic embryogenesis in *Plantago ovata* Forsk. *American Journal of Bio-pharmacology Biochemistry and Life*, *1*(1), 43-52.
25. Tocci, N., Ferrari, F., Santamaria, A. R., Valletta, A., & Pasqua, R. (2010). Chitosan enhances xanthone production in *Hypericum perforatum* subsp. Angustifolium cell cultures. *Natural Product Research*, *24*(3), 286-290. https://doi.org/10.1080/14786410903006353
26. Xu, M., Yang, B., Dong, J., Lu, D., Jian, H., Sun, L., Zhu, Y., & Xu, Z. (2011). Enhancing hypericin production of *Hypericum perforatum* cell suspension culture by ozone exposure. *Biotechnology Progress*, *27*(4), 1101-1106. https://doi.org/10.1002/btpr.614
27. Yazaki, K., & Okuda, T. (1990). Procyaninins in callus and multiple shoots of *Hypericum erectum*. *Planta Medica*, *56*, 490-491. DOI: 10.1055/s-2006-960073

Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 40, No. 1, Spring 2026, p. 31-44

Effect of Fulvic Acid on Morpho-Physiological Characteristics and the Vase Life of Rose Cut Flowers (*Rosa hybrid* c.v. Dolce vita) under Salinity Stress

M. Danandeh[1], R. Azarmi[1*], M. Torabi Giglou[1], E. Chamani[1], Z. Aslani[2]

1- Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2- Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
(*- Corresponding author's Email: r_azarmi@uma.ac.ir)

Received: 07 February 2025
Revised: 13 May 2025
Accepted: 14 May 2025
Available Online: 14 May 2025

How to cite this article:
Danandeh, M., Azarmi, R., Torabi Giglou, M., Chamani, E., & Aslani, Z. (2026). Effect of fulvic acid on morpho-physiological characteristics and the vase life of rose cut flowers (*Rosa hybrid* c.v. Dolce vita) under salinity stress. *Journal of Horticultural Science*, *40*(1), 31-44. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92084.1410

Introduction

Rosa hybrida is known as one of the most important cut flowers. *Rosa hybrida* is one of the most diverse and widespread plants in the Northern hemisphere in terms of growth habit, flower color and shape. Roses are mostly grown in the ornamental industries as cut flowers, potted plants and bedding plants due to their ornamental value. In addition, roses and their products have many applications in various industries such as beverages, cosmetics, food and pharmaceuticals. So, salinity stress is one of the environmental factors limiting the cultivation of this plant. Appropriate plant nutrition plays a significant role in raising the tolerance level of plants against various stresses.

Materials and Methods

This experiment was carried out in the form of a completely randomized design with four replications in the research greenhouse of the Faculty of Agriculture and Natural Resources of Mohaghegh Ardabili University. Experimental treatments included control, salinity with the concentration of 120 mM, salinity + fulvic acid 10 $mg.L^{-1}$, salinity + fulvic acid 30 $mg.L^{-1}$, salinity + fulvic acid 60 $mg.L^{-1}$, salinity + fulvic acid 90 $mg.L^{-1}$, salinity + fulvic acid 120 $mg.L^{-1}$. After the plants were established in the original pots, they were placed on platforms one meter above the ground. On average, each pot was fed twice a day with a basal nutrient solution based on modified Hoagland nutrient solution. Experimental treatments were applied approximately 50 days after the plants were established. Salinity treatment was applied by sodium chloride. 100 to 150 ml of nutrient solution was added to each treatment according to the growth stage of the plant. The growth medium was rinsed once a week to minimize EC changes. The pH of the nutrient solution was adjusted to 6.5 with 37% hydrochloric acid. Flowers were harvested at the beginning of sepal opening (economic harvest stage) from a height of 45 cm of the flowering stem with a sharp knife. The stem was immediately placed in 500 ml bottles filled with 250 ml of distilled water containing 75 mg /L Sodium hypochlorite.

Results and Discussion

The results showed that the application of salt stress with a concentration of 120 mM caused a significant decrease in leaf fresh weight, stem fresh weight, number of flowers, vase life, flower diameter, relative water content of leaves and the amount of a, b and total chlorophyll in comparison with the control treatment. Also, 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.2025.92084.1410

results showed that the application of fulvic acid had a significant effect on the studied traits. So that the application of fulvic acid increased the growth, physiological and quality parameters of roses. The results showed that leaf fresh weight, stem fresh weight, flower number, flower length and vase life were significantly affected by salinity and fulvic acid treatments. So that under salinity stress conditions, the highest leaf fresh weight (3.56 g) and stem fresh weight (27.51 g) were obtained in the 30 $mg.L^{-1}$ fulvic acid treatment. Also, the highest number of flowers (2.25), flower length (45.51 mm) and vase life (10.50) were observed in the 30 $mg.L^{-1}$ fulvic acid treatments in the non-salinity conditions, and the lowest levels of these traits were obtained in the salinity and non-fulvic acid treatments. Fulvic acid increases the availability of the elements in the plant by chelating the minerals including, potassium, magnesium, zinc, calcium, iron, copper and increasing enhance the growth of lateral roots.

Conclusion

It seems that the application of fulvic acid can be useful in removing osmotic stress and improving the growth and efficiency of rose plants under salt stress conditions. This experiment shows that adding fulvic acid to saline water can reduce the effects of salinity stress on rose plants. So that using different concentrations of fulvic acid (10, 30, 60 and 90 $mg.L^{-1}$), especially the concentration of 30 $mg.L^{-1}$, improved the absorption of nutrients such as nitrogen, potassium and calcium and photosynthetic pigments and moderated the adverse effects of salinity stress.

Keywords: Abiotic stress, Humic substances, Hydroponics, Ornamental plants

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۴۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص. ۴۴-۳۱

تأثیر اسیدفولویک بر ویژگی‌های مورفو-فیزیولوژیکی و عمر گلجای رز رقم (*Rosa hybrida* c.v Dolce vita) تحت تنش شوری

مریم داننده[۱]- رسول آذرمی[۱*]- موسی ترابی گیگلو[۱]- اسماعیل چمنی[۱]- زهرا اصلانی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۲۴

چکیده

گل رز (*Rosa hybrida*) یکی از مهم‌ترین گل‌های شاخه بریده در صنعت گلکاری است. شوری یکی از عوامل محیطی تأثیرگذار بر رشد و کیفیت این گیاه محسوب می‌شود. تغذیه مناسب می‌تواند نقش مهمی در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی ایفا کند. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار، در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل شاهد (بدون شوری و بدون اسیدفولویک)، شوری با غلظت ۱۲۰ میلی‌مولار، شوری + اسیدفولویک ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، شوری + اسیدفولویک ۳۰ میلی‌گرم در لیتر، شوری + اسیدفولویک ۶۰ میلی‌گرم در لیتر، شوری + اسیدفولویک ۹۰ میلی‌گرم در لیتر، شوری + اسیدفولویک ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر بود. تنش شوری با استفاده از سدیم کلرید اعمال گردید و محلول غذایی روزانه متناسب با مرحله رشدی گیاه به‌میزان ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌لیتر به هر تیمار اضافه شد. نتایج نشان داد که اعمال تنش شوری با غلظت ۱۲۰ میلی‌مولار باعث کاهش معنی‌دار در وزن تر برگ، وزن تر ساقه، تعداد گل، عمر گلجای، قطر گل، محتوای نسبی آب برگ و میزان کلروفیل a، b و کل در مقایسه با شاهد شد. همچنین نتایج نشان داد که کاربرد اسیدفولویک تأثیر معنی‌داری بر صفات مورد مطالعه داشت، به‌طوری‌که موجب افزایش شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و کیفی گل رز گردید. براساس یافته‌های این پژوهش، به‌کارگیری اسیدفولویک می‌تواند در کاهش اثرات منفی تنش‌های اسمزی و بهبود رشد و کارآیی گیاه رز در شرایط تنش شوری مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: تنش غیرزیستی، گیاهان زینتی، مواد هیومیک، هیدروپونیک

مقدمه

گل رز (*Rosa hybrida*) با تجارت سالانه حدود ۸۰۰ میلیون یورو، یکی از مهم‌ترین گیاهان زینتی در سراسر جهان است و از نظر عادت رشد، رنگ و شکل گل یکی از متنوع ترین و گسترده‌ترین گیاهان در نیمکره شمالی به شمار می‌آید (Gaurav et al., 2021). گل رز بیشتر به‌دلیل ارزش زینتی خود به‌عنوان گل شاخه بریده و گیاه گلدانی تولید می‌شود. علاوه‌بر این، گل رز و محصولات آن در صنایع مختلف مانند نوشیدنی، آرایشی و بهداشتی، مواد غذایی و داروسازی کاربردهای فراوانی دارد (Zlesak, 2007). از لحاظ زینتی، کیفیت و جذابیت ظاهری گل از جمله طراوت، اندازه، رنگ و ماندگاری گل، همچنین طول و قطر ساقه گل، از جمله عوامل اصلی در افزایش رضایت مصرف‌کنندگان و ارزش اقتصادی آن در بازاریابی و تجارت هستند (Hosseini Farahi et al., 2019). عملکرد زیاد، همراه با کیفیت قابل قبول و بهبود عمر پس از برداشت، از اهداف اصلی تولید گل‌های شاخه بریده، به‌ویژه گل رز می‌باشد. امرزوه کاهش سطح زیرکشت به‌دلیل محدودیت منابع آب و خاک و همچنین تنش‌های محیطی از جمله عوامل اصلی کاهش تولید و موانع اصلی برای دستیابی به عملکرد بهینه محصولات مختلف هستند (Munns et al., 2006).

تنش شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان می‌باشد. خسارت سالانه آن به زمین‌های کشاورزی حدود ۲۷/۳ میلیارد دلار است (Qadir et al., 2014). تحت شرایط تنش شوری، افزایش جذب نمک باعث ایجاد سمیت توسط یون‌هایی مانند سدیم و کلر می‌شود که جذب عناصر غذایی ضروری مانند فسفر، پتاسیم، ازت، کلسیم و منیزیم را

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

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

(*- نویسنده مسئول: (Email: r_azarmi@uma.ac.ir

https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92084.1410

کاهش داده و با تحت تأثیر قرار دادن هدایت روزنه‌ای (کاهش هدایت روزنه) فتوسنتز را کاهش می‌دهد (Tavakkoli et al., 2011). شوری ناشی از غلظت بالای یون سدیم می‌تواند باعث مشکلات اسمزی و متابولیکی شده و فعالیت آنزیم‌های مرتبط با جذب و آسیمیلاسیون برخی عناصر غذایی را تغییر دهد (Siddiqi et al., 2009). شوری تأثیر منفی بر فعالیت آنزیم‌های H^+-ATP و نیترات ردوکتاز دارد که منجر به اختلال در هموستازی یونی و آسیمیلاسیون نیتروژن می‌گردد (Yu et al., 2016). تجمع یون‌های سدیم در سیتوسول به‌عنوان یک معضل جدی در نظر گرفته می‌شود که علاوه‌بر کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی، از طریق مهار فعالیت آنزیم روبیسکو در طول چرخه کالوین نیز بر فرآیند فتوسنتز اثر می‌گذارد و در نهایت باعث کاهش تجمع ماده خشک در گیاه می‌گردد (Parida & Das, 2005). در تولید گیاهان زینتی، حفظ طراوت و زیبایی گل‌ها و افزایش عمر پس از برداشت آن‌ها اهمیت دارد. یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ظاهر گل و عمر پس از برداشت آن، تغذیه بهینه در طول دوره رشدونمو گل است که البته تحت تنش شوری دچار اختلال می‌شود. در واقع، در شرایط تنش شوری، علاوه‌بر کاهش پتانسیل اسمزی محیط و جلوگیری از جذب آب، به‌علت اثر منفی یون‌های سدیم، کلر و بر هم خوردن تعادل یونی محیط رشد، جذب یون‌های عناصر غذایی توسط گیاه نیز دچار اختلال می‌شود (Hajlaoui et al., 2010). اسیدهای هیومیک و فولویک، هر دو جذب‌کننده عالی مواد معدنی و مغذی خاک هستند. برخی از این مواد مغذی شامل مس، آهن، منگنز، روی و ... هستند (Balakumbahan & Rajamani, 2010).

محرک‌های زیستی به‌عنوان یکی از بهترین روش‌های کشاورزی در چند دهه گذشته شناخته شده‌اند. اسیدفولویک ترکیب جدیدی از محرک‌های زیستی است که تأثیر مثبتی بر فرآیندهای توسعه در گیاهان دارد (Ali et al., 2022). اسیدفولویک، دومین ماده مهم هوموس است که رشد و عملکرد گیاه را بهبود می‌بخشد (Calvo et al., 2014) و به‌عنوان یک محرک زیستی، یک اتصال‌دهنده آب غیرسمی است که جذب را از طریق برگ‌ها به حداکثر می‌رساند و بهره‌وری گیاه را بهبود می‌بخشد. علاوه‌بر این، مولکول‌های آب را جذب و با کلاته کردن، حرکت مواد مغذی را به ریشه‌ها تسهیل می‌کند (Capstaff et al., 2020). مهم‌ترین اثرات بیولوژیکی اسیدفولویک شامل تسهیل جذب مواد مغذی معدنی، بهبود رشد، تحریک تجمع زیست‌توده و مقاومت القایی گیاه در برابر تنش‌های محیطی است (Hatami et al., 2018; Calvo et al., 2014). استفاده از اسیدفولویک باعث افزایش شاخص‌های رشدی، رنگدانه‌های فتوسنتزی، فنل کل و فلاونوئید کل در گیاه بومادران (*Achillea millefolium* L) شده است (Bayat et al., 2021). تیمار با اسیدفولویک، ویژگی‌های رشدی و عملکردی را در گیاهانی مانند گندم (*Triticum aestivum*) (Gomaa et al., 2019) و فلفل شیرین (*Capsicum Annuam*) (Maraei et al., 2019) بهبود بخشیده است. علاوه‌بر این، افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، وزن خشک گیاه، سطح برگ، تعداد برگ، محتوای کلروفیل و محتوای عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، آهن، پتاسیم و منیزیم در گیاه گل محمدی (*Rosa damascena* Mill) محلول‌پاشی‌شده با اسیدفولویک نسبت به شاهد مشاهده شد (Ali et al., 2022).

پژوهش حاضر با هدف مطالعه تأثیر شوری و اسیدفولویک به‌صورت کاربرد در محلول غذایی بر تعدیل‌کنندگی اثرات نامطلوب شوری در گل رز و تعیین غلظت بهینه اسیدفولویک تحت تنش شوری انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هفت تیمار و چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی با طول و عرض جغرافیایی منطقه به‌ترتیب ۴۸ درجه و ۲ دقیقه شرقی و ۳۸ درجه شمالی در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۱- شاهد (بدون شوری و اسیدفولویک)، ۲- شوری با غلظت ۱۲۰ میلی‌مولار، ۳-شوری+ اسیدفولویک۱۰ میلی‌گرم در لیتر، ۴-شوری + اسیدفولویک۳۰ میلی‌گرم در لیتر، ۵- شوری + اسیدفولویک ۶۰ میلی‌گرم در لیتر، ۶- شوری + اسیدفولویک ۹۰ میلی‌گرم در لیتر و ۷-شوری + اسیدفولویک ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر بود. تیمار شوری توسط سدیم کلرید اعمال گردید و اسیدفولویک از شرکت بازرگانی یاوری تهیه گردید.

تهیه بستر کشت

برای اجرای این آزمایش، نهال‌های رز رقم دولسه ویتا (*Rosa hybrid* c.v. Dolce vita)، یکی از مهم‌ترین ارقام تجاری رز شاخه بریده، از شرکت آرین تبریز تهیه گردید. نهال‌ها بعد از ضدعفونی با قارچ کش ایپرودیون + کاربندازیم مشکفام با غلظت ۴ در هزار به مدت ۳۰ ثانیه درگلدان‌های پلاستیکی ۱۰ لیتری حاوی پرلایت و کوکوپیت به‌نسبت ۵۰ : ۵۰ کشت شدند. بوته‌ها پس از اینکه در گلدان‌های اصلی مستقر شدند روی سکوهای با ارتفاع یک متری از سطح زمین قرار داده شدند. به‌طور متوسط هر گلدان، دو بار در روز با محلول غذایی پایه براساس محلول غذایی هوگلند تغییریافته تغذیه شدند (جدول ۱).

جدول ۱- فرمولاسیون محلول هوگلند تغییریافته مورد استفاده در این آزمایش
Table 1- Modified Hoagland formulation used in this experiment

عناصر ماکرو Macro elements	مقدار Amount ($mg.L^{-1}$)	عناصر میکرو Micro element	مقدار Amount ($mg.L^{-1}$)
$Ca(NO_3)_2$	895	H_3BO_3	4.9
KNO_3	335	Na_2MoO_4	0.06
$MgSO_4$	246	Zn- EDTA	3.5
KH_2PO_4	72	Cu-EDTA	0.71
$(NH_4)_2SO_4$	318	Mn-EDTA	7.7
		$(Fe\text{-}EDDHA)_{138}$	50

نحوه اعمال تیمارها

۵۰ روز پس از استقرار بوته‌ها و بعد از رشد مطلوب بوته‌های رز، تیمارهای آزمایشی اعمال گردید. آبیاری با محلول غذایی به‌میزان ۱۰۰ الی ۱۵۰ میلی‌لیتر در هر گلدان بسته به مرحله رشدی گیاه صورت گرفت. بستر رشد گیاه هر هفته یک بار برای به حداقل رساندن تغییرات EC آبشویی می‌شد. pH محلول غذایی با اسیدکلریدیک ۳۷ درصد در ۶/۵ تنظیم شد. برداشت گل در مرحله آغاز باز شدن کاسبرگ‌ها (مرحله برداشت اقتصادی) از ارتفاع ۴۵ سانتی‌متری ساقه گل‌دهنده با چاقوی تیز انجام گردید. بلافاصله ساقه را در داخل شیشه‌های ۵۰۰ میلی‌لیتر که با ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر حاوی هیپوکلریت سدیم یک نرمال پر شده بود، قرار داده شد. سپس شیشه‌های حاوی گل شاخه بریده به اتاقک رشد با دمای ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۷۰-۶۰ درصد، ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی انتقال داده شدند.

صفات ریخت‌شناختی

با ظاهر شدن غنچه‌ها در هنگام برداشت (آغاز باز شدن گلبرگ‌ها) گل‌ها از بالای سومین گره ساقه گل‌دهنده محل انشعاب از شاخه اصلی به‌وسیله قیچی باغبانی چیده شدند و سپس، برای اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی به آزمایشگاه منتقل شدند. همچنین، شاخص‌های نظیر وزن تر برگ، وزن تر ساقه، به‌وسیله ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری گردید. طول و قطر گل با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری ماندگاری گل، از هر تکرار، سه عدد شاخه گل برداشت و به آزمایشگاه منتقل و درون گلدان‌های شیشه‌ای محتوی آب قرار داده شدند. ماندگاری گل برحسب تعداد روز از زمان برداشت تا ایجاد نشانه‌هایی از جمله گردن کج، پیرشدن گلبرگ‌ها، برگشتن کامل گلبرگ‌ها به‌سمت خارج، تغییر رنگ و ریزش آن‌ها تعیین گردید.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای تعیین میزان کلروفیل a و b مقدار ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ با ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون چینی کاملاً ساییده و محلول حاصل توسط سانتریفیوژ با ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه تفکیک گردید. سپس میزان جذب در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۶ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت و مقدار کلروفیل a و b با استفاده از معادله ۱ برحسب میلی‌گرم برگرم وزن تر محاسبه شد (Arnon, 1967).

(۱)
$$C_a\ (mg.g^{-1}\ FW) = ((7/12\times A663) - (69/2\times A645) \times V)/W\times 1000$$

(۲)
$$C_b\ (mg.g^{-1}\ FW) = ((9/22\times A645) - (68/4\times A470) \times V)/W\times 1000$$

(۳)
$$ChlT = C_a + C_b$$

که در آن‌ها، V: حجم محلول صاف‌شده برحسب میلی‌لیتر و W: وزن تر نمونه بر حسب گرم است.

محتوای نسبی آب (RWC)

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، ابتدا از برگ‌های جوان و بالغ تعداد ۹ عدد دیسک با قطر ۰/۵ سانتی‌متر تهیه و بلافاصله وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری گردید (F_W). سپس تمامی نمونه‌ها در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. بعد از ۲۴ ساعت، وزن اشباع برگ‌ها (S_W) اندازه‌گیری و برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت دیگر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و وزن خشک هرکدام اندازه‌گیری گردید (D_W). با قرار دادن اعداد حاصل از توزین با ترازوی دارای دقت یک ده هزارم در معادله ۴ محتوای نسبی آب به دست می‌آید (Turner, 1981) .

(۴)
$$RWC = F_w - D_w / S_w - D_w \times 100$$

اندازه‌گیری مقدار عناصر غذایی

نمونه برگی، شاخه‌های برداشت‌شده (شروع باز شدن گلبرگ‌ها) برای اندازه‌گیری صفات کیفی، همچنین برای تهیه خاکستر گیاهی جهت تعیین غلظت عناصر معدنی سدیم، پتاسیم و کلسیم استفاده شد. بدین منظور، مقدار ۰/۵گرم بافت خشک، کاملاً سائیده شد و سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسیدنیتریک غلیظ به آن اضافه شده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای آزمایشگاه قرار داده شد، پس از آن به مدت دو ساعت روی اجاق

هضم قرار داده شد تا محلول شفاف به دست آید که حجم آن را با آب دیونیزه به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و محلول حاصل، چند بار با استفاده از کاغذ صافی صاف گردید و از آن برای تعیین مقدار پتاسیم و سدیم به‌وسیله نورسنج شعله‌ای مدل JENWAY PEP7 استفاده گردید و برای تعیین مقدار کلسیم از روش تیتراسیون با سود ۰/۰۱ نرمال استفاده شد، اندازه‌گیری نیتروژن با استفاده از روش کجلدال انجام گردید (Cotteni, 1980).

میزان جذب محلول

وزن شیشه‌های حاوی محلول بدون گل شاخه بریده با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم تا پایان دوره گلجایی اندازه‌گیری شد و از طریق معادله ۵ به‌صورت روزانه اندازه‌گیری شد (Abdolmaleki et al., 2015).

$$(ml.day^{-1}.g^{-1}\,FW)\ \text{Solution uptake}= ((S_{t-1}-S_t)/wt \qquad (۵)$$

که در آن، S_t: وزن محلول (g) صفر، ۱، ۳، ۵، (S_{t-1}): وزن محلول(g) در روز قبل و w_t: وزن تر ساقه در روز صفر است.

تجزیه آماری داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده

تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار spss و مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

صفات ریخت‌شناختی

نتایج نشان داد که وزن تر برگ، وزن تر ساقه گل‌دهنده، تعداد گل، طول گل و عمر گلجای به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار شوری و اسیدفولویک قرار گرفت (جدول ۲). به‌طوری‌که در شرایط تنش شوری بیشترین وزن تر برگ (۳/۵۶ گرم)، ساقه گل‌دهنده (۲۷/۵۱گرم)، تعداد گل (۲/۲۵)، طول گل (۴۵/۵۱ میلی‌متر) و عمر گلجای (۱۰/۵۰ روز) در تیمار ۳۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدفولویک مشاهده گردید و کمترین میزان این صفت‌ها در تیمار شوری و بدون اسیدفولویک به دست آمد (جدول ۳). براساس نتایج به‌دست‌آمده، با کاربرد اسیدفولویک در محلول غذایی از اثرات مضر تنش شوری کاسته شد. حداکثر تعداد گل (۳ عدد)، عمر گلجای (۱۲ روز) و طول گل (۵۲/۲۲ میلی‌متر) در گیاهان شاهد (بدون شوری) به دست آمد. افزایش معنی‌دار عمر گلجای و قطر گل در گیاهان تغذیه‌شده با ۳۰، ۶۰ ، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدفولویک در مقایسه با گیاهان تیمار شده با شوری ۱۲۰میلی‌مولار مشاهده شد. همچنان‌که مقدار اسیدفولویک در محلول غذایی از ۰ تا ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر تحت تنش شوری افزایش یافت، آسیب ناشی از شوری کاهش یافت و تعداد گل روی گیاه افزایش یافت. براساس نتایج به‌دست‌آمده، تیمار شوری موجب کاهش وزن تر، برگ، ساقه و تعداد گل در گیاه رز واریته (Rosa hybrid *c.v. "Dolce vita*) شد. تنش شوری همانند بسیاری از تنش‌های غیرزیستی دیگر، رشد گیاه را محدود می‌کند و کاهش رشد یک نوع سازگاری برای زنده ماندن گیاه تحت شرایط تنش محسوب می‌شود. اثرات اسمزی و یونی ناشی از نمک سدیم کلرید تبعات پیچیده‌ای نظیر کاهش پتانسیل محلول خاک، سمیت یونی و به هم خوردن تعادل تغذیه‌ای دارد (Munns, 2002). غلظت نمک در ناحیه ریشه باعث کاهش مقدار آب موجود برای گیاه می‌شود و سنتز اسیدآبسیزیک را تشویق می‌کند. اسیدآبسیزیک به سلول‌های نگهبان منتقل، و با بسته شدن روزنه‌ها، میزان فتوسنتز را کاهش داده که در نهایت سرعت رشد و عملکرد گیاه را نیز کاهش می‌دهد (Frairevelazquez & Balderas-Hernández, 2013). علاوه‌بر این، تأثیر سمی غلظت یون‌های کلر یا سدیم با ایجاد تغییر در ساختار کلروپلاست‌ها موجب کاهش فعالیت فتوسنتزی نیز می‌شود (Veatch-Blohm et al., 2012). تحقیقات نشان داده است که تنش شوری باعث کاهش تعداد گل، وزن تر و خشک اندام هوایی و قطر گل در گیاه رز مینیاتوری (*Rosa chinensis*Jacq. var. minima Rehd) شد. آن‌ها اظهار کردند که آب شور بر پتانسیل آب گیاه تأثیر می‌گذارد و محتوای آب برگ و وزن خشک را کاهش می‌دهد (Li et al., 2016). در تحقیق دیگری، تنش شوری باعث تأخیر در گل‌دهی و کاهش تعداد گل در گیاه رز مینیاتوری (Red Imp' Rosa × hybrida L.) شده است (Cai et al., 2014). علاوه‌بر کاهش وزن خشک گل و برگ، تعداد گل، افزایش شوری در آب آبیاری روی قطر گل در گیاه رز چینی (*Rosa chinensis*) گزارش شده است (Cai et al., 2014). در تحقیق حاضر، کاربرد اسیدفولویک در شرایط تنش شوری موجب بهبود شاخص‌های رشدی در گیاه رز گردید. اسیدفولویک یک ترکیب طبیعی و نمونه‌ای از یک ماده هیومیک است که برای مدت طولانی در خاک باقی می‌ماند و به رشد ریشه گیاهان کمک می‌کند (Varanini & Pinton, 2000). همچنین گزارش شده است که اسیدفولویک، متابولیت‌های اولیه و ثانویه را در بسیاری از گیاهان تقویت می‌کند و در نتیجه مقاومت آن‌ها را در برابر تنش‌های غیرزیستی مختلف از جمله شوری بهبود می‌بخشد (Sun et al., 2020). در سال‌های اخیر، پتانسیل اسیدفولویک برای افزایش بهره‌وری محصول از طریق کاهش تنش شوری، بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک و جذب مواد مغذی به رسمیت شناخته شده است (Sun et al., 2020). به‌طوری‌که تیمارهای با اسیدفولویک، تحمل به تنش شوری را در محصولاتی از جمله سویا (*Glycine max* L) (Dinler et al., 2016)، بادام (*Prunus amygdalus*) بومادران (Hatami et al., 2018) (Bayat et al.,

2021) و اسفناج (*Spinacia oleracea*) (Gabr et al., 2022) بهبود بخشیده است. مواد هوموسی می‌توانند نقش مهمی در کیفیت گل‌های شاخه بریده ایفا نمایند، اسیدفولویک با افزایش جذب عناصر غذایی، کلات کردن عناصر و فعالیت شبه‌هورمونی، می‌تواند کیفیت و کمیت گل شاخه بریده ژربرا (*Gerbera jamesonii*) را بهبود بخشد (Yazdani, 2010). افزایش تعداد گل و عملکرد وزن تر گل در گیاه گل محمدی با کاربرد اسیدفولویک گزارش شده است، به‌طوری‌که با استفاده از غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر فولویک، تعداد گل و عملکرد گل به‌ترتیب ۱۹/۸۳ و ۵۲/۷۵ درصد افزایش یافته است که نتایج این تحقیق را مورد تأیید قرار می‌دهد (Ali et al., 2022).

جدول ۲- تجزیه واریانس تیمار شوری و اسیدفولویک بر صفات ریخت‌شناختی و عمر گلجای گل رز رقم 'دولسه ویتا'

Table 2- ANOVA for the effect of salinity and fulvic acid treatment on the morphological traits and vase life of rose cv. Dulce Vita

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عمرگلجای Vase life	تعداد گل Flower number	طول گل Flower height	وزن تر ساقه گل‌دهنده Flowering stem fresh weight	وزن تر برگ Leaf fresh weight
بلوک Block	3	0.524^{ns}	0.607^{ns}	6.571^{ns}	70.222*	0.285^{ns}
تیمار Treatment	6	4.655*	0.833*	80.520*	0.274*	0.828*
خطا Error	18	0.329	0.246	17.702	0.077	0.267
ضریب تغییرات CV (%)		5.625	5.991	6.658	21.95	16.809

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

ns, * and **: non-significant, and significant at $p\leq0.05$ and $p\leq0.01$, respectively

جدول ۳- اثر ترکیبی تیمار شوری و اسیدفولویک بر صفات ریخت‌شناختی و عمر گلجایی گل رز رقم 'دولسه‌ویتا'

Table 3- The effect of combined salinity and fulvic acid treatment on the morphological traits and vase life of rose cv. Dulce Vita

تیمارها Treatments	تعداد گل Flower number	عمرگلجای Vase life (day)	طول گل Flower height (mm)	وزن تر ساقه Stem fresh weight (g)	وزن تر برگ Leaf fresh weight (g)
شاهد Control	3.00 ^{a*}	12.00^{a}	52.22^{a}	31.58^{a}	3.69^{a}
شوری Salinity	1.50 ^{b}	8.70^{c}	32.85^{c}	23.58^{d}	2.77 ^{bc}
اسیدفولویک ۱۰ میلی‌گرم + شوری Fulvic acid 10 mg+ salinity	2.00 ^{b}	9.00^{c}	42.23^{b}	23.79cd^{b}	2.94^{abc}
اسیدفولویک ۳۰ میلی‌گرم + شوری Fulvic acid 30 mg+ salinity	2.25 ^{ab}	10.50^{b}	45.49 ^{b}	27.51 ^{ab}	3.65^{abc}
اسیدفولویک ۶۰ میلی‌گرم + شوری Fulvic acid 60 mg+ salinity	2.25 ^{ab}	10.50^{b}	44.51^{b}	25.90^{bc}	3.17^{abc}
اسیدفولویک ۹۰ میلی‌گرم + شوری Fulvic acid 90 mg+ salinity	2.25^{ab}	10.25 ^{b}	44.40^{b}	25.50^{bc}	2.98^{abc}
اسیدفولویک ۱۲۰ میلی‌گرم + شوری Fulvic acid 120 mg+ salinity	2.00 ^{b}	10.00 ^{b}	43.30 ^{b}	23.85 ^{cd}	2.38^{c}

* حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن است.

* Similar letters in each column indicate no significant difference using Duncan's multiple ramge test ($p<0.05$).

میزان محلول جذب‌شده

براساس نتایج به‌دست‌آمده، میزان جذب محلول به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار شوری و اسیدفولویک قرار گرفت که در اکثر روزها بیشترین (۱۱۱/۲۲) مقدار وزن محلول جذب‌شده مربوط به گیاهان شاهد بوده و اختلاف معنی‌داری با تیمار شوری داشت (جدول ۴). در شرایط تنش شوری، بیشترین میزان محلول جذب‌شده در روزهای اول، سوم، هفتم و نهم مربوط به تیمار اسیدفولویک ۳۰ میلی‌گرم در لیتر بوده که اختلاف معنی‌داری با سایر غلظت‌های اسیدفولویک نداشت و در روزهای پنجم

و هفتم بیشترین (۴۹/۳۸ و ۳۹/۸۹) میزان محلول جذب‌شده به‌ترتیب از تیمار مربوط به ۶۰ و ۹۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدفولویک به دست آمد (جدول ۵). اسیدفولویک علاوه‌بر بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه و افزایش جذب عناصر غذایی مانند کلسیم، به‌عنوان عنصر مؤثر در افزایش کیفیت و دوام عمر گل شاخه بریده منجر به افزایش فنل کل به‌عنوان عامل آنتی‌اکسیدانی در گیاه می‌گردد. همچنین با توجه به ارتباط نزدیک بین نشت یونی و دوام عمر گل، کاربرد اسیدفولویک منجر به کاهش درصد نشت یونی و در نتیجه افزایش دوام عمر گل در تیمارهای اسیدفولویک به‌کاربرده‌شده درمقایسه با تیمار شوری گردیده است. به‌علاوه، تیمار اسیدفولویک با بهبود جذب تجمعی آب توسط ساقه گل‌دهنده سبب بهبود دوام عمرگل می‌گردد (Nikbakbakht et al., 2008).

جدول ۴-تجزیه واریانس تیمار شوری و اسیدفولویک بر میزان محلول جذب‌شده گل رز رقم 'دولسه ویتا'

Table 4- ANOVA for the effect of salinity and fulvic acid on the amount of absorbed solution of rose cv. Dulce Vita

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	روز اول 1 day	روز سوم 3 day	روز پنجم 5 day	روز هفتم 7 day	روز نهم 9 day	روز یازدهم 11 day
بلوک Block	3	465.99^{ns}	120.596^{ns}	241.930^{ns}	29.636^{ns}	16.511^{ns}	396.977**
تیمار Treatment	6	2276.059*	2632.361**	883.48*	659.261*	277.516*	378.005*
خطا Error	18	154.696	269.518	188.223	114.963	45.821	31.479
ضریب تغییرات CV (%)		27.1	29.510	30.955	29.504	29.294	32.095

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

ns, * and **: non-significant, and significant at $p\leq0.05$ and $p\leq0.01$, respectively

جدول ۵- تأثیرتنش شوری و اسیدفولویک بر میزان محلول جذب‌شده گل رز رقم 'دولسه ویتا'

Table 5- The effect of salinity stress and fulvic acid on the amount of absorbed solution of rose cv. Dulce Vita

تیمارها Treatments	روز اول 1 day	روز سوم 3 day	روز پنجم 5 day	روز هفتم 7 day	روز نهم 9 day	روزیازدهم 11day
شاهد Control	99.35^{a*}	111.22^{a}	79.32^{a}	64.65^{a}	41.29^{a}	34.85^{a}
شوری Salinity	29.52^{b}	31.10^{b}	32.45^{b}	26.85^{b}	16.60^{b}	9.34^{d}
اسیدفولویک ۱۰ میلی‌گرم + شوری Fulvic acid 10 mg + salinity	36.98^{b}	47.78^{b}	43.48^{b}	30.48^{b}	19.04^{b}	16.59^{bc}
اسیدفولویک ۳۰ میلی‌گرم + شوری Fulvic acid 30 mg + salinity	40.42^{b}	62.57^{b}	45.43^{b}	34.36^{b}	26.42^{b}	18.08^{b}
اسیدفولویک ۶۰ میلی‌گرم + شوری Fulvic acid 60 mg + salinity	40.25^{b}	48.54^{b}	49.38^{b}	32.29^{b}	24.79^{b}	18.59^{b}
اسیدفولویک ۹۰ میلی‌گرم + شوری Fulvic acid 90 mg + salinity	38.78^{b}	43.83^{b}	45.44^{b}	39.89^{b}	21.61^{b}	14.69^{d}
اسیدفولویک ۱۲۰ میلی‌گرم + شوری Fulvic acid 120 mg + salinity	35.95^{b}	44.27^{b}	35.09^{b}	36.42^{b}	18.07^{b}	10.80^{d}

* حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن است.

* Similar letters in each column indicate no significant difference using Duncan's multiple range test ($p<0.05$)

صفات فیزیولوژیکی

نتایج نشان داد که محتوای نسبی آب برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر شوری و اسیدفولویک قرار گرفت، به‌طوری‌که با اعمال تنش شوری، محتوای نسبی آب برگ در مقایسه با شاهد کاهش یافت (جدول ۶). از طرفی، بررسی اثر شوری و اسیدفولویک نشان داد با افزودن اسیدفولویک به‌مقدار ۳۰ میلی‌گرم در لیتر به محلول غذایی، محتوای نسبی آب برگ به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شرایط تنش شوری افزایش یافت، درحالی‌که در سایر غلظت‌های اسیدفولویک اختلاف

معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۷). محتوای نسبی آب گیاه، معیار مناسبی جهت بررسی وضعیت آبی گیاه است. در شرایط تنش شوری مقدار آب مصرفی گیاه کاهش پیدا می‌کند که می‌تواند مربوط به کاهش پتانسیل آب محیط ریشه و کاهش توان گیاه در جذب آب، افزایش مقاومت در مسیر جریان آب در داخل گیاه و یا افزایش مقاومت روزنه‌ای و کاهش تعرق باشد (Heidari Sharif Abad, 2011). بهبود رشد ریشه در نتیجه استفاده از اسیدفولویک یکی از دلایل افزایش محتوی نسبی آب برگ در حضور این ترکیب ذکر شده است (Abaszadeh et al., 2018; Roohani et al., 2014).

براساس نتایج به‌دست‌آمده، میزان کلروفیل تحت تأثیر تیماری شوری و اسیدفولویک قرار گرفت (جدول ۶)، به‌طوری‌که محتوای کلروفیل با اعمال شوری ۱۲۰ میلی‌مولار، نسبت به شاهد بدون شوری کاهش یافت. بااین‌حال، در شرایط تنش شوری، محتوای کلروفیل کل برگ با کاربرد اسیدفولویک افزایش یافته و بیشترین (۱۰/۶۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر) مقدار آن در گیاه گل رز با کاربرد۳۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدفولویک مشاهده شد که به‌جز تیمار اسیدفولویک ۱۰ میلی‌گرم در لیتر با بقیه تیمارهای اسیدفولویک اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۷). نتایج مشابهی در تحقیقات دیگر، مانند بهبود میزان کلروفیل در گیاه برنج با کاربرد اسیدفولویک تحت شرایط تنش شوری گزارش شده است (Jesmin et al., 2023). همچنین افزایش میزان کلروفیل با کاربرد اسیدفولویک در گیاهان گوجه‌فرنگی *Lycopersicon esculentum L.*) (Sun et al., 2014) و بومادران (*Achillea millefolium L.*) (Bayat et al., 2021) نیز گزارش شده است. کاربرد اسیدفولویک تحت تنش شوری، محتوای کلروفیل برگ را افزایش داده و منجر به افزایش شدت فتوسنتز می‌شود. نتایج پژوهش روی گیاه فلفل (*Capsicum annuum* L.) نشان داد که اسیدفولویک بر روی رنگیزه‌های فتوسنتزی تأثیر مثبتی داشته است (Aminifard et al., 2012). مواد هیومیکی نفوذپذیری غشاء سلول را افزایش داده و ورود پتاسیم را به‌شدت تسهیل می‌کنند که نتیجه آن افزایش فشار تورژسانس داخل سلول است. از طرفی دیگر، افزایش انرژی در داخل سلول منجر به افزایش تولید کلروفیل و شدت فتوسنتز خواهد شد (Abul et al., 2007) اسیدفولویک با کلات نمودن عناصر معدنی سدیم، پتاسیم، منیزیم، روی، کلسیم، آهن، مس و غیره، قابلیت دسترسی این عناصر را برای گیاه افزایش داده و سبب افزایش رشد ریشه‌های جانبی می‌گردد و از این جهت باعث افزایش جذب عناصر معدنی پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه شده و بدین طریق موجب بهبود میزان کلروفیل می‌شود (Natesan et al., 2007).

جدول ۶- تجزیه واریانس تیمار شوری و اسیدفولویک بر صفات فیزیولوژیکی گل رز رقم 'دولسه ویتا'

Table 6- ANOVA for the effect of salinity and fulvic acid treatment on the physiological traits of rose cv. Dulce Vita

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	محتوی نسبی آب برگ Leaf relative water content (RWC)	کلروفیل کل Total chlorophyll	کلروفیلb Chlorophyll b	کلروفیلa Chlorophyll a
بلوک Block	3	10.76^{ns}	0.062^{ns}	0.141^{ns}	0.441^{ns}
تیمار Treatment	6	43.353*	1.161*	2.501*	5.585*
خطا Error	18	9.233	0.232	0.174	0.431
ضریب تغییرات CV (%)		3.750	5.21	11.80	10.60

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

ns, * and **: non-significant, and significant at $p\leq0.05$ and $p\leq0.01$, respectively

جدول ۷- تأثیر تنش شوری و اسیدفولویک بر صفات فیزیولوژیکی گل رز رقم 'دولسه‌ویتا'

Table 7- The effect of salinity stress and fulvic acid on the physiological characteristics of rose cv. Dulce Vita

تیمارها Tretments	محتوی نسبی آب برگ RWC (%)	کلروفیل کل Total chlorophyll ($mg.g^{-1}$ FW)	کلروفیل b Chlorophyll b ($mg.g^{-1}$ FW)	کلروفیل a Chlorophyll a ($mg.g^{-1}$ FW)
شاهد Control	87.698[a*]	11.43[a]	3.77[a]	7.66[a]
شوری Salinity	77.700[b]	4.78[e]	1.47[b]	3.31[d]
اسیدفولویک ۱۰ میلی‌گرم + شوری Fulvic acid 10 mg + salinity	80.368[b]	10.07[bc]	3.17[a]	6.90[b]
اسیدفولویک ۳۰ میلی‌گرم + شوری Fulvic acid 30 mg + salinity	82.710[b]	10.55[ab]	3.49[a]	7.06[b]
اسیدفولویک ۶۰ میلی‌گرم + شوری Fulvic acid 60 mg + salinity	79.580[b]	10.48[ab]	3.66[a]	6.82b[c]
اسیدفولویک ۹۰ میلی‌گرم + شوری Fulvic acid 90 mg + salinity	80.256[b]	9.96[bc]	3.48[a]	6.48[bc]
اسیدفولویک ۱۲۰ میلی‌گرم + شوری Fulvic acid 120 mg + salinity	78.837[b]	9.85[c]	3.42[a]	6.43[bc]

* حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن است.

* Similar letters in each column indicate no significant difference using Duncan's multiple range test ($p<0.05$)

عناصر غذایی

براساس نتایج تحقیق حاضر، مقدار سدیم، کلسیم، پتاسیم و نیتروژن برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار شوری و اسیدفولویک قرار گرفتند (جدول ۸). بیشترین مقدار سدیم (۶/۱۳ درصد) در تیمار ۱۲۰ میلی‌مولار شوری، درحالی‌که بیشترین مقدار عناصر نیتروژن، پتاسیم و کلسیم (به‌ترتیب ۳/۱۳، ۱/۶۹ و ۱/۴۲ درصد) در تیمار ۳۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدفولویک تحت شرایط تنش شوری به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که کاربرد اسیدفولویک میزان جذب سدیم را کاهش و در مقابل میزان جذب سایر عناصر را افزایش داده است (جدول ۹). کاهش جذب یا انتقال NO_3 تحت شرایط شوری موجب کاهش غلظت NO_3 در برگ‌ها شده و در نتیجه فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز کاهش می‌یابد (Tabatabaei, 2006). افزایش غلظت سدیم باعث بر هم خوردن هموستازی یونی درون سلولی، اختلال در عملکرد غشاها و تضعیف فعالیت‌های متابولیکی می‌گردد (Hassanvanda et al., 2019). با توجه به اینکه یون‌های سدیم و پتاسیم ساختار فیزیکو-شیمیایی مشابهی دارند و جذب آن‌ها از طریق سیستم‌های انتقالی یکسانی انجام می‌گیرد، لذا برای جذب مؤثر با یکدیگر رقابت می‌کنند. بنابراین بالا بودن مقدار سدیم می‌تواند از جذب پتاسیم ممانعت نموده و منجر به تجمع سمی سدیم و کاهش نسبت پتاسیم به سدیم گردد (Serrano & Rodriguez-Navarr, 2001). در راستای نتایج این تحقیق، نیک گفتار-صدیقی و همکاران (Nikoogoftar-Sedghi et al., 2024) با کاربرد غلظت‌های مختلف اسیدفولویک (۱/۵، ۳ و ۴/۵ گرم در لیتر) در گیاه پسته واریته کله قوچی (*Pistacia vera* L. cv. Kaleh-Ghoochi) بیان کردند که میزان عناصری مانند روی و پتاسیم به‌ترتیب ۵۸/۲۳ و ۲۸/۱۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. در تحقیق دیگری، افزایش میزان جذب عناصری مانند نیتروژن، پتاسیم، روی، آهن و منیزیم با کاربرد اسیدفولویک در گیاه گل محمدی گزارش شده است (Ali et al., 2022). اسیدفولویک با تحریک نفوذپذیری سلول، میزان جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهد و در تنظیم سازوکارهای دخیل در تحریک رشد گیاه شرکت می‌کند (Canellas et al., 2008) مشخص شده است که مواد هیومیکی دارای راهبردهای مهمی برای افزایش جذب مواد مغذی توسط گیاهان (Olaetxea et al., 2018) از طریق القای فعالیت غشاء پلاسمایی H^+-ATPase (Nasir et al., 2016) با افزایش رشد ریشه‌ها در ریزوسفر هستند (Khaled & Fawy, 2011).

جدول ۸- تجزیه واریانس تیمار شوری و اسیدفولویک بر جذب عناصر غذایی گل رز رقم 'دولسه ویتا'

Table 8- ANOVA for the effect of salinity and fulvic acid treatment on the absorption of nutritional elements of rose cv. Dulce Vita

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	کلسیم Ca	نیتروژن N	پتاسیم K	سدیم Na
بلوک Block	3	0.023**	0.048**	0.043ns	0.073ns
تیمار Treatment	6	0.147*	0.152**	0.122*	0.095*
خطا Error	18	0.005	0.005	0.050	0.54
ضریب تغییرات CV (%)		7.27	8.80	5.72	14.82

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

ns, * and **: non-significant, and significant at $p\leq0.05$ and $p\leq0.01$, respectively

جدول ۹- تأثیر تنش شوری و اسیدفولویک بر میزان جذب عناصر غذایی گل رز رقم 'دولسه‌ویتا'

Table 9- The effect of salinity stress and fulvic acid on the amount of nutritional elements absorption of rose cv. Dulce Vita

تیمارها Tretments	کلسیم Ca (%)	نیتروژن N (%)	پتاسیم K (%)	سدیم Na (%)
شاهد Control	1.321ab*	2.69c	1.708a	2.28e
شوری Salinity	0.844d	254d	1.376b	6.13a
اسیدفولویک ۱۰ میلی‌گرم + شوری Fulvic acid 10 mg + salinity	1.228bc	2.74bc	1.486b	4.87bc
اسیدفولویک ۳۰ میلی‌گرم + شوری Fulvic acid 30 mg + salinity	1.388a	3.13a	1.696 a	3.62d
اسیدفولویک ۶۰ میلی‌گرم + شوری Fulvic acid 60 mg + salinity	1.422a	2.96b	1.542ab	3.99cd
اسیدفولویک ۹۰ میلی‌گرم + شوری Fulvic acid 90 mg + salinity	1.250ab	2.84b	1.489ab	4.19cd
اسیدفولویک ۱۲۰ میلی‌گرم + شوری Fulvic acid 120 mg + salinity	1.198c	2.71bc	1.212ab	5.38ab

* حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن است.

* Similar letters in each column indicate no significant difference using Duncan's multiple range test ($p<0.05$)

نتیجه‌گیری

براساس نتایج حاصل از این پژوهش، تنش شوری به‌طور معنی‌داری باعث کاهش کلیه صفات ریخت‌شناختی، فیزیولوژیکی، میزان جذب برخی عناصر و طول عمر پس از برداشت گل رز رقم دولسه ویتا گردید. همچنین نتایج به‌دست‌آمده حاکی از اثر مفید اسیدفولویک بر شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده در گیاه گل رز رقم دولسه ویتا تحت تنش شوری است. این آزمایش نشان می‌دهد که افزودن اسیدفولویک به آب‌های شور می‌تواند اثرات تنش شوری بر گیاه گل رز را کاهش دهد، به‌طوری‌که به کار بردن غلظت‌های مختلف اسیدفولویک (۱۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌گرم در لیتر) به‌ویژه غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر از طریق بهبود جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن، پتاسیم و کلسیم و رنگیزه‌های فتوسنتزی موجب تعدیل اثرات نامطلوب تنش شوری شدند.

References

1. Abaszadeh Faruji, R. M., Shoor, A., Tehrani Far, B., & Safari. N. (2018). Effects of humic acid and fulvic acid on some morphological characteristics of geranium. *Journal of Horticultural Science*, *32*(1), 35-50.(in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v31i3.57849

2. Abdolmaleki, M., Khosh, K. M., Eshghi, S., & Ramezanian, A. (2015). Improvement in vase life of cut rose cv.“Dolce Vita” by preharvest foliar application of calcium chloride and salicylic acid. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, *2*(1), 55-66. https://doi:10.22059/IJHST.2015.54264
3. Abul, B., Giasuddin, A. M., Kanel, S., & hoi, H.C. (2007). Adsorption of humic acid onto nanoscale zerovalent iron and its effect on arsenic removal. *Environmental Science and Technology*, *41*(6), 2022-2027.https://doi: 10.1021/es0616534.
4. Ali, E. F., Al-Yasi, H. M., Issa, A. A., Hessini, K., & Hassan, F. A. (2022). Ginger extract and fulvic acid foliar applications as novel practical approaches to improve the growth and productivity of Damask Rose. *Plants*, *11*(3), 412. https://doi:10.3390/plants11030412
5. Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, *23*, 112-121.
6. Aminifard, M. H., Aroiee, H., Nemati, H., Azizi, M., & Hawa, Z. E. (2012). Fulvic acid affects pepper antioxidant activity and fruit quality. *African Journal of Biotechnology*, *11*, 13179-13185. https://doi:10.5897/AJB12.1507
7. Balakumbahan, R., & Rajamani, K. (2010). Effect of biostimulants on growth and yield of senna (*Cassia angustifoliavar* KKM.1). *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants, IDOSI Publication, 2*, 16-8.
8. Bayat, H., Shafie, F., Aminifard, M. H., & Daghighi, S. (2021). Comparative effects of humic and fulvic acids as biostimulants on growth, antioxidant activity and nutrient content of yarrow (*Achillea millefolium* L.). *Scientia Horticulturae*, *279*, 109912. . https://doi:10.1016/j.scienta.2021.109912
9. Canellas, L. P, Teixeira Junior, L. R. L, Dobbss, L. B, Silva, C. A, Medici, L. O., Zandonadi, D. B., & Façanha, A. R. (2008). Humic acids cross interactions with root and organic acids. *Annals of Applied Biology*, *153*,157-66. https://doi:10.1111/j.1744-7348.2008.00249.x
10. Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, *383*, 3-41. https://doi:10.1007/s11104-014-2131-8
11. Cai, X., Niu, G., Starman, T., & Hall, C. (2014). Response of six garden roses (*Rosa* × *hybrida* L.) to salt stress. *Scientia Horticulturae*, *168*, 27-32. https://doi:10.1016/j.scienta.2013.12.032
12. Capstaff, N. M., Morrison, F., Cheema, J., Brett, P., Hill, L., Muñoz-García, J. C., Khimyak, Y. Z. M, Domoney, C., & Miller, A. J. (2020). Fulvic acid increases forage legume growth inducing preferential up-regulation of nodulation and signalling-related genes. *Journal of Experimental Botany*, *71*, 5689-5704. https://doi:10.1093/jxb/eraa283.
13. Cotteni, A. (1980). Methods of plant analysis. In: Westerman R.L. (Ed.), Soil and Plant Testing. FAO Soil Bulletin, pp. 64-100.
14. Dinler, B. S., Gunduzer, E., & Tekinay, T. (2016). Pre-treatment of fulvic acid plays a stimulant role in protection of soybean (*Glycine max* L.) leaves against heat and salt stress. *Acta Biologica Cracoviensia Botny*, *58*, 29-41.
15. https://doi: 10.1515/abcsb-2016-0002.
16. Frairevelazquez, S., & Balderas-Hernández, V. E. (2013). Abiotic stress in plants and metabolic responses. In: Vahdati K, Leslie C (Eds.), Abiotic Stress-Plant Responses and Applications in Agriculture. Intechopen, pp. 25-48. https://doi:10.5772/54859
17. Gaurav, A. K., Namita, D., Raju, M., Ramkumar, M., Singh, B., Singh, S. G., Krishnan S., Panwar, M., & Sevanthi, A. (2021). Genetic diversity analysis of wild and cultivated Rosa species of India using microsatellite markers and their comparison with morphology based diversity. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, *31*(1) 1-10. https://doi:10.1007/s13562-021-00655-3
18. Gabr, S., Abouelsaad, I., Brengi, S., & Gouda. A. (2022). Salt stress mitigation of spinach plants as affected by silicon and fulvic acid. *Advanced Agricultural Research and Technology Journal*, *27*, 26-42. https://doi:10.3390/plants12122359
19. Gomaa, M. A., Kandil, E. E., & Gharib, A. (2019). Response of wheat plants to seaweed extracts and fluvic acid under irrigation with drainage water. *Egyptian Academic Journal* of *Biological Sciences*, 10, 35-44. https://doi:10.21608/eajbsh.2019.44518
20. Hatami, E., Shokouhian, A. A., Ghanbari, A. R., & Naseri, L. A. (2018). Alleviating salt stress in almond rootstocks using of humic acid. *Scientia Horticulturae*, *237*, 296-302. https://doi:10.1016/j.scienta.2018.03.034
21. Hajlaoui, H. N., Ayeb, E. l., Garrec, J. P., & Denden, M. (2010). Differential effects of salt stress on osmotic adjustment and solutes allocation on the basis of root and leaf tissue senescence of two silage maize (*Zea mays* L.) varieties. *Industrial Crops and Products*, *31*, 122-130. . https://doi:10.1016/j.indcrop.2009.09.007
22. Hassanvanda, H., Rezaei Nejada, A., & Fanourakisb, D. (2019). Morphological and physiological components mediating the silicon-induced enhancement of geranium essential oil yield under saline conditions. *Industrial Crops and Products*, *134*, 19-25. https://doi: 10.1016/j.indcrop.2019.03.049
23. Hassan, F. A. S., Mazrou, R., Gaber, A., & Hassan, M. (2020). Moringa extract preserved the vase life of cut roses through maintaining water relations and enhancing antioxidant machinery. *Postharvest Biology and Technology*, *164*, 111156. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111156

24. Hosseini Farahi, M. B., Kholdebarin, S., Eshghi, B., Jamali, H., & Roosta, R. (2019). Changes in plant growth substances, contents and flower quality of rose cv.'Dolce Vita'in response to nitrogen sources under soilless culture conditions. *Journal of Plant Nutrition*, *42*(9), 1047-1060. https://doi.org 10.1080/01904167.2019.1578373
25. Heidari Sharif Abad, H. (2011). Plants and Salinity. Research Institute of Forests and Rangelands Publications, Tehran, Iran. 199 p. (In Persian).
26. Jesmin, A., Anh, L. H., Mai, N. P., Khanh, T. D., & Xuan, T. D. (2023). Fulvic acid improves salinity tolerance of rice seedlings: evidence from phenotypic performance, relevant phenolic acids, and momilactones. *Plants, 12*(12), 2359. https://doi.org 10.3390/plants12122359
27. Khaled, H., & Fawy, H. (2011). Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth and soil properties under conditions of salinity. *Soil Water Research*, *6*, 21-29. https://doi.10.17221/4/2010-SWR
28. Li, M., Su, Y., Chen, Y., Wan, R., Zheng, X., & Liu, K. (2016). The effects of fulvic acid on microbial denitrification: Promotion of NADH generation, electron transfer, and consumption. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *100*, 5607-18. https://doi. 10.1007/s00253-016-7383-1.
29. Maraei, R., Eliwa, N., & Aly, A. (2019). Use of some biostimulants to improve the growth and chemical constituents of sweet pepper. *Potravinarstvo* Slovak Journal of Food Sciences,*13*, 553-561. https://orcid.org/0000-0003-3295-8806
30. Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environment*, *25*, 239-250. https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x
31. Munns, R., Richard, A., James, B., & Andre, L. (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, *57*(5), 1025-1043.
32. Nasir, M., Sattar Khan, A., Basra, S. M. A., & Malik, A. U. (2016). Foliar applications of moringa leaf extract, potassium and zinc influence yield and fruit quality of 'Kinnow' mandarin. *Horticultural Science, 210*, 227-235 : https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.07.032
33. Natesan, R., Kandasamy, S., Thiyageshwari, S., & Boopathy, P. M. (2007). Influence of lignite humic acid on the micronutrient availability and yield of blackgram in an alfisol. *Iranian Journal of Science*, *7*, 1198-1206. https://doi.org/10.1093/jxb/erj100
34. Nikbakbakht, A., Kafi, M., Babalar, M., Xia, Y. P., Luo, A., & Etemadi, N. A. (2008). Effect of humic acid on plantgrowh, nutrient uptake and post havest life of Gerbera. *Journal of Plant Nutrition*, *31*, 2155-2167 https://doi.org/10.1080/01904160802462819
35. Nikoogoftar-Sedghi, M., Rabiei, V., Razavi, F., Molaei, S., & Khadivi, A. (2024). Fulvic acid foliar application: a novel approach enhancing antioxidant capacity and nutritional quality of pistachio (*Pistacia vera* L.). *BMC Plant Biology*, *24*(1), 241. https://doi.org/10.1186/s12870-024-04974-0
36. Olaetxea, M., De Hita, D., Garcia, C. A., Fuentes, M., Baigorri, R., Mora, V., Garnica, M., Urrutia, O., Erro, J., & Zamarreño, A. M. (2018). Hypothetical framework integrating the main mechanisms involved in the promoting action of rhizospheric humic substances on plant root- and shoot- growth. *Applied Soil Ecology*, *123*, 521-537.
37. Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *60*, 324-349. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.01
38. Qadir, M., Quillérou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R. J., Drechsel, P., & Noble, A. D. (2014). Economics of salt-induced land degradation and restoration. *In Natural Resources Forum*, *4*, 282-295. https://doi.org/10.1111/1477-8947.12054
39. Roohani, N. S., Nemati, S. H, Moghadam, M., & Ardakanian, V. (2014). The role of humic acid on morphological, physiological and biochemical characteristics of three varieties of radish (*Raphanus sativus* L.) under salt stress. M.Sc. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
40. Sun, J., Qiu, C., Ding, Y., Wang, Y., Sun, L., Sun, L., Fan, K., Gai, Z., Dong, G., & Wang, J. (2020). Fulvic acid ameliorates drought stress-induced damage in tea plants by regulating the ascorbate metabolism and flavonoids biosynthesis. *BioMed Central Genom*, *21*, 1-13. https://doi: 10.1186/s12864-020-06815-4.
41. Sun, H. Y., Yoo, K. S., & Suh, S. G. (2014). Effect of foliar application of fulvic acid on plant growth and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, *55*, 455-461.
42. Serrano, R., & Rodriguez-Navarr, A. (2001). Ion homeostasis during salt stress in plants. *Current Opinion in Cell Biology*, *13*, 399-404.
43. Siddiqi, E. H., Ashraf, M., Hussain, M., & Jamil, A. (2009). Assessment of intercultivar variation for salt tolerance in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) using gas exchange characteristics as selection criteria. *Pakistan Journal of Botany*, *41*(5), 2251-2259.
44. Tavakkoli, E., Fatehi, F., Coventry, S., Rengasamy, P., & McDonald, G. K. (2011). Additive effects of Na^+ and Cl^- ions on barley growth under salinity stress. *Journal of Experimental Botany*, *62*, 2189-2203.
45. Tabatabaei, S. J. (2006). Effect of salinity and N on the growth photosynthesis and N status of oliv (*Olea europaea* L.) trees. *Scientia Horticulturae*, *108*(4), 432-438. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.02.016

46. Turner, N. C. (1981). Techniues and experimental approaches for measurement of plant water status. *International Journal of Plant-Soil Relationships, 58*, 339-366. https://doi.org/ 10.1007/BF02180062
47. Yu, Y., Xu, T., Li, X., Tang, J., Ma, D., Li, Z., & Sun, J. (2016). NaCl-induced changes of ion homeostasis and nitrogen metabolism in two sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) cultivars exhibit different salt tolerance at adventitious root stage. *Environmental and Experimental Botany*, *129*, 23-36. https://doi.org/ 10.1016/j.envexpbot.2015.12.006
48. Yazdani, B. (2010). Effect of different concentrations of humic acid and fulvic acid on the qualitative and quantitative characteristics of *Gerbera jamesonii*. M.Sc. Thesis, Isfahan University of Agricultural Sciences, Isfahan, Iran. (In Persian)
49. Veatch-blohm, M. E., Malinowski, M., & Keefer, D. (2012). Leaf water status, osmotic adjustment and carbon assimilation in colored calla lilies in response to saline irrigation. *Scientia Horticulturae*, *144*, 65-73. https://doi.org/1016/j.scienta.2012.06.036
50. Varanini, Z., & Pinton, R. (2000). Direct versus indirect effects of soil humic substances on plant growth and nutrition. In The Rhizosphere, 1st Ed.. Willig, S., Varanini, Z., Nannipieri, P., (Eds.). CRC Press: Boca Raton, FL, USA, pp. 157–174.
51. Zlesak, D. C. (2007). Rose: Rosa x hybrida. In Flower Breeding and Genetics: Issues, Challenges and Opportunities for the 21st Century: 695-740: Springer. Number of 695-740 pp.

Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 40, No. 1, Spring 2026, p. 45-60

Effect of Putrescine Foliar Application on Growth and Physiological Characteristics of *Echium amoenum* Seedlings Under Salinity Conditions

B. Rahimkhani[1], M. Naseri[1]*, A. Ahmadian[1], M. Alipanah[1]

1- Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran
(*- Corresponding author's Email: m.naseri@torbath.ac.ir)

Received: 09 February 2025
Revised: 10 June 2025
Accepted: 11 June 2025
Available Online: 17 June 2025

How to cite this article:
Rahimkhani, B., Naseri, M., Ahmadian, A., & Alipanah, M. (2026). Effect of putrescine foliar application on growth and physiological characteristics of *Echium amoenum* seedlings under salinity conditions. *Journal of Horticultural Science*, *40*(1), 45-60. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91889.1413

Introduction

Polyamines are a group of low molecular weight organic compounds with two or more amine groups that are present in almost all living organisms. Polyamines are organic compounds that play a crucial role in various physiological processes in plants, particularly in response to stress. Research has demonstrated that these compounds-primarily putrescine, spermidine, and spermine-are involved in cellular functions such as growth regulation, cell division, and differentiation. Their role in stress responses is complex and varies significantly depending on the plant species and the specific type of stress encountered. The level of polyamines in plants increases under stress conditions, and this increase of polyamines from the plant against salinity by removing free radicals, stabilizing membrane and cell structure, creating cation and anion balance, regulating it protects ion channels. The foliar application of putrescine can significantly improve various physiological traits in plants subjected to salinity stress. By enhancing growth, photosynthetic efficiency, osmotic adjustment and oxidative stress tolerance, putrescine acts as a valuable tool for improving plant resilience under challenging environmental conditions. *Echium amoenum* is an annual plant of Boraginaceae family and is considered as one of the important medicinal plants in traditional medicine. Blue-violet petals of *E. amoenum* are used in Iranian traditional medicine as a painkiller, relaxant, invigorator, anti-inflammatory and pain reliever. To investigate the impact of putrescine on the morpho-physiological characteristics of *Echium amoenum* seedlings under salinity stress, a greenhouse experiment was conducted.

Materials and Methods

The experimental design was factorial, incorporating two factors: the application of putrescine and salinity stress induced by sodium chloride. This was organized as a completely randomized design. The first factor involved two levels of putrescine (0 and 1.5 mM), while the second factor included three levels of salinity stress (1600, 4000, and 8000 $dS.m^{-1}$). Seeds were purchased from Pakaan Seed Company in Isfahan. Selecting high-quality seeds suitable for the growing conditions is crucial for successful plant growth. After soaking, the seeds were transferred to small pots containing a mixture of three parts peat moss and one part perlite. This mixture enhances aeration and moisture retention in the soil, creating an optimal environment for root development. One week after transplanting the seedlings to the main pots, a foliar application of putrescine was performed. Putrescine is a polyamine compound that can enhance plant growth and resilience against stress. This application was repeated every two weeks. One week after the first application of putrescine, salinity stress was introduced. To prevent shock to the plants, the salinity treatment was gradually applied in three stages. This gradual approach helps the plants acclimate to the new conditions. To prevent salt buildup in the soil, leaching with regular water was conducted every two weeks.

©2024 The author(s). 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.2025.91889.1413

Results and Discussion

The results indicated that both the individual effects of salinity and putrescine, as well as their interaction, significantly influenced shoot fresh weight, root fresh weight, root length, and the overall dry weight of the Iranian borage plants. The application of putrescine enhanced the levels of proline and potassium in the leaves, which mitigated the detrimental effects of salinity stress on the Iranian borage plants. Furthermore, foliar spraying of putrescine increased chlorophyll content, thereby promoting photosynthesis and improving plant growth under saline conditions. Comparative analysis of the average data revealed that the highest dry weight of Iranian borage seedlings (0.6 g), relative leaf water content (85%), chlorophyll a (4 $mg.g^{-1}$), and chlorophyll b (1.2 $mg.g^{-1}$) were achieved with the combination of putrescine and salinity at 1.6 $mm.m^{-1}$. The results underscore the potential of putrescine as a practical strategy for enhancing the growth and resilience of Iranian borage plants under salinity stress. By improving growth parameters such as shoot and root weights, root length, and overall dry weight, as well as enhancing physiological traits like proline and potassium levels, putrescine plays a crucial role in mitigating the adverse effects of salinity.

Conclusion

The foliar application of putrescine at 1.5 mM presents a valuable and practical strategy for managing salinity stress in Iranian borage seedling production. By enhancing photosynthetic pigments and antioxidant properties, putrescine helps the plant maintain its physiological functions and resilience under stress. This approach not only supports the growth and health of Iranian borage but also has implications for improving the quality and yield of its medicinal properties.

Keywords: Chlorophyll, Polyamine, Proline, Stress

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۴۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص. ۶۰-۴۵

اثر محلول‌پاشی پوتریسین بر رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی نشاء گل‌گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum*) در شرایط شوری

بهروز رحیم خانی[۱]- محبوبه ناصری[۱]*- احمد احمدیان[۱]- مسعود علی پناه[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۱

چکیده

پلی‌آمین‌ها، نقش مهمی در پاسخ به تنش در گیاهان ایفا می‌کنند، همچنین سطح پلی‌آمین‌ها در گیاهان در شرایط تنش افزایش پیدا می‌کند. به‌منظور بررسی اثر پوتریسین بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی نشاء گل‌گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum*) در شرایط تنش شوری، آزمایشی گلدانی در سال ۱۴۰۲ در گلخانه دانشگاه تربت حیدریه انجام شد. هدف اصلی این تحقیق، بررسی اثر پوتریسین (یک نوع پلی‌آمین) بر ویژگی‌های رشد و فیزیولوژیکی گل‌گاوزبان در شرایط تنش شوری ناشی از سدیم کلرید (NaCl) بود. تیمارهای آزمایشی به‌صورت فاکتوریل با دو عامل کاربرد پوتریسین و تنش شوری با نمک سدیم کلرید، در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه انجام شد. عامل اول: پوتریسین در دو سطح صفر و ۱/۵ میلی‌مولار و عامل دوم: تنش شوری در سه سطح ۱/۶ ،۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. نتایج نشان داد که شوری تمام شاخص‌های رویشی و رنگیزه‌ها را به‌طور معنی‌داری کاهش و میزان پرولین و درصد نشت یونی را افزایش داد. کاربرد پوتریسین باعث افزایش تمامی شاخص‌های رشدی و رنگیزه‌های نشاء گل‌گاوزبان ایرانی در تمام سطح شوری شد و از این طریق با افزایش میزان فتوسنتز در گیاه به رشد بهتر گیاه در شرایط تنش شوری کمک کرد. بیشترین وزن خشک نشاء گل‌گاوزبان (۰/۶ گرم)، محتوای نسبی آب برگ (۸۵ درصد)، کلروفیل a (۴ میلی‌گرم بر گرم) و کلروفیل b (۱/۲ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار محلول‌پاشی پوتریسین و شوری ۱/۶ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد. همچنین بیشترین میزان پرولین (۱۱/۶۱ میکرومول بر گرم) و قندهای محلول (۱/۰۲ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار پوتریسن حاصل شد. به‌طورکلی محلول‌پاشی پوترسین (۱/۵ میلی‌مولار) از طریق افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و صفات رشدی و افزایش پرولین و قندهای محلول می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مفید و عملی برای مقابله به تنش شوری در گیاه دارویی گل‌گاوزبان مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، پلی‌آمین، تنش، کلروفیل

مقدمه

پلی‌آمین‌ها گروهی از ترکیبات آلی پلی‌کاتیونی با وزن مولکولی کم، دارای دو یا بیشتر گروه آمین می‌باشند که تقریباً در همه موجودات زنده یافت شده و شامل پوترسین (دی‌آمین)، اسپرمیدین (تری‌آمین) و اسپرمین (تتراآمین) می‌باشند. پلی‌آمین‌ها می‌توانند در نمو گیاهان، تحریک تقسیم سلولی، سنتز پروتئین‌ها و واکنش به تنش‌های محیطی (زنده و غیرزنده) نقش ایفا می‌کنند (Alizadeh Salteh et al., 2024). پلی‌آمین‌ها، مولکول DNA را از تجزیه آنزیمی و نیز تخریب در اثر رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولیدشده در شرایط تنش محافظت می‌کنند. همچنین، این ترکیبات خاصیت بافری داشته و از تغییرات شدید pH جلوگیری می‌کنند (Tang & Newton, 2005).

تحقیقات نشان داده که ترکیبات پلی‌آمینی نقش مهمی در پاسخ به تنش در گیاهان بازی می‌کنند که به نوع گونه گیاهی و نوع تنش بستگی دارد (Abdel Rahman et al., 2013). سازوکار فیزیولوژی پلی‌آمین‌ها در تنش‌ها کاملاً شناخته نشده است، امّا به‌دلیل خاصیت پلی‌کاتیونی می‌توانند با اتصال به ماکرومولکول‌های آنیونی شامل فسفولیپیدها، اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها باعث ثبات غشاء شوند (Alcazar et al., 2006). گزارش شده است که کلروفیل در واکنش به تنش‌های محیطی یا پیری برگ کاهش پیدا کرده و پلی‌آمین‌های آلفاتیک مانند پوترسین

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

(*- نویسنده مسئول: (Email: m.naseri@torbath.ac.ir

https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91889.1413

باعث کاهش تخریب کلروفیل شده و منجر به دریافت بیشتر نور برای بهبود سرعت فتوسنتز می‌شوند. مطالعات متعددی در مورد شرکت پلی‌آمین‌ها در کسب تحمل گیاهان به تنش‌ها از جمله دماهای بالا و پایین، شوری، کمبود اکسیژن و آلاینده‌های جوی انجام شده است (Farooq et al., 2009). سطح پلی‌آمین‌ها در گیاهان در شرایط تنش افزایش پیدا می‌کند که این افزایش پلی‌آمین‌ها از گیاه در برابر شوری به‌وسیله حذف رادیکال‌های آزاد، تثبیت غشایی و ساختار سلولی، ایجاد تعادل کاتیون و آنیون و همچنین تنظیم کانال‌های یونی محافظت می‌کند (Santiago et al., 2004).در گیاه تاتوره (*Datura stramonium* L.) اعمال تیمار تنش شوری منجر به کاهش وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی و مقدار کلروفیل برگ شد، امّا کاربرد پوتریسین، کربوهیدرات محلول و ترکیبات آلکالوئیدی را در شرایط تنش شوری افزایش داد (Niakan et al., 2015).

کاربرد پلی‌آمین‌ها به‌عنوان یک روش مناسب برای کاهش خسارات ناشی از تنش شوری در گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) باعث بهبود ویژگی‌های این گیاه شد (Chattopadhayay et al., 2002). در تحقیقی روی گیاه برنج (*Oryza sativa*) در شرایط تنش شوری مشخص شد که کاربرد خارجی اسپرمین باعث افزایش قابل توجه در تجمع پرولین شد (Roychoudhury et al., 2011).

گل‌گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum*) گیاهی یک‌ساله از خانواده Boraginaceae می‌باشد و به‌عنوان یکی از گیاهان مهم دارویی در طب سنتی ایرانیان مطرح است. از گلبرگ‌های بنفش متمایل به آبی گل‌گاوزبان در طب سنتی ایران به‌عنوان مسکن، آرامش‌بخش، نیروبخش، ضدالتهاب و برطرف‌کننده درد به‌ویژه در سرماخوردگی و ذات‌الریه استفاده می‌شود (Azizi et al., 2018). تنش شوری از جمله تنش‌های مهم غیرزیستی است که می‌تواند باعث بر هم زدن اعمال حیاتی و فرآیندهای جوانه‌زنی و رشدونمو گیاهان شود. شوری بر غلظت یون بافت‌های گیاه اثر می‌گذارد و این ممکن است کیفیت گیاهان دارویی را تغییر دهد (Safavi et al., 2024). در آزمایشی، اثر شوری در چهار سطح بر گیاه گل‌گاوزبان بررسی شد. نتایج نشان داد که شوری باعث کاهش معنی‌دار درصد سبز شدن بذرها، ارتفاع و تعداد گل شده و باعث کاهش وزن خشک ریشه و اندام هوایی شد (Makkizadeh Tafti et al., 2008). به همین دلیل، این پژوهش جهت بررسی تأثیر پوتریسین بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی نشاء گل‌گاوزبان ایرانی در شرایط تنش شوری انجام شد. با توجه به اهمیت دارویی گیاه گل‌گاوزبان ایرانی و همچنین وجود آب و خاک‌های شور در کشور، هدف از انجام این تحقیق، شناسایی راهکارهایی برای بهبود رشد و توسعه گل‌گاوزبان ایرانی در شرایط نامناسب محیطی است. این مطالعه می‌تواند به کشف روش‌های مؤثر در مقابله با تنش‌های شوری و افزایش بهره‌وری این گیاه ارزشمند کمک کند.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر پوترسین بر نشاهای گل‌گاوزبان در شرایط تنش شوری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل با دو عامل شامل غلظت پوترسین و میزان تنش شوری با نمک سدیم کلرید انجام گرفت. عامل اول، پوترسین در دو سطح صفر و ۱/۵ میلی‌مولار و عامل دوم، تنش شوری در سه سطح ۱/۶ ، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر بود (Makkizadh et al., 2008).

بذرها از شرکت پاکان بذر اصفهان خریداری شده و به مدت ۲۴ ساعت در آب معمولی خیسانده شدند. سپس به درون گلدان‌های کوچک حاوی سه قسمت پیت ماس و یک قسمت پرلیت منتقل گردید. بعد از ظاهر شدن سومین برگ حقیقی، نشاها به گلدان‌های بزرگ‌تر حاوی ماسه، خاک باغچه، پرلیت و ورمی‌کمپوست (۲:۲:۲:۱) منتقل شدند. یک هفته بعد از انتقال نشاها به گلدان‌های اصلی، محلول‌پاشی با پوترسین انجام شد. محلول‌پاشی هر دو هفته یک بار تکرار گردید به‌طوری‌که در طول کل زمان آزمایش سه مرتبه محلول‌پاشی انجام شد. یک هفته بعد از اولین محلول‌پاشی با پوترسین، اعمال تنش شوری آغاز گردید. به‌منظور جلوگیری از ایجاد شوک در گیاهان، تیمار شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر به‌تدریج و در سه مرحله انجام شد و شش هفته بعد از انتقال نشاها، صفات مورد نظر اندازه گیری گردید. به‌منظور جلوگیری از تجمع نمک، هر دو هفته یک بار آبشویی با آب معمولی انجام شد.

اندازه‌گیری صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاه گل‌گاوزبان

برای اندازه‌گیری وزن‌تر، ابتدا اندام هوایی و ریشه‌ها کاملاً تمیز شدند، سپس به‌وسیله ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم، وزن اندام هوایی و ریشه‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، اندام هوایی و ریشه‌ها داخل آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ تا ۳۰ ساعت قرار گرفتند و بعد از خشک شدن، وزن خشک تعیین شد. به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، از معادله ۱ و براساس درصد محاسبه گردید (Barrs & Weatherley, 1962).

(۱) RWC = (وزن تر–وزن خشک)/(وزن اشباع–وزن خشک) ×۱۰۰

میزان کلروفیل و کاروتنوئید برگ به‌روش آرنون (Arnon, 1967) اندازه‌گیری شد. برای تعیین غلظت کلروفیل کل و کاروتنوئید، مقدار ۰/۵ گرم از برگ‌های تازه با استون ۸۰ درصد ساییده شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور سانتریفیوژ گردید و

مقدار جذب در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و۴۷۰ نانومتر به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Unico مدل UV2100) خوانده شد. غلظت کلروفیل کل و کاروتنوئید با استفاده از معادله‌های ۲ تا ۵ و برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه محاسبه گردید.

(۲)
$$Chl\ a\ (mg.g^{-1})= [12.7(A_{663})-2.69(A_{645})]\times (V/1000\times W)$$

(۳)
$$Chl\ b\ (mg.g^{-1})= [22.9(A_{645})-4.68(A_{663})]\times (V/1000\times W)$$

(۴)
$$Total\ Chl\ (mg/g) = Chl\ a + Chl\ b$$

(۵)
$$Car\ (mg.g^{-1}\ FW) = (((1000_{A470} - (1.8_{Chl\ a}) - (85.02_{Chl\ b}))/198)\times (V/W)$$

که در آن، W: وزن نمونه،V: حجم استون و A: میزان جذب است

میزان پرولین برگ با کاربرد روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت پرولین، نمونه‌های برگ تر در ۱۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوسالیسیلیک سه درصد هموژن شد و عصاره حاصل صاف گردید. میزان دو میلی‌لیتر اسیداستیک و دو میلی‌لیتر ناین هیدرین به دو میلی‌لیتر از عصاره صاف‌شده اضافه شد. محلول حاصل به مدت یک ساعت در حمام آب گرم در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس برای پایان یافتن واکنش، لوله های آزمایش در داخل یک بستر یخی قرار گرفت و چهار میلی‌لیتر تولوئن به هر لوله اضافه گردید و تکان داده شد. پس از ۳۰ ثانیه هم‌زدن و جدا شدن دو فاز، فاز رنگی تولوئن در بالا قرار گرفت و فاز آبی جدا گردید. غلظت پرولین نمونه‌ها در تولوئن با استفاده از اسپکتروفتومتر (مدل UV2100) در طول موج ۵۲۰ نانومتر و با توجه به منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف پرولین، برحسب میلی‌گرم برگرم وزن تر محاسبه شد.

برای سنجش درصد نشت یونی، بافت تازه اندام هوایی پس از شست‌وشو با آب مقطر درون لوله آزمایش قرار گرفت و ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد و به مدت دو ساعت درون حمام آب گرم با دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_1)، با دستگاه هدایت‌سنج (Jenway مدل۴۵۱۰) اندازه‌گیری شد. سپس لوله آزمایش در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار یک اتمسفر به مدت ۲۰ دقیقه اتوکلاو شد و پس از خنک شدن لوله‌ها تا دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_2) دوباره اندازه‌گیری و درصد نشت یونی با رابطه زیر محاسبه گردید (Murray et al., 1989):

(۶) درصد نشت یونی = (EC1 / EC2) × 100

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار (در هر گلدان سه گیاه قرار داشت و هر گلدان به‌عنوان یک تکرار بود) انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴)، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد مقایسه شدند و برای رسم نمودارها نرم‌افزار Excel (نسخه ۲۰۱۶) مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده و متقابل شوری و پوتریسین بر صفات وزن‌تر و خشک اندام هوایی و وزن‌تر ریشه و طول ریشه معنی‌دار بود (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثرات تنش شوری و محلول‌پاشی پوتریسین بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه نشاء گل‌گاوزبان

Table 1- Analysis of variance (mean of squares) for the effects of salinity stress and putricine on the wet and dry weight of shoot and root of *E. amoenum* seedlings

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	طول ریشه Root length
شوری Salinity	2	16.74**	0.72**	0.81**	125.74**
پوتریسین Putricin	1	1.99**	0.06**	0.083**	25.72**
شوری × پوتریسین Salinity × putricin	2	0.082*	0.6*	0.004*	4.05*
خطا Error	30	0.017	0.001	0.001	1.01
ضریب تغییرات CV (%)		4.8	8.7	6.84	8.86

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌دار

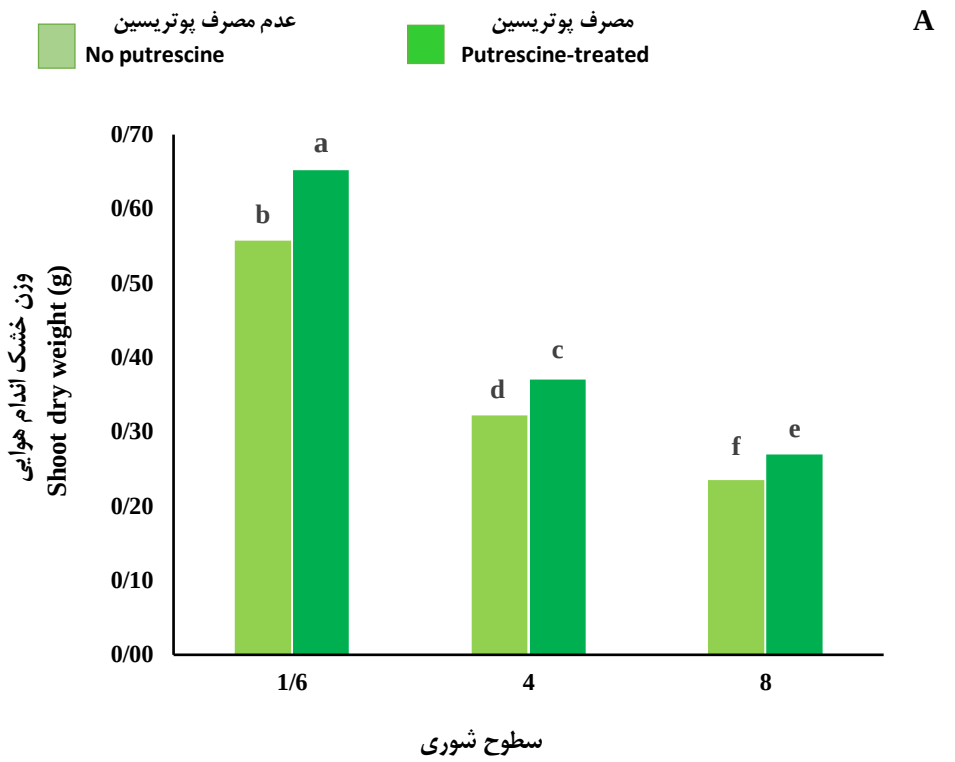
*, ** and ns denote, significance at the 5% and 1% levels, and not significant, respectively.

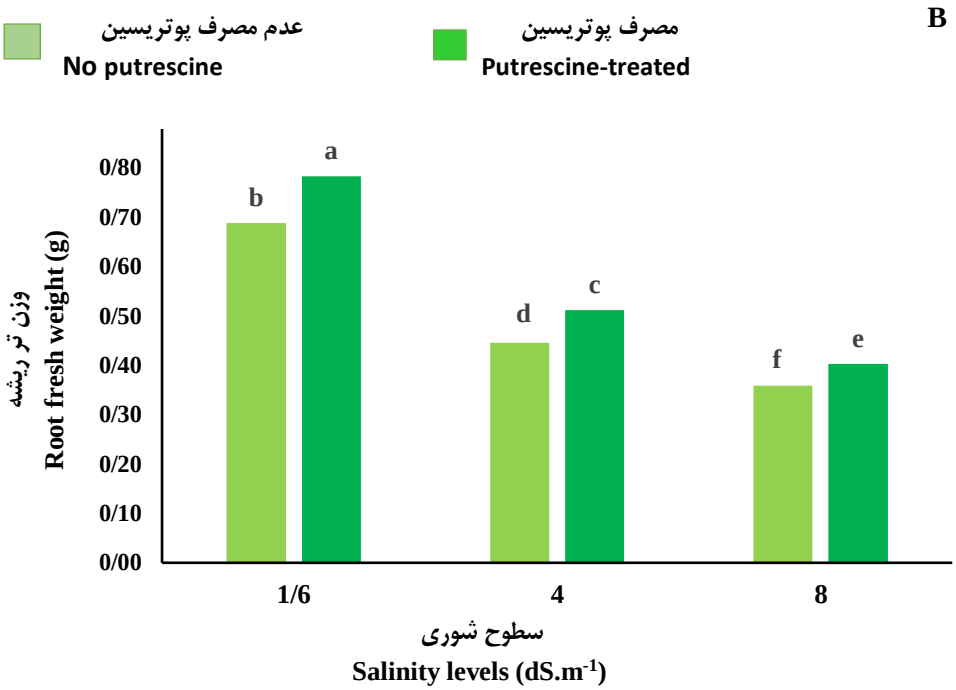
نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد (جدول ۱) که تنش شوری باعث کاهش این صفات نسبت به شاهد گردید. درحالی‌که کاربرد پوترسین باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی و وزن تر ریشه و طول ریشه شد. بیشترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار آبیاری با آب معمولی و کاربرد پوترسین (۰/۶۵ گرم) و کمترین مقدار این صفات در شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر و عدم مصرف پوترسین (۰/۲۴ گرم) مشاهده شد (شکل ۱). شوری باعث می‌شود تا گیاه، آب موجود در بافت‌های خود را از دست بدهد و دچار پلاسمولیز شود که این عامل سبب کاهش وزن‌تر اندام هوایی خواهد شد (Farsari, 2020). علت افزایش رشد گیاه با کاربرد پلی‌آمین تحت تنش شوری می‌تواند ناشی از این باشد که با کاربرد پوترسین، میزان پلی‌آمین‌ها در مریستم انتهایی گیاه افزایش می‌یابد و در نتیجه رشد گیاه را نسبت به گیاه تیمارنشده با پوترسین افزایش می‌دهد، همچنین پلی‌آمین‌ها گونه‌های فعال اکسیژن تولیدشده در گیاه را از بین برده و خسارات ناشی از تنش را کاهش می‌دهند (Mahros et al., 2011). علاوه‌بر این پوترسین می‌تواند به‌عنوان یک منبع نیتروژن عمل کرده (پوترسین در ساختار خود حاوی ۳۱/۷۶ درصد نیتروژن است) و به این طریق، رشد رویشی گیاه را افزایش دهد و افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی در این تحقیق می‌تواند به این علت باشد (Mahros et al., 2011).

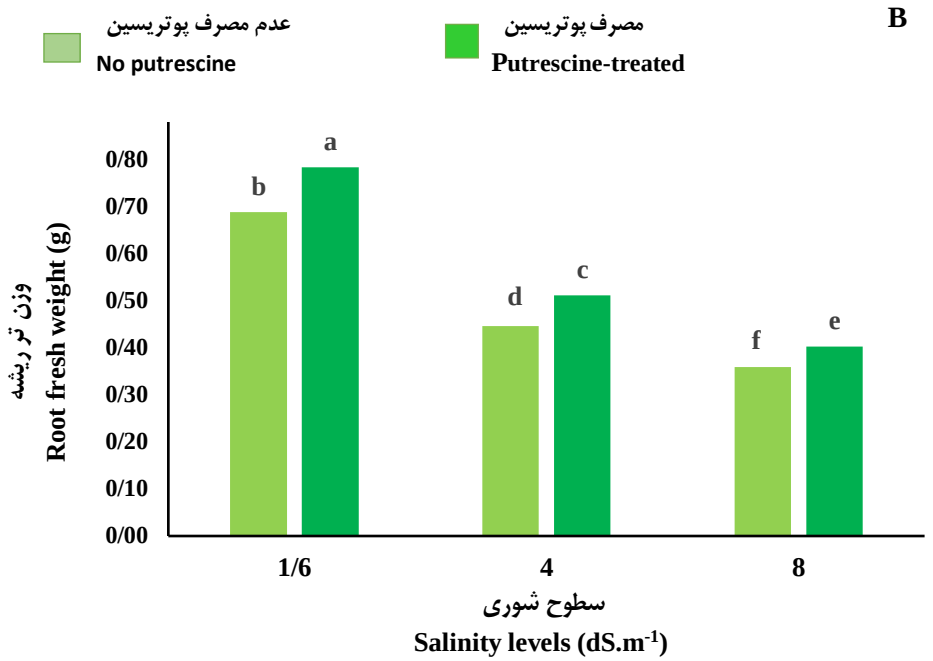
نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه نشان‌دهنده تأثیر منفی شوری آب آبیاری بر سطح برگ نشاء گل‌گاوزبان ایرانی است (شکل ۱D). کاهش سطح برگ در غلظت هشت دسی‌زیمنس بر متر به‌وضوح نشان‌دهنده اثرات مضر شوری بر رشد این گیاه است. در این غلظت، کمترین میزان سطح برگ (۸/۲۸ سانتی‌مترمربع) مشاهده شد، که به‌طور مستقیم می‌تواند با تنش‌های ناشی از شوری و کاهش توانایی گیاه در جذب آب و مواد مغذی مرتبط باشد. شوری باعث ایجاد تنش‌های اسمزی در گیاهان می‌شود که می‌تواند منجر به کاهش فتوسنتز، اختلال در جذب و انتقال عناصر غذایی، و در نتیجه کاهش رشد و سطح برگ شود. در غلظت ۱/۶ دسی‌زیمنس بر متر شوری، گیاه سطح برگ بیشتری (۱۰/۸ سانتی‌مترمربع) داشت، که این به‌معنای شرایط بهتری برای رشد و توسعه گیاه در این شرایط است. از سوی دیگر، نتایج نشان داد که پوترسین به‌طور قابل توجهی سطح برگ گیاه را افزایش داد (۸/۶۳ سانتی‌مترمربع). پوترسین به‌عنوان یک ترکیب تنظیم‌کننده رشد گیاه، می‌تواند به افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی از جمله شوری کمک کند. استفاده از پوتریسین در شرایط شوری معمولاً منجر به افزایش سطح برگ می‌شود. این افزایش به‌دلیل بهبود فعالیت‌های فتوسنتزی، افزایش تقسیم سلولی و بهبود رشد عمومی گیاه است. در تحقیقات نشان داده‌اند که پوتریسین می‌تواند باعث افزایش تعداد و اندازه برگ‌ها شود و به این ترتیب، سطح برگ کلی گیاه را افزایش می‌دهد (Farsari, et al., 2020).

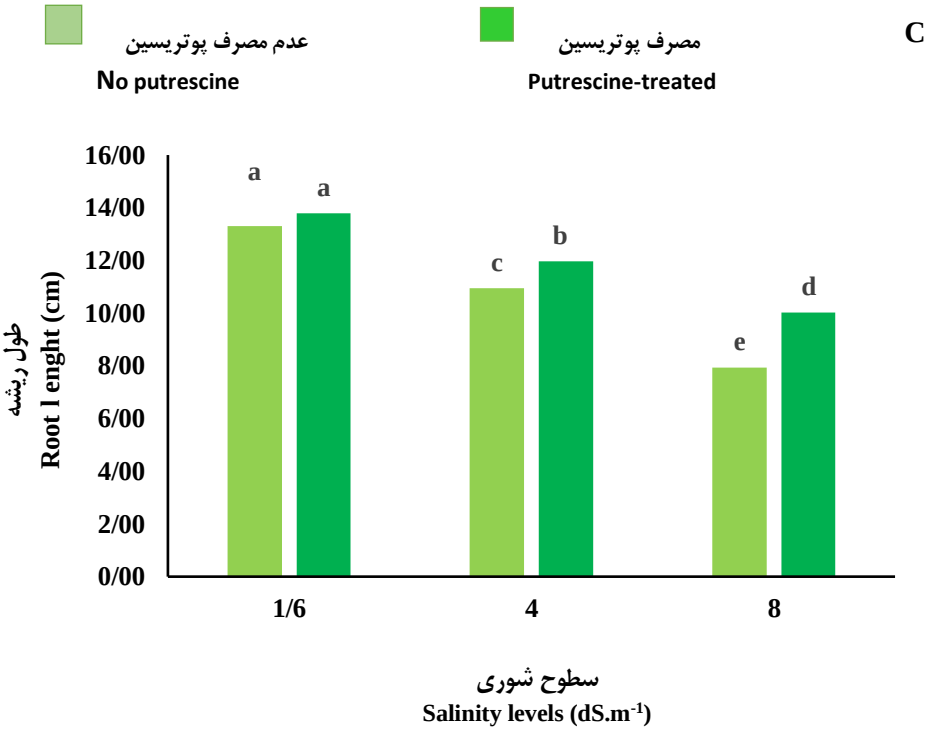
اثر شوری و پوتریسین بر محتوای نسبی آب برگ

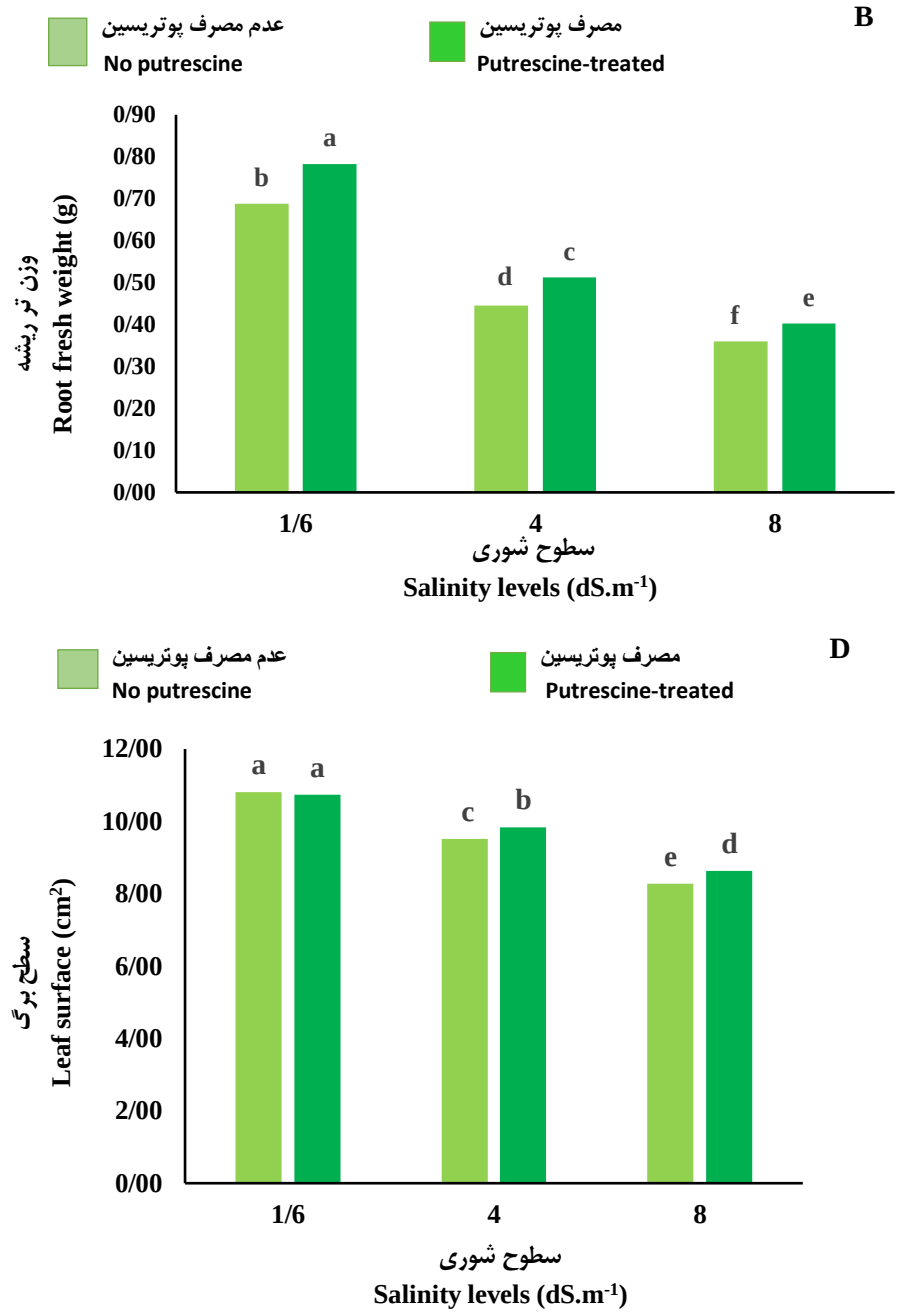
نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که شوری و پوترسین بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). این شاخص نشان‌دهنده توانایی گیاه در حفظ آب و مقاومت در برابر تنش‌های آبی و شوری است. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با تیمار ۱/۵ میلی‌مولار پوتریسین، میزان رطوبت نسبی برگ در تمام غلظت‌های شوری افزایش یافت (شکل ۲ D). نتایج تحقیقات نشان داد که تنش شوری در گیاهان ریحان (*Ocimum basilicum* L)، شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens*)، آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) و مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L) موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ شد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. با افزایش سطح شوری، جذب آب توسط برگ‌ها کاهش می‌یابد و در نتیجه گیاه نمی‌تواند محتوای آب برگ خود را حفظ کند و ازاین‌رو با گذشت زمان، محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد (Munns et al., 2006). همچنین کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌تواند به‌علت تجمع یون‌های سدیم و کلر باشد که این عوامل می‌تواند دلیل کاهش RWC گل‌گاوزبان در این تحقیق باشد. دلیل افزایش محتوای نسبی آب در این گیاه و همچنین گل‌گاوزبان مورد مطالعه در این تحقیق توسط پوترسین می‌تواند به این علت باشد که پلی‌آمین‌ها سبب افزایش نفوذپذیری غشاء به کلسیم شده و میزان آن را در گیاه افزایش می‌دهند و این افزایش کلسیم باعث غیرفعال کردن ورود پتاسیم از غشاء شده و همین امر سبب تحریک بسته شدن روزنه‌ها و در پی آن کاهش از دست رفتن آب گیاه شود و محتوای نسبی آب برگ افزایش یابد (Rubinowska et al., 2012).


A
عدم مصرف پوتریسین
No putrescine
مصرف پوتریسین
Putrescine-treated
وزن خشک اندام هوایی
Shoot dry weight (g)
0/70
0/60
0/50
0/40
0/30
0/20
0/10
0/00
a
b
c
d
e
f
1/6
4
8
سطوح شوری


B
عدم مصرف پوتریسین
No putrescine
مصرف پوتریسین
Putrescine-treated
وزن تر ریشه
Root fresh weight (g)
0/80
0/70
0/60
0/50
0/40
0/30
0/20
0/10
0/00
a
b
c
d
e
f
1/6
4
8
سطوح شوری
Salinity levels (dS.m-1)


B
عدم مصرف پوتریسین
No putrescine
مصرف پوتریسین
Putrescine-treated
وزن تر ریشه
Root fresh weight (g)
0/80
0/70
0/60
0/50
0/40
0/30
0/20
0/10
0/00
a
b
c
d
e
f
1/6
4
8
سطوح شوری
Salinity levels (dS.m-1)


C
عدم مصرف پوتریسین
No putrescine
مصرف پوتریسین
Putrescine-treated
طول ریشه
Root l enght (cm)
16/00
14/00
12/00
10/00
8/00
6/00
4/00
2/00
0/00
a
a
c
b
e
d
1/6
4
8
سطوح شوری
Salinity levels (dS.m-1)



شکل ۱- اثر متقابل شوری × پوتریسین بر وزن تر و خشک اندام و وزن خشک ریشه و طول ریشه و سطح برگ نشاء گل‌گاوزبان

Figure 1- The interaction effects of salinity ×putricine on the fresh and dry weight of shoots and root dry weight, root length, and leaf area of *E. amoenum* seedlings (DMRT, $p \leq 0.05$)

اثر شوری و پوتریسین بر میزان پرولین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل سطوح مختلف تنش شوری و پوترسین بر محتوای پرولین برگ معنی‌دار شد (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها، با افزایش غلظت شوری، میزان پرولین به‌طور معنی‌داری در نشاء گل‌گاوزبان افزایش یافت (شکل ۲,A). تجمع چشمگیر پرولین در بسیاری از انواع تنش‌ها مانند تنش خشکی، شوری و تنش یون‌های فلزی ناشی از افزایش سنتز و کاهش تخریب پرولین است که این موضوع در بیشتر گیاهان به اثبات رسیده است. در اکثر موارد، سازوکار افزایش پرولین در گیاهان به‌هنگام تنش، نوعی سازوکار دفاعی است که پرولین با چندین سازوکار مانند تنظیم اسمزی، جلوگیری از تخریب آنزیم، حفظ و سنتز پروتئین، مقاومت گیاه را در برابر تنش‌ها افزایش می‌دهند (Safavi et al., 2024).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات شوری و پوتریسین بر صفات فیزیولوژیکی نشاء گل‌گاوزبان

Table 2- ANOVA (mean of squares) for the effects of salinity stress and putricine on some physiological traits of *E. amoenum* seedlings

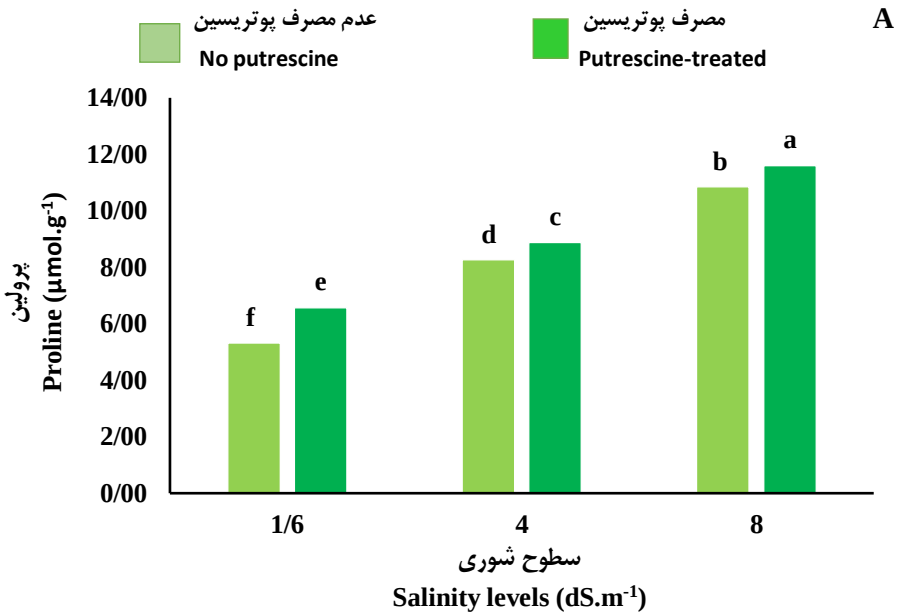
منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	پرولین Prolin	قند محلول Sugar soluble	میزان رطوبت نسبی برگ Leaf relative water content	نشت الکترولیت Electrolyte leakage
شوری Salinity	2	167.21**	167.21**	1716.72**	13714.05**
پوتریسین Putricine	1	13.86**	13.86**	213.55**	153.12**
شوری × پوتریسین Salinity × putricin	2	0.62**	0.62**	4.05 ns	8.16*
خطا Error	30	0.15	0.15	22.6	26.3
ضریب تغییرات CV (%)		4.61	4.61	3.75	3.34

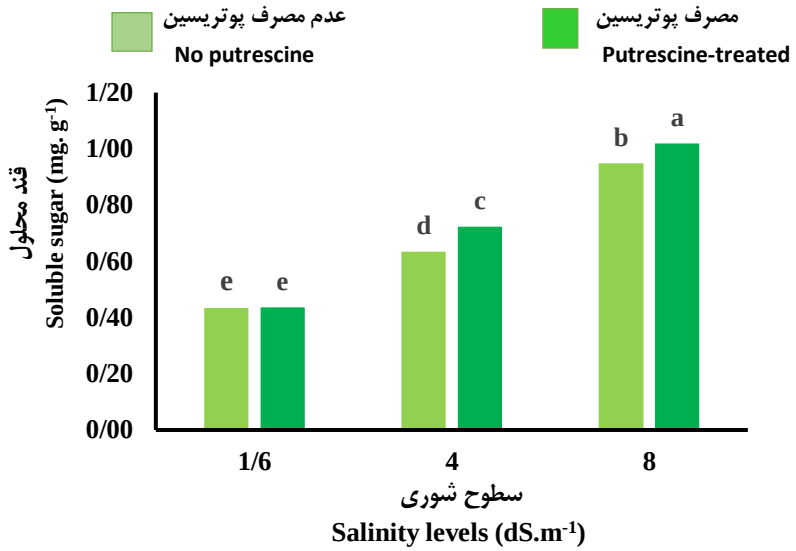
*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌دار

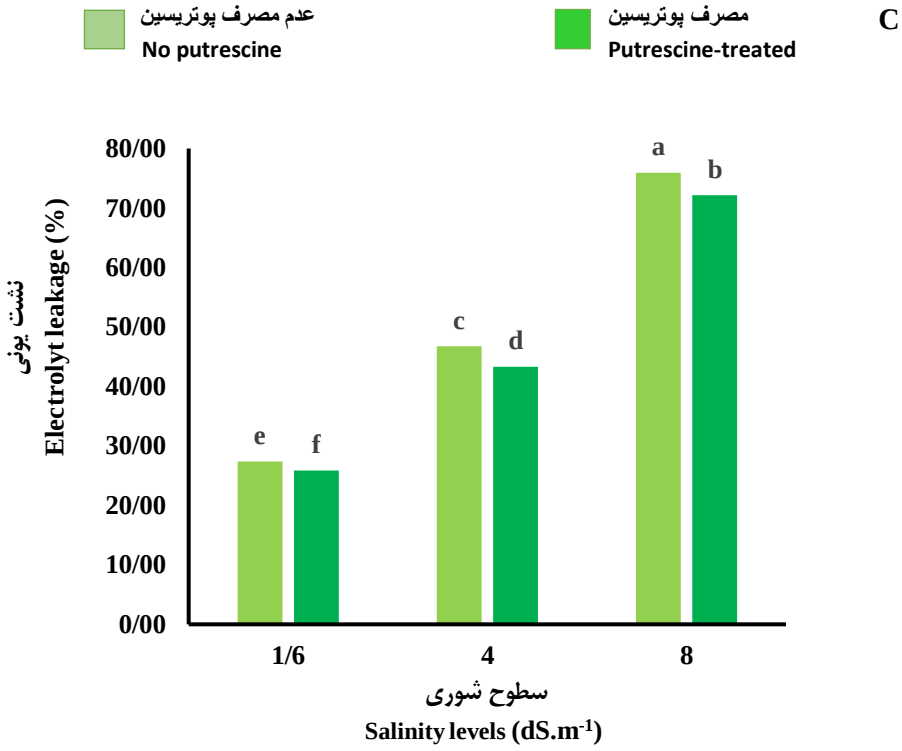
*, ** and ns denote, significance at the 5% and 1% levels, and not significant respectively

نتایج حاصل از تحقیق دیگری نیز نشان داد که میزان پرولین در شرایط تنش شوری نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Shahraki et al., 2021). انباشت پرولین معمولاً به‌عنوان یک سازوکار تحمل به تنش در نظر گرفته می‌شود (به‌عنوان مثال، در تنش‌های شوری و خشکی). نتایج به‌دست‌آمده در تحقیق حاضر نشان می‌دهد که با آغاز شرایط تنش شوری، جهت حفاظت از سلول‌ها، میزان پرولین افزایش یافت و استفاده از پوترسین باعث افزایش مقاومت دیواره سلولی شد و از فروپاشی آن جلوگیری کرد. از همین رو، در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین، بیشترین مقدار پرولین مشاهده شد که با نتایج صفری و همکاران (Saffari et al., 2015) روی گیاه آویشن مطابقت داشت.

در واقع، پوتریسین به‌عنوان یک بافر و اسمولیت عمل می‌کند. این ترکیب می‌تواند به حفظ پتانسیل آب برگ در شرایط کمبود آب کمک کند و از سلول‌های گیاهی در برابر آسیب‌های ناشی از تنش اکسیداتیو محافظت نماید (Saffari et al., 2015).







شکل ۲- اثر متقابل شوری× پوترسین بر میزان پرولین، قند محلول، درصد نشت الکترولیت در نشاء گل‌گاوزبان

Figure 2– The interaction effects of salinity ×putrescine on the proline content, soluble sugar and electrolyte leakage percentage of *E. amoenum* seedling leaves (DMRT, $p \leq 0.05$)

اثر شوری و پوتریسین بر میزان قند محلول

طبق نتایج تجزیه واریانس، شوری و پوتریسین در سطح احتمال یک درصد بر میزان قند محلول تأثیر معنی‌داری داشتند و همچنین اثر متقابل این دو تیمار بر میزان قند محلول در نشاء گل‌گاوزبان در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین با افزایش غلظت شوری، میزان قند محلول افزایش یافت و کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار پوتریسین باعث افزایش میزان قند محلول در تمامی سطوح شوری شد (شکل B،۲).

در سلول‌های گیاهی به‌منظور گریز از پلاسمولیز و برقراری تورژسانس، تحت تأثیر تنش‌هایی مانند خشکی و شوری، مولکول‌های

درشت‌تر مانند نشاسته به مولکول‌های کوچک‌تری مانند گلوکز شکسته می‌شوند. این امر موجب منفی‌تر شدن پتانسیل آب در سلول‌ها و تنظیم اسمزی می‌شود (Golestani, 2020). افزایش میزان قندهای محلول در شرایط تنش در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) گزارش شده است (Amini & Ehsanpour, 2005). کاربرد برون‌زاد پلی‌آمین‌ها، به‌خصوص اسپرمیدین، در حفظ فتوسنتز بسیار مؤثر است و موجب تثبیت pH جهت فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و افزایش فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو می‌شود. برخی از مطالعات نشان دادند که پوترسین باعث افزایش کربوهیدرات کل در گیاهانی مانند داوودی (*Chrysanthemum morifolium*) و کوکب (*Dahlia pinnata*) شد (Mahgoub et al., 2011). پلی‌آمین‌ها در سنتز قندها کربوهیدرات‌ها نقش مؤثری دارند. گزارش شده است که آنها در گیاه همچون تنظیم‌کننده رشد عمل می‌کنند و ممکن است در برخی از فرآیندهای بیولوژیک دخالت داشته باشند که مرتبط با بیوسنتز کربوهیدرات‌ها است.

اثر شوری و پوتریسین بر میزان نشت الکترولیت

اثر ساده شوری و پوتریسین بر میزان نشت یونی به‌طور معنی‌داری مؤثر بود و همچنین اثر متقابل این تیمارها بر میزان نشت یونی معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش غلظت شوری، میزان نشت یونی افزایش یافت و همچنین با کاربرد پوتریسین در تمامی غلظت‌های شوری، میزان نشت یونی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل C،۲). شوری، نشت یونی برگ را افزایش داد. در بین سطوح تنش شوری، بیشترین نشت یونی برگ در تنش شوری شدید مشاهده شد. مقدار آسیب به غشاء یاخته با ادامه تنش افزایش می‌یابد. یکی از علائم تحمل به شوری، پایداری و ثبات غشاء سلولی در شرایط تنش است. در اثر تنش شوری، فعالیت غشاء سیتوپلاسمی مختل شده و در نتیجه مواد درون سلول به بیرون نشت می‌کند. بنابراین با افزایش سطح شوری، مقدار نشت یونی از درون سلول افزایش می‌یابد (Jouyban, 2012). پلی‌آمین‌ها می‌توانند به‌عنوان غیرفعال‌کننده‌های رادیکال‌های آزاد عمل کرده و غشاهای سلولی را در برابر اکسیده شدن حفظ کنند. بدین ترتیب، مقاومت غشاء را افزایش می‌دهند. در این پژوهش، با کاربرد پوتریسین در تمامی غلظت‌های تنش شوری، میزان نشت یونی کاهش یافت. پلی‌آمین‌ها با تأثیر خود بر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کاهش گونه‌های اکسیژن واکنشگر و به‌تبع آن حفظ ثبات غشاء، باعث کاهش میزان نشت یونی می‌شوند. همچنین این ترکیبات با اتیلن بر سر یک پیش‌ماده مشترک به‌نام SAM (S-آدنوزین متیونین) رقابت می‌کنند و در واقع پلی‌آمین‌ها با کاهش تولید اتیلن از اثرات مرتبط با اتیلن از جمله پیری، تجزیه کلروفیل، زوال غشاء و افزایش فعالیت پروتئاز جلوگیری می‌کنند (Evans &Malmberg, 1989).

اثر شوری و پوتریسین بر محتوای کلروفیل و کاروتنوئید

پوتریسین در سطح احتمال یک درصد بر میزان کلروفیل و کاروتنوئید اثر معنی دار داشت (جدول ۳). بیشترین میزان کلروفیل a و b مربوط به تیمار شوری ۱/۶ دسی‌زیمنس بر متر شوری با کاربرد پوتریسین به دست آمد (شکل ۳). کمترین میزان کلروفیل a و b (به‌ترتیب ۲ و ۰/۵ میلی‌گرم بر گرم) در تیمارهای هشت دسی‌زیمنس بر متر تنش شوری بدون کاربرد پوتریسین مشاهده شد (شکل A, B۳). اثر متقابل شوری و پوتریسین بر این صفات معنی‌دار بود. گزارش شد که کاربرد پلی‌آمین‌ها موجب حفظ پایداری غشاء کلروپلاست و مانع تجزیه کلروفیل می‌شود. پلی‌آمین‌ها با اتصال یونی به غشاء تیلاکوئید سبب حفظ غشاء شده و به‌صورت غیرمستقیم در حفظ فتوسنتز دخالت می‌کنند (Jalili Marandi, 2010). علت کاهش کلروفیل در شرایط تنش، تخریب آن‌ها به‌وسیله گونه‌های فعال اکسیژن است. تنش منجر به افزایش غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اسیدآبسیزیک و اتیلن شده که تحریک‌کننده آنزیم کلروفیلاز هستند و به این ترتیب کلروفیل تجزیه می‌شود (Orabi et al., 2010).

در همین زمینه، طی آزمایشی مشاهده شد که میزان دو میلی‌مولار اسپرمین و پوتریسین سبب افزایش میزان کلروفیل برگ گردید. در واقع، پلی‌آمین‌ها خاصیت ضداتیلنی دارند و مانع تولید آنزیم‌های مداخله‌کننده در ساخت اتیلن می‌شوند و در نتیجه از تولید رادیکال‌های آزاد که سبب تجزیه کلروفیل می‌شوند، جلوگیری می‌کنند (Mortazavi et al., 2021). تیمار یک و دو میلی‌مولار اسپرمین، میزان کلروفیل را در گل میخک رقم Red Corsa نسبت به شاهد افزایش داد (Kamiab, 2016). اثر پلی‌آمین‌ها در مهار تخریب سبزینه ممکن است به مهار فعالیت آنزیم پروکسیداز مرتبط باشد، ازآنجاکه اتیلن موجب تجزیه کلروفیل می‌شود، پلی‌آمین‌ها به‌علت نقش ضداتیلنی که دارند، مانع از تولید آنزیم‌های مداخله‌کننده در ساخت اتیلن می‌شوند و از تولید رادیکال‌های آزاد که سبب تجزیه کلروفیل می‌شوند، جلوگیری می‌کنند (Alcazar et al., 2006).

نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش شوری، میزان کاروتنوئید افزایش یافت (شکل C،۳) که با نتایج محققان دیگر (Fahmideh et al., 2025) در جو مطابقت داشت. این محققان بیان داشتند که با افزایش غلظت شوری، میزان رنگیزه کاروتنوئید افزایش یافت. کاروتنوئیدها، گروه بزرگی از مولکول‌های ایزوپرونوئیدی هستند و به‌عنوان حامی رنگیزه‌های فتوسنتزی شناخته شده‌اند و می‌توانند انرژی اضافی طول موج‌های کوتاه را بگیرند (Stahl & Site, 2005).

افزایش کاروتنوئیدها در شرایط تنش شوری ممکن است نشان‌دهنده نقش آنتی‌اکسیدانی بالای آن باشد (Ilektra & Michael, 2012). بیشترین میزان کاروتنوئید (۰/۵ میلی‌گرم بر گرم) نیز در تیمار هشت دسی‌زیمنس بر متر با کاربرد پوتریسین به دست آمد (شکل ۳C). محققان دریافتند که اسپرمیدین در حفاظت از غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاهچه‌های خیار (*Cucumis sativus* L.)در شرایط تنش شوری نقش دارد (Shu et al., 2012). در مطالعات دیگری نشان داده شده است که محلول‌پاشی تیمارهای پلی‌آمین باعث افزایش غلظت کلروفیل کل و کاروتنوئیدها در گوجه‌فرنگی در شرایط تنش شوری شد (Ahanger et al., 2019). پلی‌آمین‌ها ممکن است عملکرد آنزیم‌های شرکت‌کننده در ساخت کلروفیل را افزایش داده و اختلال در سیستم فتوسنتزی را کاهش دهند (Ahanger et al., 2019).

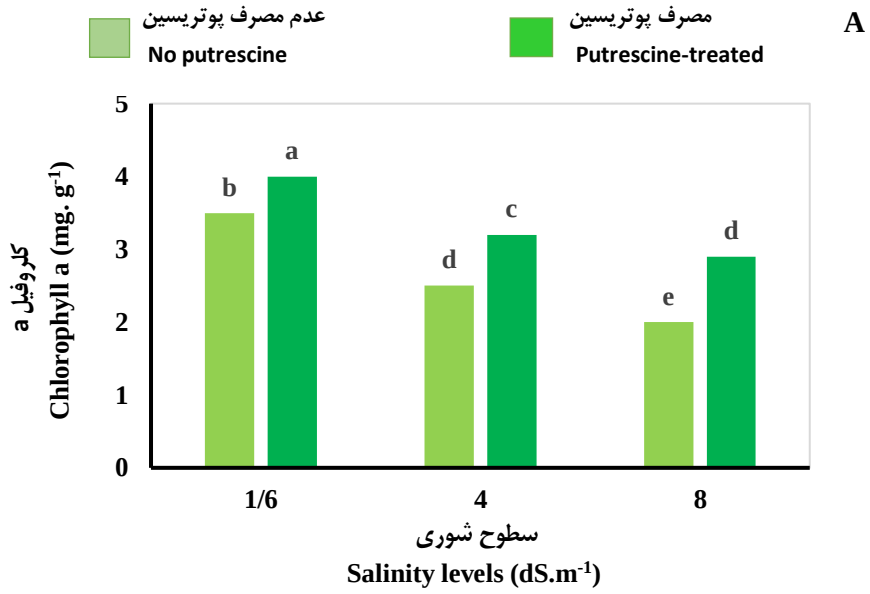
جدول۳- تجزیه واریانس اثرات شوری و پوتریسین بر میزان کلروفیل و کاروتنوئید برگ گل‌گاوزبان

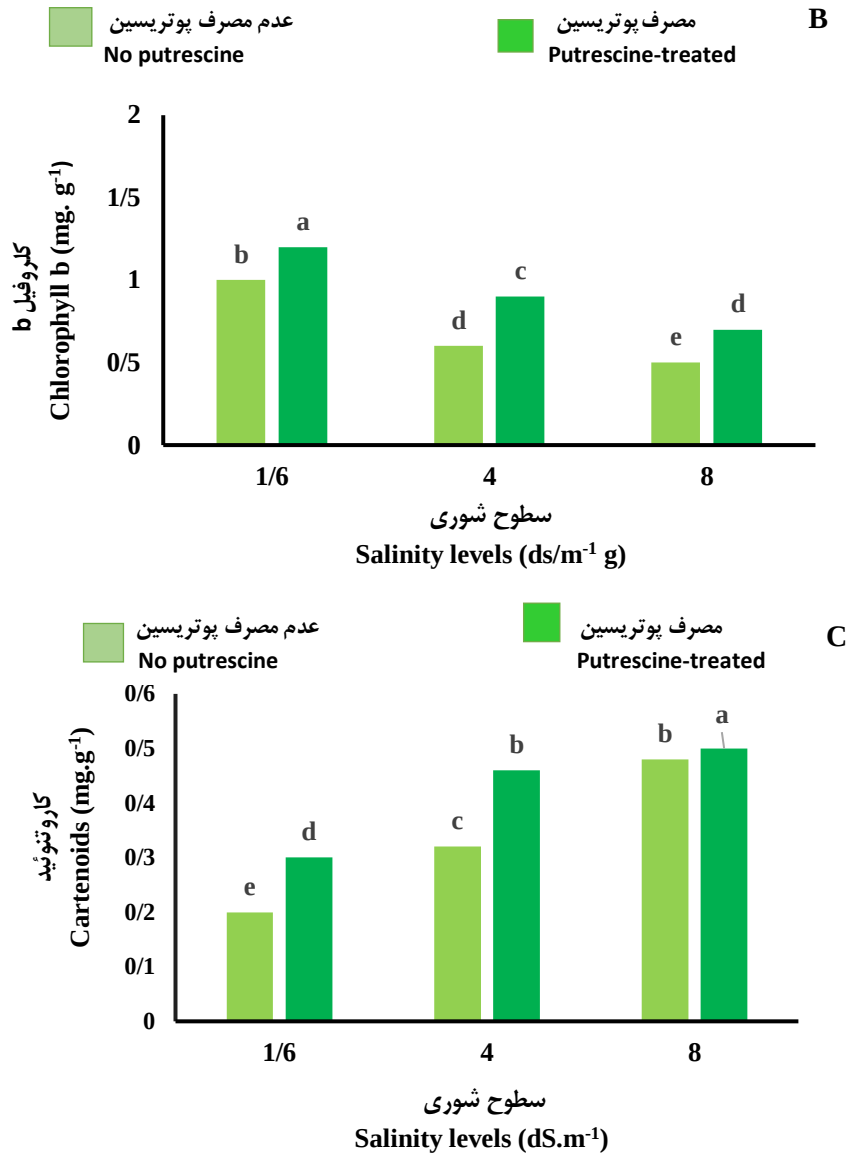
Table 3- ANOVA (mean of squares) for the effects of salinity stress and putrescine on leaf chlorophyll and carotenoids content of *E. amoenum*

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل b Chlorophyll a	کاروتنوئید Carotenoid
شوری Salinity	2	0.228**	1.36**	0.046**
پوتریسین Putricine	1	0.228**	0.074**	0.069**
شوری × پوتریسین Salinity × putricin	2	0.0004ns	0.076**	0.001ns
خطا Error	30	0.003	0.012	0.001
ضریب تغییرات CV (%)		6.64	3.97	9.5

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌دار

*, ** and ns denote, significance at the 5% and 1% levels, and not significant, respectively





شکل ۳- اثر متقابل شوری × پوتریسین بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ نشاء گل‌گاوزبان

Figure 3- The interaction effect of salinity ×putreicine on the amount of photosynthetic pigments of *E. amoenum* seedlings (DMRT, $p\leq0.05$)

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش سطح شوری منجر به کاهش زیست‌توده اندام هوایی، رشد ریشه، سطح برگ و میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در نشاء گل‌گاوزبان ایرانی گردید. بااین‌حال، استفاده از پوتریسین (با غلظت ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر) می‌تواند بهبودهایی در صفات رویشی و فیزیولوژیکی این گیاه ایجاد کند. پوتریسین به‌عنوان تأمین‌کننده نیتروژن عمل کرده و از کاهش بیش از حد رشد رویشی جلوگیری می‌کند. در مجموع، نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد پوتریسین می‌تواند تأثیرات منفی ناشی از تنش شوری را بر ویژگی‌های کلیدی رشد و فیزیولوژی نشاء گل‌گاوزبان کاهش دهد.

References

1. Abdel Rahman, R., Gomaa, S. E., Abdelsalam, N., El-Din, H., El-Wakil, M. F., Khaled, A. S., & Hassan, H. M. (2013). Effect of sodium chloride on tropane alkaloids accumulation and proline content in *Datura metel* and *D. stramonium* callus cultures. *Journal of Advances in Medical and Biomedical Research, 1*(2), 197-210.

2. Ahanger, M. A., Qin, C., Maodong, Q., Dong, X. X., Ahmad, P., Abd Allah, E. F., & Zhang, L. (2019). Spermine application alleviates salinity induced growth and photosynthetic inhibition in *Solanum lycopersicum* by modulating osmolyte and secondary metabolite accumulation and differentially regulating antioxidant metabolism. *Plant Physiology Biochemistry*, *144*, 1-13. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.09.021
3. Alcazar, R., Marco, F., Cuevas, J. C., Patron, M., Ferrando, A., Carrasco, P., Tiburcio, A. F., & Altabella, T. (2006). Involvement of polyamines in plant response to abiotic stress. *BiotechnologyLetters*, *28*, 1867-1876. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818204-8.00021-7.
4. Alizadeh-Salteh, S., Najjarzadeh, S., Panahandeh, J., & Eghlima, G. (2024). The effect of foliar application of salicylic acid and putrescine on essential oil yield and composition of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Plant Productions*, *47*(1), 147-160. https://doi.org/10.22055/ppd.2024.45206.2129
5. Amini, F., & Ehsanpour, A. A. (2005). Soluble proteins, proline, carbohydrates and Na/K changes in two tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars under *in vitro* salt stress. *African Journal of Biotechnology*, *2*(5), 133-135.
6. Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, *23*(1), 112-121.
7. Azizi, H., Gafari, S., Ghods, R., Shojaeii, A., Salmanian, M., & Ghafarzadeh, J. (2018). A review study on pharmacological activities, chemical constituents, and traditional uses of *Echium amoenum*. *Pharmacognosy Reviews*, *12*(24), 208-217. https://doi.org/10.4103/phrev.phrev_13_18
8. Bates, L. S., Walderen, R. D., & Taere, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060.
9. Barrs, H. D., & Weatherley, P. E. (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, *15*(3), 413-428.
10. Chattopadhayay, M. K., Tiwari, B. S., Chattopadhyay, G., Bose, A., Sengupta, D. N., & Ghosh, B. (2002) Protective role of exogenous polyamines on salinity stressed rice (*Oryza sativa*) plants. *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae, Physiologia Plantarum*, *116*, 192-9.
11. Evans, P. T., & Malmberg, R. L. (1989) Do polyamines have roles in plant development? *Annual Review of Plant*
12. *Physiology and Molecular Biology*, *40*, 235-241.
13. Fahmideh, L., Mazarie, A., & Pahlavan, P. (2025). Investigation of relative expression of TaMYB73 gene in some native barley of Sistan region under drought stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *37*(4), 469-485.(in Persian with English abstract)**.**
14. Farsari, S. (2020). Morphophysiological and biochemical response of basil cultivar Keshkeni Luveluo under salinity stress and super absorbent polymers application. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *33*(4), 982-996. (in Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832592.1399.33.4.19.5.
15. Farooq, M., Wahid, A., & Lee, D. J. (2009). Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. *Acta Physiologiae Plantarum*, *31*, 937-945. https://doi.org/10.1007/s11738-009-0307-2
16. Golestani, M. (2020). Salt stress effect on some agronomical and physiological traits in *Thymus daenensis* subsp. Daenensis ecotypes. *Journal of Plant Process and Function*, *9*(38), 459-477. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1361-fa.html
17. Jouyban, Z. (2012). The effects of salt stress on plant growth. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, *2*(1), 7-10. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1361-fa.html.
18. 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. https://doi.org/10.22059/jci.2016.56619.
19. Ilektra, S., & Michael, M. (2012). Interaction of proline, sugars and anthocyanins during photosynthetic acclimation of *Arabidopsis thaliana* to drought stress. *Plant Physiology*, *169*, 577-585. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2011.12.015. Epub 2012 Feb 2.
20. Jalili Marandi, R. (2010). Physiology of Environmental Stresses and Mechanisms of Resistance in Horticultural Plants. Urmia: Jahad Publications Urmia, Urmia, Iran p. 637.
21. Mahgoub, M. H., El-Aziz, N. G. A., & Mazhar, A. M. A. (2011). Response of *Dahlia pinnata* L. plant to foliar spray with putrescine and thiamine on growth, flowering and photosynthetic pigments. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, *10*(5), 769-775. https://www.idosi.org/aejaes/jaes10(5)/9.
22. Mahros, K. M., Badawy, E. M., Mahgoub, M. H., Habib, A. M., & El-Sayed, I. M. (2011). Effect of putrescine and uniconazole treatments on flower characters and photosynthetic pigments of (*Chrysanthemum indicum* L.) plant. *Journal of South American Earth Sciences*, *7*, 399-408.
23. Makkizadeh Tafti, M., Tavakol Afshari, R., Majnoon Hosseini, N., & Naghdi Badi, H. A. (2008). Evaluation of salinity tolerance and absorption of salt by borage (*Borago officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *24*(3), 253-262.(in Persian with English abstract).

24. Mortazavi, S. H., Arghavani, M., Hassanpour Asil, M., & Kheiri, A. (2021). Effect of polyamines onmorphophysiological characteristics of Dutch iris (*Iris hollandica* 'Blue Magic') cut flower. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *52*(2), 269-280. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.22059/ijhs.2020.287494.1701.
25. Munns, R., James, R. A., & Lauchli, A. (2006) Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal Experimental Botany*, *57*, 1025-1043. http://dx.doi.org/ 10.1093/jxb/erj100. Epub 2006 Mar 1.
26. Murray, M. B., Cape, J. N., & Fowler, D. (1989). Quantification of frost damage in plant tissues by rates of electrolyte leakage. *New phytologist*, *113*(3), 307-311.
27. Niakan, M., Rezapour Mahjoob, S., & Ghorbanli, M. (2015). Effect of exogenous putrescine on growth, photosynthesis and alkaloid compounds of datura (*Datura stramonium* L.) in response to salinity stress under hydroponic conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology*, *6*(1), 111-123. https://doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.6.1.111
28. Orabi, S. A., Salman, S. R., & Shalaby, M. A. (2010). Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. *World Journal of Agricultural Sciences*, *6*(3), 252-259.
29. Rubinowska, K., Pogroszewska, E., & Michalek, W. (2012). The effect of polyamines on physiological parameters of post - harvest quality of cut stems of Rosa 'Red Berlin'. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, *11*, 81-93.
30. Roychoudhury, A., Basu, S., & Sengupta, D. N. (2011). Amelioration of salinity stress by exogenously applied spermidine or spermine in three varieties of Indica rice differing in their level of salt tolerance. *Journal of Plant Physiology*, *168*(4), 317-328. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.07.009. Epub 2010 Aug 21.
31. Saffari, M., Oveisi, M., & Zarghami, R. (2015). Investigation of the effect of putrescia polyamine on some traits of *Thymus vulgaris* L. in conditions of water shortage. *Agriculture Research*, *12*(4), 279-289.
32. Safavi, M., Mohammadzadeh, M., & Vojodimehrabani, L. (2024). The effects of biochar on the growth and some physiological characteristics of *Artemisia dracunculus* L. under salinity stress. *Plant Productions*, *47*(2), 229-244. https://doi.org/10.22055/ppd.2024.47046.2173.
33. Santiago, M., Diego, H., Sauchez, A. G., Alponso, V., & Oscar A. R. (2004). Effect of polyamines on growth and salinity resistance of two rice cultivars. *Biology Planta*, *54*, 199-201.
34. Shahraki, H., Mahdi Nezhad, N., & Fakheri, B. A. (2021). The effect of synthesis nanosilver by plant extract on morphological and antioxidant properties of artichoke (*Cynara scolymus* L.) under salinity stress. *Plant Productions*, *44*(1), 103-114. https://doi.org/10.22055/ppd.2020.29011.1746.
35. Shu, S., Yuan, L., Guo, S. R., Sun, J., & Liu, C. J. (2012). Effects of exogenous spermidine on photosynthesis, xanthophyll cycle and endogenous polyamines in cucumber seedlings exposed to salinity. *African Journal of Biotechnology*, *11*, 6064-6074. https://doi.org/10.5897/AJB11.1354. https://doi.org/10.5897/AJB11.1354
36. Stahl, W., & Sies, H. (2005). Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. *Biochimica Biophysica Acta*, *1740*, 101-107. https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2004.12.006
37. Tang, W., & Newton, J. R. (2005). Polyamines reduced salt induced oxidative damage by increasing the activities of antioxidant enzymes and decreasing lipid peroxidation in Virginia pine. *Plant Growth Regulation*, *46*, 31-43. https://doi.org/10.1007/s10725-005-6395-0

Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 40, No. 1, Spring 2026, p. 61-76

The Effect of Different Pretreatments on Seed Germination of the Medicinal Plant *Artemisia herba-alba*: A Strategy for the Revival of an Endangered Species

A. Azizi[1], M. Mahmoodi Sourestani[1*], H. Motamedi[2], M. Bagnazari[3]

1- Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2- Department of Biology, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3- Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
(*- Corresponding author's Email: m.mahmoodi@scu.ac.ir)

Received: 10 February 2025
Revised: 29 August 2025
Accepted: 09 September 2025
Available Online: 09 September 2025

How to cite this article:
Azizi, A., Mahmoodi Sourestani, M., Motamedi, H., & Bagnazari, M. (2026). The effect of different pretreatments on seed germination of the medicinal plant *Artemisia herba-alba*: A strategy for the revival of an endangered species. *Journal of Horticultural Science*, *40*(1), 61-76. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92128.1414

Introduction

Artemisia herba-alba is a silvery perennial shrub whose essential oil contains 1, 8-cineole, chrysanthenone, chrysanthenol, thujone, and camphor. The therapeutic properties of the plant include antioxidant, antibacterial, antispasmodic, treatment of respiratory and digestive disorders, diabetes, disinfectant, vasodilator, insecticidal, anthelmintic, and nematicide. Nowadays, the wild population of this species has been severely reduced, and it is now considered as a rare and endangered plant. The cultivation or domestication of this medicinal species could be a promising alternative for its conservation and sustainable use. Physiological studies have proven that the seeds of *A. herba-alba* contain phytotoxic chemicals that prevent germination under adverse conditions.

Materials and Methods

To investigate the elimination of seed dormancy and enhance the germination of *A. herba-alba* seeds, different concentrations of potassium nitrate and gibberellic acid for two periods of time were studied. Moreover, the superior treatment was combined with light treatment at four levels. The first experiment was implemented as a factorial based on a completely randomized design with three replications in the laboratory of the Horticulture Department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahvaz. The first factor included the gibberellic acid at three concentrations (250, 500, and 1000 $mg.L^{-1}$) and potassium nitrate at three concentrations (50, 100, and 200 mM) which were applied separately. The second factor included the duration of priming at two periods (12 and 24 hours). Based on the results of the first experiment, the second experiment was conducted with the superior treatment in the first experiment (500 ppm gibberellic acid for 12 hours) along with dry and wet chilling treatments as the first factor in combination with light treatment at four levels (0, 8, 16, and 24 h) as the second factor. At the end of the experiments, the length of the root, shoot, seedling height, fresh and dry weight, seed longitudinal and weight vigor index, germination percentage and rate, and alpha-amylase enzyme activity were measured. Statistical analysis of the measured traits was performed using SAS version 9.4 statistical software (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). The LSD test (P=0.05) was used to compare the means. Also, principal component analysis (PCA) and heat map correlation (HMC) were performed to identify the relationships between traits and the dispersion of treatments using the R studio v1.3.959 package.

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.2025.92128.1414

Results and Discussion

The results showed that the gibberellic acid and potassium nitrate treatments had a significant effect on the studied traits at all levels, while the impact of priming duration treatment was not significant. Based on the findings of the first experiment, the highest shoot length (13 mm), root length (12 mm), seedling length (25 mm), fresh weight (0.0110 g), seedling dry weight (0.0022 g), longitudinal vigor index (1806.3), weight vigor index (0.1604), germination percentage (71 %), germination rate (8.1 seed.day^{-1}), and alpha-amylase enzyme activity (0.0676 mg.g^{-1} FW.min^{-1}) were recorded in the 500 mg/L gibberellic acid treatment. The results of the second experiment showed that the combined treatment of 16 hours of light with the gibberellic acid was able to increase the longitudinal and weight vigor index of the seedling, percentage, speed, and activity of the alpha-amylase enzyme by 240.13 %, 221.2 %, 358.82 %, 356.8 %, and 60.78 % compared to the control, respectively. The combined treatment of 16 hours of light with the gibberellic acid had the greatest effect on the dormancy breaking of *A. herba-alba* seeds (78 % germination). The results of the heat map correlation (HMC) showed that there was a positive correlation between the traits of seedling height, root and shoot length, seedling fresh and dry weight, longitudinal and weight vigor index, speed, and percentage germination. Also, the alpha-amylase enzyme was positively correlated with the longitudinal and weight vigor index, speed, and germination percentage and negatively correlated with seedling height, root and shoot length, and seedling fresh and dry weight. In the first experiment, principal component analysis showed that the combination of the first two components explained 86.35 % of the variations, which accordingly included 78.53 % of the first component and 7.82 % of the second component. Based on this analysis, seedling height, root, and shoot length, longitudinal and weight vigor index, speed, germination percentage, and alpha-amylase enzyme, which were the highest of these traits recorded in the treatments of gibberellic acid hormone and potassium nitrate, played a role in the loading of the first component. Also, in the second experiment, it was determined that the combination of the first three components explained 92.73 % of the variations, which included 56.17 % of the first component, 28.85 % of the second component, and 7.71 % of the third component. Based on this analysis, seedling height, root and shoot length, longitudinal and weight vigor index, and germination rate, which were the highest in the light treatment, played a role in the loading of the first component. Germination percentage and alpha-amylase enzyme, which were the highest in the combined light treatment with gibberellic acid, played a crucial role in the loading of the second component.

Conclusion

In this study, the results showed that *A. herba-alba* seeds are photoblastic positive, and since gibberellic acid is generally effective in breaking dormancy caused by metabolic barriers, it can be said that metabolic barriers mainly cause dormancy in the seeds. Therefore, in the light treatment (16 hours) and combination with gibberellic acid (500 mg.L^{-1}), the highest values of the longitudinal and weight vigor index traits of the seedling, the percentage and speed of germination, and the activity of the alpha-amylase enzyme were recorded. In the same treatment, germination increased nine days after the treatment, and the germination percentage increased from 20 % in untreated seeds to 78 % in primed seeds. Also, in the treatment of the gibberellic acid (500 mg.L^{-1}) alone, the highest shoot length, root length, seedling height, and fresh and dry weight were recorded. Therefore, light treatment (16 hours) combined with gibberellic acid (500 mg.L^{-1}) was introduced as the most effective strategy to increase seed germination of *A. herba-alba* and thus help save this species from extinction. The present study showed that the use of combined light treatment with gibberellic acid is a very effective and low-cost strategy to break seed dormancy and germinate *A. herba-alba* medicinal plant.

Keywords: Alpha-amylase, Chilling, Gibberellic acid, Light, Potassium nitrate

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۴۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص. ۷۶-۶۱

تأثیر پیش‌تیمارهای مختلف بر جوانه‌زنی بذر گیاه دارویی درمنه سفید (*Artemisia herba-alba*): راهکاری برای احیای یک گونه در معرض خطر

افسانه عزیزی[۱] - محمد محمودی سورستانی[۱*] - حسین معتمدی[۲] - مجید بگ‌نظری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۸

چکیده

درمنه سفید (*Artemisia herba-alba*) گیاهی ارزشمند با کاربردهای دارویی و معطر می‌باشد که امروزه در لیست گیاهان در معرض خطر انقراض قرار گرفته است. این مطالعه با هدف بررسی اثربخشی تیمارهای مختلف در دو آزمایش به‌صورت جداگانه در آزمایشگاه علوم باغبانی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال ۱۴۰۳-۱۴۰۲ طراحی و انجام شد. آزمایش اول به‌صورت فاکتوریل برپایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. عامل اول آزمایش شامل تیمارهای هورمون اسیدجیبرلیک در سه غلظت، پتاسیم نیترات در سه غلظت به همراه شاهد بودند که به‌صورت جداگانه اعمال شدند. عامل دوم شامل مدت زمان اعمال پرایمینگ در دو زمان ۱۲ و ۲۴ ساعت بود. براساس نتایج آزمایش اول، آزمایش دوم با تیمار برتر در آزمایش اول به همراه تیمارهای سرمادهی خشک و مرطوب به‌عنوان عامل اول در تلفیق با تیمار نوری در چهار سطح به‌عنوان عامل دوم انجام شد. براساس یافته‌های آزمایش اول، بیشترین طول ساقه‌چه (۱۳ میلی‌متر)، ریشه‌چه (۱۲ میلی‌متر) و گیاهچه (۲۵ میلی‌متر)، وزن تر (۰/۰۱۱ گرم) و خشک گیاهچه (۰/۰۰۲۲ گرم)، شاخص بنیه طولی (۱۸۰۶/۳) و بنیه وزنی (۰/۱۶۰۴)، درصد جوانه‌زنی (۷۱ درصد)، سرعت جوانه‌زنی (۸/۱ بذر در روز) و فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز (۰/۰۶۷۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در دقیقه) در تیمار اسیدجیبرلیک ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ثبت گردید. نتایج آزمایش دوم نشان داد که تحت تیمار ۱۶ ساعت نور در تلفیق با هورمون اسیدجیبرلیک بیشترین شاخص بنیه طولی (۲۴۲۷) و وزنی (۰/۱۶۹)، درصد جوانه‌زنی (۷۸ درصد)، سرعت جوانه‌زنی (۹/۷۳ بذر در روز) و میزان فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز (۰/۰۸۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در دقیقه) ثبت گردید. تیمار تلفیقی ۱۶ ساعت نور به همراه هورمون اسیدجیبرلیک، بیشترین تأثیر را بر شکست خواب بذر گیاه درمنه سفید داشت. تحقیق حاضر نشان داد که استفاده از تیمار تلفیقی نور به همراه هورمون اسیدجیبرلیک، یک راهبرد بسیار مؤثر و کم‌هزینه جهت رفع خواب بذر و جوانه‌زنی گیاه دارویی درمنه سفید می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اسیدجیبرلیک، آلفا-آمیلاز، سرمادهی، نور، پتاسیم نیترات

مقدمه

درمنه سفید یا افسنطین صحرایی (*Artemisia herba-alba*)، یک گیاه بوته‌ای و چندساله مایل به نقره‌ای است که ارتفاع آن به ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر می‌رسد (Aljaiyash et al., 2018). این گیاه حاوی ترکیبات فنلی، لاکتون‌های سزکوئی‌ترپن و آلکالوئیدهای فلاونوئیدی است (Younsi et al., 2017). در آنالیز فیتوشیمیایی اسانس این گیاه، مونوترپن‌های عمدتاً اکسیژنه مانند ۱ و ۸- سینئول، کریسانتنون، کریسانتنول (و استات آن)، توژنون و کامفور به‌عنوان ترکیبات اصلی شناسایی شده است (Bellili et al., 2016; Younsi et al., 2017). از خواص این گیاه می‌توان به اثرات آنتی‌اکسیدانی، درمان اختلالات تنفسی و گوارشی، دیابت، ضدعفونی‌کننده، ضدباکتریایی، شل‌کننده عروق، ضدحشرات، ضدکرم، نماتدکش و ضداسپاسم اشاره نمود (Avato et al., 2017; Younsi et al., 2017; Aljaiyash et al., 2018). به‌دلیل کاربردهای متعدد *A. herba-alba* در طب گیاهی از جمله گیاهان دارویی محبوب می‌باشد که متأسفانه در اکثر مواد تجاری، این گیاه از طبیعت برداشت می‌شود، در نتیجه جمعیت وحشی این‌گونه به‌شدت کاهش یافته و اکنون کمیاب و در معرض خطر انقراض تلقی می‌شود. کشت یا اهلی‌کردن

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲- گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: m.mahmoodi@scu.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92128.1414

این‌گونه دارویی می‌تواند جایگزینی امیدوارکننده برای حفاظت و استفاده پایدار از آن باشد (Aljaiyash et al., 2018).

بذور، نقش کلیدی در تکثیر گیاهان و نگهداری گونه‌ها در بوم‌نظام دارند؛ ازاین‌رو جوانه‌زنی بذر به‌عنوان گام اساسی در تکثیر گیاه عمل می‌کند (Chandel et al., 2023). مطالعات فیزیولوژیکی ثابت کرده است که بذر درمنه سفید حاوی مواد شیمیایی فیتوتوکسیک است که از جوانه‌زنی در شرایط نامساعد جلوگیری می‌کند. این مواد شیمیایی یا ترکیبات فنلی برای جوانه‌زنی گونه‌های دیگر سمی (آللوپاتیک) هستند و ممکن است بر مهار جوانه‌زنی بذر درمنه سفید نیز نقش داشته باشند (Modallal & Al-Charchafchi, 2006). خواب بذر به‌عنوان یک محافظ در برابر جوانه‌زنی تحت شرایط نامطلوب عمل می‌کند و تحت تأثیر عوامل محیطی مختلف مانند محتوای آب، دما، قرار گرفتن در معرض نور، در دسترس بودن اکسیژن و ویژگی‌های ژنتیکی قرار می‌گیرد (Sedighi Dehkordi et al., 2013; Pourmombeini & Moallemi, 2016; Bhatla & Lal, 2023).

پرایمینگ هورمونی، روشی است که شامل تیمار بذر با هورمون برای افزایش رشد گیاهچه و غلبه بر خواب بذر است (Chandel et al., 2023). هورمون‌های مختلفی مانند اسیدجیبرلیک، اسیدسالیسیلیک، اسیدآبسیزیک، کینتین و اسیدجاسمونیک در پرایمینگ هورمونی استفاده می‌شوند (Marthandan et al., 2020). جیبرلین‌ها برای کنترل فرآیندهای فیزیولوژیکی و رشدی در گیاهان از جمله جوانه‌زنی شناخته شده‌اند و از این هورمون به‌طور گسترده‌ای برای بهبود سرعت جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و در نتیجه عملکرد استفاده شده است (Khan et al., 2020). گزارش شده است که پرایمینگ بذر با جیبرلین بر خواب بذر از طریق ضعیف شدن لایه‌های آندوسپرم و فعال‌شدن رشد جنین غلبه می‌کند (Pallaoro et al., 2016). هالو پرایمینگ، روش سنتی دیگر، شامل خیساندن بذور در محلول نمک معدنی مانند کلسیم سولفات ، سدیم کلرید یا پتاسیم نیترات است. پتاسیم نیترات یکی از ترکیبات اسمزی مورد استفاده در پیش‌تیمار بذر است که باعث رفع خواب بذر، بهبود جوانه‌زنی، رشد گیاهچه، شاخص‌های ساختار گیاهچه و افزایش فعالیت آنزیم آلفا_آمیلاز می‌شود (Ahmadi et al., 2023). نور تنها منبع انرژی برای گیاهان نیست؛ بلکه اطلاعات مهمی در مورد محیط اطراف بذر در اختیار آن‌ها قرار می‌دهد. همه بذرها به نور پاسخ نمی‌دهند، امّا بیشتر گیاهان با دانه‌های کوچک برای فرار از خواب و جوانه زدن موفقیت‌آمیز به مقدار مشخصی نور نیاز دارند (Savaedi et al., 2019). نیاز به نور، یک ویژگی ژنتیکی با واسطه فیتوکروم است که سنتز مواد محرک رشد را برای شروع جوانه‌زنی تحریک می‌کند (Jiang et al., 2016). سرما از جمله عواملی است که می‌تواند احتیاج به نور برای جوانه‌زنی را از طریق تغییر در میزان اسیدآبسیزیک/اسیدجیبرلیک و بیوسنتز جیبرلین رفع کند. بذر بسیاری از گیاهان که نیاز به سرما دارند باید زمستان را در بین مواد آلی مرطوب سطح خاک بگذرانند تا آماده رویش در بهار سال بعد شوند. بر این اساس، بذر در طول فصل سرد زمستان، قدرت جوانه‌زنی پیدا می‌کند (Reed et al., 2022).

نتایج پژوهشی که گیاه *Artemisia tridentata* Nutt. تحت مجموعه‌ای از تیمارهای نور و سرمای آزمایشگاهی قرار گرفتند، نشان داد که بذرهای اخیراً برداشت‌شده عمدتاً در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد غیرفعال بودند، امّا برای جوانه‌زنی کامل به نور نیاز داشتند (Meyer et al., 1990). در پژوهشی دیگر که روی گیاه *Artemisia sphaerocephala* انجام شد، نتایج نشان داد که در حضور نور، درصد جوانه‌زنی نهایی به‌طور قابل توجهی کاهش یافت (Zheng et al., 2005). نتایج پژوهش بررسی اثرات نوسان دما، نور و تاریکی بر دو گونه *A. sphaerocephala* و *A. ordosica* نشان داد که در دمای پایین، درصد جوانه‌زنی نهایی در شرایط تاریکی به‌طور قابل توجهی بیشتر از درصد جوانه زنی در نور بود (Lai et al., 2010). در پژوهشی که به‌منظور بررسی ۱۰ پیش‌تیمار شامل پیش‌خیساندن در آب خنک در دو مدت زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت، پیش‌خیساندن در آب جوش (۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) برای دو مدت ۵ و ۱۰ دقیقه، پیش‌خیساندن در اسیدسولفوریک (۰/۱ مول بر لیتر) به مدت ۱۵ و ۳۰ دقیقه، پیش‌خیساندن در اسیدجیبرلیک به مدت چهار ساعت در سه غلظت (10^{-5}، 10^{-4} و 10^{-3} مول بر لیتر) و خراش مکانیکی با کاغذ سنباده نرم بر روی جوانه‌زنی *A. herba-alba* طراحی شد. نتایج نشان داد که تنها خیساندن در آب خنک به مدت ۴۸ ساعت، بهترین عملکرد را داشت و توانست جوانه‌زنی را در مقایسه با شاهد بهبود دهد (Homrani-Bakali, 2015). از آنجایی‌که تلفیق روش‌های مختلف پرایمینگ، مانند پرایمینگ هیدرو + هورمونی یا پرایمینگ نور + هورمونی می‌تواند جوانه‌زنی را بیشتر بهبود بخشد، پس از بررسی‌های اولیه و پایین بودن درصد جوانه‌زنی بذور گیاه درمنه سفید قبل از عمل پرایم؛ این تحقیق با هدف بررسی اثر تیمارهای مختلف پرایمینگ نظیر اسیدجیبرلیک، پتاسیم نیترات، نور و سرمادهی خشک و مرطوب جهت بهبود صفات مختلف جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها در بذر گیاه درمنه سفید (*A. herba-alba*) انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی رفع خواب بذر و تقویت جوانه‌زنی بذر درمنه سفید تحت سطوح مختلف غلظت پتاسیم نیترات، هورمون اسیدجیبرلیک به مدت دو دوره زمانی و انتخاب تیمار برتر جهت تلفیق با تیمار نوری در چهار سطح، آزمایشی دو مرحله‌ای انجام شد.

تهیه و ذخیره‌سازی بذور درمنه سفید

بذور تازه‌بالغ گیاه درمنه سفید از منطقه سرابله– استان ایلام (رویشگاه طبیعی) با مختصات طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب ۳۳/۷۶۶۷ شمالی و ۴۶/۵۶۶۴ شرقی با ارتفاع ۱۰۵۰ متر از سطح دریا و میانگین بارش سالانه ۵۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌لیتر از منطقه محدودی در حدود یک کیلومترمربع (برای جلوگیری از ناهمگنی) در اواخر مهرماه ۱۴۰۲ جهت اجرای این پژوهش جمع‌آوری گردید. بذور جمع‌آوری‌شده در سایه خشک شده و تا زمان استفاده در کیسه‌های کاغذی قهوه‌ای‌رنگ نگهداری شدند.

آزمایش اول

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۳–۱۴۰۲ در آزمایشگاه گروه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز طراحی و اجرا شد. عامل اول آزمایش شامل تیمارهای هورمون اسیدجیبرلیک (Gibberellic acid, CAS 77-06-5 Merck 814464 % 95.0 ≥) با سه غلظت (۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)، پتاسیم نیترات با سه غلظت (۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) به همراه شاهد بودند که به‌صورت جداگانه اعمال شدند. عامل دوم شامل مدت زمان اعمال پرایمینگ در دو زمان ۱۲ و ۲۴ ساعت بود. به‌منظور اجرای این پژوهش، بذرهای گیاه درمنه سفید با سدیم هیپوکلریت یک درصد به مدت ۳۰ ثانیه و پس از آن با اتانول ۷۰ درصد به مدت یک دقیقه ضدعفونی و سپس چهار بار با آب مقطر شست‌وشو داده شدند. پس از شست‌وشو و ضدعفونی، تیمارها (نسبت وزن دانه به حجم محلول ۵:۱ (وزنی/حجمی) بود) اعمال گردید. سپس از هر تیمار ۱۰۰ عدد بذر با سه تکرار در داخل پتری‌دیش‌های یک‌بارمصرف با قطر دهانه هشت سانتی‌متر روی دو لایه کاغذ صافی استریل قرار داده شد و به ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ تا ۷۰ درصد منتقل گردید. ظهور ریشه‌چه به طول دو میلی‌متر به‌عنوان معیار جوانه‌زنی بذر تلقی شد. شمارش بذرهای جوانه‌زده به‌صورت روزانه در ساعات معین و تا زمانی‌که تعداد بذور جوانه‌زده ثابت گردید، ادامه یافت (ISTA, 2006).

آزمایش دوم

براساس نتایج آزمایش اول، آزمایش دوم با تیمار برتر در آزمایش اول (اسیدجیبرلیک ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به مدت ۱۲ ساعت) به همراه تیمارهای سرمادهی خشک و مرطوب به‌عنوان عامل اول در تلفیق با تیمار نوری در چهار سطح (۰ (تاریکی)، ۸، ۱۶ و ۲۴ ساعت) به‌عنوان عامل دوم انجام شد. تیمار هورمون اسیدجیبرلیک همانند آزمایش اول اعمال گردید. جهت اعمال تیمارهای سرمادهی خشک و مرطوب، بذور پس از ضدعفونی طبق دستورالعمل آزمایش اول در محیط خشک و مرطوب در دمای چهار درجه سانتی‌گراد در بازه زمانی دو هفته نگهداری شدند. سپس از هر تیمار ۱۰۰ عدد بذر با سه تکرار در داخل پتری دیش‌های یک‌بارمصرف با قطر دهانه هشت سانتی‌متر روی دو لایه کاغذ صافی استریل قرار داده شد و به ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ تا ۷۰ درصد منتقل گردید. ظهور ریشه‌چه به طول دو میلی‌متر به‌عنوان معیار جوانه‌زنی بذر تلقی شد. شمارش بذرهای جوانه‌زده به‌صورت روزانه در ساعات معین و تا زمانی‌که تعداد بذور جوانه‌زده ثابت گردید، ادامه یافت (ISTA, 2006).

بررسی خصوصیات جوانه‌زنی بذر

در پایان آزمایش‌ها، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و ارتفاع گیاهچه با استفاده از خط‌کش مدرج برحسب میلی‌متر با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد. وزن تر و خشک گیاهچه نیز با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری گردید. برای تعیین وزن خشک گیاهچه‌ها، گیاهچه‌ها در پاکت‌های کاغذی جداگانه قرار گرفتند و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شدند. درصد جوانه‌زنی از طریق شمارش تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز آخر به تعداد کل بذور محاسبه گردید. شاخص بنیه طولی بذر (SVI-I) از حاصل‌ضرب درصد جوانه‌زنی نهایی در ارتفاع گیاهچه و شاخص بنیه وزنی بذر (SVI-II) از حاصل‌ضرب درصد جوانه‌زنی نهایی در وزن خشک گیاهچه (معادله ۱ و ۲) به دست آمد (Abdul-Baki & Anderson, 1973).

$$\mathrm{SVI-I} = \text{Seedling length (cm)} \times \text{seed germination \%} \quad (۱)$$

$$\mathrm{SVI-II} = \text{Seedling dry weight (mg)} \times \text{seed germination \%} \quad (۲)$$

سرعت جوانه‌زنی بذرها با استفاده از روش ماگوئر (Maguire, 1962) محاسبه شد که در این معادله برابر با مجموع نسبت $\frac{Ni}{Ti}$ است، که *Ni*: تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر روز و *Ti*: تعداد روزهای پس از کاشت می‌باشد.

$$\text{Germination Rate} = \frac{Ni}{Ti} \quad (۳)$$

جهت سنجش فعالیت آنزیم آلفا–آمیلاز، پس از جوانه‌زنی بذور و رویش ریشه‌چه، یک گرم از بافت بذر برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آلفا–آمیلاز طبق روش شیائو و همکاران (Xiao et al., 2006) استفاده شد. ابتدا عصاره بذر با پنج میلی‌لیتر محلول بافر فسفات ۶۰ میلی‌مولار (pH = ۶/۸) استخراج و به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره بذر به لوله فالکون حاوی ۰/۵ میلی‌لیتر محلول نشاسته یک درصد اضافه شد. پس از انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰

دقیقه، واکنش تجزیه نشاسته با یک میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۰/۱ نرمال متوقف و به آن یک میلی‌لیتر معرف ید اضافه گردید. سپس حجم محلول با آب مقطر به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد و جذب نمونه در طول موج ۶۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Shimadzu-UV 1201 قرائت گردید. در نهایت، فعالیت آنزیمی برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بر دقیقه گزارش شد.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و محاسبات آماری

تجزیه آماری داده‌های صفات اندازه‌گیری‌شده، با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA) نسخه ۹/۴ انجام شد. برای مقایسه میانگین از آزمون LSD (p=۰/۰۵) استفاده گردید. شناسایی ارتباط میان صفات مورد بررسی و پراکندگی تیمارها، تحلیل‌هایی شامل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و ترسیم نقشه حرارتی همبستگی (HMC) با بهره‌گیری از نرم‌افزار R v1.3.959 Studio انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

آزمایش اول

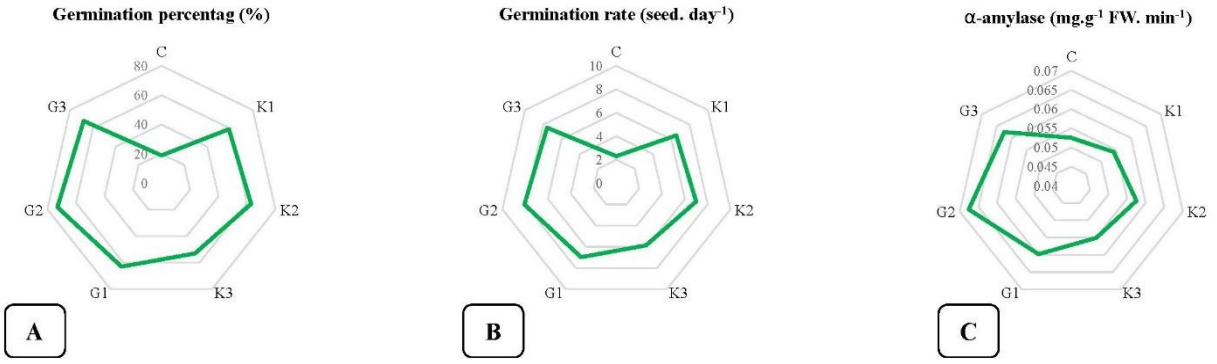
نتایج نشان داد که تیمار هورمون اسیدجیبرلیک و پتاسیم نیترات در تمامی سطوح بر صفات مورد بررسی اثر معنی‌داری داشتند، درحالی‌که اثر تیمار مدت زمان پرایمینگ معنی‌دار نشد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بالاترین طول ساقه‌چه (۱۳ میلی‌متر)، طول ریشه‌چه (۱۲ میلی‌متر)، طول گیاهچه (۲۵ میلی‌متر)، وزن تر گیاهچه (۰/۰۱۱۰ گرم)، وزن خشک گیاهچه (۰/۰۰۲۲ گرم)، شاخص بنیه طولی گیاهچه (۱۸۰۶/۳) و شاخص بنیه وزنی گیاهچه (۰/۱۶۰۴) در تیمار اسیدجیبرلیک ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ثبت گردید (جدول ۱).

در این پژوهش، کمترین درصد جوانه‌زنی در شاهد (۱۹ درصد) و بیشترین درصد جوانه‌زنی (۷۱ درصد در تیمار اسیدجیبرلیک (۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) ثبت گردید. در این صفت، تیمار اسیدجیبرلیک (۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) توانست درصد جوانه‌زنی را به‌میزان ۲۷۳/۶۸ درصد نسبت به شاهد افزایش دهد. در همین راستا، کمترین سرعت جوانه‌زنی در شاهد (۲/۳ بذر در روز) ثبت گردید. درحالی‌که بالاترین سرعت جوانه‌زنی (۸/۱ بذر در روز) در تیمار اسیدجیبرلیک (۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) ثبت شد. به‌تبع تحت تیمار اسیدجیبرلیک (۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) فعالیت آنزیم آلفا–آمیلاز به‌میزان ۹/۵۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت، به‌طوری‌که فعالیت این آنزیم در شاهد از ۰/۰۵۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بر دقیقه به ۰/۰۶۷۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بر دقیقه تحت تیمار اسیدجیبرلیک (۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) افزایش یافت (شکل ۱). طبق نتایج این مرحله، اسیدجیبرلیک ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تیمار برتر بود. ازاین‌رو این تیمار جهت فاز دوم آزمایش (تلفیق با تیمار نوری) انتخاب گردید.

جدول ۱- اثر کاربرد اسیدجیبرلیک و پتاسیم نیترات بر صفات جوانه‌زنی گیاه دارویی درمنه سفید (*A. herba-alba*)

Table 1- The effect of the gibberellic acid and potassium nitrate application on the germination traits of the medicinal plant *A. herba-alba*

تیمار / Treatment	طول ساقه‌چه Stem length (mm)	طول ریشه‌چه Root length (mm)	طول گیاهچه Seedling height (mm)	وزن تر دانهال Seedling fresh weight (g)	وزن خشک دانهال Seedling dry weight (g)	شاخص بنیه طولی Longitudinal vigor	شاخص بنیه وزنی Weight vigor
شاهد Control	8	7	15	0.0017	0.0004	294.5	0.0068
پتاسیم نیترات ۵۰ میلی‌مولار KNO_3 (50 mM)	9	8	17	0.0051	0.0010	1011.3	0.0609
پتاسیم نیترات ۱۰۰ میلی‌مولار KNO_3 (100 mM)	10	10	20	0.0066	0.0013	1271b	0.0840
پتاسیم نیترات ۱۵۰ میلی‌مولار KNO_3 (150 mM)	10	9	19	0.0060	0.0012	1013.3	0.06272
اسیدجیبرلیک ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر GA (250 $mg.L^{-1}$)	11	10	21	0.0078	0.0016	1351.7	0.0985
اسیدجیبرلیک ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر GA (500 $mg.L^{-1}$)	13	12	25	0.0110	0.0022	1806.3	0.1604
اسیدجیبرلیک ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر GA (1000 $mg.L^{-1}$)	11	11	22	0.0091	0.0018	1511.7	0.1241
LSD (0.05)	0.58	0.52	0.82	0.0009	0.0002	7395.00	0.00098



شکل ۱- اثر کاربرد اسیدجیبرلیک و پتاسیم نیترات بر درصد جوانه‌زنی (A)، سرعت جوانه‌زنی (B) و فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز (C) گیاه دارویی درمنه سفید (*A. herba-alba*)

Figure 1- The effect of gibberellic acid and potassium nitrate on the germination percentage (A), germination rate (B), and alpha-amylase enzyme activity (C) of the medicinal plant *A. herba-alba*

C: شاهد، K1: پتاسیم نیترات ۵۰ میلی‌مولار، K2: پتاسیم نیترات ۱۰۰ میلی‌مولار، K3: پتاسیم نیترات ۱۵۰ میلی‌مولار، G1: اسیدجیبرلیک ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، G2: اسیدجیبرلیک ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و G3: اسیدجیبرلیک ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر

In this figure, C: control, K1: 50 mM potassium nitrate, K2: 100 mM potassium nitrate, K3: 150 mM potassium nitrate, G1: 250 $mg.L^{-1}$ gibberellic acid, G2: 500 $mg.L^{-1}$ gibberellic acid and G3: 1000 $mg.L^{-1}$ gibberellic acid

اگرچه خواب بذر یک مزیت بوم‌شناختی جهت حفظ حیات گیاهان است که در شرایط مناسب جوانه زده تا نسل گیاه حفظ شود (Sasani et al., 2010)؛ ولی در برخی موارد، ضرورت رویاندن بذر قبل از اتمام دوره خواب وجود داشته و باید روش رویاندن این‌گونه بذرها مشخص شود (Hadi et al., 2012). نتایج این پژوهش نشان داد که در بین سه غلظت اسیدجیبرلیک، ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مؤثرترین بود (جدول و شکل ۱). در بررسی تأثیر پرایمینگ بذر بر طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه مشخص گردید که کاربرد هورمون اسیدجیبرلیک در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سبب افزایش معنی‌دار این صفات نسبت به سایر تیمارهای پرایمینگ بذر گردید (جدول ۱). افزایش تقسیم و توسعه سلولی سبب رشد طولی اندام‌های گیاهی از جمله ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌گردد. این فرآیند نیازمند تعادل مناسب میان هورمون‌های اکسین و سیتوکینین و صرف انرژی است. هورمون اسیدجیبرلیک علاوه‌بر اثر بر تعادل اکسین و سیتوکینین موجود در بذر سبب افزایش فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز درون بذر و در نتیجه تجزیه نشاسته به قند جهت تولید مولکول‌های حامل انرژی می‌گردد که این فعل‌وانفعالات سبب افزایش طول سلول‌ها گردیده، که این امر در نهایت موجب افزایش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه گیاه می‌شود (da Silva et al., 2005; Miransari & Smith, 2014; Shu et al., 2016). افزایش وزن خشک اندام‌های گیاهی از جمله بذر نیازمند تولید ماده خشک است و این امر نیز مستلزم تأمین عناصر غذایی و افزایش فتوسنتز در برگ گیاهچه است. بر این اساس، افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در پاسخ به این هورمون سبب بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش فرآیند فتوسنتز و تولید کربوهیدرات در گیاهچه گردیده و در نهایت وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه بذر را افزایش می‌دهد (Abdel-Baki et al., 2018; Hernández et al., 2021). میزان شاخص بنیه طولی و وزنی بذر به‌ترتیب از حاصل‌ضرب طول و وزن خشک گیاهچه در درصد جوانه‌زنی بذر به دست می‌آیند. افزایش طول گیاهچه نیازمند افزایش تقسیم و طویل شدن سلولی اندام‌های ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌باشد. از سوی دیگر، هورمون اسیدجیبرلیک از یک سو با تأمین انرژی لازم جهت جوانه‌زنی از طریق افزایش سطح فعالیت آنزیم آمیلاز (جهت تجزیه نشاسته موجود در بذر به قندهای ساده‌تر) و از سوی دیگر با تنظیم نسبت اکسین به سیتوکینین بذر، شرایط لازم را برای افزایش هرچه بیشتر تقسیم و توسعه سلولی گیاهچه فراهم می‌آورد که این امر سبب افزایش درصد جوانه‌زنی می‌گردد (Hernández et al., 2021; Choudhury & Bordolui, 2022; Mebratu, 2022).

استفاده از جیبرلین برون‌زا با افزایش توانایی جیبرلین درون‌زا در گیاه، نقش مطلوبی در شکستن خواب بذر و بهبود جوانه‌زنی دارد. محل اثر این هورمون در فرآیند جوانه‌زنی بذر آندوسپرم یا لپه است. جیبرلین اثر محرک خود را با فعال کردن واکنش‌های آنزیمی، حذف مهارکننده‌های متابولیک، سنتز پروتئین، افزایش تقسیم سلولی، افزایش طول سلول و افزایش جذب اکسیژن در جنین اعمال می‌کند (Mohammadi et al., 2013; Khan et al., 2020; Saffari et al., 2021). علاوه‌بر این، هورمون اسیدجیبرلیک با شکستن دیواره بذر، امکان خروج از ریشه را فراهم می‌کند، همچنین با تأثیر بر تعادل

اکسین و سیتوکینین و کاهش میزان اسیدبسیزیک در بذر، درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر را افزایش می‌دهد (Miransari & Smith, 2014; Shu et al., 2016). براساس نتایج به‌دست‌آمده، بذور پرایم‌شده توسط غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر هورمون اسیدجیبرلیک دارای بالاترین میزان فعالیت آنزیم آلفا- آمیلاز بودند (شکل ۱). میزان تولید و فعالیت آنزیم آلفا- آمیلاز به تعادل هورمون‌های اسیدجیبرلیک و اسیدآبسیزیک وابسته است. هورمون اسیدجیبرلیک نسخه‌برداری و ترجمه ژن‌های کدکننده آنزیم‌های هیدرولیزکننده مانند آلفا-آمیلاز را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، سنتز آنزیم آلفا-آمیلاز نیازمند اسیدآمینه است و هورمون اسیدجیبرلیک، میزان تولید و فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین را بالا می‌برد (Bewley et al., 2013; Taiz & Zieger, 2010; Nie et al., 2022). براساس نتایج تحقیق حاضر نیز به نظر می‌رسد که اعمال خارجی هورمون اسیدجیبرلیک در پرایمینگ بذر گیاه درمنه سفید با افزایش نسبت اسیدجیبرلیک به اسیدآبسیزیک، میزان تولید و فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز بذر را بالا برده و سبب افزایش میزان شاخص‌های جوانه‌زنی آن گردید. این در حالی است که در پژوهشی که در سال ۲۰۱۵ روی گیاه درمنه توسط همرانی-بابکی (Homrani-Bakali, 2015) انجام شد، اعمال تیمار اسیدجیبرلیک بر صفات اندازه‌گیری معنی‌دار نشد که علت آن را می‌توان به غلظت کم یا مدت زمان کوتاه اعمال تیمار نسبت داد. از بین غلظت‌های پتاسیم نیترات، غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار بیشترین تأثیر را بر تمامی صفات در این گیاه داشت (جدول و شکل ۱). در رابطه با تأثیر مثبت پتاسیم نیترات بر طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه نیز به نظر می‌رسد که احتمالاً این ترکیب با افزایش غلظت پتاسیم سلول، با بالابردن قدرت جذب آب سلول و اثر مثبت بر میزان هورمون اسیدجیبرلیک درون‌زاد و هورمون‌های اکسین و سیتوکینین موجب افزایش صفات مذکور گردید. افزایش طول ریشه‌چه نیز موجب افزایش جذب آب و عناصر غذایی و در نتیجه آن افزایش وزن خشک گیاهچه می‌گردد (Abdel-Baki et al., 2018; Hernández et al., 2021). محققان با مطالعه اثر پتاسیم نیترات دریافتند که یون پتاسیم موجود در پتاسیم نیترات، نفوذپذیری دیواره سلولی را افزایش می‌دهد و در نهایت منجر به افزایش سطح فعالیت آنزیم و متابولیسم سلول می‌شود. همچنین اثر تحریکی این ماده بر جوانه‌زنی بذر گیاهان را می‌توان به تغییر نسبت هورمونی در بذر و احتمالاً تعدیل در مهارکننده‌هایی مانند اسیدآبسیزیک نسبت داد، بنابراین خواب شیمیایی را برطرف می‌کند (Saffari et al., 2021). پتاسیم نیترات با افزایش درصد جوانه‌زنی، طول و وزن گیاهچه دارای اثر مثبت بر شاخص بنیه بذر بود (Hernández et al., 2021; Choudhury & Bordolui, 2022; Mebratu, 2022). نقش پیش‌تیمار پتاسیم نیترات در افزایش میزان تولید هورمون‌های GA_1 و GA_4 و کاهش محتوای ABA، افزایش پتاسیم، آماس سلولی بذر و سنتز آنزیم‌های هیدرولیزکننده مانند آلفا-آمیلاز گزارش شده است (Homrani-Bakali, 2015; Vidal et al., 2018; Hernández et al., 2021). در این مطالعه، رابطه واضحی بین افزایش فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز و افزایش جوانه‌زنی بذرهای تحت تیمار مشاهده شد (شکل ۱).

افزایش غلظت پتاسیم نیترات و اسیدجیبرلیک باعث کاهش تمامی صفات مورد بررسی علی‌الخصوص سرعت جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز شد که نشان می‌دهد افزایش شوری و فشار اسمزی زیاد باعث کاهش جذب آب و مرگ سلولی در بذر می‌شود. افزایش غلظت پتاسیم نیترات می‌تواند منجر به پتانسیل اسمزی بیشتر، تجمع یون در جنین، از دست دادن زنده‌مانی بذر، مرگ سلولی و کاهش درصد جوانه‌زنی شود. افزایش شدید غلظت محلول پتاسیم می‌تواند باعث مهار سنتز سیتوکینین و افزایش اسیدآبسیزیک شود که باعث کاهش جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه می‌شود (Prasad et al., 2018). بااین‌حال، با توجه به نتایج تحقیق حاضر به نظر می‌رسد که به‌رغم افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی در پیش‌تیمار پتاسیم نیترات نسبت به بذور پرایم‌نشده، اعمال خارجی هورمون اسیدجیبرلیک به‌دلیل تأثیر مستقیم و بالاتر بر افزایش میزان این هورمون در گیاه و تحریک بیشتر فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز سبب بهبود بیشتر شاخص‌های مذکور در بذر نسبت به تیمار پتاسیم نیترات گردید.

آزمایش دوم

نتایج بررسی صفات تحت تیمار نوری نشان داد که افزایش مدت زمان اعمال نور سبب کاهش در صفات طول ساقه‌چه ۴۲/۸۵ درصد، طول ریشه‌چه ۴۶/۱۵ درصد، طول گیاهچه ۴۴/۴ درصد، وزن تر گیاهچه ۸۷/۷۵ درصد، وزن خشک گیاهچه ۹۰ درصد، شاخص بنیه طولی گیاهچه ۳۷/۱۸ درصد و شاخص بنیه وزنی گیاهچه ۷۸/۸ درصد گردید (جدول ۲). در صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و میزان فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز تحت تیمار ۱۶ ساعت نور به‌ترتیب ۶۴/۷ درصد، ۶۴/۳ درصد و ۹/۸ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان دادند (شکل ۲).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که طول ساقه‌چه ۴/۶۷ درصد، طول ریشه‌چه ۷/۶۹ درصد، طول گیاهچه ۶/۱۱ درصد، وزن تر گیاهچه ۴/۰۸ درصد، شاخص بنیه طولی گیاهچه ۲۶/۹۹ درصد، شاخص بنیه وزنی گیاهچه ۲۴/۲۴ درصد، درصد جوانه‌زنی ۱۷/۶۴ درصد، سرعت جوانه‌زنی ۲۰/۶۵ درصد و میزان فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز ۱/۷ درصد در تیمار سرمادهی خشک نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول و شکل ۲).

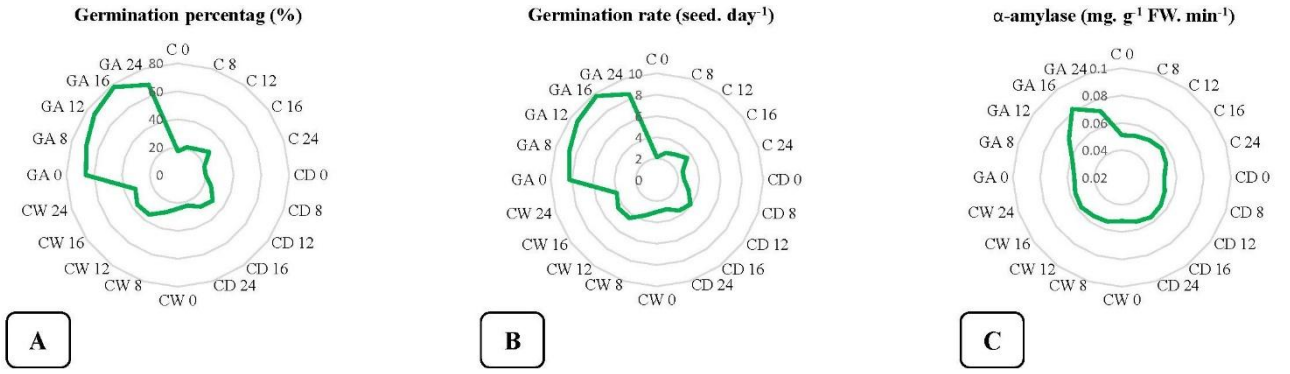
در این پژوهش، بررسی نتایج مقایسه میانگین نشان داد که طول ساقه‌چه ۱۱/۶۵ درصد، طول ریشه‌چه ۱۵/۳۸ درصد، ارتفاع گیاهچه ۱۳/۴۲ درصد، وزن تر گیاهچه ۱۲/۲۴ درصد، وزن خشک گیاهچه ۱۰ درصد، شاخص بنیه طولی گیاهچه ۶۰/۲۳ درصد، شاخص بنیه وزنی گیاهچه ۶۰/۶ درصد، درصد جوانه‌زنی ۴۱/۱۷ درصد، سرعت جوانه‌زنی ۴۰/۸۴ درصد و میزان فعالیت آنزیم آلفا–آمیلاز ۱/۹۶ درصد در تیمار سرمادهی مرطوب نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول و شکل ۲).

همچنین نتایج نشان داد که تیمار هورمون اسیدجیبرلیک در تلفیق با تیمار نوری در تمامی سطوح بر صفات مورد بررسی اثر معنی‌داری داشتند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که افزایش مدت‌زمان اعمال نور، سبب کاهش در صفات طول ساقه‌چه ۲۸/۵۷ درصد، طول ریشه‌چه ۲۳/۰۷ درصد، طول گیاهچه ۲۵/۹۲ درصد، وزن تر گیاهچه ۳۰/۶ درصد، و وزن خشک گیاهچه ۵۰ درصد نسبت به شاهد گردید (جدول ۲). تحت تیمار ۱۶ ساعت نور در تلفیق با هورمون اسیدجیبرلیک، بیشترین شاخص بنیه طولی (۲۴۲۷) و وزنی گیاهچه (۰/۱۶۹)، درصد جوانه‌زنی (۷۸ درصد)، سرعت جوانه‌زنی (۹/۷۳ بذر در روز) و میزان فعالیت آنزیم آلفا–آمیلاز (۰/۰۸۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بر دقیقه) ثبت گردید (جدول و شکل ۲).

جدول ۲- اثر نور در تلفیق با اسیدجیبرلیک، سرمادهی خشک و مرطوب بر صفات جوانه‌زنی گیاه دارویی درمنه سفید (*A. herba-alba*)

Table 2- The effect of light in combination with using gibberellic acid, dry and wet chilling on the germination traits of the medicinal plant *A. herba-alba*

تیمار Treatment	نور Light (hrs.)	طول ساقه‌چه Stem length (mm)	طول ریشه‌چه Root length (mm)	طول گیاهچه Seedling height (mm)	وزن تر دانهال Seedling fresh weight (g)	وزن خشک دانهال Seedling dry weight (g)	شاخص بنیه طولی Longitudinal vigor	شاخص بنیه وزنی Weight vigor
شاهد Control	0	14d	13	27	0.0098	0.0020	464.33	0.033
	8	12	12	24	0.0090	0.0018	512.00	0.039
	12	11	10	21	0.0072	0.0014	490.00	0.033
	16	10	9	19	0.0055	0.0011	532.00	0.022
	24	8	7	15	0.0012	0.0002	291.67	0.007
سرمادهی خشک Cold –(dry treatment)	0	15	14	29	0.0102	0.0020	589.67	0.041
	8	14	12	26	0.0094	0.0019	641.33	0.048
	12	11	11	22	0.0077	0.0015	682.00	0.048
	16	10	9	19	0.0061	0.0012	538.33	0.028
	24	8	8	16	0.0016	0.0003	368.33	0.009
سرمادهی مرطوب Moist-cold treatment	0	16	15	31	0.0110	0.0022	744.00	0.053
	8	14	13	27	0.0096[f]	0.0019	746.33	0.053
	12	11	11	22	0.0082	0.0016	777.33	0.058
	16	10	10	20	0.0064	0.0013	713.33	0.041
	24	9	8	17l	0.0028	0.0006	538.33	0.020
اسیدجیبرلیک Gibberellic acids	0	21	17	38	0.0151	0.0030	2495.67	0.197
	8	19	16	35	0.0121	0.0024	2427.00	0.169
	12	11	11	22	0.0085	0.0017	1652.33	0.126
	16	10	10	20	0.0068	0.0010	1579.33	0.106
	24	9	8	17	0.0050	0.0014	1173.00	0.068
LSD (0.05)	-	0.18	0.10	0.41	0.0002	0.00001	6572.42	0.0036



شکل ۲- اثر نور در تلفیق با هورمون اسیدجیبرلیک، سرمادهی خشک و مرطوب بر درصد جوانه‌زنی (A)، سرعت جوانه‌زنی (B) و فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز (C) گیاه دارویی درمنه سفید (*A. herba-alba*)

Figure 2- The effect of light in combination with using gibberellic acid, dry and wet chilling on germination percentage (A), germination rate (B), and alpha-amylase enzyme activity (C) of the medicinal plant *A. herba-alba*

C0: شاهد + صفر ساعت نور، C8: شاهد + ۸ ساعت نور، C16: شاهد + ۱۶ ساعت نور، C24: شاهد + ۲۴ ساعت نور، CD0: سرمادهی خشک + صفر ساعت نور، CD8: سرمادهی خشک + ۸ ساعت نور، CD16: سرمادهی خشک + ۱۶ ساعت نور، CD24: سرمادهی خشک + ۲۴ ساعت نور، CW0: سرمادهی مرطوب + صفر ساعت نور، CW8: سرمادهی مرطوب + ۸ ساعت نور، CW16: سرمادهی مرطوب + ۱۶ ساعت نور، CW24: سرمادهی مرطوب + ۲۴ ساعت نور، GA0: اسیدجیبرلیک + صفر ساعت نور، GA8: اسیدجیبرلیک + ۸ ساعت نور، GA16: اسیدجیبرلیک + ۱۶ ساعت نور و GA24: اسیدجیبرلیک + ۲۴ ساعت نور

In this figure, C0: control + zero hours of light, C8: control + 8 hours of light, C16: control + 16 hours of light, C24: control + 24 hours of light, CD0: dry chilling + zero hours of light, CD8: dry chilling + 8 hours of light, CD16: dry chilling + 16 hours of light, CD24: dry chilling + 24 hours of light, CW0: wet chilling + zero hours of light, CW8: wet chilling + 8 hours of light, CW16: wet chilling + 16 hours of light, CW24: wet chilling + 24 hours of light, GA0: gibberellic acid + zero hours of light, GA8: gibberellic acid + 8 hours of light, GA16: gibberellic acid + 16 hours of light and GA24: gibberellic acid + 24 hours of light

براساس نتایج به‌دست‌آمده، تعامل بین دوره‌های نوردهی (۰ تا ۲۴ ساعت) و تیمارهای سرمادهی (خشک و مرطوب) الگوی منظم و قابل تکراری از پاسخ‌های ریخت‌شناختی و جوانه‌زنی را نشان داد. به‌طورکلی، افزایش مدت زمان اعمال نور از صفر به ۲۴ ساعت منجر به کاهش قابل توجه صفات ریخت‌شناختی مانند طول ساقه‌چه، ریشه‌چه و وزن خشک گیاهچه در تمامی تیمارها شامل شاهد، سرمادهی خشک و سرمادهی مرطوب شد. بااین‌حال، در مقابل این کاهش صفات رشدی، درصد و سرعت جوانه‌زنی تا یک نقطه بهینه (۱۶ ساعت نور) افزایش یافت و پس از آن رو به کاهش گذاشت. در این میان، تیمار سرمادهی مرطوب به‌وضوح برترین روش برای شکست خواب بذر بود و در ترکیب با نور، بهترین نتایج را ایجاد کرد. به‌عنوان مثال، سرمادهی مرطوب به‌تنهایی و در تاریکی توانست درصد جوانه‌زنی را نسبت به شاهد ۴۱٪/۱۷ افزایش دهد. نکته قابل توجه در اثر متقابل این دو عامل، تعدیل نیاز نوری بذر توسط سرمادهی مرطوب است؛ به‌طوری‌که در شرایط شاهد، دوره نوری ۱۶ ساعت بهینه بود، امّا در تیمار سرمادهی مرطوب، دوره‌های نوری کوتاه‌تر (۸ تا ۱۲ ساعت) نیز به درصد و سرعت جوانه‌زنی مطلوبی منجر شدند. این یافته حاکی از یک اثر هم‌افزایی (سینرژیسم) بین سرمادهی مرطوب و اعمال دوره‌های نوری متعادل است که با یکدیگر توانایی بذر برای غلبه بر موانع خواب را به حداکثر می‌رسانند.

قوی‌ترین تعامل سینرژیک در این مطالعه بین هورمون اسیدجیبرلیک (جیبرلین) و تیمار نوری مشاهده شد. هرچند کاربرد جیبرلین در تاریکی (۰ ساعت نور) به‌تنهایی منجر به افزایش چشمگیر همه صفات نسبت به شاهد شد که نشان‌دهنده توانمندی مستقل این هورمون در القای مسیرهای متابولیکی مورد نیاز برای رفع خواب بذری است. امّا ترکیب آن با دوره نوری بهینه، هم‌افزایی قوی‌تری ایجاد کرد و بالاترین مقادیر رشد و توسعه را در اکثر شاخص‌ها به دست آورد. به‌ویژه، تلفیق جیبرلین با ۱۶ ساعت نور بیشترین درصد جوانه‌زنی (۷۸ درصد) را در کل آزمایش ثبت کرد. این تعامل قوی را می‌توان ناشی از تأثیر هم‌زمان این دو عامل بر سازوکارهای مکمل رفع خواب دانست، به‌گونه‌ای‌که جیبرلین با افزایش سنتز و فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز، انرژی لازم را فراهم می‌کند و نور از طریق فیتوکروم با سرکوب هورمون‌های بازدارنده مانند اسیدآبسیزیک و تنظیم بیان ژن‌های مرتبط با مسیر جیبرلین، موانع متابولیکی و فیزیکی خواب بذری را از میان برمی‌دارد. بدین ترتیب، مواجهه هم‌زمان با جیبرلین و نور، بهینه‌ترین شرایط را برای جوانه‌زنی و رشد اولیه بذور فراهم می‌آورد.

با توجه به نتایج این تحقیق، بذور درمنه سفید به نور حساسیت مثبتی را نشان دادند. این مشاهدات نشان می‌دهد که درمنه سفید متعلق به گونه‌های فتوبلاستیک مثبت است (Dudareva, 2024).

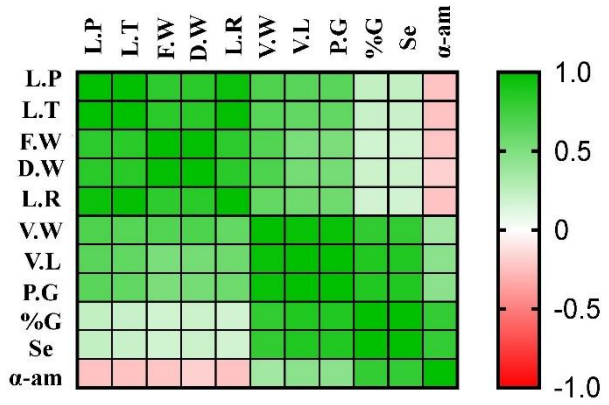
حساسیت به نور ناشی از محیط‌زیست بذر معمولاً به‌عنوان سازگاری تفسیر می‌شود که تضمین می‌کند بذر در مکان‌هایی که احتمال استقرار گیاهچه زیاد است، جوانه بزند (Motsa et al., 2015). بذر این گونه احتمالاً ترجیح می‌دهد که در سطح خاک یا نزدیک به آن جوانه بزند. حساسیت به نور یک ویژگی ژنتیکی است و با واسطه فیتوکروم می‌باشد که سنتز مواد محرک رشد را تحریک می‌کند و سبب جوانه‌زنی می‌گردد (Savaedi et al., 2019). نور به دانه‌ها سیگنال می‌دهد که بفهمند آیا به سطح خاک نزدیک هستند یا خیر. بذرهای کوچک، ذخیره غذای بسیار کمی دارند و اگر خیلی عمیق در خاک جوانه بزنند، مخازن غذا نمی‌توانند از رشد گیاهچه برای سبز شدن موفق پشتیبانی کنند (Fenner, 2012). در این پژوهش، ویژگی‌های ریخت‌شناختی گیاهچه‌های درمنه سفید تحت تأثیر نور قرار گرفتند. گیاهچه‌های درمنه سفید که تحت نور رشد کردند، ساقه‌چه و ریشه‌چه کوتاه‌تری داشتند که مطابق با نتایج به‌دست‌آمده برای گونه‌های دیگر بود (da Silva & Debergh, 1997; Schuerger et al., 1997; Nguyen et al., 2013). طول ریشه‌چه و ساقه‌چه از شاخص‌های مهم و مؤثر در مرحله جوانه‌زنی است، زیرا ریشه در تماس مستقیم با خاک است و آب را از خاک جذب و ساقه نیز آب و مواد محلول را از ریشه به سایر نقاط منتقل می‌کند (Gregory, 2007). طویل شدن طولی ساقه‌چه در گیاهچه‌های که در تاریکی رشد کردند، می‌تواند به‌دلیل مصرف ذخایر بذر جهت رشد سریع گیاهچه و اکتساب سریع نور و آغاز فتوسنتز باشد (Wang et al., 2021). بیشترین درصد جوانه‌زنی در دوره نوری ۱۶ ساعت مشاهده گردید. مشخص شده است که نور، سطح بیان ژن‌های آنابولیکی اسیدجیبرلیک را افزایش و بیان ژن کاتابولیسم را متوقف می‌کند (Goggin et al., 2008). در این پژوهش ممکن است که نور با فعال کردن هورمون اسیدجیبرلیک سبب افزایش فعالیت آنزیم آلفا–آمیلاز شده باشد.

سازوکار سرما در شکستن خواب بذرها به‌طور کامل مشخص نشده است، زیرا سرما تمامی فرآیندهای متابولیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برخی از محققان بر این باورند که سرما با تأثیر بر تمام فرآیندهایی که سازوکار جوانه‌زنی بذر را متوقف می‌کند، موانع جوانه‌زنی را از بین می‌برد و در نتیجه، بذر می‌تواند جوانه بزند (Fenner &Thompson, 2005). در دمای پایین، سرما سبب کاهش مقاومت مکانیکی پوشش بذر شده و بر همین اساس، اکسیژن جنینی بهتر تأمین می‌شود. همچنین سرما به‌واسطه اثری که در کاهش میزان اسیدآبسیزیک و افزایش اسیدجیبرلیک دارد سبب برطرف نمودن عوامل بازدارنده جوانه‌زنی شده و ازاین‌رو باعث افزایش تعداد بذرهای جوانه‌زده در واحد زمان و افزایش سرعت جوانه‌زنی می‌گردد (Nandula et al., 2006). گزارش شده است که معمولاً دمای پنج درجه سانتی‌گراد یا اندکی کمتر برای گیاهانی که در اقلیم‌های سرد می‌رویند، بیشترین تأثیر را در رفع خواب بذر دارد. بررسی اثرات محتوای رطوبت بذر در طول سرما نشان داده است که مقداری رطوبت برای تأثیر سرمادهی برای جوانه‌زنی بذر لازم است. سرما در جوانه‌زنی بذرهای با رطوبت ۲۰ درصد به‌میزان کم مؤثر است و در بذرهایی که رطوبت آن‌ها کمتر از ۱۵ درصد است، تأثیر ندارد (O Reilly & De Atrip, 2007). در بذور، سرمادهی مرطوب منجر به تغییر نسبت فیتوهورمون‌های مؤثر بر جوانه‌زنی خواهد شد که پس از فعال‌سازی آنزیم‌های تجزیه‌کننده ذخیره غذایی بذر موجب تغذیه جنین و افزایش جوانه‌زنی می‌گردد (Angelini et al., 2021). همچنین النبوی و همکاران (El-Nabawy et al., 1980) گزارش نمودند در بذوری که تحت تیمار سرمادهی مرطوب قرار گرفته‌اند، سرمادهی مرطوب موجب افزایش سنتز اسیدهای نوکلوئیک شد و این امر موجب افزایش تقسیم سلولی در محور جنینی گردید. ازاین‌رو تیمار سرمای مرطوب با افزایش سطح فعالیت آنزیم و تولید اسیدهای آمینه لازم برای استفاده جنین در طول رشد، در کوتاه‌کردن دوره خواب بذر مؤثر بود.

همبستگی و تجزیه‌وتحلیل مؤلفه اصلی (PCA) جوانه‌زنی بذر درمنه سفید (*A. herba*-alba)

نتایج همبستگی نقشه حرارتی (HMC) نشان داد که بین صفات ارتفاع گیاهچه، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر و خشک گیاهچه، شاخص بنیه طولی و وزنی، سرعت و درصد جوانه‌زنی همبستگی مثبت وجود دارد. همچنین آنزیم آلفا–آمیلاز با شاخص بنیه طولی و وزنی، سرعت و درصد جوانه‌زنی همبستگی مثبت داشت و با ارتفاع گیاهچه، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و همچنین وزن تر و خشک گیاهچه همبستگی منفی نشان داد. در این پژوهش، شاخص بنیه طولی و وزنی و همچنین سرعت و درصد جوانه‌زنی با تمامی صفات مورد بررسی همبستگی مثبت نشان دادند (شکل ۳).

شکل ۴–A تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی نشان داد که تجمیع دو مؤلفه اصلی ۸۶/۳۵ درصد از تغییرات را توضیح دادند که بر این اساس، ۷۸/۵۳ درصد از مؤلفه اول و ۷/۸۲ درصد از مؤلفه دوم را شامل می‌شود. براساس این تجزیه و تحلیل، طول گیاهچه، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، شاخص بنیه طولی و وزنی، سرعت، درصد جوانه‌زنی و آنزیم آلفا–آمیلاز که بالاترین این صفات در تیمارهای هورمون اسیدجیبرلیک و پتاسیم نیترات ثبت گردید در بارگذاری مؤلفه اول نقش داشتند. تیمار زمان در بارگذاری مؤلفه اصلی دوم نقش داشت.



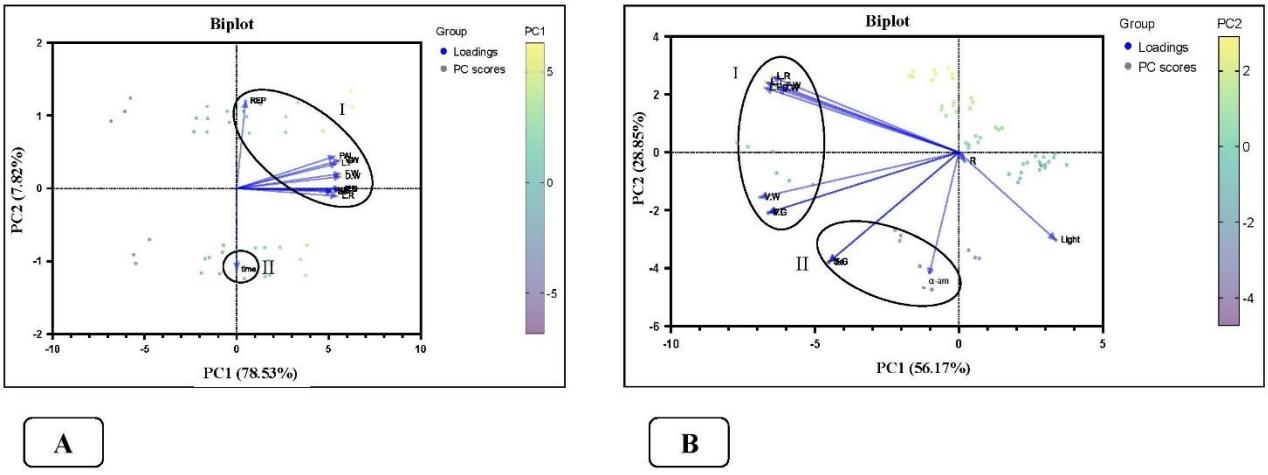
شکل ۳- همبستگی نقشه حرارتی (HMC) اثر نور (۲۴، ۱۶، ۱۲، ۸ و صفر ساعت) در تلفیق با هورمون اسیدجیبرلیک، سرمادهی خشک و مرطوب بر صفات جوانه‌زنی گیاه دارویی درمنه سفید (*A. herba-alba*)

Figure 3- Heat map correlation (HMC) of the effect of light (24, 16, 12, 8, and 0 hours) in combination with using gibberellic acid, dry and wet chilling on germination traits of the medicinal plant *A. herba-alba*

L.P: طول ساقچه، L.T: طول گیاهچه، F.W: وزن تر گیاهچه، D.W: وزن خشک گیاهچه، L.R: طول ریشه‌چه، V.W: شاخص بنیه وزنی، V.L: شاخص بنیه طولی، G%: درصد جوانه‌زنی، Se: سرعت جوانه‌زنی و α-am: آنزیم آلفا-آمیلاز

L.P: stem length, L.T: seedling height, F.W: seedling fresh weight, D.W: seedling dry weight, L.R: root length, V.W: weight vigor index, V.L: longitudinal vigor index, G%: germination percentage, Se: germination rate, and α-am: alpha-amylase enzyme

شکل ۴-B تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی نشان داد که تجمیع سه مؤلفه اصلی ۹۲/۷۳ درصد از تغییرات را توضیح دادند که بر این اساس، ۵۶/۱۷ درصد از مؤلفه اول، ۲۸/۸۵ درصد از مؤلفه دوم و ۷/۷۱ درصد از مؤلفه سوم را شامل می‌شود. براساس این تجزیه و تحلیل، طول گیاهچه، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، شاخص بنیه طولی و وزنی و سرعت جوانه‌زنی که بالاترین این صفات در تیمار نوری ثبت گردید در بارگذاری مؤلفه اول نقش داشت. درصد جوانه‌زنی و آنزیم آلفا-آمیلاز که بالاترین آن در تیمار تلفیقی نور به همراه اسیدجیبرلیک ثبت گردید در بارگذاری مؤلفه دوم نقش داشتند.



شکل ۴- تجزیه مؤلفه اصلی اثر هورمون اسیدجیبرلیک و پتاسیم نیترات (۲۴، ۱۶، ۱۲، ۸ و صفر ساعت) در تلفیق با اسیدجیبرلیک، سرمادهی خشک و مرطوب (B) بر صفات جوانه‌زنی گیاه دارویی درمنه سفید (*A. herba-alba*)

Figure 4- Principal component analysis of the effect of gibberellic acid and potassium nitrate (A), light (24, 16, 12, 8, and 0 hours) in combination with gibberellic acid, dry and wet chilling (B) on germination traits of the medicinal plant *A. herba-alba*

نتیجه‌گیری

جوانه‌زنی بذر یک فرآیند فیزیولوژیکی پیچیده است که به سیگنال‌های محیطی مانند نور، آب و عوامل دیگر پاسخ می‌دهد. نتایج این تحقیق به‌وضوح نشان داد که برای دستیابی به حداکثر بازدهی در جوانه‌زنی بذرهای درمنه سفید، استفاده از یک راهبرد تلفیقی که برهم‌کنش مثبت عوامل مختلف را هدف قرار می‌دهد، بسیار برتر از به‌کارگیری تک تیمارها است. در میان این تعاملات، اثر متقابل هورمون اسیدجیبرلیک و نور، قوی‌ترین و مؤثرترین ترکیب شناخته شد که توانست درصد جوانه‌زنی را از ۲۰ درصد در بذرهای تیمارنشده به ۷۸ درصد افزایش دهد. همچنین تیمار سرمادهی مرطوب نیز نشان داد که می‌تواند نیاز نوری بذر را کاهش داده و در ترکیب با دوره‌های نوری کوتاه‌تر، نتایج ممتازی ایجاد کند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که خواب بذر درمنه سفید ناشی از موانع متابولیک و فیزیکی است که با به‌کارگیری هم‌زمان محرک‌های هورمونی مانند جیبرلین و سیگنال‌های محیطی مانند نور و سرمادهی مرطوب به بهترین شکل قابل غلبه هستند. این یافته‌ها راهکاری عملی و کم‌هزینه را برای احیاء و کشت پایدار این گونه دارویی در معرض خطر انقراض ارائه می‌دهد.

سپاسگزاری

این اثر تحت حمایت مادی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته شده از طرح شماره «۴۰۳۹۷۰۰» انجام شده است.

References

1. Abdel-Baki, G. K., Shaddad, M. A. K., Mostafa, D., & Rafat, A. S. (2018). The effect of seed presoaking with KNO3 on seed germination, proline, protein pattern, ß-amylase and mineral composition of two faba bean cultivars treated with NaCl. *Egyptian Journal of Botany*, *58*(3), 445-461. https://doi.org/10.21608/ejbo.2018.3423.1166.
2. Abdul Baki, A. A., & Anderson, J. D. (1973). Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science*, *13*, 630-633. https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x.
3. Ahmadi, K., Omidi, H., & Soltani, E. (2023). Efficacy of KNO_3 and priming duration for improving germination, seedling growth, and antioxidant enzymes of keluss (*Kelussia odoratissma* Mozaff). *Acta Ecologica Sinica*, *43*(6), 1120-1128. https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2023.04.003.
4. Aljaiyash, A., Kasrati, A., Jamali, C. A., & Chaouch, A. (2018). Effect of cultivation on chemical composition and bioactivities of essential oils from *Artemisia herba-alba* Asso grown in Morocco. *Biochemical Systematics and Ecology*, *81*, 74-79. https://doi.org/10.1016/j.bse.2018.10.001.
5. Angelini, L. G., Clemente, C., & Tavarini, S. (2021). Pre-germination treatments, temperature, and light conditions improved seed germination of *Passiflora incarnata* L. *Agriculture*, *11*(10), 937. https://doi.org/10.3390/agriculture11100937.
6. Avato, P., Laquale, S., Argentieri, M. P., Lamiri, A., Radicci, V., & D'Addabbo, T. (2017). Nematicidal activity of essential oils from aromatic plants of Morocco. *Journal of Pest Science*, *90*, 711-722. https://doi.org/10.1007/s10340-016-0805-0.
7. Bellili, S., Dhifi, W., Khsif Al Garni, A. B., Flamini, G., & Mnif, W. (2016). Essential oil composition and variability of *Artemisia herba-alba Asso.* growing in Tunisia: Comparison and chemometric investigation of different plant organs. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, *6*(7), 38-42. https://dx.doi.org/10.7324/JAPS.2016.60705.
8. Bewley, J. D., Bradford, K., Hilhorst, H., & Nonogaki, H. (2013). Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy. Springer-Verlag, New York, 392 pp. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4_8.
9. Bhatla, S. C., & Lal, M. A. (2023). Seed dormancy and germination. In Plant Physiology, Development and Metabolism. Singapore: Springer Nature Singapore. pp. 625-640. https://doi.org/10.1007/978-981-99-5736-1_28.
10. Chandel, N. S., Tripathi, V., Singh, H. B., & Vaishnav, A. (2023). Breaking seed dormancy for sustainable food production: Revisiting seed priming techniques and prospects. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 55, 102976. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102976.

11. Choudhury, A., & Bordolui, S. K. (2022). Inducement of seed priming with potassium nitrate on quality performance of chickpea (*Cicer arietinum* L.). In *Biological Forum–An International Journal*, *4*, 779-783.
12. da Silva, E. A., Toorop, P. E., Nijsse, J., Bewley, J. D., & Hilhorst, H. W. (2005). Exogenous gibberellins inhibit coffee (*Coffea arabica* cv. Rubi) seed germination and cause cell death in the embryo. *Journal of Experimental Botany*, *56*(413), 1029-1038. https://doi.org/10.1093/jxb/eri096.
13. da Silva, M. M., & Debergh, P. C. (1997). The effect of light quality on the morphogenesis of *in vitro* cultures of *Azorina vidalii* (Wats.) Feer. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, *51*, 187-193. https://doi.org/10.1023/A:1005988621036.
14. Dudareva, L. (2024). Phytochrome (S): The main agent of action of low-intensity he–ne laser radiation on seeds of cultivated plants: A review. *Journal of Plant Growth Regulation*, *43*(2), 382-401. https://doi.org/10.1007/s00344-023-11118-5.
15. El-Nabawy, S., Rawash, M. A., Desouky, I., El-Hamady, A., & Khalil, F. (1980). Effect of stratification and GA_3 on the germination of pecan seeds and subsequent seedling growth.*Ann Agric Sci Fac Agric Ain-Shams Univ Egypt*, 25, 323-338.
16. Fenner, M., & Thompson, K. (2005). The Ecology of Seeds. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 264 p. https://doi.org/10.1017/CBO9780511614101.
17. Fenner, M. W. (2012). Seed Ecology. Springer Science & Business Media. Springer Dordrecht. 151 p. https://doi.org/10.1007/978-94-009-4844-0.
18. Goggin, D. E., Steadman, K. J., & Powles, S. B. (2008). Green and blue light photoreceptors are involved in maintenance of dormancy in imbibed annual ryegrass (*Lolium rigidum*) seeds. *New Phytologist*, *180*(1), 81-89. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02570.x.
19. Gregory, P. (2007). Plant Roots: their Growth, Activity, and Interaction with Soils. Wiley Online Library. 328 p. https://doi.org/ 10.1002/9780470995563.
20. Hadi, N., Souri, M. K., & Omidbeigi, R. (2012). The effect of cold stratification and acid gibberellic pre-treatments on seed germination of *Angelica archangelica*, *Tanacetum cinerariaefolium* and *Chelidonium majus*. *Journal of Horticultural Science*, *25*(4). (In Persian). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1390i0.11604.
21. Hernández, J. A., Díaz-Vivancos, P., Acosta-Motos, J. R., & Barba-Espín, G. (2021). Potassium nitrate treatment is associated with modulation of seed water uptake, antioxidative metabolism and phytohormone levels of pea seedlings. *Seeds*, *1*(1), 5-15. https://doi.org/10.3390/seeds1010002.
22. Homrani-Bakali, A. (2015). Effect of various pre-treatments and alternating temperature on seed germination of *Artemisia herba-alba Asso*. *Journal of Plant Studies*, *4*(1), 12.
23. International Seed Testing Association (ISTA). (2006). International Rules for Seed Testing: Edition 2006: Annexe to Chapter 7 Seed Health Testing Seed Health Testing Methods: Adopted at the Ordinary Meeting 2005, Bangkok, Thailand, to Become Effective on 1st January 2006. International Seed Testing Association.
24. Jiang, Z., Xu, G., Jing, Y., Tang, W., & Lin, R. (2016). Phytochrome B and REVEILLE1/2-mediated signaling controls seed dormancy and germination in *Arabidopsis*. *Nature communications*, *7*(1), 12377. https://doi.org/10.1038/ncomms12377 (2016).
25. Khan, M. N., Khan, Z., Luo, T., Liu, J., Rizwan, M., Zhang, J., & Hu, L. (2020). Seed priming with gibberellic acid and melatonin in rapeseed: Consequences for improving yield and seed quality under drought and non-stress conditions. *Industrial Crops and Products*, *156*, 112850. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112850.
26. Lai, L., Zheng, Y., Bai, H., Yu, Y., An, P., Li, X., Rimmington, G. M., & Shimizu, H. (2010). Strong light inhibits germination of *Artemisia sphaerocephala* and *A. ordosica* at low temperature and its relevance to revegetation in sandy lands of Inner Mongolia, China. *Ecological research*, *25*(4), 771-780. https://doi.org/10.1007/s11284-010-0706-2.
27. Maguire, J. D. (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, *2*(2), 176-177. https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x.
28. Marthandan, V., Geetha, R., Kumutha, K., Renganathan, V. G., Karthikeyan, A., & Ramalingam, J. (2020). Seed priming: A feasible strategy to enhance drought tolerance in crop plants. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(21), 8258. https://doi.org/10.3390/ijms21218258.

29. Mebratu, A. (2022). Potassium nitrate priming effect on the germination of tomato (*Lycopersicum esculentum*. Mill) cvs.“Mersa” and “Tekeze-1”. *International Journal of Agronomy*, *1*, 4970107. https://doi.org/10.1155/2022/4970107.
30. Meyer, S. E., Monsen, S. B., & McArthur, E. D. (1990). Germination response of *Artemisia tridentata* (Asteraceae) to light and chill: Patterns of between-population variation. *Botanical Gazette*, *151*(2), 176-183.
31. Miransari, M., & Smith, D. L. (2014). Plant hormones and seed germination. *Environmental and Experimental Botany*, *99*, 110-121. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.11.005.
32. Modallal, N. M., & Al-Charchafchi, F. M. (2006). Allelopathic effect of *Artemisia harba alba* on germination and seedling growth of *Anabasis setifera*. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, *9*, 1795-1798. https://doi.org/10.3923/pjbs.2006.1795.1798.
33. Mohammadi, O., Mortazavi, S. N., Mohammadi, J., & Angourani, H. R. (2013). The effect of gibberllic acid and bed substrate on seed germination and seedling characteristics of Persian Cyclamen (*C. persicum*). *Plant Productions*, *36*(3), 25-33. (In Persian with English abstract).
34. Motsa, M. M., Slabbert, M. M., Van Averbeke, W., & Morey, L. (2015). Effect of light and temperature on seed germination of selected African leafy vegetables. *South African Journal of Botany*, *99*, 29-35. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.03.185.
35. Nandula, V. K., Eubank, T. W., Poston, D. H., Koger, C. H., & Reddy, K. N. (2006). Factors affecting germination of horseweed (*Conyza canadensis*). *Weed Science*, *54*(5), 898-902. https://doi.org/10.1614/WS-06-006R2.1.
36. Nguyen, K. T., Towler, M. J., & Weathers, P. J. (2013). The effect of roots and media constituents on trichomes and artemisinin production in *Artemisia annua* L. *Plant Cell Reports*, *32*, 207-218. https://doi.org/10.1007/s00299-012-1355-4.
37. Nie, L., Song, S., Yin, Q., Zhao, T., Liu, H., He, A., & Wang, W. (2022). Enhancement in seed priming-induced starch degradation of rice seed under chilling stress via GA-mediated α-amylase expression. *Rice*, *15*(1), 19. https://doi.org/10.1186/s12284-022-00567-3.
- Reilly, C., & De Atrip, N. (2007). Seed moisture content during chilling and heat stress effects after chilling on the germination of common alder and downy birch seeds. *Silva Fennica*, *41*(2), 235.
38. Pallaoro, D. S., Avelino, A. C. D., Camili, E. C., Guimarães, S. C., & Albuquerque, M. C. D. F. E. (2016). Priming corn seeds with plant growth regulator. *Journal of Seed Science*, *38*(03), 227-232.
39. Pourmombeini, S., & Moallemi, N. (2016). Effect of hydro and osmo-priming in combination with GA_3 and KNO_3 on seed germination of *Dodonaea viscosa* under salinity conditions. *Journal Of Horticultural Science*, *30*(1), 102-111. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v30i1.37975.
40. Prasad, P., Mehdi, J., Mohan, R., Goyal, N., Luqman, S., Khare, P., & Kumar, B. (2018). Effect of potassium chloride-induced stress on germination potential of *Artemisia annua* L. varieties. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, *9*, 110-116. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.03.005.
41. Reed, R. C., Bradford, K. J., & Khanday, I. (2022). Seed germination and vigor: Ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity*, *128*(6), 450-459. https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2.
42. Saffari, P., Majd, A., Jonoubi, P., & Najafi, F. (2021). Effect of treatments on seed dormancy breaking, seedling growth, and seedling antioxidant potential of *Agrimonia eupatoria* L. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, *20*, 100282. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2020.100282.
43. Sasani, R., Khazaei, H. R., & Nezami, A. (2010). Effects of gibberellin, benzyl adenine, zeatine hormones and temperature on dormancy breaking of potato minituber (*Solanum tuberosum*). *Journal of Horticultural Science*, *23*(2), 61-67. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1388i2.2587.
44. Savaedi, Z., Parmoon, G., Moosavi, S. A., & Bakhshande, A. (2019). The role of light and gibberellic acid on cardinal temperatures and thermal time required for germination of charnushka (*Nigella sativa*) seed. *Industrial Crops and Products*, *132*, 140-149. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.025.
45. Schuerger, A. C., Brown, C. S., & Stryjewski, E. C. (1997). Anatomical features of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light. *Annals of Botany*, *79*(3), 273-282. https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0341.

46. Sedighi Dehkordi, F., Nabipour, M., & Mesgarbashi, M. (2013). Effect of different seed priming methods on germination of chicory's ecotypes (*Cichorium intybus* L.). *Plant Productions*, *36*(4), 96-107. (In Persian with English abstract).
47. Shu, K., Liu, X. D., Xie, Q., & He, Z. H. (2016). Two faces of one seed: Hormonal regulation of dormancy and germination. *Molecular Plant*, *9*(1), 34-45.
48. Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). Plant Physiology. 5th Ed. Sinauer Associates, Inc., Publishers, Massachusetts. Sinauer Associates is an Imprint of Oxford University Press. pp. 782.
49. Vidal, A., Cantabella, D., Bernal-Vicente, A., Díaz-Vivancos, P., & Hernández, J. A. (2018). Nitrate-and nitric oxide-induced plant growth in pea seedlings is linked to antioxidative metabolism and the ABA/GA balance. *Journal of Plant Physiology*, *230*, 13-20. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.08.003.
50. Wang, H., Wu, F., Li, M., Zhu, X., Shi, C., & Ding, G. (2021). Morphological and physiological responses of *Pinus massoniana* seedlings to different light gradients. *Forests*, *12*(5), 523. https://doi.org/10.3390/f12050523.
51. Xiao, Z., Storms, R., & Tsang, A. (2006). A quantitative starch? Iodine method for measuring alpha-amylase and glucoamylase activities. *Analytical Biochemistry*, *351*(1), 146-148.
52. Younsi, F., Mehdi, S., Aissi, O., Rahali, N., Jaouadi, R., Boussaid, M., & Messaoud, C. (2017). Essential oil variability in natural populations of *Artemisia campestris* (L.) and *Artemisia herba-alba* (Asso) and incidence on antiacetylcholinesterase and antioxidant activities. *Chemistry and Biodiversity*, *14*(7), e1700017. https://doi.org/10.1002/cbdv.201700017.
53. Zheng, Y., Xie, Z., Gao, Y., Jiang, L., Xing, X., Shimizu, H., & Rimmington, G. M. (2005). Effects of light, temperature and water stress on germination of *Artemisia sphaerocephala*. *Annals of Applied Biology*, *146*(3), 327-335. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2005.040039.x.

Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 40, No. 1, Spring 2026, p. 77-91

The Effect of Seaweed Extract and Sucrose Foliar Application on Some Growth, Physiological, and Phytochemical Indices of Basil (*Ocimum basilicum*)

A. Khoshnoudi Abroudi[1], V. Akbarpour[2*], M. A. Bahmanyar[3], M. Ashnavar[4]

1- Department of Medicinal Plants, Sana Institute of Higher Education, Sari, Iran
2- Horticultural Sciences and Engineering Department, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3- Department of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
4- Department of Horticulture, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
(*- Corresponding author's Email: v.akbarpour@sanru.ac.ir or v_akbarpour60@yahoo.com)

Received: 04 March 2025
Revised: 22 April 2025
Accepted: 29 July 2025
Available Online: 29 July 2025

How to cite this article:
Khoshnoudi Abroudi, A., Akbarpour, V., Bahmanyar, M. A., & Ashnavar, M. (2026). The effect of seaweed extract and sucrose foliar application on some growth, physiological, and phytochemical indices of basil (*Ocimum basilicum*). *Journal of Horticultural Science*, *40*(1), 77-91. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92476.1418

Introduction

Basil (*Ocimum basilicum* L.) is an annual plant from the mint family that grows in tropical and subtropical regions. Due to its distinctive aroma and flavor, it is used both fresh and as a spice and medicinal herb. Basil contains essential oils with antifungal, antibacterial, and insect-repellent properties, which are utilized in the food, cosmetic, and pharmaceutical industries. Phenylpropanoids are among the main compounds in its essential oil. Seaweeds have emerged as a novel source for producing organic fertilizers. These aquatic organisms contain valuable compounds such as plant hormones, trace elements, vitamins, and amino acids, which are beneficial for plant growth. Carbohydrates play a vital role in plant physiology. Sucrose, the primary form of carbohydrates produced during photosynthesis, is crucial for energy transport and regulating plant growth. At high concentrations, these compounds act as protective agents, while at lower concentrations, they serve as signaling molecules in response to environmental stresses. Sucrose plays a regulatory role in various stages of plant growth, from germination to senescence. Therefore, this research aimed to investigate the effects of different levels of seaweed and sucrose on the morphophysiological and phytochemical characteristics of basil.

Materials and Methods

This study aimed to investigate the effects of seaweed extract fertilizer and sucrose on the morphophysiological and phytochemical characteristics of basil. The experiment was conducted as a factorial arrangement in a randomized complete block design with three replications in a greenhouse in Neyshabur during the 2022 growing season. The first factor included different levels of seaweed fertilizer (0, 1, 2, and 3 $Ml.L^{-1}$(A_0, A_1, A_2 & A_3)), and the second factor consisted of sucrose levels (0, 2.5, 5, and 7.5 $g.L^{-1}$(S_0, $S_{2.5}$, S_5 & $S_{7.5}$)), applied as foliar sprays every 10 days. Plant moisture was maintained through drip irrigation. At the end of the vegetative growth stage, morphophysiological traits (plant height, stem diameter, fresh and dry weight, leaf area) and phytochemical properties (photosynthetic pigments, anthocyanin, antioxidant activity, total phenols, and flavonoids) were measured. Data were analyzed using SAS version 9, and means were compared using Duncan's test.

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.2025.92476.1418

Results and Discussion

The interaction effect of seaweed and sucrose foliar application on plant height, fresh and dry leaf weight, fresh stem weight, leaf area, chlorophyll a, b, and total, carotenoid, anthocyanin, antioxidant activity percentage, total phenol, and flavonoids was significant at the 1% probability level. The application of $A_1S_{7.5}$ as a foliar spray on the medicinal plant basil resulted in the highest plant height (43.83 cm), fresh weight (5.34 g), dry weight of aerial parts (0.65 g), and antioxidant activity percentage (64.46%). Using $A_2S_{7.5}$, the highest levels of chlorophyll a (0.865 $mg.g^{-1}$ fresh weight), chlorophyll b (0.636 $mg.g^{-1}$ fresh weight), and total chlorophyll (1.052 $mg.g^{-1}$ fresh weight) were obtained. Additionally, the highest leaf area (9.65 cm^2) was observed with the $A_2S_{2.5}$ treatment, carotenoid (0.636 $mg.g^{-1}$ fresh weight) with A_3S_0, anthocyanin (10.28 $mg.g^{-1}$ dry weight) with $A_3S_{2.5}$, and total phenol (1.60 mg gallic $acid.g^{-1}$ dry weight) and flavonoids (1.32 mg $quercetin.g^{-1}$ dry weight) were achieved with the $A_2S_{7.5}$ treatment. These findings demonstrate that seaweed-sucrose foliar sprays can effectively enhance basil's agronomic and phytochemical traits, offering a sustainable alternative to synthetic fertilizers in medicinal plant production. The significant improvement in both yield and bioactive compounds underscores the dual benefit of this approach for commercial cultivation. Furthermore, this eco-friendly technique could be particularly valuable for organic farming systems and in regions where synthetic fertilizers are either expensive or environmentally restricted. The optimized treatments provide actionable insights for farmers and researchers aiming to improve both yield and bioactive compound quality in basil cultivation.

Conclusion

Overall, the combined treatments $A_1S_{7.5}$ and $A_2S_{2.5}$ had the most significant impact on morphophysiological traits. Photosynthetic pigments were influenced by the combinations $A_2S_{7.5}$ and A_3S_0. Additionally, the phytochemical characteristics of basil were affected by the treatments $A_1S_{7.5}$, $A_2S_{7.5}$, and $A_3S_{2.5}$. This study demonstrates that seaweed-sucrose combinations can simultaneously enhance plant growth (by improving morphophysiological traits) and medicinal quality of basil (by boosting phytochemical content). This sustainable agriculture approach serves as an effective alternative to chemical fertilizers, improving both crop yield and bioactive compound content.

Keywords: Anthocyanin, Antioxidant activity, Chlorophyll, Flavonoid

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۴۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص. ۹۱-۷۷

اثر محلول‌پاشی جلبک دریایی و ساکارز بر برخی از شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی ریحان (*Ocimum basilicum* L.)

عارفه خوشنودی آبرودی[۱]- وحید اکبرپور[۲*]- محمدعلی بهمنیار[۳]- محبوبه آشناور[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۷

چکیده

ریحان (*Ocimum basilicum* L.) گیاهی دارویی و معطر متعلق به خانواده نعناعیان است. در این پژوهش، اثر جلبک دریایی به‌عنوان کود آلی نوین و ساکارز به‌عنوان کربوهیدرات مؤثر در رشد، بر ویژگی‌های کمّی و کیفی ریحان مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل سطوح مختلف کود مایع جلبک دریایی (A؛صفر، ۱، ۲ و ۳ میلی‌لیتر در لیتر) و عصاره ساکارز (S؛ صفر، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ گرم در لیتر) بودند. نتایج نشان داد که اثر متقابل این دو عامل بر ارتفاع بوته، وزن تر و خشک بوته، سطح برگ، میزان کلروفیل، کاروتنوئید، آنتوسیانین، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل و فلاونوئید در سطح یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین ارتفاع بوته (۴۳/۸۳ سانتی‌متر)، وزن تر بوته (۵/۳۴ گرم)، وزن خشک بوته (۰/۶۵ گرم) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۶۴/۴۶ درصد) در تیمار $A_1S_{7.5}$ مشاهده شد. تیمار $A_2S_{7.5}$ بیشترین میزان کلروفیل a، b و کل را داشت. بیشترین سطح برگ (۹/۶۵ سانتی‌مترمربع) از تیمار $A_2S_{2.5}$، بیشترین کاروتنوئید (۰/۶۳۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از تیمار A_3S_0، بیشترین آنتوسیانین (۱۰/۲۸ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در تیمار $A_3S_{2.5}$، و بیشترین فنل و فلاونوئید از تیمار $A_2S_{7.5}$ به دست آمد. به‌طورکلی، کاربرد همزمان جلبک دریایی و ساکارز، تأثیرات مثبت و معنی‌داری بر خصوصیات ریحان داشت.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فلاونوئید، کلروفیل

مقدمه

ریحان (*Ocimum basilicum* L.) از خانواده نعناعیان، یکی از گیاهان دارویی پرکاربرد در طب سنتی و پزشکی نوین محسوب می‌شود. این گیاه به‌واسطه داشتن طیف وسیعی از ترکیبات فعال زیستی از جمله ترپنوئیدها، فلاونوئیدها، آلکالوئیدها، تانن‌ها، ترکیبات فنلی، گلیکوزیدهای قلبی، ساپونین‌ها و استروئیدها، دارای خواص درمانی قابل توجهی است (Zhakipbekov et al., 2024). اثرات آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی، ضدباکتریایی و ضدقارچی این گیاه به‌خوبی مستند شده و شواهد متعددی از نقش آن در بهبود عملکرد شناختی، کاهش اضطراب، تقویت حافظه و درمان بیماری‌های التهابی پوست نظیر آکنه گزارش شده است (Naseri et al., 2022).

جلبک‌های دریایی به‌عنوان منابعی تجدیدپذیر و زیست‌سازگار می‌باشند. و به‌عنوان جایگزینی پایدار و ایمن برای کودهای شیمیایی در نظام‌های کشاورزی نوین معرفی می‌شوند (Ali et al., 2021). جلبک‌های دریایی به‌عنوان محرک‌های زیستی، از طریق مسیرهای مولکولی مختلف بر رشد و مقاومت گیاهان تأثیر می‌گذارند. این ترکیبات با فعال‌سازی مسیرهای هورمونی مانند اکسین، جیبرلین و سیتوکینین، تنظیم بیان ژن‌های مرتبط با رشد و تنش، و تعدیل متابولیسم گیاهی، موجب افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی از جمله خشکی و شوری می‌شوند. چنین سازوکارهایی نقش مؤثری در بهبود عملکرد گیاهان در شرایط کشاورزی پایدار دارند (Sujeeth et al., 2022).

۱- گروه گیاهان دارویی، مؤسسه غیرانتفاعی سنا، ساری، ایران
۲- گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۳- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۴- گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: v.akbarpour@sanru.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92476.1418

پژوهش‌ها نشان داده است که محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی همراه با مخمر خشک فعال بر ریحان موجب بهبود رشد گیاه و افزایش کمّی و کیفی اسانس آن، به‌ویژه ترکیباتی مانند لینالول و استراگول شد (El-Naggar et al., 2020). در مطالعه‌ای (Esmailpour et al., 2020)، عصاره جلبک دریایی باعث بهبود تحمل ریحان به تنش خشکی از طریق افزایش پرولین، کاهش نشت الکترولیت و حفظ کلروفیل شد و نقش مؤثری به‌عنوان محرک زیستی در کاهش اثرات تنش غیرزیستی ایفا کرد. در سایر سبزی‌های علفی مانند کاهو (*Lactuca sativa* L.)، محلول‌پاشی عصاره جلبک *Ascophyllum nodosum* تحت شرایط کمبود پتاسیم منجر به افزایش رشد گیاه، بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کاهش آسیب‌های ناشی از تنش شد (Chrysargyris et al., 2018). امان جانی و همکاران (Amanjani et al., 2024) نشان دادند که کاربرد توأم جلبک دریایی و اسیدهیومیک باعث بهبود خصوصیات کمّی و کیفی گیاه دارویی به‌لیمو (*Lippia citrioodora*) در مقایسه با گیاه شاهد گردید. حیدری و همکاران (Heidari et al., 2016) نیز در پژوهش خود مشاهده کردند که کاربرد کود جلبک دریایی در گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis*) باعث افزایش شاخص سطح برگ و میزان اسانس این گیاه شد. در پژوهش اسماعیل‌پور و همکاران (Esmailpour et al., In press)، اثر عصاره جلبک دریایی بر ریحان تحت تنش خشکی بررسی گردید. نتایج نشان داد که این عصاره با کاهش نشت الکترولیت و افزایش محتوای پرولین، به بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک و مقاومت گیاه در برابر خشکی کمک می‌کند.

کربوهیدرات‌ها نقش‌های حیاتی و چندگانه‌ای در فیزیولوژی گیاهان ایفا می‌کنند. آن‌ها نه‌تنها به‌عنوان منابع انرژی و کربن عمل می‌کنند، بلکه در تنظیم رشد و توسعه گیاهان نیز نقش دارند. مطالعات نشان داده‌اند که قندها در تمامی مراحل چرخه زندگی گیاه تأثیرگذارند و با مولکول‌های سیگنال‌دهنده دیگر از جمله فیتوهورمون‌ها تعامل دارند. علاوه‌بر این، قندها در تنظیم بیان ژن‌ها، متابولیسم، و پاسخ به تنش‌های محیطی نقش دارند (Jeandet et al., 2022).

ساکارز ($C_{12}H_{22}O_{11}$) به‌عنوان شکل اصلی کربوهیدرات‌های تولیدشده در جریان فتوسنتز، نقش کلیدی در انتقال این ترکیبات در گیاه ایفا می‌کند (Yonekura et al., 2013). ساکارز علاوه‌بر نقش تغذیه‌ای، به‌عنوان یک مولکول سیگنال‌دهنده در تنظیم رشد، نمو و پاسخ به تنش‌های محیطی عمل می‌کند. این تنظیم از طریق تأثیر بر بیان ژن‌ها، فاکتورهای رونویسی، ترجمه mRNA و فعالیت آنزیم‌ها صورت می‌گیرد. همچنین در برخی از مسیرهای بیوسنتزی مانند سیگنال‌دهی وابسته به ساکارز نقش کلیدی دارند. به‌طورکلی، ساکارز هماهنگی بین وضعیت انرژی گیاه و فرآیندهای رشدی را ممکن می‌سازد (Yoon et al., 2021).

افزودن ساکارز می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد مؤثر برای بهبود رشد گیاه و کیفیت تغذیه‌ای ریحان در سیستم‌های کشت بدون خاک مورد استفاده قرار گیرد (Karataş & Vachouscova, 2023). همچنین ساکارز می‌تواند بهبود فتوسنتز و تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی را در گیاه ریحان افزایش دهد (Mashayekhi & Atashi, 2012). افزایش غلظت ساکارز از ۳۰ به ۶۰ گرم در لیتر، تأثیر منفی بر رشد کشت درون شیشه‌ای ریحان گنووس (*Ocimum basilicum* var. *genovese*) داشت که احتمالاً به‌دلیل پتانسیل‌های اسمزی و اکسیداتیو بالا و تولید ترکیبات سمی بوده است (Trettel et al., 2018). پژوهش فدایی و همکاران (Fadaei et al., 2023) نیز نشان داد که کاربرد توأم ساکارز و اسیدآسکوربیک می‌تواند رشد رویشی و محتوای کلروفیل کدوی سبز کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) را بهبود ببخشد. مطالعات دیگر نیز نشان داده‌اند که استفاده از قندها می‌تواند بهبود فرآیندهای فتوسنتزی در گیاهان (Abdel, 2010) و افزایش ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان دارویی (Ali et al., 2016) را به دنبال داشته باشد.

این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف جلبک دریایی و ساکارز بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه ریحان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌منظور بررسی اثر کاربرد کود عصاره جلبک دریایی و ساکارز بر برخی از خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه دارویی ریحان به‌صورت فاکتوریل برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه‌ای با دمای ۲۵–۱۸ °C، طول روز ۱۰ ساعت، شدت نور ۵۰۰–۳۰۰ میکرومول در مترمربع بر ثانیه و رطوبت نسبی ۷۰–۵۰ درصد واقع در شهرستان نیشابور در سال زراعی ۱۴۰۱ اجرا گردید. عامل اول کود جلبک دریایی مورال کلپ (عصاره جلبک دریایی *Ascophyllum nodosum*) در چهار سطح (صفر، ۱، ۲ و ۳ میلی‌لیتر در لیتر (A_0، A_1، A_2 و A_3)) و فاکتور دوم در چهار سطح (صفر، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ گرم در لیتر ساکارز (S_0، $S_{2.5}$، S_5 و $S_{7.5}$)) با سه تکرار به‌صورت محلول‌پاشی برگی انجام شد.

به‌منظور آماده‌سازی زمین برای کشت ریحان، ابتدا قطعه‌بندی زمین انجام شد. سپس بذور گیاه ریحان تهیه و کرت‌هایی با ابعاد ۱×۱ متر به‌صورت ردیفی کشت گردید. تیمارها به‌صورت محلول‌پاشی برگی در مرحله ۶–۵ برگی و در سه مرحله هر ۱۰ روز یک بار تا قبل از گل‌دهی اعمال شدند. طول دوره آزمایش به مدت ۴۰ روز بود.

اعمال تیمارهای متقابل با فاصله یک‌روزه صورت می‌گرفته است. رطوبت گیاهان از طریق آبیاری قطره‌ای تأمین گردید. در انتهای مرحله رشد رویشی، به‌منظور بررسی تأثیر تیمارهای اعمال‌شده بر صفات ذکرشده، پنج بوته از هر واحد آزمایشی انتخاب و برای ثبت داده‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند. در پایان مرحله رشد رویشی، صفات مورفوفیزیولوژیکی شامل ارتفاع گیاه به‌وسیله خط‌کش (سانتی‌متر)، قطر ساقه توسط کولیس (میلی‌متر)، وزن تر و خشک به‌وسیله ترازو دیجیتال (گرم) و سطح برگ توسط دستگاه Leaf area meter (سانتی‌مترمربع) اندازه‌گیری شد. همچنین رنگدانه‌های فتوسنتزی به‌روش آرنون (Arnon, 1967) اندازه‌گیری شد، در ابتدا ۰/۵ گرم برگ گیاه در ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد خرد شده و به مدت ۱۰ دقیقه در سانتریفیوژ با دور ۶۰۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت. پس از جدا کردن محلول رویی، ۱۰ میلی‌لیتر استون به مواد ته‌نشین‌شده افزوده و مجدد سانتریفیوژ شد. محلول رویی مجدداً جمع‌آوری و با استون ۸۰ درصد به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۴۸۰، ۵۱۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر به‌وسیله اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری و مقادیر آن‌ها محاسبه گردید. برای نمونه شاهد از استون ۸۰ درصد استفاده شد.

برای تعیین میزان آنتوسیانین، یک گرم از بافت برگ و ساقه گیاه در ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (۹۹ میلی‌لیتر متانول خالص و یک میلی‌لیتر اسیدهیدروکلریک) کوبیده شد و عصاره به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای چهار درجه سلسیوس نگهداری گردید. سپس به مدت ۱۰ دقیقه در دور ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و جذب محلول رویی در طول موج ۵۲۰ نانومتر به‌وسیله اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Wagner, 1979).

برای تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی، یک میلی‌لیتر از DPPH[1] با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار و یک میلی‌لیتر عصاره متانولی گیاه به لوله آزمایش اضافه شد. پس از ۱۵ دقیقه در تاریکی، جذب محلول‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر به‌وسیله اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. برای نمونه شاهد، از DPPH با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار استفاده گردید. درصد مهار رادیکال‌های آزاد از طریق معادله ۱ مشخص محاسبه گردید (Lee et al., 2003).

(۱)

درصد مهار رادیکال‌های آزاد = [(عدد جذب نمونه − عدد جذب شاهد) / (عدد جذب شاهد)] × ۱۰۰

برای اندازه‌گیری فنل کل، ۲۰ میکرولیتر عصاره متانولی گیاه به همراه ۱۰۰ میکرولیتر محلول فولین سیوکالتیو و ۱/۱۶ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد. پس از پنج تا هشت دقیقه استراحت، ۳۰۰ میکرولیتر سدیم کربنات یک مولار اضافه گردید و محلول به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سلسیوس و در تاریکی قرار گرفت. برای شاهد نیز به‌جای عصاره، از متانول ۸۰ درصد استفاده شد. برای رسم منحنی کالیبراسیون از محلول‌های استاندارد اسیدگالییک با غلظت‌های مختلف استفاده شد و سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۰ نانومتر قرائت گردید (Singleton et al., 1999).

برای محاسبه محتوای فلاونوئیدی، ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره متانولی گیاه با ۱/۵ میلی‌لیتر متانول، ۰/۱ میلی‌لیتر آلومینیوم کلراید ۱۰ درصد در اتانول، ۰/۱ میلی‌لیتر پتاسیم استات یک مولار و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط گردید. نمونه شاهد با استفاده از متانول خالص تهیه شد. مخلوط به مدت ۰/۵ ساعت در تاریکی قرار گرفت و سپس جذب نمونه در طول موج ۴۱۵ نانومتر قرائت شد. منحنی استاندارد با استفاده از غلظت‌های مختلف کوئرستین رسم گردید (Singleton et al., 1999).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹ و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از روش چنددامنه‌ای دانکن و رسم نمودارها از طریق نرم‌افزار Excel صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

صفات مورفوفیزیولوژی

ارتفاع بوته

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثر متقابل تیمارهای کودی بر ارتفاع بوته گیاه ریحان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. بالاترین ارتفاع بوته از کاربرد $A_1S_{7.5}$ به دست آمد (۴۳/۸۳ سانتی‌متر) که نسبت به شاهد ۲۸ درصد افزایش داشت. این ترکیب باعث بهتر شدن تقسیم و طویل شدن سلول‌ها، جذب بهتر مواد غذایی توسط گیاه و در نهایت افزایش ارتفاع گیاه می‌شود. همچنین کمترین ارتفاع به‌میزان ۲۷/۵ سانتی‌متر از محلول‌پاشی کود $A_1S_{2.5}$ لیتر حاصل شد (جدول ۲).

ساکارز، به‌عنوان شکل اصلی و قابل انتقال کربوهیدرات‌های حاصل از فتوسنتز، نقش مهمی در تغذیه گیاه ایفا می‌کند. محلول‌پاشی یا تغذیه برگی عناصر معدنی و قندها به‌ویژه ساکارز، باعث تأمین سریع عناصر مورد نیاز گیاهان می‌شود. این روش نسبت به جذب از طریق خاک و ریشه، سرعت بیشتری در دسترسی گیاه به مواد مغذی دارد (Jaswant et al., 1994; Mashayekhi & Atashi, 2012). مطالعات نشان داده‌اند که افزایش غلظت جلبک دریایی به‌طور معنی‌داری ارتفاع گیاه را در گونه‌های مختلف از جمله مرزه (*Satureja hortensis* L.) (Rezaei et al., 2019) و همیشه بهار (*Calendula officinalis* L) (Heidari et al., 2016) افزایش

1- 2, 2- Diphenyl-1-picrylhydrazyl

می‌دهد. این اثرات احتمالاً ناشی از وجود هورمون‌های رشد و سایر ترکیبات فعال زیستی در عصاره جلبک دریایی است که می‌توانند رشد رویشی گیاه را تحریک کنند.

وزن تر و خشک اندام هوایی

اثر متقابل تیمارهای کودی بر وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه ریحان در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی از ترکیب کودی ($A_1S_{7.5}$) به‌ترتیب با مقادیر ۵/۳۴ و ۰/۶۳ گرم حاصل شد. وزن تر بوته ریحان نسبت به شاهد حدود ۸۴ درصد و وزن خشک نیز ۶۲ درصد افزایش داشتند (جدول ۲). کمترین مقدار آن‌ها نیز از کاربرد A_2S_0 و $A_1S_{2.5}$ به دست آمدند (جدول ۲). ساکارز به‌تنهایی اثر محدودی دارد، چون فقط منبع انرژی می‌باشد، امّا مواد غذایی و هورمون ندارد و ترکیب A1S2.5 احتمالاً از نظر مقدار ساکارز برای فعال‌سازی فرآیندهای متابولیکی کافی نبوده و اثر جلبک نیز به‌تنهایی نتوانسته است تأثیر مطلوبی ایجاد کند.

تأثیرات مثبت جلبک دریایی بر رشد و عملکرد گیاهان احتمالاً به‌دلیل وجود هورمون‌های محرک رشد، مواد معدنی و مغذی موجود در آن است. این ترکیبات علاوه‌بر افزایش تقسیم و اندازه سلول‌ها سبب افزایش میزان کلروفیل برگ و فعالیت فتوسنتزی گیاه می‌شوند. در نتیجه، با افزایش سنتز و ساخت کربوهیدرات‌ها منجر به تولید میوه‌های بزرگ‌تر در مقایسه با شاهد می‌گردند. بررسی‌های انجام‌شده در مورد کاربرد جلبک دریایی و آمینواسید بر روی گیاه پسته (*Pistacia vera* L.) نشان داد که وزن خوشه‌ها تا ۳/۵ برابر نسبت به شاهد افزایش داشت (Torab Ahmadi et al., 2019). در پژوهشی دیگر، استفاده از عصاره جلبک دریایی در گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum graecum L.*) تحت شرایط تنش منجر به افزایش وزن تر بوته در مقایسه با شرایط عدم استفاده از کود در این شرایط شد (Rezazadeh et al., 2019). مطالعه‌ای روی گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) با استفاده از جلبک دریایی نشان داد که این ماده موجب افزایش ۲۹/۷۷ درصدی وزن ریشه گردید (Sunarpi et al., 2011). کاربرد توأم جلبک دریایی و بسترهای کشت آلی نیز تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه مرزه (*Satureja sp* L.) داشت (Esmailpour et al., In press). بررسی صالحی ملک آبادی و همکاران (Salehi Malekabadi et al., 2021) روی گیاه تربچه (*Raphanus sativus* L.) نشان داد که تیمارهای حاوی ساکارز نسبت به شاهد از نظر وزن تر و خشک اندام هوایی برتری معنی‌داری داشتند.

سطح برگ

باتوجه به جدول ۱، اثر متقابل جلبک دریایی و ساکارز بر سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تیمار $A_2S_{2.5}$ بیشترین مقدار سطح برگ به‌میزان ۹/۶۵ سانتی‌مترمربع را داشت و مقدار آن در مقایسه با شاهد سه برابر بیشتر بود. ترکیب جلبک دریایی و ساکارز با این مقادیر باعث بهبود فرآیندهای فتوسنتزی و جذب بهتر مواد مغذی شده است که به رشد سریع‌تر و توسعه بیشتر برگ‌ها منجر گردید. کمترین سطح برگ نیز از تیمار A_0S_0 (۳/۲۵ سانتی‌مترمربع) به دست آمد (جدول ۲).

یافته‌های حیدری و همکاران (Heidari et al., 2016) نشان داد که کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و جلبک دریایی در گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) منجر به افزایش سطح برگ و تأثیر معنی‌دار آن گردید. این اثرات مثبت به‌دلیل بهبود شرایط تغذیه‌ای و تأمین عناصر ریزمغذی و هورمون‌های رشد توسط این دو ماده است. مطالعه‌ای دیگر نشان داد که افزایش غلظت منیزیم تا سطح پنج میلی‌لیتر در لیتر و جلبک دریایی تا سطح سه گرم در لیتر در خیار (*Cucumis sativus* L.) گلخانه‌ای، سطح برگ این گیاه را افزایش می‌دهد (Karami et al., 2023). این یافته‌ها حاکی از نقش این دو ماده در افزایش سطح فتوسنتزکننده گیاه است. استفاده از تیمار ساکارز به‌صورت محلول‌پاشی موجب افزایش قند و انرژی در دسترس گیاه می‌شود. این افزایش انرژی می‌تواند به بهبود فرآیندهای متابولیکی و رشد گیاه کمک کند. علاوه‌بر این، جذب بیشتر نور خورشید ناشی از محلول‌پاشی ساکارز منجر به افزایش سطح برگ در گیاه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) گردید (Ghorbani Dehkordi et al., 2015).

رنگیزه‌های فتوسنتزی

کلروفیل a، b و کل

اثر متقابل تیمارهای کودی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه ریحان معنی‌دار است (جدول ۲)؛ بیشترین میزان برای کلروفیل a، b و کل از ترکیب کودی ($A_2S_{7.5}$) دو میلی لیتر بر لیتر جلبک دریایی و ۷/۵ گرم بر لیتر ساکارز حاصل شد که نسبت به شاهد به‌ترتیب ۴۲، ۵۵ و ۳۴ درصد افزایش داشتند (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). غلظت متوسط عصاره جلبک دریایی با بهینه‌سازی شرایط فیزیولوژیکی سلول‌ها و فراهم کردن فیتوهورمون‌ها، در کنار ساکارز با نقش تأمین انرژی و تحریک مسیرهای بیوسنتزی، یک اثر هم‌افزا ایجاد کردند. کمترین کلروفیل a در اثر کاربرد A_0S_0 و $A_0S_{7.5}$ (۰/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به دست آمد. همچنین پایین‌ترین مقدار کلروفیل b (۶۳۶/ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار $A_2S_{7.5}$ بود (شکل ۱ و ۲). براساس شکل ۳، کمترین میزان کلروفیل کل (۰/۷۳۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) با استفاده از A_2S_5 حاصل شد.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی جلبک دریایی و ساکارز بر برخی از ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی ریحان

Table 1- Analysis of variance for the effect of seaweed and sucrose foliar spraying on some morphophysiological characteristics of basil

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares				
		ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	وزن تر اندام هوایی Fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Dry weight	سطح برگ Leaf area
بلوک Block	2	0.674^{ns}	0.009^{ns}	0.541^{ns}	0.003^{ns}	1.49^{ns}
جلبک دریایی Seaweed (A)	3	19.986*	0.031^{ns}	0.375^{ns}	0.004^{ns}	14.99**
ساکارز Sucrose (S)	3	26.142**	0.039^{ns}	0.433^{ns}	0.002^{ns}	6.26**
جلبک دریایی × ساکارز A × S	9	61.312**	0.127^{ns}	1.555**	0.022**	8.03**
خطای آزمایش Error	30	5.29	0.112	0.450	0.004	1.16
ضریب تغییرات C.V (%)	-	12.6	11.68	22.4	18.1	17.38

^{ns}، ** و *: به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

^{ns}, ** and *: non-significant, significant at $p\leq0.01$ and $p\leq0.05$; respectively

جدول ۲- اثر متقابل محلول‌پاشی جلبک دریایی × ساکارز بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی ریحان

Table 2- CThe interaction effect of seaweed ×sucrose foliar spraying on some morphophysiological characteristics of basil

جلبک دریایی Seaweed (ml.l^{-1})	ساکارز Sucrose (g.l^{-1})	ارتفاع بوته Plant height (cm)	وزن تر اندام هوایی Fresh weight (g.plant^{-1})	وزن خشک اندام هوایی Dry weight (g.plant^{-1})	سطح برگ Leaf area (cm^2)
0	0	34.03^{c-e*} ±1.47	2.89^{d} ±0.32	0.40^{e} ±0.02	3.25^{g} ±0.85
	2.5	35.26^{ce} ±0.63	4.43^{a-c} ±0.13	0.63^{ab} ±0.02	6.18^{c-e} ±0.56
	5	33.96^{c-e} ±1.89	3.85^{b-d} ±0.16	0.53^{b-d} ±0.01	5.31^{d-f} ±0.27
	7.5	33.26^{c-f} ±0.63	3.85^{b-d} ±0.20	0.54^{b-d} ±0.01	5.28^{d-f} ±0.44
1	0	33.2^{c-f} ±0.87	4.30^{a-c} ±0.23	0.60^{a-c} ±0.03	5.39^{ce} ±1.21
	2.5	27.5^{g} ±0.51	2.95^{d} ±0.004	0.40^{e} ±0.02	4.59^{e-g} ±1.46
	5	30.16^{e-g} ±1.51	3.21^{cd} ±0.02	0.47^{de} ±0.02	6.95^{b-d} ±0.89
	7.5	43.83^{a} ±0.86	5.34^{a} ±1.36	0.65^{a} ±0.07	7.17^{bc} ±0.85
2	0	31.2^{d-g} ±0.75	3.68^{b-d} ±0.03	0.56^{a-d} ±0.02	6.67^{b-d} ±0.80
	2.5	31.83^{c-f} ±1.61	4.02^{b-d} ±0.10	0.59^{a-c} ±0.05	9.65^{a} ±1.37
	5	36.23^{bc} ±0.43	4.85^{ab} ±0.03	0.65^{a} ±0.004	8.16^{ab} ±1.41
	7.5	29.3^{fg} ±1.21	1.81^{b-e} ±0.22	0.45^{de} ±0.01	6.29^{c-e} ±0.88
3	0	39.73^{b} ±0.69	4.73^{ab} ±0.49	0.65^{a} ±0.01	5.81^{c-e} ±1.2
	2.5	32.7^{c-f} ±1.07	3.26^{cd} ±0.05	0.51^{c-e} ±0.04	3.95f^{g} ±0.20
	5	34.13^{c-e} ±0.53	3.66^{b-d} ±0.18	0.51^{c-e} ±0.04	8.23^{ab} ±0.42
	7.5	34.43^{c-e} ±0.49	3.85^{b-d} ±0.19	0.47^{de} ±0.008	5.66^{c-f} ±0.25

* در هر ستون اعدادی با حرف مشابه یا حروف مشابه، تفاوت معنی‌داری با هم در سطح احتمال پنج درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند.

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

مطالعات نشان داده است که استفاده از کود جلبک دریایی می‌تواند محتوای کلروفیل برگ را در گیاه گوآر(*Cyamopsis tetragonoloba* L.) و گندم (*Triticum aestivum* L.) افزایش دهد (Sridhar & Rengasamy, 2011). این افزایش به‌دلیل وجود هورمون سیتوکینین در کود جلبک دریایی و تأثیر مستقیم آن بر فرآیند سنتز کلروفیل است (Thambiraj et al., 2012; Shahbazi et al., 2015). همچنین در شرایط تنش آبیاری، کاربرد جلبک دریایی و اسیدهیومیک موجب افزایش میزان کلروفیل و کاروتنوئید در گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* L.) شده‌است (Mohammadpour et al., In press). در پژوهشی دیگر، مقایسه میانگین اثر کاربرد

ساکارز و اسیدآسکوربیک در گیاه کدوی پوست سبز کاغذی نشان داد که میزان کلروفیل کل در تیمار کاربرد ۵ گرم بر لیتر ساکارز همراه با کاربرد ۱۵ میلی‌مولار اسیدآسکوربیک نسبت به شاهد ۱/۸۱ درصد افزایش داشته است (Fadaei et al., 2023). استفاده از ساکارز روی گیاه توت فرنگی (*Fragaria × ananassa*) نیز سبب افزایش میزان کلروفیل a شده است (Mashayekhi & Atashi, 2012). علاوه‌بر این، استفاده از قند روی کاهو سبب بهبود فرآیندهای فتوسنتزی در گیاه گردید (Oda et al., 1989).

کاروتنوئید

نتایج آنالیز واریانس میزان کارتنوئید (جدول ۳) نشان داد که اثر متقابل تیمارهای مورد مطالعه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بالاترین تأثیر بر میزان کاروتنوئید (۰/۶۳۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) را ترکیب کودی A_3S_0 داشت که ۲۶ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. این افزایش کم می‌تواند به عوامل مختلفی نسبت داده شود، از جمله اینکه ترکیب کودی ممکن است به‌طور خاص بر میزان تولید کاروتنوئید اثرگذار نباشد یا ممکن است که سایر عوامل محیطی یا فنی مانند شرایط خاک، دما، نور، و یا رطوبت به اندازه کافی مناسب نباشند تا اثرات قابل توجهی بر افزایش کاروتنوئید داشته باشند. غلظت بالای عصاره جلبک دریایی، با فراهم‌سازی ترکیبات محرک رشد و آنتی‌اکسیدان‌ها، تولید رنگیزه‌های فتوسنتزی را افزایش داده است. از سوی دیگر، نبود ساکارز موجب ایجاد نوعی تنش متابولیکی خفیف شده که گیاه را به سنتز ترکیبات محافظتی مانند کاروتنوئید واداشته است. ترکیب این دو عامل احتمالاً به اثرگذاری حداکثری این تیمار منجر شده است.کمترین کاروتنوئید مربوط به کاربرد $A_2S_{2.5}$، ۰/۳۸۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود (شکل ۴).

تغذیه با ساکارز می‌تواند به افزایش غلظت رنگیزه‌ها در گیاهان کمک کند، امّا به‌دلیل محدودیت‌های غیرروزنه‌ای، نمی‌تواند میزان فتوسنتز را افزایش دهد. در واقع، کاهش غلظت ساکارز می‌تواند به بهبود غلظت رنگیزه‌ها بدون ایجاد بازدارندگی در فرآیند فتوسنتز کمک کند. این اثر مثبت تغذیه با ساکارز به‌ویژه زمانی مشاهده می‌شود که عناصر کمکی مؤثر در انتقال کربوهیدرات‌ها نیز همراه با ساکارز مصرف شوند. این امر از تجمع ساکارز در برگ‌ها جلوگیری می‌کند و به بهبود عملکرد گیاه کمک می‌کند (Salehi Malekabadi et al., 2021). در پژوهشی دیگر تراب احمدی و همکاران (Torab Ahmadi et al., 2019)، تأثیر عصاره جلبک دریایی بر کاروتنوئید گیاه پسته بررسی شد و نتایج نشان داد که این عصاره تأثیر معنی‌داری بر افزایش میزان کاروتنوئید در گیاه دارد.

صفات فیتوشیمیایی

آنتوسیانین

محاسبه و آنالیز اطلاعات به‌دست‌آمده از مقدار آنتوسیانین نشان داد که اثر متقابل محلول‌پاشی جلبک دریایی و ساکارز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). مقدار آنتوسیانین در ازای مصرف $A_3S_{2.5}$ به بیشترین مقدار خود (۱۰/۲۸ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) رسید که نسبت به شاهد حدود دو برابر بود. کمترین مقدار آنتوسیانین (۴/۶۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) از شاهد به دست آمد (جدول ۵). افزایش معنی‌دار آنتوسیانین در تیمار $A_3S_{2.5}$ نیز ممکن است که ناشی از تعادل بهینه بین تأمین قند و تحریک هورمونی باشد که باعث افزایش متابولیسم ثانویه بدون ایجاد رقابت برای سنتز نشاسته یا رشد سلولی شده است. بنابراین، این تیمار احتمالاً شرایط متابولیکی مناسبی را برای تجمع بیشتر آنتوسیانین در برگ‌های ریحان فراهم کرده است.

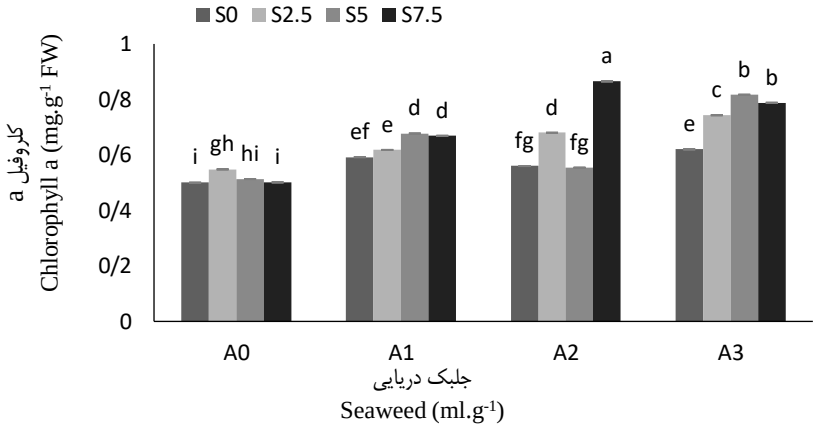
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی جلبک دریایی و ساکارز بر برخی از رنگیزه‌های فتوسنتزی ریحان

Table 3- Analysis of variance for the effect of seaweed and sucrose foliar spraying on some photosynthesis pigments of basil

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares			
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Chlorophyll total	کاروتنوئید Carotenoids
جلبک دریایی Seaweed (A)	3	0.106**	0.066**	0.093**	0.015**
ساکارز Sucrose (S)	3	0.038**	0.049**	0.054**	0.015**
جلبک دریایی × ساکارز A × S	9	0.018**	0.027**	0.016**	0.006**
خطای آزمایش Error	30	0.000	0.002	0.003	0.001
ضریب تغییرات C.V (%)	-	17.8	25.5	13.8	11.7

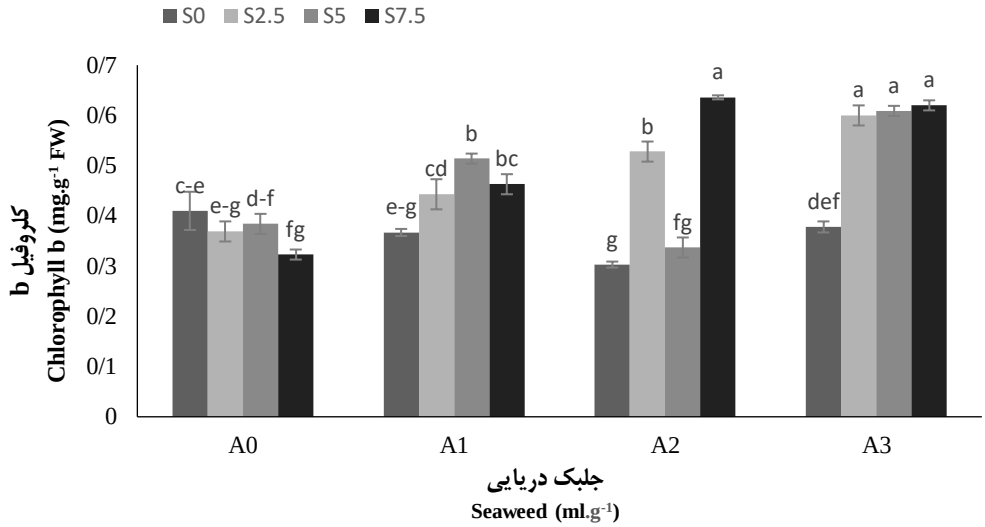
^{ns}، ** و *: به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

^{ns}, ** and *: non-significant, significant at $p\leq0.01$ and $p\leq0.05$, respectively.



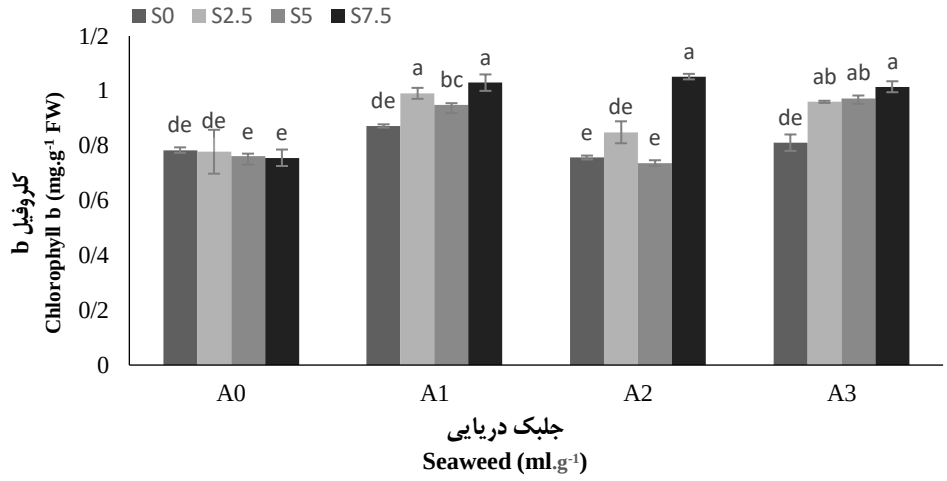
شکل ۱- اثر متقابل جلبک دریایی × ساکارز بر محتوی کلروفیل a ریحان

Figure 1- The interaction effect of seaweed ×sucrose on basil chlorophyll content (DMRT, *p≤0.05*)



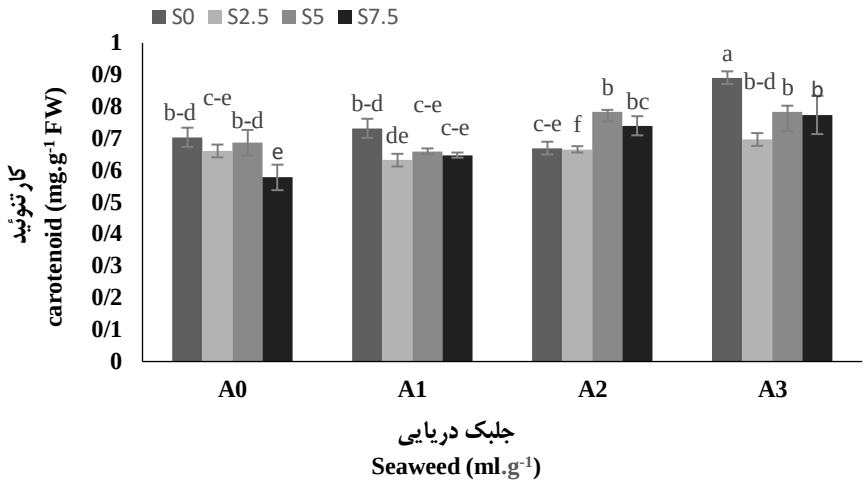
شکل ۲- اثر متقابل جلبک دریایی × ساکارز بر محتوی کلروفیل b ریحان

Figure 2- The interaction effect of seaweed ×sucrose on basil chlorophyll b content (DMRT, *p≤0.05*)



شکل ۳- اثر متقابل جلبک دریایی × ساکارز بر کلروفیل کل ریحان

Figure 3- The interaction effect of seaweed ×sucrose on total chlorophyll of basil (DMRT, *p≤0.05*)



شکل ۴- اثر متقابل جلبک دریایی × ساکارز بر کاروتنوئید ریحان

Figure 4- The interaction effect of seaweed ×sucrose on carotenoid of basil (DMRT, *p≤0.05*)

ساکارز با محافظت از آنتوسیانین‌ها در برابر تخریب در طول ذخیره‌سازی، از قهوه‌ای شدن و تشکیل رنگدانه‌های پلیمری جلوگیری می‌کند. این امر به‌دلیل ممانعت از واکنش‌های آنزیمی توسط ساکارز است. اثر قند بر پایداری آنتوسیانین به ساختار، غلظت و نوع قند بستگی دارد (De Ancos et al., 1999; Wrolstad et al., 1990). ساکارز به‌عنوان منبع انرژی و پیش‌ساز گلوکز و فروکتوز، مواد اولیه لازم برای تولید آنتوسیانین‌ها را فراهم می‌کند. این قندها مسیرهای بیوسنتزی را فعال می‌کنند و تولید آنتوسیانین‌ها را افزایش می‌دهند (Pontis & Martínez-Noel, 2013; Solfanelli et al., 2005). همچنین با تأثیر بر فتوسنتز و تنفس، به‌طور غیرمستقیم تولید آنتوسیانین‌ها را افزایش می‌دهد. این اثرات در شرایط محیطی مناسب بیشتر مشهود است (Liu et al., 2024; Loreti et al., 2008). مطالعات نشان داده است که کاربرد پتاسیم سولفات و عصاره جلبک دریایی می‌تواند محتوای آنتوسیانین زعفران (*Crocus sativus*) را افزایش دهد (Aminifard et al., 2023). در برخی موارد، ساکارز می‌تواند به‌جای القای مسیر بیوسنتز آنتوسیانین باعث کاهش آن شود. این اتفاق معمولاً زمانی رخ می‌دهد که ساکارز به‌عنوان یک سیگنال قندی، مسیرهای متابولیکی را به سمت تولید ترکیبات دیگر (مانند قندها یا نشاسته) هدایت کند. ساکارز با مهار بیان ژن‌های bHLH[1] و MYB3[2] که در مسیر بیوسنتز آنتوسیانین ضروری هستند، می‌تواند موجب کاهش تولید آنتوسیانین شود (Solfanelli et al., 2005). در مقابل، میزان آنتوسیانین‌ها (رنگدانه‌های مسئول رنگ قرمز) در گیاه توت فرنگی تحت تأثیر ساکارز افزایش یافته است (Luo et al., 2019).

درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی

اثر متقابل فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه ریحان تحت تأثیر جلبک دریایی و ساکارز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی ساکارز و جلبک دریایی بر درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی ریحان را نشان می‌دهد که بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۶۲/۴۶ درصد) با کاربرد توأم $A_1S_{7.5}$ به دست آمد که افزایش ۲۵۴ درصد نسبت به شاهد را به همراه داشت. کمترین درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به A_0S_0 به‌میزان ۱۷/۶ درصد می‌باشد (جدول ۵). به‌طورکلی، ترکیب ساکارز با جلبک دریایی می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد مؤثر برای افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان به کار رود. این ترکیب علاوه‌بر تقویت ظرفیت دفاعی گیاه در برابر تنش‌ها، می‌تواند موجب بهبود کیفیت و عملکرد گیاهان شود.

استفاده از غلظت‌های مختلف جلبک دریایی در گیاه کدوی تلخ (*Momordica charantia*) بر میزان آنتی‌اکسیدان اثر مثبت داشته است (Aminifard et al., 2023). افزایش ساکارز به‌میزان پنج تا هفت درصد توانست سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در کشت درون شیشه‌ای گیاه *Artemisia absinthium* L. گردد (Ali *et al*, 2016).

فنل

نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که اثر متقابل کودهای مورد استفاده بر میزان فنل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۴).

1.basic Helix-Loop-Helix
2. Myeloblastosis

بیشترین مقدار فنل از محلول‌پاشی $A_2S_{7.5}$ به دست آمد (جدول ۵). این میزان نسبت به شاهد ۶۶ درصد افزایش داشت. همچنین کمترین مقدار فنل در $A_0S_{2.5}$ (۰/۹۰۸ میلی‌گرم گالیک اسید بر وزن خشک) مشاهده شد. $A_2S_{7.5}$ احتمالاً شرایط ایده‌آل برای سنتز فنل‌ها را فراهم کرده، چون سطح بالای ساکارز، انرژی لازم برای مسیر فنیل‌پروپانوئید را تأمین کرده و جلبک با غلظت متوسط هم بدون ایجاد تنش، مسیر را تحریک کرده است.

غلظت بالاتر ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی می‌تواند با تأثیر کودهای ارگانیک بر فرآیند بیوسنتز این ترکیبات مرتبط باشد. این کودها با فعال‌سازی مسیر شیکیمات و مسیر استات، تولید فلاونوئیدها و ترکیبات فنلی را افزایش می‌دهند (Oliveira et al., 2008). مطالعات وجودی مهربانی و همکاران (Vojoudi Mehrabani et al., 2018) نشان داده است که کودهای آلی و عصاره جلبک دریایی تأثیر مثبتی بر میزان فنل در گیاه همیشه بهار داشتند. همچنین لئو و همکاران (Luo et al., 2019) نشان دادند که ساکارز تأثیر قابل توجهی بر افزایش سطح ترکیبات فنلی در میوه توت‌فرنگی داشت. ساکارز با تحریک مسیرهای بیوسنتزی مرتبط با فنل‌ها، مانند مسیر فنیل‌پروپانوئید، باعث افزایش تولید ترکیبات فنلی از جمله اسیدهای فنولیک و فلاونوئیدها می‌شود.

فلاونوئید

نتایج پژوهش حاکی از این است که اثر متقابل محلول‌پاشی جلبک دریایی و ساکارز بر فلاونوئید کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی ساکارز و جلبک دریایی بر میزان فلاونوئید کل در گیاه ریحان نشان داد که کاربرد توأم تیمارهای A1S7.5 و A2S7.5 منجر به بیشترین مقدار فلاونوئید (معادل ۱/۳۲ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم وزن خشک) گردید. این میزان نسبت به شاهد تقریباً دو برابر افزایش نشان داد. وزن کمترین مقدار آن ۰/۶۴۱ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم وزن خشک برای نمونه شاهد مربوط به عدم کاربرد منابع کودی به دست آمد. ترکیب جلبک دریایی و ساکارز، از طریق تحریک هم‌زمان مسیرهای تغذیه‌ای و دفاعی موجب افزایش سنتز فلاونوئیدها شده است. این افزایش، به‌ویژه زمانی مشهود است که غلظت ساکارز بالا بوده و جلبک در حدی باشد که به‌جای ایجاد تنش، مسیرهای متابولیکی را فعال نگه دارد.

میزان فلاونوئید در گیاه همیشه بهار تحت تأثیر کودهای آلی و عصاره جلبک دریایی قرار گرفت (Vojoudi Mehrabani et al., 2018). تحقیقات انجام‌شده در کلم بروکلی (*Brassica oleracea*) نشان داد که استفاده از عصاره جلبک دریایی موجب افزایش محتوای فلاونوئیدی در گیاهان مورد بررسی شده است (Lola-Luz et al., 2014). لئو و همکاران (Luo et al., 2019) بیان کردند که ساکارز با فعال کردن مسیر فنیل پروپانوئید منجر به افزایش فلاونوئیدها در گیاه توت فرنگی شده است.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی جلبک دریایی و ساکارز بر برخی ار ویژگی‌های فیتوشیمیایی ریحان

Table 4- Analysis of variance for the effect of seaweed and sucrose foliar spraying on some Phytochemical characteristics of basil

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares			
		آنتوسیانین Anthocyanin	فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity	فنل Phenol	فلاونوئید Flavonoid
بلوک Block	2	0.151^{ns}	0.582^{ns}	0.008^{ns}	0.002^{ns}
جلبک دریایی Seaweed (A)	3	25.108**	389.525**	0.433**	0.501**
ساکارز Sucrose (S)	3	1.343^{ns}	365.596**	0.101**	0.113**
جلبک دریایی × ساکارز A × S	9	3.381**	338.754**	0.061**	0.042**
خطای آزمایش Error	30	0.577	3.769	0.007	0.001
ضریب تغییرات C.V (%)	-	23.8	29.4	29.4	20.6

^{ns}، ** و *: به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

^{ns}, ** and *: non-significant, significant at $p\leq0.01$ and $p\leq0.05$, respectively.

جدول ۵- اثر متقابل محلول‌پاشی جلبک دریایی × ساکارز بر برخی از ویژگی‌های فیتوشیمیایی ریحان

Table 5- The interaction effect of seaweed ×sucrose foliar spraying on some phytochemical characteristics of basil

جلبک دریایی Seaweed ($ml.l^{-1}$)	ساکارز Sucrose ($g.l^{-1}$)	آنتوسیانین Anthocyanin ($mg.g^{-1}$ dry weight)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity (%)	فنل Phenol (mg gallic acid.dry $weight^{-1}$)	فلاونوئید Flavonoid (mg quercetin.dry $weight^{-1}$)
0	0	$4.69^{i*} \pm 0.49$	$17.6^{k} \pm 0.49$	$0.963^{hi} \pm 0.02$	$0.641^{h} \pm 0.007$
	2.5	$5.66^{g-i} \pm 0.35$	$37.9^{de} \pm 0.52$	$0.908^{i} \pm 0.03$	$0.704^{g} \pm 0.01$
	5	$4.81^{i} \pm 0.56$	$29.3^{i} \pm 1.1$	$1.09^{f-h} \pm 0.10$	$0.781^{f} \pm 0.006$
	7.5	$6.85^{d-g} \pm 0.16$	$31.3^{hi} \pm 0.35$	$1.28^{de} \pm 0.08$	$0.947^{e} \pm 0.03$
1	0	$7.15^{c-f} \pm 0.13$	$52.06^{b} \pm 1.0$	$1.24^{d-f} \pm 0.01$	$1.05^{d} \pm 0.01$
	2.5	$5.61^{g-i} \pm 0.55$	$25.7^{g} \pm 1.5$	$1.18^{e-g} \pm 0.10$	$1.07^{d} \pm 0.004$
	5	$6.30^{f-h} \pm 0.23$	$30.03^{hi} \pm 1.4$	$1.06^{gh} \pm 0.01$	$1.26^{ab} \pm 0.01$
	7.5	$5.24^{hi} \pm 0.37$	$62.4^{a} \pm 1.4$	$1.19^{d-g} \pm 0.008$	$1.31^{a} \pm 0.01$
2	0	$6.58^{e-h} \pm 0.21$	$29.4^{i} \pm 0.42$	$1.03^{g-i} \pm 0.02$	$1.04^{d} \pm 0.02$
	2.5	$6.46^{e-h} \pm 0.59$	$33.5^{gh} \pm 2.02$	$1.35^{cd} \pm 0.01$	$1.18^{c} \pm 0.02$
	5	$7.78^{b-e} \pm 0.6$۰	$43.3^{d} \pm 0.88$	$1.24^{d-f} \pm 0.06$	$0.828^{f} \pm 0.03$
	7.5	$8.44^{bc} \pm 0.47$	$38.2^{ef} \pm 0.56$	$1.608^{a} \pm 0.06$	$1.32^{a} \pm 0.01$
3	0	$8.05^{b-d} \pm 0.48$	$41.1^{de} \pm 0.44$	$1/44^{bc} \pm 0.01$	$1.20^{bc} \pm 0.01$
	2.5	$10.28^{a} \pm 0.52$	$31.4^{hi} \pm 0.66$	$1/55^{ab} \pm 0.01$	$1.20^{bc} \pm 0.01$
	5	$7.86^{b-e} \pm 0.24$	$35.6^{fg} \pm 1.3$	$1/56^{ab} \pm 0.04$	$1.22^{bc} \pm 0.02$
	7.5	$8.86^{b} \pm 0.23$	$46.7^{c} \pm 1.5$	$1.47^{a-c} \pm 0.03$	$1.23^{bc} \pm 0.03$

* در هر ستون اعدادی با حرف مشابه یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری با هم در سطح احتمال پنج درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند.

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

نتیجه‌گیری

اثر متقابل محلول‌پاشی جلبک دریایی و ساکارز بر ارتفاع بوته، وزن تر و خشک برگ، وزن تر ساقه، سطح برگ، میزان کلروفیل a، b و کل، کاروتنوئید، آنتوسیانین، درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل و فلاونوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. کاربرد $A_1S_{7.5}$ به‌صورت محلول‌پاشی در گیاه دارویی ریحان منجر به بالاترین میزان ارتفاع بوته (۴۳/۸۳ سانتی‌متر)، وزن تر (۵/۳۴) و وزن خشک اندام هوایی (۰/۶۵ گرم)، درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۶۴/۴۶ درصد) شد.

با استفاده از $A_2S_{7.5}$، بیشترین میزان کلروفیل a (۰/۸۶۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، b (۰/۶۳۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل کل (۱/۰۵۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به دست آمد.

همچنین بیشترین سطح برگ (۹/۶۵ سانتی‌مترمربع) با کاربرد تیمار $A_2S_{2.5}$، کاروتنوئید (۰/۶۳۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) با کاربرد A_3S_0، آنتوسیانین (۱۰/۲۸ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) $A_3S_{2.5}$، فنل (۱/۶۰ میلی‌گرم گالیک اسید بر وزن خشک) و فلاونوئید (۱/۳۲ میلی‌گرم کوئرسیون بر وزن خشک) نیز در اثر کاربرد با $A_2S_{7.5}$ به دست آمد.

به‌طورکلی، ترکیب کودی $A_1S_{7.5}$ و $A_2S_{2.5}$ بیشترین تأثیر را بر مقادیر صفات مورفوفیزیولوژیک داشتند. رنگیزه‌های فتوسنتزی نیز تحت تأثیر ترکیبات $A_2S_{7.5}$ و A_3S_0 بودند. همچنین صفات فیتوشیمیایی گیاه ریحان متأثر از ترکیبات $A_1S_{7.5}$، $A_2S_{7.5}$ و $A_3S_{2.5}$ بود.

کاربرد این ترکیبات می‌تواند به‌عنوان یک راهکار زیست‌سازگار در بهبود رشد، عملکرد و کیفیت ترکیبات دارویی گیاه ریحان مورد استفاده قرار گیرد و جایگزینی مناسب برای کودهای شیمیایی در سیستم‌های کشاورزی پایدار باشد. از دیدگاه صنعتی، افزایش محتوای ترکیبات فیتوشیمیایی از جمله آنتوسیانین، فنل‌ها و فلاونوئیدها می‌تواند موجب ارتقاء ارزش افزوده محصولات گیاهان دارویی شود . بااین‌حال، برای بهره‌گیری هرچه بهتر از این ترکیبات زیستی، انجام مطالعات بیشتر به‌منظور بررسی سازوکارهای فیزیولوژیکی و مولکولی اثر آن‌ها ضروری است. همچنین پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های آینده در زمینه بررسی پایداری این اثرات در شرایط اقلیمی مختلف، ارزیابی اقتصادی استفاده از این ترکیبات و تعمیم آن به سایر گونه‌های گیاهان دارویی صورت گیرد. این یافته‌ها می‌توانند افق‌های تازه‌ای برای کاربرد عملی ترکیبات زیستی در کشاورزی هوشمند و صنایع دارویی و غذایی باز کنند.

با وجود نتایج قابل توجه این پژوهش در شرایط کنترل‌شده گلخانه‌ای، بررسی تأثیرات بلندمدت و میدانی کاربرد کودهای زیستی نظیر جلبک دریایی و ساکارز در شرایط اقلیمی متنوع، پیشنهاد می‌شود. همچنین گسترش تعداد تکرارها و استفاده از گونه‌های

مختلف گیاهان دارویی می‌تواند به تعمیم‌پذیری نتایج کمک کند. این موارد می‌توانند مسیر تحقیقات آتی را روشن‌تر کرده و بهینه‌سازی کاربرد این ترکیبات را در تولید پایدار محصولات دارویی ممکن سازند.

References

1. Abdel-Mawgoud, A. M. R., Tantaway, A., Hafez, M. M., & Habib, H. A. M. (2010). Seaweed extract improves growth, yield and quality of different watermelon hybrids. *Journal of Agricultural and Biological Science*, *6*, 161-168.
2. Ali, M., Abbasi, B. H., Ahmad, N., Ali, S. S., Ali, S., & Ali, G. S. (2016). Sucrose-enhanced biosynthesis of medicinally important antioxidant secondary metabolites in cell suspension cultures of *Artemisia absinthium* L. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, *39*, 1945-1954. https://doi.org/10.1007/s00449-016-1656-z.
3. Ali, O., Ramsubhag, A., & Jayaraman, J. (2021). Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. *Plants, 10*(3), 531. https://doi.org/10.3390/plants10030531
4. Amanjani, N., Akbarpour, V., & Bahmanyar, M. A. (2024). The effect of seaweed and humic acid on some phytochemical properties of the medicinal plant lemon verbena (*Lippia citriodora*). The 5th National Conference on Development and Promotion of Agricultural Engineering and Soil Science in Society, Tehran Tehran, Iran. (In Persian). URL: https://civilica.com/doc/1987826
5. Aminifard, M., Khaksar Moghaddam, A., Bayat, H., & Fallahi, H. (2023). The effect of potassium sulfate and seaweed extract application on the content of photosynthetic pigments and some active compounds in saffron stigma (*Crocus sativus* L.). *Saffron Research Journal*, *11*(2), 297-313. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/jsr.2024.7024.1229
6. Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, *23*, 112-121.
7. Chrysargyris, A., Xylia, P., Anastasiou, M., Pantelides, I., & Tzortzakis, N. (2018). Effects of *Ascophyllum nodosum* seaweed extracts on lettuce growth, physiology and fresh-cut salad storage under potassium deficiency. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 98*(15), 5861-5871. https://doi.org/10.1002/jsfa.9139
8. De Ancos, B., Gonzalez, E., & Cano, M. P. (1999). Differentiation of raspberry varieties according to anthocyanin composition. *Food Research and Technology*, *208*, 33-38.
9. El-Naggar, A., Hassan, M. R. A., & Saeid, A. M. (2020). Growth and essential oil analysis of *Ocimum basilicum* L. plants as affected by seaweed extract and active dry yeast. *Scientific Journal of Flowers and Ornamental Plants*, *7*(1), 27-43. https://doi.org/10.21608/sjfop.2020.91394
10. Esmailpour, B., Fatemi, H., & Moradi, M. (2020). The effect of seaweed extract on physiological and biochemical indices of basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress conditions. *Journal of Greenhouse Science and Technology*, *11*(1), 59-69. (In Persian with English abstract). http://dx.doi.org/10.47176/jspi.11.1.10288.
11. Esmailpour, B., Shojaei, A., Azarmi, R., & Aslani, Z. (In press). The effect of seaweed extract and organic growing media on growth indices, yield, and essential oil of savory (*Satureja hortensis* L.). *Agricultural Science and Sustainable Production*. (In Persian). https://doi.org/10.22146/agritech.28324.
12. Fadaei, M., Akbarpour, V., Mousavizadeh, S. J., & Ghasemi, K. (2023). Evaluation of the effect of ascorbic acid and sucrose foliar application on some quantitative and qualitative characteristics of *Cucurbita pepo* var. Styriaca. *Journal of Horticultural Science*, *37*(1), 89-104. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22067/jhs.2021.72192.1087
13. Ghorbani Dehkordi, A., Mashayekhi, K., & Kamkar, B. (2015). The effect of foliar application of sucrose, boron, potassium nitrate, and salicylic acid on yield and yield components of tomato (Super A cultivar). *Research in Crop Ecosystems*, *2*(1), 43-52. (In Persian with English abstract).
14. Heidari, M., Daneshian Moghaddam, A. M., & Nourafkan, H. (2016). The effect of vermicompost and seaweed liquid fertilizer on morphophysiological characteristics of calendula (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*, *10*(4), 891-906. (In Persian with English abstract).
15. Jaswant Singh, J. S., Sharma, K. K., Mann, S. S., Raghbir Singh, R. S., & Grewal, G. P. S. (1994). Effect of different chemicals on yield and fruit quality of 'Le Conte' pear. *In: VI International Symposium on Pear Growing* 367. 1993. p. 210-213.
16. Jeandet, P., Formela-Luboińska, M., Labudda, M., & Morkunas, I. (2022). The role of sugars in plant responses to stress and their regulatory function during development. *International Journal of Molecular Sciences, 23*(9), 5161. https://doi.org/10.3390/ijms23095161
17. Karami, A., Shabani, A., & Alamzadeh Ansari, N. (2023). The effect of magnesium aminochelate and seaweed (*Sargassum angustifolium*) on improving growth and quality characteristics of greenhouse cucumber in a magnesium-reduced nutrient solution. *Journal of Plant Production Research, 31*(1), 149-170. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/jopp.2023.21396.3044

18. Karataş, İ., & Vachouscova, P. (2023). Optimization of sucrose concentration to promote root proliferation and secondary metabolite accumulation in adventitious root cultures of *Ocimum basilicum*. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, *59*(1), 365-377. https://doi.org/10.1007/s11627-023-10341-9
19. Lee, S. E., Hwang, H. J., Ha, J. S., Jeong, H. S., & Kim, J. H. (2003). Screening of medicinal plant extracts for antioxidant activity. *Life Sciences*, *73*(2), 167-179. https://doi.org/10.1016/S0024-3205(03)00259-5.
20. Liu, C., Yu, H., Liu, Y., Zhang, L., Li, D., Zhao, X., Zhang, J., & Sui, Y. (2024). Promoting anthocyanin biosynthesis in purple lettuce through sucrose supplementation under nitrogen limitation. *Horticulturae*, *10*(8), 838. https://doi.org/10.3390/horticulturae10080838
21. Lola-Luz, T., Hennequart, F., & Gaffney, M. (2014). Effect on yield, total phenolic, total flavonoid and total isothiocyanate content of two broccoli cultivars (*Brassica oleraceae var italica*) following the application of a commercial brown seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*). *Agricultural and Food Science*, *23*(1), 28-37. https://doi.org/10.23986/afsci.8285.
22. Loreti, E., Povero, G., Novi, G., Solfanelli, C., Alpi, A., & Perata, P. (2008). Gibberellins, jasmonate and abscisic acid modulate the sucrose-induced expression of anthocyanin biosynthetic genes in *Arabidopsis*. *The New Phytologist*, *180*(2), 313-323. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02511.
23. Luo, Y., Lin, Y., Mo, F., Ge, C., Jiang, L., Zhang, Y., & Tang, H. (2019). Sucrose promotes strawberry fruit ripening and affects ripening-related processes. *International Journal of Genomics*, *2019*(1), 9203057. https://doi.org/10.1155/2019/9203057.
24. Mashayekhi, K., & Atashi, S. (2012). The effect of boron and sucrose foliar application on some biochemical characteristics of strawberry (Camarosa cultivar). *Journal of Plant Production Research*, *19*(4), 157-172. (In Persian with English abstract). https://sid.ir/paper/155967/fa.
25. Mohammadpour, Gh., Farzaneh, S., Raeisi Sadati, Y., & Sharifi, R. (In Press). The effect of humic acid and seaweed extract on some biochemical traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under drought stress in two locations of Kermanshah province. *Plant Productions*. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22055/ppd.2024.46890.2168.
26. Naseri, Z., Derakhshan, A. R., & Norouzi, S. (2022). Therapeutic effects of basil (*Ocimum basilicum*) in traditional Persian medicine and modern medicine: A narrative review. *Journal of Herbal Medicine*, *14*(47), e32. (In Persian with English abstrac). https://doi.org/10.1016/j.hermed.2022.100465
27. Oda, M., Aoki, S., Nagaoka, M., & Tsuji, K. (1989). Nutrient solution culture of leaf lettuce under artificial light II. Growth promotion induced by continuous illumination with low light intensity. *Environment Control in Biology*, *27*(3), 75-82.
28. Oliveira, I., Sousa, A., Ferreira, I.C., Bento, A., Estevinho, L., & Pereira, J. A. (2008). Total phenols, antioxidant potential and antimicrobial activity of walnut (*Juglans regia* L.) green husks. *Food and Chemical Toxicology*, *46*(7), 2326-2331. https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.03.017
29. Pontis, H., & Martínez-Noel, G. (2013). Sucrose signaling in plants: A world yet to be explored. *Plant Signaling & Behavior*, *8*(10), e23316. https://doi.org/10.4161/psb.23316
30. Rezaei, A., Ebadi, M. T., & Pirani, H. (2019). The effect of different levels of organic seaweed fertilizer on growth indices, yield, and essential oil content of savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Horticultural Science*, *33*(49), 685-696. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v33i4.78699.
31. Rezazadeh, Sh., Aminian, R., Mafakheri, S., & Asghari, B. (2019). Investigating the effect of biofertilizers on Morphophysiological traits of fenugreek under different moisture conditions. *Journal of Horticultural Plant Nutrition*, *2*(1), 145-163. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22070/hpn.2019.4547.1029.
32. Salehi Malekabadi, R., Nezamdoost Darestani, D., & Ghasemi, K. (2021). The effect of sucrose and some nutrient elements foliar application on carbohydrate partitioning in radish (*Rhaphunus sativus* var. *sativus*). *Journal of Horticultural Plant Nutrition*, *4*(1), 79-96. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22070/hpn.2020.5714.1109
33. 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.
34. Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, *299*, 152-178. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1
35. Solfanelli, C., Poggi, A., Loreti, E., Alpi, A., & Perata, P. (2005). Sucrose-specific induction of the anthocyanin biosynthetic pathway in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, *140*(2), 637-646. https://doi.org/10.1104/pp.105.072579.
36. Sridhar, S., & Rengasamy, R. (2011). Effect of seaweed liquid fertilizer on growth, pigment concentration and yield of *Amaranthus roxburghinus* and *Amaranthus tricolor* under field trial. *Journal of Current Research*, *3*(7), 131-134.

37. Sujeeth, N., Petrov, V., Guinan, K. J., Rasul, F., O'Sullivan, J. T., & Gechev, T. S. (2022). Current insights into the molecular mode of action of seaweed-based biostimulants and the sustainability of seaweeds as raw material resources. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(14), 7654. https://doi.org/10.3390/ijms23147654
38. Sunarpi, S., Jupri, A., Kurnianingsih, R., Julisaniah, N. I., & Nikmatullah, A. (2011). Effect of seaweed extracts on growth and yield of rice plants. *Asian Journal of Tropical Biotechnology*, *8*(1), 220
39. Thambiraj, J., Lingakumar, K., & Paulsamy, S. (2012). Effect of seaweed liquid fertilizer (SLF) prepared from *Sargassum wightii* and *Hypnea musciformis* on the growth and biochemical constituents of the pulse, Cyamopsis tetragonoloba (L). *Journal of Research in Agriculture*, *1*, 65-70.
40. Torab Ahmadi, S., Abedi, B., & Saber Ali, S. F. (2019). Evaluation of some quantitative and qualitative traits of pistachio in response to amino acid compounds and seaweed extract. *Agricultural Science and Sustainable Production*, *29*(4), 189-204. (In Persian with English abstract).
41. Trettel, J. R., Nascimento, A. B., Barbosa, L. N., & Magalhães, H. M. (2018). *In vitro* growth of Genovese basil in response to different concentrations of salts and interaction of sucrose and activated carbon. *Journal of Agricultural Science*, *10*(9), 142-150. https://doi.org/10.5539/jas.v10n9p142
42. Vojoudi Mehrabani, L., Hassanpour Aghdam, M., Ebrahimzadeh, A., & Valizadeh, R. (2018). The effect of organic fertilizers and mulch on yield and some physiological characteristics of calendula (*Calendula officinalis* L.) under seaweed extract foliar application. *Journal of Plant Ecophysiology*, *35*(10), 212-220. (In Persian with English abstract). https://sid.ir/paper/188417/fa.
43. Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids and anthocyanins in protoplast. *Plant Physiology*, *64*, 88-93. https://doi.org/10.1104/pp.64.1.88.
44. Wrolstad, R. E., Skrede, G., Lea, P., & Enersen, G. (1990). Influence of sugar on anthocyanin pigment stability in frozen strawberries. *Journal of Food Science*, *55*(4), 1064-1066. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb01595.x.
45. Yonekura, M., Aoki, N., Hirose, T., Onai, K., Ishiura, M., Okamura, M., & Ohto, C. (2013). The promoter activities of sucrose phosphate synthase genes in rice, *OsSPS1* and *OsSPS11*, are controlled by light and circadian clock, but not by sucrose. *Frontiers in Plant Science*, *4*, 31. https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00031.
46. Yoon, J., Cho, L. H., Tun, W., Jeon, J. S., & An, G. (2021). Sucrose signaling in higher plants. *Plant Science*, *302*, 110706. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110706
47. Zhakipbekov, K., Turgumbayeva, A., Akhelova, S., Bekmuratova, K., Blinova, O., Utegenova, G., Shertaeva, K., Sadykov, N., Tastambek, K., Saginbazarova, A., & Urazgaliyev, K. (2024). Antimicrobial and other pharmacological properties of *Ocimum basilicum*, Lamiaceae. *Molecules*, *29*(2), 388. https://doi.org/10.3390/molecules29020388

Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 40, No. 1, Spring 2026, p. 93-109

Study of Vegetative and Ornamental Traits of Different Species of Sage (*Salvia* spp.) in the Climatic Conditions of Birjand

M. Abaspour[1], H. Bayat[1*], M. H. Aminifard[1], F. Moradinezhad[1]

1- Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
(*- Corresponding author's Email: hassanbayat@birjand.ac.ir)

Received: 07 March 2025
Revised: 30 June 2025
Accepted: 07 July 2025
Available Online: 07 July 2025

How to cite this article:
Abaspour, M., Bayat, H., Aminifard, M. H., & Moradinezhad, F. (2026). Study of vegetative and ornamental traits of different species of sage (*Salvia* spp.) in the climatic conditions of Birjand. *Journal of Horticultural Science*, *40*(1), 93-109. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92524.1419

Introduction

Sage (*Salvia* spp.), which belongs to the mint family (Lamiaceae), is considered one of the largest and most important genera in terms of aromatic and medicinal properties. This diverse genus includes approximately 900 species, each with unique characteristics, and is mainly native to the northern Mediterranean and North African regions. It is used as a traditional medicine in the treatment of many diseases and as a seasoning and flavoring in the food industry. Sage is a remarkable plant that is widely known for its numerous medicinal properties, including antispasmodic, antiseptic and sedative effects, which makes it very valuable in traditional and modern medicine. In addition to its therapeutic benefits, this aromatic plant usually reaches a height of 60 cm. The plant is suitable for cultivation in green spaces and parks due to its ornamental properties and resistance to environmental stresses. Numerous features, including the diversity of the native Iranian sage genus, aesthetic aspects, and high adaptability to environmental stresses such as drought, increase the potential of these plants for use in urban green spaces, and their widespread use can help create sustainable green spaces. Considering the beauty of the leaves and flowers of these plants, the presence of abundant fragrance during the flowering stage, the lack of need for special conditions for cultivation, and their resistance to adverse conditions, it seems that these plants are very suitable for cultivation in green spaces for ornamental purposes. Most previous research on sage has focused on the medicinal value and the increase in its medicinal compounds and secondary metabolites, and the ornamental potential of the plant for use in green spaces has not been considered. Considering the diversity of this genus in Iran and its beauty, its use in urban green spaces as a native plant compatible with the country's climatic conditions can be investigated. Therefore, the present study aimed to investigate the vegetative and ornamental traits of different native and imported sage species, as well as the potential of this plant for ornamental uses in the climatic conditions of Birjand.

Materials and Methods

This study was conducted on 14 genotypes of medicinal sage (*Salvia* spp.) in the research farm and greenhouse of the Faculty of Agriculture, University of Birjand during 2022-2024 in a randomized complete block design with three replications. During the plant growth period, vegetative traits including plant height, plant width and number of leaves were examined every 15 days. At the full flowering stage, peduncle length, number of peduncle, number of florets in main and axillary inflorescences, number of axillary inflorescence peduncles, inflorescence diameter, peduncle diameter, diameter and length of floret, length of main and axillary inflorescence, interfloral distance of florets, number of days to flowering, and flower durability on the plant were measured.

©2024 The author(s). 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.2025.92524.1419

Results and Discussion

The results of variance analysis showed that there was a significant difference between different sage species for all studied traits at the 1% probability level. The highest plant height (32.93 cm), leaf width (63.80 cm), and number of leaves (337) were obtained from the species *Salvia nemorosa* SA036, *Salvia sclarea* var turkestanica SA060 and *Salvia officinalis*, respectively. In addition, the lowest plant height (3.20 cm) was obtained from *Salvia chorassanica*, leaf width (6.05 cm) and number of leaves (6) from the species *Salvia virgata*. In terms of reproductive traits, the highest peduncle length (49.15 cm), main inflorescence length (34.10 cm) and number of axillary inflorescence (12) were observed in the *Salvia sclarea* SA058 species. The lowest flower durability on the plant (25 days) was observed in the *Salvia chorassanica* species, and the other species had the highest flower persistence and no significant difference was observed between them. The highest (23) and lowest (2) number of peduncle were observed in the *Salvia reuterina* and *Salvia firgida* species, respectively. The highest inflorescence diameter (51.81 mm) and peduncle diameter (4.45 mm) were obtained from *Salvia reuterina* and *Salvia sclarea* var turkestanica SA060, respectively. The results of this study showed that there was high genetic diversity in terms of morphological traits among different sage species, which have the potential to be used as ornamental plants in urban green spaces.

Conclusion

The results of this study showed that native and imported sage species have significant diversity in terms of vegetative and ornamental traits, indicating the high genetic potential of this genus. Some imported sage species, especially in terms of ornamental characteristics, perform better than native species. These species show significant potential for cultivation in urban green spaces, making them very valuable for landscaping purposes. By intelligently selecting and including these species in urban planning, a significant contribution can be made in increasing and maintaining the aesthetic appeal of urban environments. Given the diversity of sage species in the country, it is essential to examine this diversity and use it in breeding programs for ornamental purposes and cultivation in urban green spaces.

Keywords: Green space, Morphological diversity, Ornamental plant, Phenology

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۴۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص. ۱۰۹-۹۳

بررسی صفات رویشی و زینتی گونه‌های مختلف مریم‌گلی (*Salvia* spp.) درشرایط آب‌وهوایی بیرجند

مریم عباس پور[۱]- حسن بیات[۱*]- محمد حسین امینی فرد[۱]- فرید مرادی نژاد[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۶

چکیده:

مریم‌گلی (*Salvia* spp.) یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین جنس‌های خانواده نعناعیان است که به‌دلیل ارزش زینتی بالا و داشتن مقاومت به تنش‌های محیطی به‌ویژه کم‌آبی، پتانسیل قابل توجهی برای استفاده در فضای سبز شهری دارد. با توجه به شرایط آب‌وهوایی خشک و نیمه‌خشک شهرستان بیرجند، شناسایی گونه‌های گیاهی متحمل به تنش خشکی و دارای خصوصیات زینتی مناسب، ضروری به نظر می‌رسد. افزایش تقاضا برای استفاده از گیاهان زینتی با مصرف آب پایین در فضاهای سبز شهری، لزوم ارزیابی گونه‌های مختلف مریم‌گلی را در این منطقه برجسته می‌کند. این پژوهش با هدف شناسایی و معرفی گونه‌های مریم‌گلی با بهترین صفات رویشی و زینتی در شرایط آب‌وهوایی بیرجند به‌منظور استفاده در فضای سبز شهری و گلدان‌های تزئینی انجام شد.در این پژوهش، صفات رویشی و زینتی ۱۴ گونه مختلف مریم‌گلی (بومی و وارداتی) در شرایط مزرعه طی سال‌های ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۳ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین گونه‌های مختلف مریم‌گلی برای کلیه صفات مورد بررسی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. بیشترین ارتفاع گیاه (۳۲/۹۳ سانتی‌متر)، عرض برگ (۶۳/۸۰ سانتی‌متر) و تعداد برگ (۳۳۷) به‌ترتیب از گونه‌های *Salvia nemorosa* SA036، *Salvia sclarea* var turkestanica SA060 و *Salvia officinalis* به دست آمد. از نظر صفات زایشی، بیشترین طول ساقه گل‌دهنده (۴۹/۱۵ سانتی‌متر)، طول گل‌آذین اصلی (۳۴/۱۰ سانتی‌متر) و تعداد گل‌آذین جانبی (۱۲ عدد) از گونه *Salvia sclarea* SA058 به دست آمد. بیشترین (۲۳/۰) و کمترین (۲/۰) تعداد ساقه گل‌دهنده به‌ترتیب در گونه‌های *Salvia reuterina* و *Salvia firgida* مشاهده شد. کمترین ماندگاری گل روی بوته (۲۵ روز) مربوط به گونه *Salvia chorassanica* بود و سایر گونه‌ها بیشترین ماندگاری گل را داشتند و بین آن‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج این تحقیق نشان داد که گونه‌های مختلف مریم‌گلی دارای تنوع قابل ملاحظه‌ای از لحاظ صفات ریخت‌شناختی هستند که این امر، اهمیت آن‌ها را به‌عنوان گیاهان زینتی مناسب برای کشت در شرایط خشک و نیمه‌خشک برجسته می‌کند. بنابراین، نتایج این پژوهش می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای برنامه‌های اصلاحی، انتخاب ژنوتیپ‌های برتر و توسعه پایدار فضای سبز در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تنوع ریخت‌شناختی، فضای سبز، فنولوژی، گیاه زینتی

مقدمه

جنس مریم‌گلی (*Salvia* spp.) یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین جنس‌های دارویی – زینتی خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است که حدود ۹۰۰ گونه دارد و در سراسر جهان پراکنده هستند. مریم‌گلی گیاهی چندساله و علفی است و منشأ آن نواحی شمالی مدیترانه و شمال آفریقا می‌باشد (Harizia et al., 2021). این گیاه به‌طور گسترده در طب سنتی جهت درمان بسیاری از بیماری‌ها استفاده می‌شود. در حال حاضر، مریم‌گلی به‌عنوان چاشنی غذا و طعم‌دهنده در صنایع غذایی مورد توجه است و از گل‌های آن برای دمنوش استفاده می‌شود. این گیاه به‌دلیل خواص دارویی مهم از جمله ضداسپاسم، ضدقابض، ضدعفونی‌کننده، آنتی‌بیوتیک، آرام‌بخش، محرک کبد و ... در صنایع دارویی کاربردهای فراوان دارد (Koubaa et al., 2021). این گیاه تا ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر رشد نموده و دارای ساقه‌های چهارگوش کرک‌دار، ریشه راست و دارای انشعابات فراوان می‌باشد (Lopresti, 2017). شرایط اقلیمی شهر بیرجند به‌عنوان مرکز استان خراسان جنوبی، تحت تأثیر موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی منطقه

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: hassanbayat@birjand.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92524.1419

قرار دارد. این شهر دارای اقلیمی کویری و نیمه‌خشک است. میانگین دمای سالانه بیرجند حدود ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. دما در فصل تابستان به بالای ۴۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و گاهی وزش بادهای بلند نیز افزایش یافته و باعث افزایش احساس گرما می‌شود. در مقابل، زمستان‌ها معمولاً سرد هستند و دمای هوا تا ۱۰- درجه سانتی‌گراد کاهش پیدا می‌کند. بارش‌های سالانه در بیرجند بین ۱۸۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر تخمین زده می‌شود که عمدتاً در فصول پاییز و بهار رخ می‌دهد. رطوبت نسبی متوسط در این شهر حدود ۳۰ درصد است که نشان از خشکی نسبی هوا دارد. بیرجند در ارتفاع تقریبی ۱۴۹۰ متری از سطح دریا قرار دارد و بیش از ۳۰۰۰ ساعت آفتابی در سال را تجربه می‌کند (Golkar Hamzai Yazd, 2016).

گیاه مریم‌گلی در ایران بیشتر در استان‌های کرمان، اصفهان، فارس، خراسان رضوی ، خراسان جنوبی و همدان به‌صورت زراعی و گاهی به‌صورت وحشی یافت می‌شود. این مناطق به‌دلیل اقلیم نیمه‌خشک و خاک‌های آهکی، شرایط مناسبی برای کشت این گیاه دارویی دارند (Jamzad & Moein, 2017). این جنس در طیف وسیعی از زیستگاه‌ها مانند مناطق بوته‌ای، جنگل‌ها، علفزارها، سنگ‌های آهکی و کنار جاده‌ها دیده می‌شوند و از سطح دریا تا ارتفاع ۲۳۰۰ متری گسترش می‌یابد (Şenkal et al., 2019; Ergul et al., 2021; Guzel et al., 2021).

بسیاری از گونه‌های جنس مریم‌گلی به‌دلیل برخورداری از پتانسیل زینتی و همچنین مقاومت بالا به تنش‌های محیطی جهت کشت در فضای سبز و پارک‌ها مناسب هستند (Kesari & Rangan, 2011). کشت‌وکار گونه‌های مختلف مریم‌گلی با اهداف دارویی، زینتی و غذایی انجام می‌شود و از نظر اقتصادی (فرآورده‌های غذایی، صنایع بهداشتی و درمانی) حائز اهمیت هستند. پژوهش‌های مختلفی در مورد مریم گلی انجام شده که نشان می‌دهد این جنس تنوع ژنتیکی بسیار بالایی در ایران دارد که نیازمند اهلی‌سازی گونه‌ها به‌عنوان ذخایر ژنتیکی با ارزش و با پتانسیل دارویی و زینتی است (Esmaeili et al., 2022). به‌عنوان مثال، نتایج بررسی صفات ریخت‌شناختی ارقام مختلف مریم‌گلی یونانی (*Salvia fruticosa* Mill.) که از نقاط مختلف یونان جمع‌آوری شده بودند، نشان داد که تنوع ژنتیکی بالایی در صفات ریخت‌شناختی جمعیت‌های مریم‌گلی یونانی وجود دارد (Leontaritou et al., 2020). این تنوع نشان‌دهنده وجود تفاوت‌های ژنتیکی بالا بین جمعیت‌ها است که می‌تواند منبع مناسبی برای برنامه‌های اصلاحی باشد. در مطالعه دیگری که به‌منظور بررسی تنوع ژنتیکی برخی از اکوتیپ‌های گیاه دارویی مریم‌گلی خلیجی (*Salvia santolinifolia* Boiss) با استفاده از نشانگرهای ریخت‌شناسی انجام شد، نتایج نشان داد که از نظر صفاتی مانند ارتفاع گیاه، قطر تاج‌پوشش، تعداد انشعاب از قاعده، تعداد انشعاب فرعی، طول و عرض برگ و طول گل‌آذین تفاوت معنی‌داری وجود داشت. این یافته‌ها نشان از وجود تنوع فنوتیپی قابل توجه در میان گونه‌های *Salvia* دارد که می‌تواند در برنامه‌های انتخاب و به‌نژادی مورد استفاده قرار گیرد (Raisi Monfared et al., 2020). در مطالعه‌ای که روی هفت اکوتیپ مریم‌گلی اصفهانی (*Salvia reuterina*) انجام شد، نتایج نشان داد که اکوتیپ‌های مختلف از نظر ویژگی‌های طول و عرض برگ، طول شاخه گل‌آذین و طول انشعاب‌های فرعی که صفت‌های تأثیرگذار بر عملکرد کمّی و کیفی محصول به شمار می‌آیند، از تنوع بالایی برخوردار بودند. این صفات که مستقیماً بر عملکرد کمّی و کیفی گیاه تأثیر می‌گذارند، نشان‌دهنده پتانسیل این گونه برای اهلی‌سازی و توسعه کشت زراعی هستند (Fatahi et al., 2014). همچنین در بررسی تنوع مورفولوژیک صفات کمّی و کیفی جمعیت‌های مختلف گونه‌های *S. reuternia* و *S. palaestina*، نتایج نشان داد با گزینش بهترین ژنوتیپ می‌توان به کشت و زراعی کردن این گیاه دست یافت. این یافته‌ها نشان‌دهنده تأثیر عوامل محیطی محلی در شکل‌گیری تنوع فنوتیپی در این گونه‌ها است (Fatahi et al., 2014). همچنین تنوع ریخت‌شناسی نُه جمعیت از گونه مریم‌گلی (*Salvia limbata*) بررسی شد و نتایج نشان داد که جمعیت‌های مختلف در چهار گروه مختلف قرار گرفتند، به‌طوری‌که جمعیت‌های جمع‌آوری‌شده از نقاط جغرافیایی نزدیک به هم، شباهت بیشتری به یکدیگر داشتند و در یک زیرگروه قرار گرفتند. این یافته‌ها اهمیت ارزیابی گونه‌های وارداتی از نظر تنوع ظاهری و تحمل به شرایط محیطی را برجسته می‌کند (Talebi et al., 2019). مطالعات مشابه که توسط کوستاس و همکاران (Kostas et al., 2022) روی صفات ریخت‌شناختی هفت جمعیت گیاه رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) انجام شد، تنوع فنوتیپی قابل توجهی را بین صفات ارتفاع گیاه، تعداد برگ، طول شاخه انتهایی، عرض برگ و طول برگ نشان داد. در تحقیقی دیگر، تنوع صفات ریخت‌شناختی توده‌های مرزه تابستانه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که برای صفات تعداد برگ، تعداد گل، طول برگ، طول گل، عرض گل‌آذین، تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی و طول گل‌آذین تفاوت معنی‌داری بین توده‌ها وجود داشت (Fathi et al., 2019). در مطالعه دیگری که به‌منظور ارزیابی تنوع صفات ریخت‌شناسی ژنوتیپ‌های نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) ایران با منشأهای مختلف انجام شد، نتایج نشان داد که تنوع ژنتیکی چشمگیری از لحاظ صفات ریخت‌شناختی بین ژنوتیپ‌های نعناع فلفلی وجود داشت (Bashirzadeh et al., 2024). به‌طورکلی، مقدار قابل توجهی از تنوع فنوتیپی در صفات ریخت‌شناختی در میان

جمعیت‌های گونه‌های گیاهی Lamiaceae وجود دارد که می‌تواند برای متمایز کردن صفات کیفی، مناطق رشد مختلف برای کارهای انتخابی و کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار گیرد (Zigene et al., 2022).

به‌دلیل زیبایی برگ‌ها و گل‌های مریم‌گلی و وجود عطر فراوان در مرحله گل‌دهی و عدم نیاز به شرایط خاص جهت پرورش و مقاومت به شرایط نامساعد محیطی، به نظر می رسد که گیاهان بسیار مناسبی جهت کشت‌وکار در فضای سبز با هدف زینتی باشند (Ghani et al., 2010). با وجود تحقیقات متعددی که درباره خواص دارویی و فیتوشیمیایی گونه‌های مختلف مریم‌گلی انجام شده است، اطلاعات کمی در مورد ارزیابی صفات زینتی و تحمل به شرایط محیطی شهری این گونه‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران وجود دارد. این شکاف تحقیقاتی، ضرورت انجام مطالعاتی را که بتوانند گونه‌های مناسب مریم‌گلی را برای کاشت در فضای سبز شهری با شرایط اقلیمی سخت شناسایی کنند، برجسته می‌کند. ارزیابی صفات مورفولوژیک گونه‌های مریم‌گلی، شناسایی گونه‌های مقاوم و زینتی و مقایسه آن با گونه‌های وارداتی، امری ضروری در توسعه پایدار فضای سبز شهری در مناطق خشک است.

این مطالعه به‌عنوان یکی از اولین ارزیابی‌های جامع و مقایسه‌ای تنوع صفات رویشی و زینتی گونه‌های مختلف مریم‌گلی در شرایط اقلیمی بیرجند انجام شده است. هدف اصلی آن، معرفی گونه‌های مقاوم به خشکی و دارای خصوصیات زینتی بالا برای استفاده در طراحی فضای سبز شهری است. این رویکرد با تلفیق ارزیابی علمی صفات ریخت‌شناختی و کاربرد عملی در فضای شهری، نوآوری لازم را دارد. بنابراین می‌تواند گامی اساسی در جهت شناسایی گونه‌های قابل استفاده از این گیاه در فضای سبز باشد. این مطالعه ضمن تأکید بر اهمیت حفظ تنوع ژنتیکی، به‌دنبال معرفی گونه‌های مناسب برای کشت در مناطق مشابه از نظر شرایط اقلیمی است.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و شرایط رشد

این مطالعه روی ۱۴ گونه و ژنوتیپ گیاه دارویی مریم‌گلی (*Salvia* spp.) در گلخانه و مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۲ انجام شد. اطلاعات کامل همه گونه‌های بومی و وارداتی و ارقام مورد استفاده در این تحقیق و مشخصات مناطق جمع‌آوری آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

به‌منظور تولید نشاء گونه‌های مختلف گیاه مریم‌گلی، بذرهای گونه‌های مورد مطالعه در تاریخ ۱۴۰۱/۰۹/۲۳ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند با عرض جغرافیایی ۳۲° ۵۱′ ۵۹″ شمالی و طول جغرافیایی ۵۹° ۱۳′ ۱۶″ شرقی و ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا صورت گرفت. بذرها در سینی نشاء ۱۰۰ حفره‌ای با قطر ۲/۲ و ارتفاع ۳ سانتی‌متر حاوی کوکوپیت کشت شد. جوانه‌زنی بذور و رشد گیاهچه‌ها در شرایط محیطی گلخانه با دمای روز و شب (۲۴ و ۱۸ درجه سانتی‌گراد) و رطوبت نسبی ۷۰ درصد تا اواخر دی ماه ۱۴۰۱ انجام شد و پس از اینکه نشاها به مرحله چهار تا شش برگی رسیدند به گلدان‌های کوچک با قطر دهانه هفت سانتی‌متر و ارتفاع هفت سانتی‌متری حاوی خاک سبک باغچه کشت و تا زمان انتقال به زمین اصلی با محلول غذایی حاوی (NPK ۲۱:۲۱:۲۱) تغذیه شدند.

آماده‌سازی زمین و انتقال نشاء به مزرعه

نشاهای تولیدشده در اوایل فروردین ماه ۱۴۰۲ به زمین اصلی واقع در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند منتقل شدند. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در زمینی به مساحت ۴۰۰ مترمربع انجام شد. هر بلوک شامل ۱۴ کرت با ابعاد ۲×۲ متر و فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ متر و فاصله بین بلوک‌ها ۲ متر بود و هر گونه در داخل یک کرت در بلوک کشت گردید. نشاهای کاشته‌شده در هر کرت با فاصله روی ردیف و بین ردیف ۴۰×۴۰ سانتی‌متر کاشته شدند. در طی رشد گیاه، حذف علف‌های هرز به‌صورت دستی، آبیاری مطابق نیاز گیاه (به‌طور منظم و سه بار در هفته) و مراقبت‌های دیگر انجام گرفت. نتایج آنالیز خاک مزرعه در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر نشان داد که بافت خاک لومی-رسی با اسیدیته ۷/۵، رطوبت اشباع خاک ۳۸ درصد و هدایت الکتریکی ۲/۲۶ دسی زیمنس بر متر بود.

اندازه‌گیری صفات

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک در مرحله تمام‌گل در اردیبهشت ماه ۱۴۰۳ انجام شد. بدین منظور با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای، هشت بوته در هر کرت انتخاب و اندازه‌گیری‌ها انجام شد.

ویژگی‌های رویشی

ارتفاع، عرض بوته و تعداد برگ گیاه در طول دوره رشد از تاریخ ۱۴۰۲/۱۲/۲۶ تا ۱۴۰۳/۰۳/۱۵ هر ۱۵ روز یک بار و در شش مرحله اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- مشخصات و محل جمع‌آوری بذور گونه‌های مریم‌گلی (*Salvia* spp.) بومی جمع‌آوری‌شده از داخل کشور

Table 1- Characteristics and collection location of seeds of native sage species (*Salvia* spp.) collected from different location in Iran

کد Code	نام گونه Species name	محل جمع‌آوری Collection site	ارتفاع از سطح دریا Altitude	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude
1	*Salvia chorassanica*	خراسان رضوی- زشک	1720	59°12’01.4″E	36°20’10.8″N
2	*Salvia firgida*	ارومیه	1368	45° 4′ 3″ E	37° 32′ 55″N
3	*Salvia nemorosa*	خراسان رضوی- زشک	1720	59°12’01.4″E	36°20’10.8″N
4	*Salvia sclarea*	خراسان رضوی-کنگ	1770	59°13’37.3″E	36°19’17.1″N
5	*Salvia officinalis*	مشهد-مزرعه دانشگاه فردوسی	999	59° 32′ 36″ E	36° 19′ 35″ N
6	*Salvia reuterina*	خراسان رضوی-بین فردوس و بجستان	1250	58° 11′ 4″ E	34° 30′ 59″ N
7	*Salvia virgata*	خراسان رضوی-بالندر	1485	59° 28' 26" E	36° 8' 20" N
8	*Salvia nemorosa* SA067	آلمان Jelitto Perennial Seeds	2962	52° 31′ 12″E	13° 23′ 48″ N
9	*Salvia nemorosa* SA036	آلمان Jelitto Perennial Seeds	2962	52° 31′ 12″E	13° 23′ 48″ N
10	*Salvia sclarea* SA058	آلمان Jelitto Perennial Seeds	2962	52° 31′ 12″E	13° 23′ 48″ N
11	*Salvia sclarea var* turkestanica SA060	آلمان Jelitto Perennial Seeds	2962	52° 31′ 12″E	13° 23′ 48″ N
12	*Salvia officinalis* Extract sage	آلمان Jelitto Perennial Seeds	2962	52° 31′ 12″E	13° 23′ 48″ N
13	*Salvia officinalis* common sage	آلمان Jelitto Perennial Seeds	2962	52° 31′ 12″E	13° 23′ 48″ N
14	*Salvia pratensis* SA046	آلمان Jelitto Perennial Seeds	2962	52° 31′ 12″E	13° 23′ 48″ N

ویژگی‌های زایشی

ارتفاع ساقه گل‌دهنده

ارتفاع بزرگ‌ترین ساقه گل‌دهنده براساس فاصله بین طوقه تا انتهای گل‌آذین گیاه برحسب سانتی‌متر محاسبه شد.

تعداد ساقه گل‌دهنده

این صفت با شمارش تعداد ساقه‌های گل‌دهنده کل گیاه اندازه‌گیری گردید.

تعداد گلچه گل‌آذین‌های اصلی و فرعی و تعداد گل‌آذین جانبی

این صفت با شمارش تعداد گلچه گل‌آذین‌های اصلی و فرعی و تعداد گل‌آذین‌های جانبی اندازه‌گیری شد.

قطر گل‌آذین، قطر ساقه گل‌دهنده، قطر و طول گلچه

در زمان گل‌دهی، قطر گل‌آذین، قطر ساقه گل‌دهنده و قطر و طول گلچه با استفاده از کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری گردید.

طول گل‌آذین‌های اصلی و فرعی و فاصله طولی بین گلچه‌ها

طول بزرگ‌ترین گل‌آذین اصلی و فرعی گیاه با خط‌کش اندازه‌گیری شد. همچنین فاصله طولی بین گلچه‌ها (فاصله طولی بین دو گلچه در گل‌آذین) به‌وسیله خط‌کش اندازه‌گیری شد.

تعداد روز تا گل‌دهی و ماندگاری گل روی بوته

تعداد روز از شروع جوانه‌زنی تا زمان رویت اولین گلچه را تعداد روز تا گل‌دهی تشکیل می‌دهد که برحسب تعداد روز محاسبه شد و ماندگاری گل از زمان باز شدن اولین گلچه تا زمان پژمردگی و مشاهده تغییر رنگ در گلچه‌ها تعریف گردید که به‌صورت تعداد روز بیان شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار JMP ۱۳ و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین گونه‌های مختلف مریم‌گلی برای کلیه صفات مورد بررسی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک

درصد وجود داشت (جدول ۲). تصاویر گونه‌های مختلف مریم‌گلی در شکل ۱ ارائه شده است.

ارتفاع گیاه

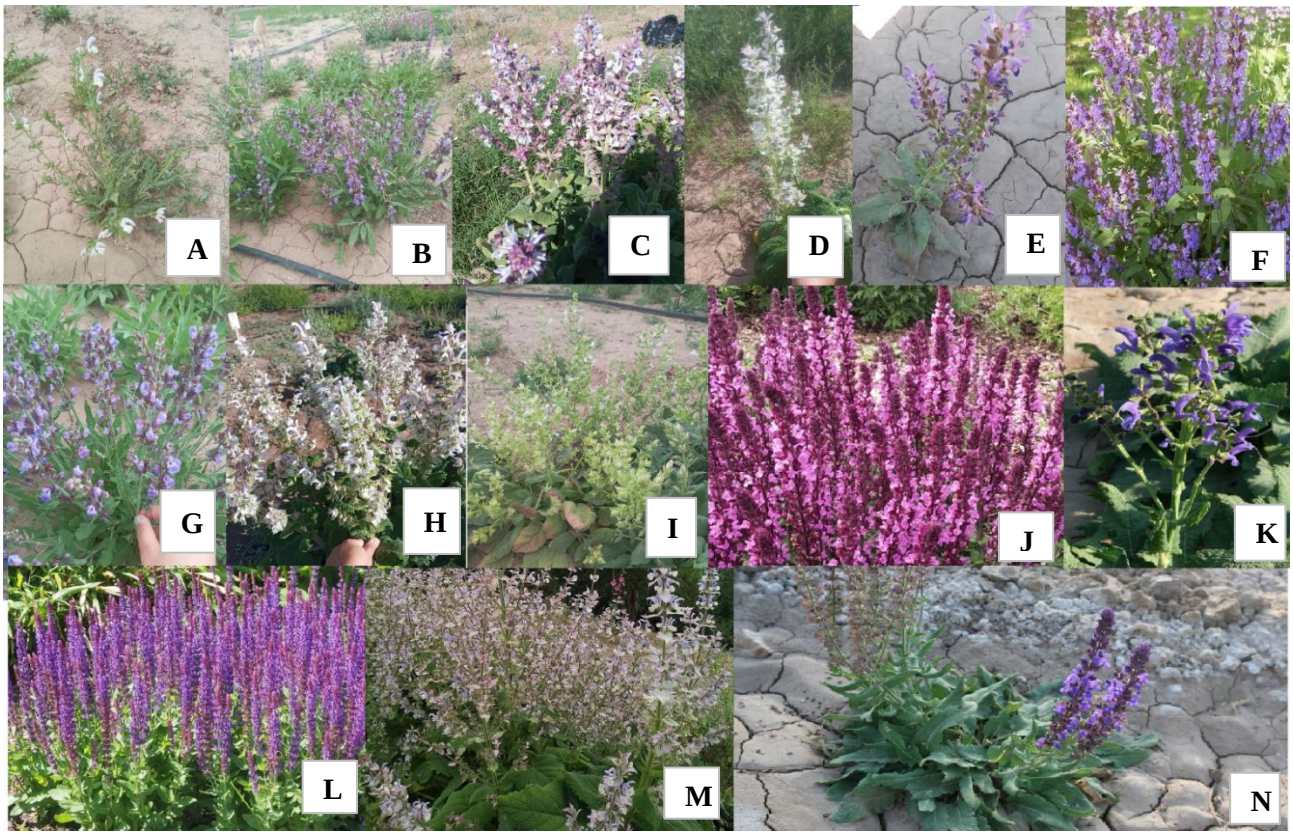
روند افزایش ارتفاع گیاه در روزهای مورد بررسی در شکل ۲ نشان داده است. بیشترین (۳۲/۹۳ سانتی‌متر) و کمترین (۳/۲۰ سانتی‌متر) ارتفاع گیاه مربوط به روز ۱۶۵ و به‌ترتیب از گونه‌های *S. nemorosa* SA036 و *S. chorassanica* به دست آمد. همچنین در بی ژنوتیپ‌های یک گونه، *S. nemorosa* SA036 و *Salvia nemorosa* SA067 به‌ترتیب بیشترین و کمترین ارتفاع را داشتند که نشان از تنوع درون گونه‌ای قابل توجهی دارد.

عرض گیاه

روند افزایش عرض گیاه در روزهای مورد بررسی در شکل ۳ نشان داده است، به‌طوری‌که بیشترین (۶۳/۸۰ سانتی‌متر) و کمترین (۶/۰۵ سانتی‌متر) عرض گیاه مربوط به روز ۱۶۵ و به‌ترتیب از گونه‌های *S. sclarea* var. Turkestanica SA060 و *S. chorassanica* حاصل شد. ژنوتیپ‌های مختلف گونه *S. sclarea* نیز (*Salvia sclarea* SA058 و *Salvia sclarea* var Turkestanica SA060) از نظر عرض گیاه تفاوت معنی‌داری نشان دادند که نشان از تنوع فنوتیپی درون این گونه دارد.

تعداد برگ

روند افزایش تعداد برگ در گونه‌های مختلف مریم‌گلی در شکل ۴ نشان داده است. بیشترین (۳۳۷ عدد) و کمترین (۶ عدد) تعداد برگ به‌ترتیب از گونه‌های *S. officinalis* Extract sage و *S. virgata* به دست آمد.



شکل ۱- تصاویر گونه‌ها و ژنوتیپ‌های مختلف مریم‌گلی (*Salvia* spp.)

Figure 1- Pictures of different sage species and genotypes (*Salvia* spp.)

A: *Salvia chorassanica*; B: *Salvia officinalis* Extract sage; C: *Salvia firgida*; D: *Salvia sclarea* SA058; E: *Salvia pratensis* SA046; F: *Salvia officinalis* common sage; G: *Salvia officinalis*; H: *Salvia sclarea* var. turkestanica SA060; I; *Salvia reuterina* J: *Salvia nemorosa* SA067; K: *Salvia virgata*; L: *Salvia nemorosa*; M: *Salvia sclarea*; N: *Salvia nemorosa* SA036

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات رویشی و زایشی گونه‌های مختلف مریم‌گلی (*Salvia* spp.)

Table 2- ANOVA of vegetative and reproductive traits of different sage species (*Salvia* spp.)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares: ارتفاع ساقه گل‌دهنده Peduncle length	طول گل‌آذین اصلی Length of main inflorescence	قطر گل‌آذین Inflorescence diameter	قطرساقه گل‌دهنده Peduncle diameter	تعداد روز تا گل‌دهی Days to flowering	ماندگاری گل Flower durability	تعداد ساقه گل‌دهنده روی بوته Number of peduncle	طول گلچه Floret length
بلوک Replication	2	1.09^{ns}	0.27^{ns}	33.18^{ns}	0.78^{ns}	23.52^{ns}	77.80^{ns}	17.16^{ns}	6.79^{ns}
تیمار Treatment	13	228.27**	100.82**	623.06**	2.22**	765.37**	203.15**	88.85**	56.79**
خطا Error	26	19.41	8.70	41.14	0.32	44.44	39.63	6.73	5.83

ns: عدم معنی‌داری؛ **: معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

ns: not significant; **: significant at p≤0.01

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس صفات رویشی و زایشی گونه‌های مختلف مریم‌گلی (*Salvia* spp.)

Table 2 continued- ANOVA of vegetative and reproductive traits of different sage species (*Salvia* spp.)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares: قطر گلچه Floret diameter	تعداد گل‌آذین جانبی Number of axillary inflorescence peduncles	تعداد گلچه گل‌آذین اصلی Number of florets in the main inflorescence	تعداد گلچه گل‌آذین فرعی floret number in axillary inflorescence	طول گل‌آذین فرعی Length of the axillary inflorescence	فاصله طولی بین گلچه‌ها Interfloral distance
بلوک Replication	2	0.40^{ns}	3.88**	4.66^{ns}	4.57^{ns}	6.46^{ns}	0.009^{ns}
تیمار Treatment	13	11.80**	27.87**	750.82**	272.90**	58.43**	1.49**
خطا Error	26	0.22	1.16	22.53	7.77	5.13	0.05

ns: عدم معنی‌داری؛ **: معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

ns: not significant; **: significant at p≤0.01

تعداد ساقه گل‌دهنده

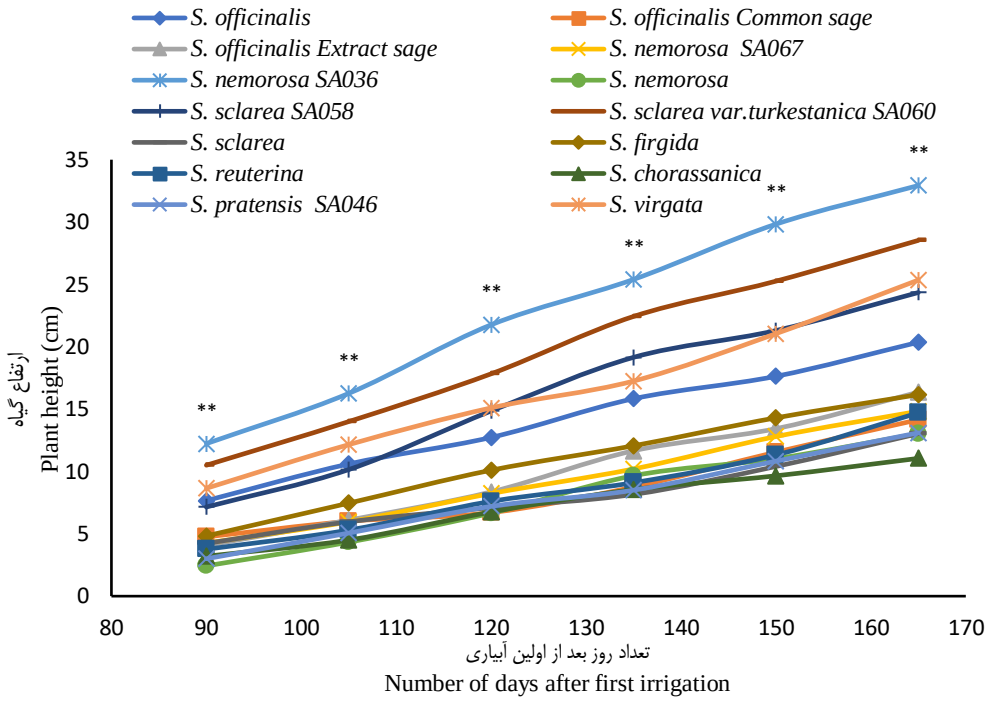
نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین (۲۳/۰۰) و کمترین (۲/۰۰) تعداد ساقه گل‌دهنده به‌ترتیب مربوط به گونه‌های *S. reuterina* و *S. firgida* بود (شکل ۵).

ارتفاع ساقه گل‌دهنده و طول گل‌آذین اصلی

نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین ارتفاع ساقه گل‌دهنده (۴۹/۱۵ سانتی‌متر) و طول گل‌آذین اصلی (۳۴/۱۰ سانتی‌متر) در گونه *S. sclarea* SA058 و کمترین ارتفاع ساقه گل‌دهنده (۱۳/۰۰ سانتی‌متر) و طول گل‌آذین اصلی (۱۰/۰۰ سانتی‌متر) در گونه *S. nemorosa* SA067 مشاهده شد (شکل ۶).

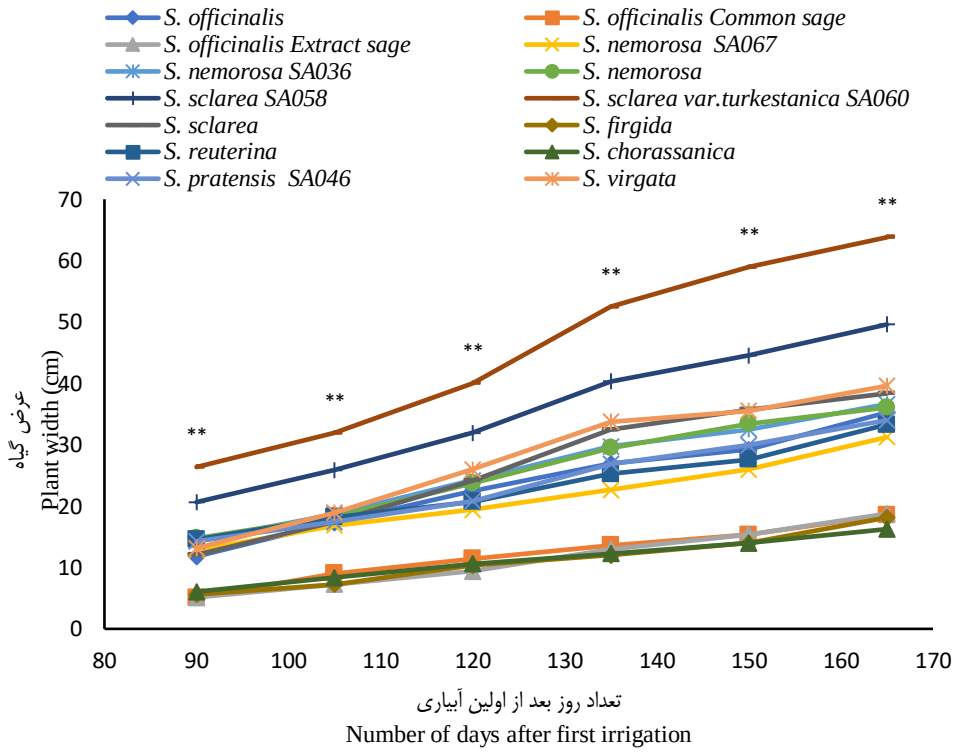
قطر گل‌آذین و قطر ساقه گل‌دهنده

نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین قطر گل‌آذین (۵۱/۸۱ میلی‌متر) و قطر ساقه گل‌دهنده (۴/۴۵ میلی‌متر) به‌ترتیب در گونه‌های *S. reuterina* و *S. sclarea* var. Turkestanica SA060 مشاهده شد. همچنین کمترین قطر گل‌آذین (۷/۱۰ میلی‌متر) مربوط به گونه *S. chorassanica* و کمترین (۲/۳۴ و ۱/۷۷ میلی‌متر) قطر ساقه گل‌دهنده به‌ترتیب در گونه‌های *S. chorassanica* و *S. nemorosa* SA067 مشاهده شد (شکل ۷).



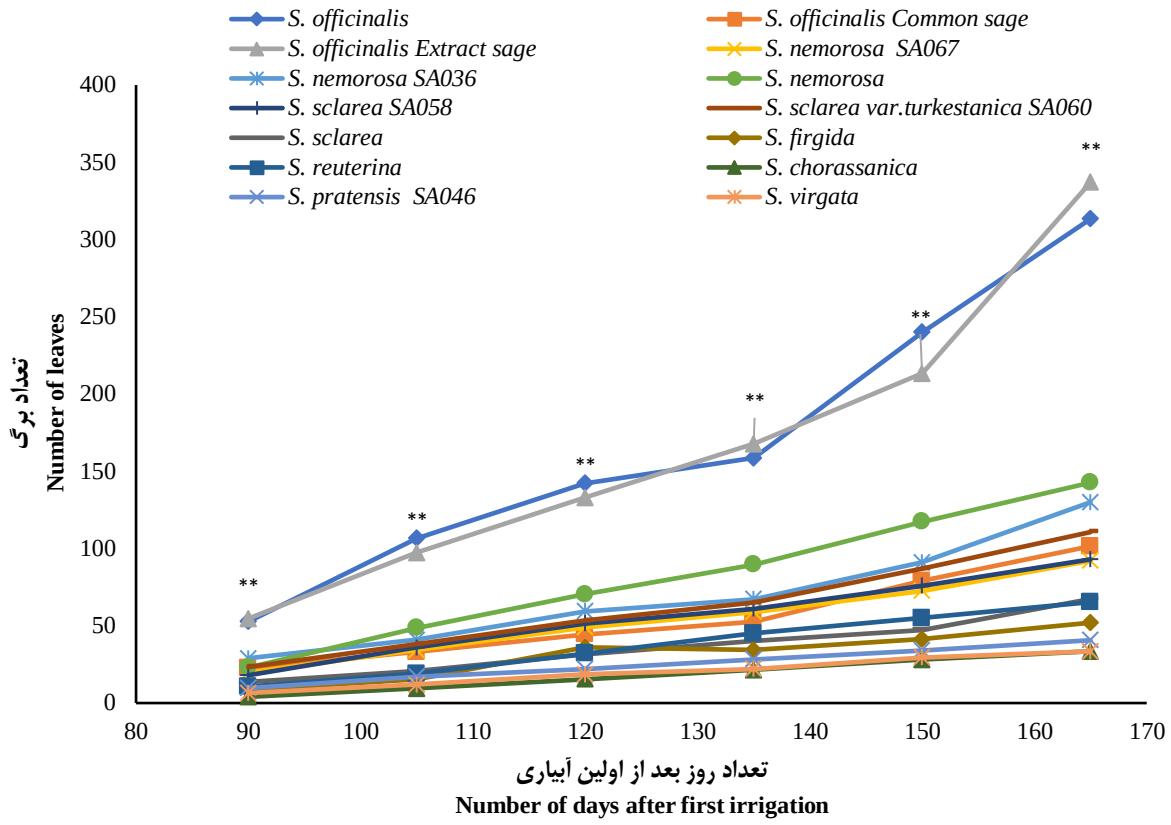
شکل ۲- روند افزایش ارتفاع گیاه گونه‌های مختلف مریم‌گلی (*Salvia* spp.)

Figure 2- The trends of plant height increase of different sage species (*Salvia* spp.)



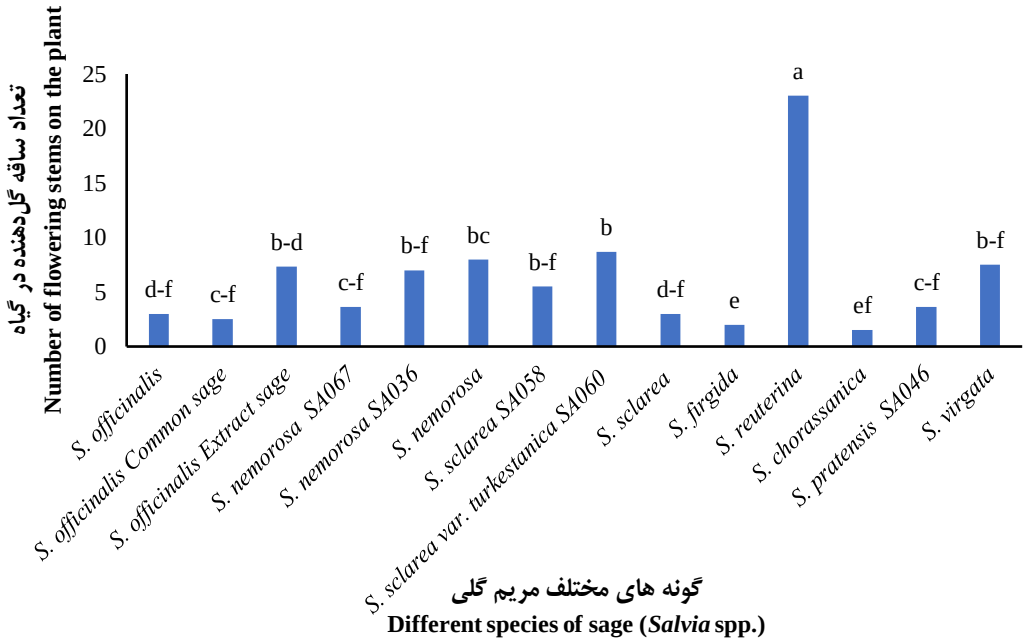
شکل ۳- روند افزایش عرض گیاه گونه‌های مختلف مریم‌گلی (*Salvia* spp.)

Figure 3- The trends of plant width increase of different sage species (*Salvia* spp.)



شکل ۴- روند افزایش تعداد برگ گونه‌های مختلف مریم‌گلی (*Salvia* spp.)

Figure 4- The trends of leaf number increase of different sage species (*Salvia* spp.)

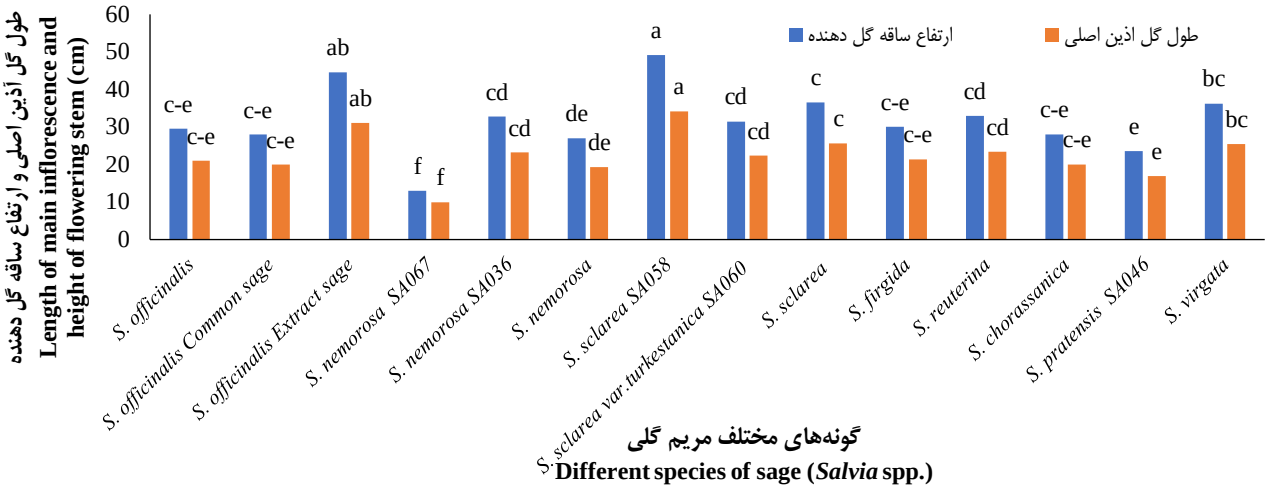


شکل ۵- مقایسه بین تعداد ساقه گل‌دهنده بین گونه‌های مختلف مریم‌گلی (*Salvia* spp.)

Figure 5- Comparison of the number of flowering stems between different sage species (*Salvia* spp.)

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیستند.

Means with the same letter are not significant at the 5% probability level according to the LSD test.

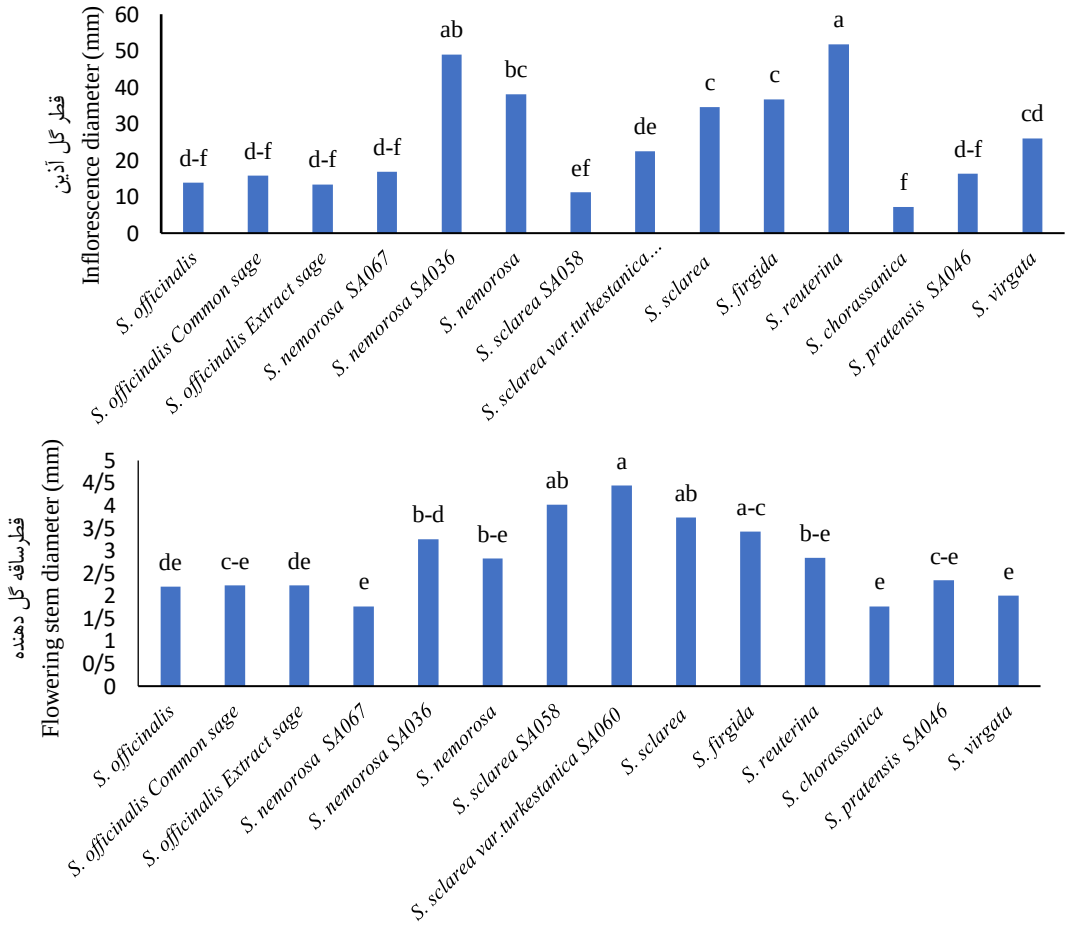


شکل ۶- طول گل‌آذین اصلی و ارتفاع ساقه گل‌دهنده گونه‌های مختلف مریم‌گلی (*Salvia* spp.)

Figure 6- Length of main inflorescence and height of flowering stem of different sage species (*Salvia* spp.)

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیستند.

.Means with the same letter are not significant at the 5% probability level according to the LSD test.



شکل ۷- مقایسه قطر گل‌آذین و قطر ساقه گل‌دهنده گونه‌های مختلف مریم‌گلی (*Salvia* spp.)

Figure 7- Comparison of inflorescence diameter and flowering stem diameter in different sage species (*Salvia* spp.)

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیستند.

Means with the same letter are not significant at the 5% probability level according to the LSD test.

طول گلچه و قطر گلچه

نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین طول گلچه (۲۰/۶۶ و ۱۹/۰۰ میلی‌متر) مربوط به گونه‌های *S. sclarea* و *S. reuterina* بود و بیشترین قطر گلچه (۱۰ میلی‌متر) در گونه *S. sclarea* مشاهده شد. همچنین کمترین مقادیر طول گلچه (۵/۶۶ میلی‌متر) و قطر گلچه (۳/۰۲ میلی‌متر) به‌ترتیب از گونه‌های *S. nemorosa* SA036 و *S. nemorosa* SA067 به دست آمد (شکل ۸).

تعداد روز تاگل‌دهی و ماندگاری گل

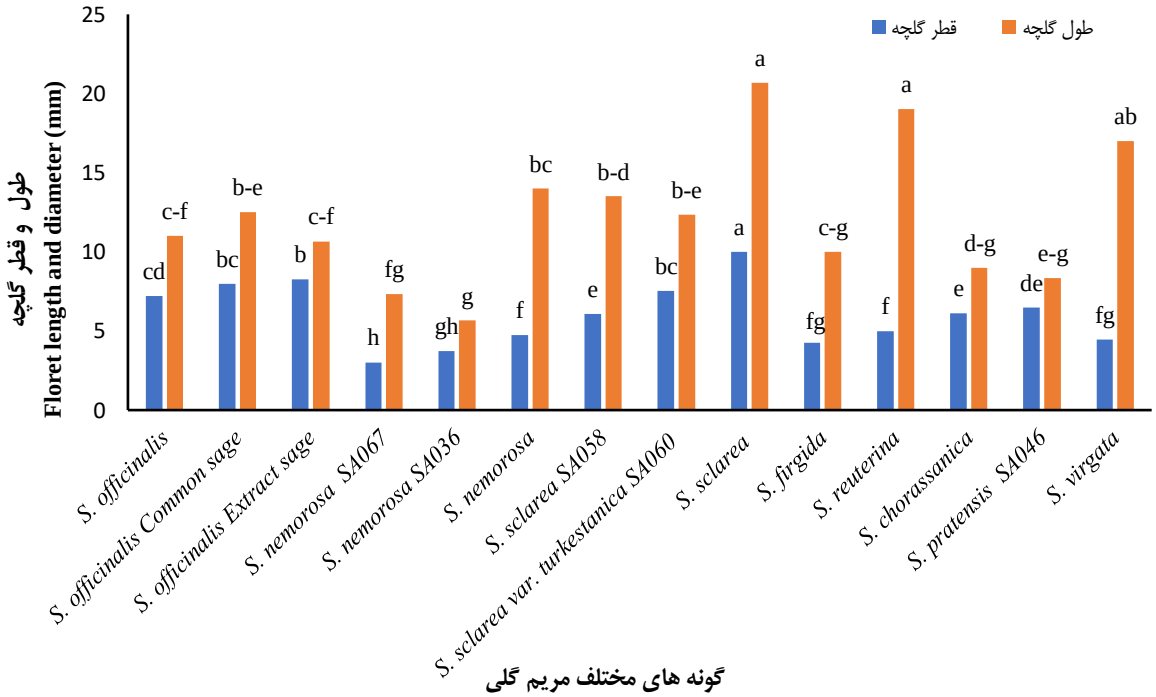
نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین (۱۱۶، ۱۰۶ و ۱۰۵ روز) مقادیر تعداد روز تا گل‌دهی به‌ترتیب از گونه‌های *S. sclarea* SA058، *S. officinalis* Common Sage و *S. officinalis* و کمترین (۵۰ روز) تعداد روز تا گل‌دهی از گونه *S. virgata* به دست آمد. همچنین کمترین (۲۵/۰۰ روز) ماندگاری گل مربوط به گونه *S. chorassanica* و بیشترین (۴۰ تا ۴۷ روز) ماندگاری گل مربوط به سایر گونه‌ها بود و بین آن‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۹).

تعداد گل‌آذین جانبی

نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین (۱۲/۰۰ عدد) و کمترین (۰/۵۰ عدد) تعداد گل‌آذین جانبی به‌ترتیب مربوط به گونه‌های *S. sclarea* SA058 و *S. chorassanica* بود (جدول ۳).

تعداد گلچه گل‌آذین اصلی و تعداد گلچه گل‌آذین فرعی

نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین تعداد گلچه گل‌آذین اصلی (۷۰/۶۶) و فرعی (۳۷/۶۶) مربوط به گونه *S. nemorosa* SA036 بود و کمترین تعداد گلچه گل‌آذین اصلی (۴/۵۰) و فرعی (۰/۵۰) در گونه *S. chorassanica* مشاهده شد (جدول ۳).

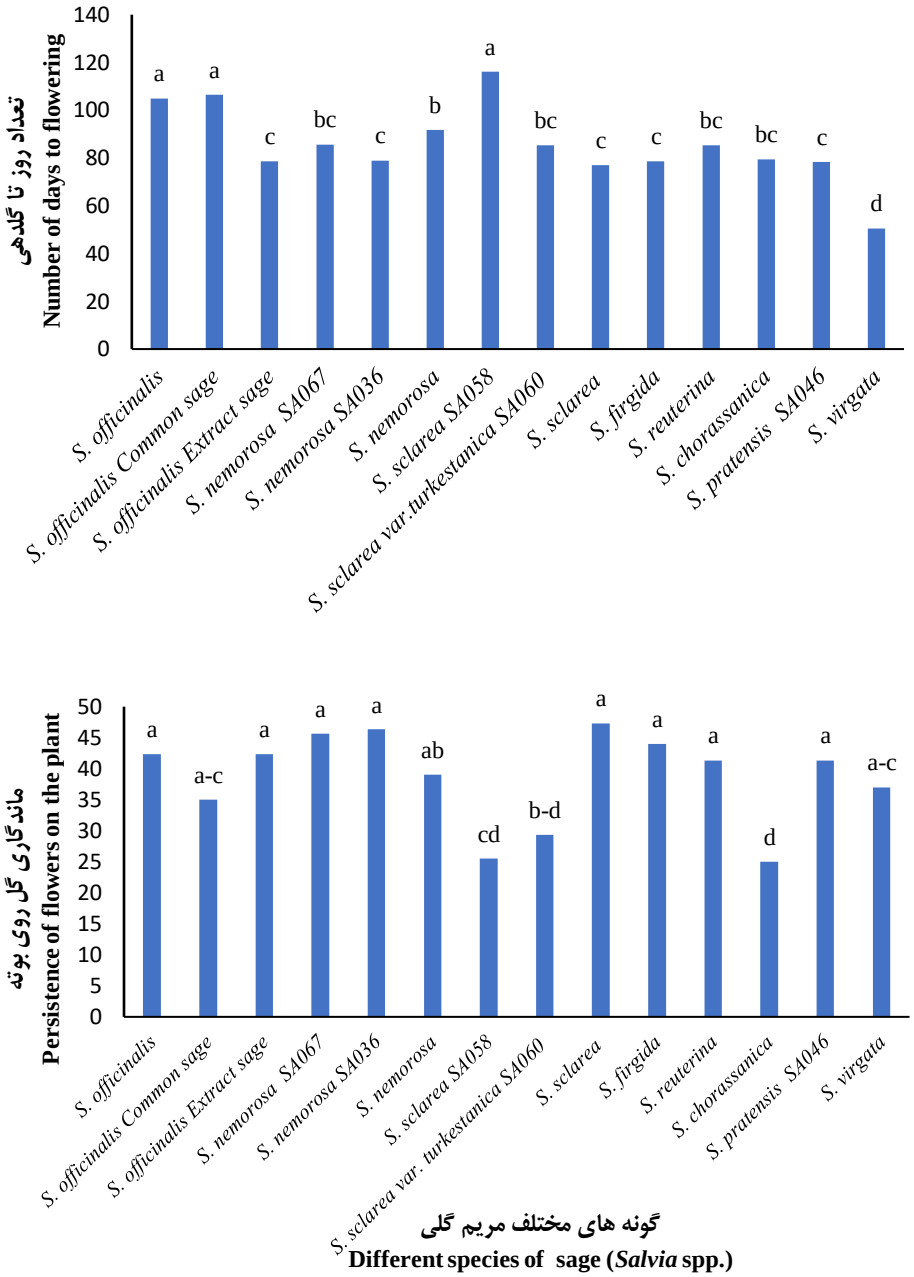


شکل ۸- طول گلچه و قطر گلچه گونه‌های مختلف مریم‌گلی (*Salvia* spp.)

Figure 8- Floret length and floret diameter of different sage species (*Salvia* spp.)

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیستند.

Means with the same letter in each column are not significant at the 5% probability level based on the LSD test.



شکل ۹- تعداد روز تاگل‌دهی و ماندگاری گل روی بوته گونه‌های مختلف مریم‌گلی (*Salvia* spp.)

Figure 9- Number of days to flowering and flower durability on the plant of different sage species (*Salvia* spp.)

حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیستند.

Similar letters in each column are not significant at the 5% probability level based on the LSD test.

طول گل‌آذین فرعی و فاصله طولی بین گلچه‌ها

نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین (۲۱/۵۰ سانتی‌متر) و کمترین (۳/۵۰ سانتی‌متر) طول گل‌آذین فرعی به‌ترتیب مربوط به گونه‌های *S. virgata* و *S. chorassanica* بود (جدول ۳). همچنین بیشترین (۳/۲۰ سانتی‌متر) و کمترین (۰/۶۳ سانتی‌متر) فاصله طولی بین گلچه‌ها به‌ترتیب مربوط به گونه‌های *S. chorassanica* و *S. nemorosa* SA067 بود (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات رویشی و زایشی گونه‌های مختلف مریم‌گلی (*Salvia* spp.)

Table 3- Mean comparison of vegetative and reproductive traits of different sage species (*Salvia* spp.)

گونه Species	تعداد گل‌آذین جانبی Number of lateral inflorescence	تعداد گلچه گل‌آذین اصلی Number of florets in the main inflorescence	تعداد گلچه گل‌آذین فرعی Number of florets in the secondary inflorescence	طول گل‌آذین فرعی Length of the secondary inflorescence (cm)	طول میانگره Internode length (cm)
S. officinalis	3.00 f*	13.33 ef	5.00 hi	11.53 de	2.30 bc
S. officinalis Common sage	4.5 d-f	12.00 ef	4.5 hi	12.30 c-e	2.60 b
S. officinalis Extract sage	3.00 f	10.33 ef	10.66 e-g	11.66 de	2.46 bc
S. nemorosa SA067	3.33 ef	22.00 b-d	13.66 de	7.33 fg	0.63 h
S. nemorosa SA036	6.33 cd	70.66 a	37.66 a	13.03 b-d	0.83 gh
S. nemorosa	2.66 fg	27.00 b	17.00 cd	16.16 bc	1.16 fh
S. sclarea SA058	12.00 a	26.50 bc	13.50 d-f	17.50 ab	2.05 cd
S. sclarea var. turkestanica SA060	7.66 bc	18.00 c-e	12.00 ef	13.00 b-d	1.80 de
S. sclarea	2.33 fg	10.66 ef	7.00 gh	10.66 d-f	2.40 bc
S. firgida	5.33 de	14.33 de	8.00 f-h	7.96 e-g	1.90 d
S. reuterina	9.00 b	22.33 b-d	21.00 bc	12.33 cd	1.76 de
S. chorassanica	0.50 g	4.50 f	0.50 i	3.50 g	3.20 a
S. pratensis SA046	3.00 f	16.00 de	10.33 e-g	10.33 d-f	1.43 ef
S. virgata	6.00 cd	23.00 b-d	24.50 b	21.50 a	2.05 cd

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیستند.

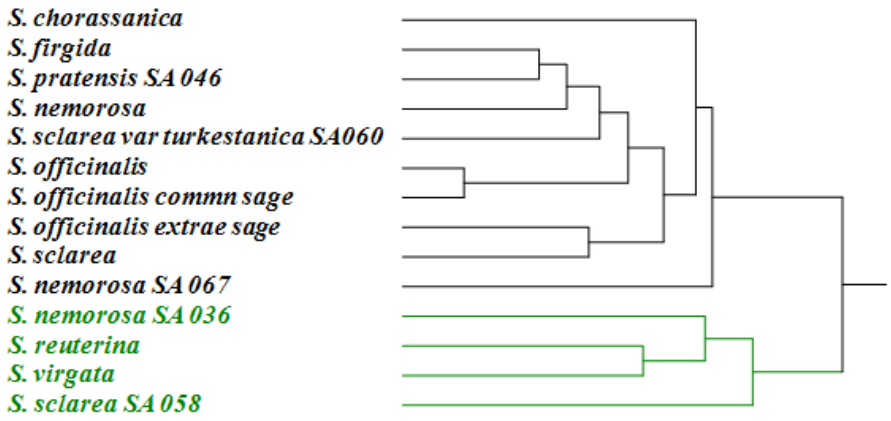
* Means with the same letter in each column are not significant at the 5% probability level based on the LSD test.

تجزیه خوشه‌ای و گروه‌بندی گونه‌های مختلف مریم‌گلی براساس صفات رویشی و زینتی

نمودار تجزیه خوشه‌ای نشان داد که گونه‌های مختلف جنس *Salvia* براساس صفات رویشی و زینتی به دو گروه اصلی تقسیم‌بندی شدند (شکل ۱۰). گروه اول شامل گونه‌های *S. virgata*، *S. nemorosa* SA036، *S. reuterana* و *S. sclarea* SA058 بود که به‌طور مشخص از گروه دوم جدا شدند. این تفکیک ناشی از تفاوت‌های ریخت‌شناختی و عملکردی قابل توجه در این گونه‌ها است. ویژگی‌هایی مانند اندازه و رنگ گل‌آذین‌ها، ارتفاع ساقه گل‌دهنده، طول گل‌آذین اصلی، دوره گل‌دهی، شکل برگ و رنگ گل‌ها، این گونه‌ها را به گزینه‌های متمایزی برای استفاده در فضای سبز تبدیل کرد. همچنین این گونه‌ها رشد سریع‌تری نسبت به سایر گونه‌ها داشتند. گروه دوم که شامل سایر گونه‌ها می‌باشد. اعضای این گروه از نظر ویژگی‌های ریخت‌شناختی مشابه بودند که شامل ساختار گل‌آذین‌ها، تعداد برگ زیاد، قطر ساقه‌های گل‌دهنده، طول ساقه‌های گل‌دهنده و الگوهای رشد بود. همچنین گونه‌های این گروه، رشد آرام‌تری نسبت به گونه‌های گروه اول داشتند.

نتایج کلی این پژوهش نشان داد که تنوع زیادی در بین گونه‌های مورد بررسی مریم‌گلی براساس ویژگی‌های ریخت‌شناسی وجود داشت که نشان‌دهنده پتاسیل ژنتیکی بالا می‌باشد. بررسی صفات ریخت‌شناختی و زایشی، در گونه‌های مریم‌گلی در شرایط آب‌وهوایی یکسان نشان داد که گونه‌های کشت‌شده از نظر اکثر صفات مورد بررسی از جمله ارتفاع ساقه گل‌دهنده، تعداد گل‌آذین جانبی، تعداد گلچه گل‌آذین اصلی و فرعی، ارتفاع گیاه، عرض گیاه، تعداد برگ گیاه، قطر ساقه گل‌دهنده، طول و قطر گلچه، تعداد ساقه گل‌دهنده، طول میانگره، تعداد روز تاگل‌دهی و ماندگاری گل روی بوته تفاوت معنی‌داری داشتند که نشان‌دهنده وجود تنوع گسترده براساس صفات مطالعه‌شده بین گونه‌های مختلف است. همچنین یافته‌های این پژوهش نشان داد که گونه‌های مختلف مریم‌گلی از نظر صفات رشدی مانند ارتفاع، عرض گیاه و تعداد برگ تنوع قابل توجهی از خود نشان می‌دهند. این تفاوت در ارتفاع نشان‌دهنده ظرفیت این گونه‌ها برای ایجاد لایه‌بندی در طراحی فضای سبز است. گونه‌هایی با ارتفاع زیاد مانند *S. nemorosa* SA036 می‌توانند به‌عنوان عناصر مرکزی یا پس‌زمینه در باغچه‌ها استفاده شوند، درحالی‌که گونه‌های کوتاه‌تر مانند *S. chorassanica* برای ایجاد پوشش‌های جلویی یا خطی مناسب هستند. تنوع در عرض گیاه می‌تواند به طراحی فضای سبز به‌ویژه در ایجاد تنوع در الگوهای پوشش گیاهی کمک کند. گونه‌های پهن مانند *S. sclarea* var. Turkestanica SA060 برای پوشش

فضای وسیع در باغچه‌ها یا کنار مسیرها مناسب هستند. تفاوت در تعداد برگ‌ها نشان‌دهنده تنوع در ساختار ظاهری و عملکرد فیزیولوژیکی این گیاهان است. گونه‌های پربرگ مانند *S. officinalis* Extract Sage به‌دلیل تعداد زیاد برگ، ظاهری خوش‌فرم و پرپشت دارند که می‌توان از آن‌ها به‌عنوان گیاه پاکوتاه در فضای سبز استفاده کرد. این یافته‌ها با نتایج مطالعات دیگری نیز هم‌خوانی دارد. به‌عنوان مثال، تنوع فنوتیپی در رشد گیاه و ویژگی‌های گل در ۱۴ گونه بومی مریم‌گلی که از شمال، غرب، مرکز و شمال‌شرق ایران مشاهده شد (Shahhoseini et al., 2024).



شکل ۱۰- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه ای گونه‌های مختلف مریم‌گلی براساس صفات رویشی و زینتی

Figure 10- Dendrogram resulting from cluster analysis of different sage species based on the growth and ornamental traits

وانگ و همکاران (Wang et al., 2011) با بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناختی و مولکولی ۱۸ تاکسون از جنس *Salvia*، گزارش کردند که تنوع قابل توجهی بین نمونه‌ها از نظر تمام ویژگی‌های ریخت‌شناختی ارزیابی‌شده وجود داشت. در مطالعه دیگری که به‌منظور ارزیابی تنوع ریخت‌شناختی جمعیت‌های *Phlomis olivieri* Benth (خانواده نعناعیان) در ایران انجام شد، نتایج نشان داد که تنوع ژنتیکی بین جمعیت‌ها و درون جمعیت‌ها از نظر ویژگی‌های ریخت‌شناختی نظیر ارتفاع گیاه، طول برگ، عرض برگ، قطر ساقه گل‌دهنده، تعداد برگ و تعداد خوشه گل وجود داشت (Zare Hoseini *et al.*,2022). این تنوع گسترده در صفات ریخت‌شناختی نه‌تنها بین گونه‌ها، بلکه درون جمعیت‌های مختلف نیز مشاهده شده است که نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی بالای این جنس است. همچنین در بررسی ژنوتیپ‌های بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.)، تفاوت معنی‌داری از نظر صفات طول و عرض برگ، وزن تر و خشک بوته گزارش شد (Aharizad et al., 2013).

تنوع در ویژگی‌های گل‌دهی مانند تعداد ساقه گل‌دهنده، طول گل‌آذین اصلی و قطر گل‌آذین نیز در این تحقیق مشاهده شد. این تفاوت‌ها نشان‌دهنده سازگاری گونه‌ها به شرایط محیطی مختلف و توانایی آن‌ها در بهره‌برداری از منابع موجود است. به‌عنوان مثال، گونه‌هایی با تعداد ساقه گل‌دهنده بیشتر مانند *S. reuterina* به‌دلیل گل‌آذین‌های متراکم و رویش فراوان، برای ایجاد نقاط کانونی در فضای سبز مناسب هستند. در بررسی صفات ریخت‌شناسی گونه‌های مریم‌گلی، صفاتی مانند ارتفاع بوته، سطح پوشش و طول گل‌آذین نیز تفاوت آماری معنی‌داری را نشان داده‌اند (Mossi et al., 2011). غنی و همکاران (Ghani et al., 2010) در بررسی رشدونمو و پتانسیل زینتی مریم‌گلی کبیر (*Salvia sclarea*) در شرایط اقلیمی مشهد گزارش کردند که این گیاه از سازگاری مناسبی برای کشت و اهلی کردن در شرایط آب‌وهوایی مشهد برخوردار است و می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای استفاده در طراحی فضای سبز با اهداف زینتی باشد.

علاوه‌بر این، بررسی صفات مرتبط با گل‌دهی نشان داد که تعداد روز تا گل‌دهی در گونه‌های مختلف مریم‌گلی بین ۵۰ تا ۱۱۶ روز متغیر است که نشان‌دهنده تنوع در زمان‌بندی فنولوژیکی گونه‌ها است. این موضوع در مطالعات قبلی نیز گزارش شده است. به‌عنوان مثال، در مطالعه دو زیرگونه گیاه مرزنجوش (*Origanum vulgare*)، تفاوت معنی‌داری از نظر صفات مانند طول گل‌آذین و تعداد گل‌آذین و تعداد روز تا گل‌دهی بین زیرگونه‌ها مشاهده شد (Andi et al., 2011). در این پژوهش، تنوع در تعداد گلچه‌های گل‌آذین اصلی و فرعی به‌وضوح مشاهده شد که می‌تواند به بهبود عملکرد تولیدمثلی گونه‌ها و جذب حشرات گرده‌افشان کمک کند. این نتایج بیانگر تنوع قابل توجه صفات ریخت‌شناختی و گل‌دهی در گونه‌های مختلف مریم‌گلی است که می‌تواند نقش مهمی در بهبود

عملکرد زیستی این گیاهان ایفا کند. بررسی فاصله طولی بین گلچه‌ها نیز نشان داد که بیشترین فاصله در گونه *S. chorassanica* و کمترین فاصله در گونه *S. nemorosa* SA067 مشاهده شد. این ویژگی می‌تواند به افزایش دسترسی گرده‌افشان‌ها به گلچه‌ها کمک کند و در عین حال ظاهری آراسته و متوازن به گیاه می‌بخشد. همچنین، در مطالعه‌ای دیگر، تفاوت معنی‌داری بین صفاتی مانند تعداد شاخه، طول گل‌آذین و تعداد گل در جمعیت‌های نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) مشاهده شد (Shahbazi Asl & Ashraf Jafari, 2020). این نتایج نشان می‌دهد که تنوع در صفات ریخت‌شناختی نه‌تنها در گونه‌های مریم‌گلی، بلکه در سایر گیاهان خانواده نعناعیان نیز وجود دارد و می‌تواند به بهبود عملکرد تولیدی و زینتی گیاهان کمک کند.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که گونه‌های بومی و وارداتی مریم‌گلی از نظر صفات رویشی و زینتی تنوع قابل ملاحظه‌ای داشتند که نشان‌دهنده پتانسیل ژنتیکی بالای این جنس است. گونه‌های وارداتی نسبت به گونه‌های بومی دارای ساقه‌های گل‌دهنده بلندتر و گل‌آذین‌های بزرگ‌تر، گل‌های جذاب و بوی معطر هستند که آن‌ها را به عنصری برجسته در طراحی فضای سبز تبدیل می‌کند. همچنین دارای تنوع بیشتری در رنگ و ساختار گل‌ها هستند که به افزایش جذابیت بصری محیط کمک می‌کند. گونه‌های وارداتی مریم‌گلی معمولاً دوره گل‌دهی طولانی‌تری دارند که این موضوع باعث می‌شود در فضای سبز شهری به‌صورت مستمر و برای مدت طولانی‌تری جذابیت داشته باشند. در بین گونه‌های مورد مطالعه، گونه‌های وارداتی *Salvia nemorosa* SA067، *Salvia pratensis* SA046 و *Salvia sclarea* var. Turkestanica SA060 به‌عنوان گونه‌های برتر از نظر ویژگی‌های زینتی شناسایی شدند که عملکرد بهتری نسبت به سایر گونه‌ها داشتند و پتانسیل بیشتری برای کشت در فضای سبز نشان دادند. از سوی دیگر، گونه‌های بومی به‌دلیل سازگاری با شرایط اقلیمی و محیطی کشور، می‌توانند در برنامه‌های اصلاحی و کشت در مناطق محلی مورد استفاده قرار گیرند، امّا عملکرد آن‌ها در ویژگی‌های زینتی ممکن است در مقایسه با گونه‌های وارداتی کمتر باشد. با توجه به وجود تنوع ژنتیکی و رشدی در بین گونه‌های مریم‌گلی موجود در کشور، لازم است که این تنوع به‌طور دقیق‌تری بررسی شود و در برنامه‌های اصلاحی برای اهداف زینتی و کشت در فضای سبز شهری به کار گرفته شود. پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آینده، تنوع ژنتیکی و ویژگی‌های رشدی و زینتی سایر گونه‌های جنس مریم‌گلی مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان گونه‌های مناسب برای کشت در فضاهای سبز شهری و برنامه‌های اصلاحی مورد استفاده قرار داد.

References

1- Aharizad, S., Rahimi, M. H., Toorchi, M., & Mohebalipour, N. (2013). Assessment of relationship between effective traits on yield and citral content of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) populations using path analysis. *Indian Journal of Science and Technology*, *6*(5), 4447-4452. https://dx.doi.org/10.17485/ijst/2013/v6i5.16

2- Andi, S. A., Nazeri, V., Zamani, Z., & Hadian, J. (2011). Morphological diversity of wild *Origanum vulgare* (Lamiaceae) in Iran. *Iranian Journal of Botany*, *17*, 211-221. https://doi.org/10.22092/ijb.2011.101630

3- Bashirzadeh, Z., Mohebbadini, M., Fathi, R., & Seyed Masoumi, S. Y. (2024). Assessment of morphological traits variation of *Mentha piperita* L. genotypes of different origins of Iran. *Taxonomy and Biosystematics*, *15*(3), 79-94. (In Persian). https://doi.org/10.22108/tbj.2024.141658.1268

4- Esmaeili, G., Fatemi, H., Baghani Avval, M., Azizi, M., Arouiee, H., Vaezi, J., & Fujii, Y. (2022). Diversity of chemical composition and morphological traits of eight Iranian wild *Salvia species* during the first step of domestication. *Agronomy*, *12*, 2455. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.3390/agronomy12102455

5- Ergul, M., Atas, M., Bal, H., Ucar, E., Eruygur, N., Senkal, B. C., & Uskutoglu, T. (2021). Pharmacological and biological features of ethanol extract of *Salvia virgata* Jacq. *Medicine*, *10*(4), 1103-9. http://dx.doi.org/10.5455/medscience.2021.02.058

6- Fatahi, B., Nazeri, V., & Kalanteri, S. (2014). Evaluation of different ecotypes of *Salvia reuterana* Boiss. in Iran. *Journal of Crop Production and Processing*, *4*(11), 133-148. (In Persian).

7- Fathi, R., Mohebbadini, M., & Chamani, E. (2019). A study of morphological and phytochemical characteristics of Iranian and foreign summer savory (*Satureja hortensis* L.) accessions in field conditions. *Taxonomy and Biosystematics*, *11*(40), 75-90. (In Persian). https://doi.org/10.22108/tbj.2020.125217.1125

8- Ghani, A., Ebrahimpour, A., Tehranifar, A., & Hassanzadeh Khayat, M. (2010). Study of growth and development adaptation and medicinal and ornamental potential of common sage (*Salvia sclarea*) in the climatic conditions of Mashhad. *Plant Production Research (Agricultural Sciences and Natural Resources)*, *17*(1), 77-90. (In Persian).

9- Guzel, K. S., Ulger, M., & Kahraman, A. (2021). Phytochemical analysis, antioxidant and antimicrobial activities of *Salvia virgata* mericarps. *Botanica Serbica*, *45*(2), 223-231. https://doi.org/10.2298/BOTSERB2102223G

10-Golkar Hamzai Yazd, H., Rezaeinejad, M., & Tavousi, M. (2016). Climatic Zoning of South Khorasan Province with GIS Software. (In Persian).
11- Harizia, A., Benguerai, A., & Elouissi, A. (2021). Chemical composition and biological activity of *Salvia officinalis* L. essential oil against *Aphis fabae* Scopoli (Hemiptera: Aphididae*). Journal of Plant Diseases and Protection*, *128*, 1547-1556. https://doi.org/10.1007/s41348-021-00525-z
12- Jamzad, Z., & Moein, F. (2017). Conservation status of a rare species of the genus *Salvia* called *Salvia aristata*. *Nature of Iran, 2*(3), 95-92. (In Persian). https://doi.org/10.22092/irn.2017.112976
13- Kesari, V., & Rangan, L. (2011). Coordinated changes in storage proteins during development and germination of elite seeds of *Pongamia pinnata*, a versatile biodiesel legume. *AoB Plants*, plr026. https://doi.org/10.1093/aobpla/plr026
14- Kostas, S., Kaplani, A., Koulaouzidou, E., Kotoula, A. A., Gklavakis, E., Tsoulpha, P., Hatzilazarou, S., Nianiou-Obeidat, I., Kanellis, A. K., & Economou, A. (2022). Sustainable exploitation of Greek *Rosmarinus officinalis* L. populations for ornamental use through propagation by shoot cuttings and *in vitro* cultures. *Sustainability*, *14*, 4059. https://doi.org/10.3390/su14074059
15- Koubaa, F. G., Chaâbane, M., & Turki, M. (2021). Anti-oxidant and hepatoprotective effects of *Salvia officinalis* essential oil against vanadium-induced oxidative stress and histological changes in the rat liver. *Environmental Science and Pollution Research, 28*, 11001-11015. https://doi.org/10.1007/s11356-023-28716-1
16- Leontaritou, P., Lamari, F. N., Papasotiropoulos, V., & Iatrou, G. (2020). Morphological, genetic and essential oil variation of Greek sage (*Salvia fruticosa* Mill.) *populations from Greece. Industrial Crops and Products, 150*, 112346. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112346
17- Lopresti, A. L. (2017). *Salvia* (Sage): A review of its potential cognitive-enhancing and protective effects. *Drugs in R&D. 17*, 53-64. https://doi.org/10.1007/s40268-016-0157-5
18- Mossi, A. J., Cansian, R. L., Paroul, N., Toniazzo, G., Oliveira, J. V., Pierozan, M. K., Pauletti, G., Rota, L., Santos, A. C. A., & Serafini, L. A. (2011). Morphological characterisation and agronomical parameters of different species of *Salvia* spp. (Lamiaceae). *Brazilian Journal of Biology, 71*, 121-129. https://doi.org/10.1590/s1519-69842011000100018
19- Raisi Monfared, A., Yavari, A., & Moradi, N. (2020). Genetic diversity of *Salvia santolinifolia* Boiss ecotypes growing in Hormozgan province using morphological traits. *Plant Production Research*, *27*(3), 279-296. (In Persian). https://doi.org/10.22069/jopp.2020.17722.2641
20- Shahbazi Asl, F., & Ashraf Jafari, A. (2020). Investigation of Areal part yield and morphological traits in populations of *Mentha pulegium*. *Iranian Medicinal Plants Technology*, *3*(1), 29-39. (In Persian). https://doi.org/10.22092/mpt.2020.342777.1062
21- Şenkal, B. C., Uskutoğlu, T., Cesur, C., Ozavici, V., & Doğan, H. (2019). Determination of essential oil components, mineral matter, and heavy metal content of *Salvia virgata* Jacq. grown in culture conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 43*(4), 395-404. https://doi.org/10.3906/tar-1812-84
22- Shahhoseini, R., Hossaini, S. M., & Nikjouyan, M. J. (2024). Investigation of the growth and phytochemical variations for different *Salvia* species in terms of their transfer and adaptation in Iran. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, *38*, 100526. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2023.100526
23- Talebi, S. M., Yadegari, P., Behzadpour, S., & Matsyura, A. (2019). Infraspecific morphological variations of *Salvia limbata* in Iran. *Acta Biologica Sibirica, 5*, 113-121. (In Persian). https://doi.org/10.14258/abs.v5.i1.5209
24- Wang, M., Li, J., Zhang, L., Yang, R. W., Ding, C. B., Zhou, Y. H., & Yin, Z. Q. (2011). Genetic diversity among *Salvia miltiorrhiza* Bunge and related species using morphological traits and RAPD markers. *Journal of Medicinal Plants Research*, *5*(13), 2687-2694.
25- Zare Hoseini, R., Mehregan, I., Ghanbari Jahromi, M., Mousavi, A., & Salami, S. A. (2022). Evaluating molecular and morphological diversity of *Phlomis olivieri* Benth (Lamiaceae) populations in Iran. *Biodiversity, 23*(2), 81-95. (In Persian). https://doi.org/10.1080/14888386.2022.2117736
26- Zigene, Z. D., Asfaw, B. T., & Bitima, T. D. (2022). Phenotypic diversity of rosemary (Salvia rosmarinus Schleid. accessions for qualitative characters. Heliyon, 8, e11895. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11895

Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 40, No. 1, Spring 2026, p. 111-128

Investigating Quantitative and Qualitative Traits of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) under the Effect of Different Growth Stages and Levels of Foliar Spraying with Potassium Nanoparticles

N. Gharehbaghli[1*], A. Mehraban[2]

1- Crop and Horticultural Science Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center Research and Education Center (AREEO), Hamadan. Iran
2 - Department of Agriculture, Zahedan Unit, Islamic Azad University, Zahedan, Iran
(*- Corresponding author's Email: n.gharebaghli@areeo.ac.ir)

Received: 11 March 2025
Revised: 09 July 2025
Accepted: 18 August 2025
Available Online: 18 August 2025

How to cite this article: [1]
Gharehbaghli, N., & Mehraban, A. (2026). Investigating quantitative and qualitative traits of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) under the effect of different growth stages and levels of foliar spraying with potassium nanoparticles. *Journal of Horticultural Science*, *40*(1), 111-128. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92581.1420

Introduction

Fennel (*Foeniculum vulgare*), a valuable medicinal plant belonging to the Apiaceae family, has been widely recognized for its medicinal and culinary uses. Its essential oils and bioactive compounds, such as anethole, fenchone, and estragole, have made it a significant crop in the pharmaceutical, food, and cosmetic industries. Fennel is not only prized for its aromatic seeds and leaves but also for its therapeutic properties, including anti-inflammatory, antimicrobial, and antioxidant effects. Given the increasing global demand for high-quality medicinal plants, optimizing cultivation practices to enhance growth, yield, and essential oil production is crucial. Traditional agricultural practices often face challenges such as nutrient inefficiency, environmental degradation, and resource depletion, which can limit the productivity and sustainability of medicinal plant cultivation. In this context, nanotechnology, particularly the use of nanofertilizers, has emerged as a promising approach to improve nutrient efficiency and plant performance. Nanofertilizers offer several advantages over conventional fertilizers, including enhanced nutrient uptake, reduced application rates, and minimized environmental impact. This study aimed to investigate the effects of foliar application timing and varying concentrations of potassium nanoparticles on the growth characteristics and essential oil yield of fennel over two cropping years (2021-2022 and 2022-2023). By exploring the potential of nanotechnology in fennel cultivation, this research seeks to contribute to the development of sustainable agricultural practices that can meet the growing demand for medicinal plants while preserving environmental health.

Materials and Methods

The experiment was conducted as a factorial design in a randomized complete block design with three replications. The factors included foliar application timing at three growth stages: stem formation, flowering, and fruiting; and nano potassium oxide concentrations at five levels: 0 (control), 2, 3, 4, and 5 parts per thousand (ppt). The measured parameters included plant height, biomass yield, seed yield, 1000-seed weight, number of umbels per plant, seed carbohydrate content, chlorophyll a, b, and total chlorophyll levels, as well as essential oil percentage and yield.

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.2025.92581.1420

Result and Discussion

The results demonstrated that foliar application of potassium nanoparticles significantly influenced the growth and essential oil production of fennel. The application of 3 ppt potassium nanoparticles had the most pronounced positive effects on plant height, biomass yield, seed yield, 1000-seed weight, number of umbels per plant, seed carbohydrate content, and chlorophyll levels (a, b, and total). This concentration was found to optimize nutrient uptake and utilization, leading to enhanced photosynthetic efficiency and overall plant vigor. In terms of essential oil production, the highest essential oil percentage (4.37%) was observed in plants treated with 5 ppt potassium nanoparticles. However, the maximum essential oil yield (5.69 $kg.ha^{-1}$) was achieved with 4 ppt potassium nanoparticles applied during the fruiting stage. This indicates that while higher concentrations of potassium nanoparticles may increase the essential oil percentage, the optimal concentration for maximizing essential oil yield is 4 ppt during the fruiting stage. The fruiting stage was identified as the most critical period for foliar application, as it coincides with the peak demand for nutrients to support seed and essential oil developmentThe findings of this study highlight the importance of precise nutrient management in fennel cultivation. Potassium, as a vital macronutrient, plays a key role in various physiological processes, including enzyme activation, osmoregulation, and stress tolerance. The use of potassium nanoparticles enhances nutrient use efficiency by providing a controlled and sustained release of potassium, thereby improving plant growth and essential oil production. Furthermore, the application of nanotechnology in agriculture offers an environmentally friendly alternative to conventional fertilizers, reducing the risk of groundwater contamination and soil salinity. From an agronomic perspective, the results suggest that foliar application of 4 ppt potassium nanoparticles during the fruiting stage is the most effective strategy for maximizing essential oil yield in fennel. This approach not only improves the economic viability of fennel cultivation but also aligns with sustainable agricultural practices by minimizing input waste and environmental impact.

Conclusion

In conclusion, this study underscores the potential of nanotechnology, particularly potassium nanoparticles, in enhancing the growth and essential oil production of fennel. By optimizing foliar application timing and concentration, farmers can achieve higher yields and better-quality essential oils, thereby increasing the profitability of fennel cultivation. The findings of this research provide valuable insights into the role of nanotechnology in sustainable agriculture and its potential to address global challenges in food and medicinal plant production. Future research should explore the long-term effects of nanofertilizers on soil health and plant physiology, as well as their applicability to other medicinal plants. Additionally, studies on the economic feasibility and scalability of nanofertilizer use in different agricultural systems would be beneficial. This work contributes to the growing body of knowledge on sustainable agricultural practices and highlights the importance of integrating innovative technologies into traditional farming systems to ensure food security and environmental sustainability in the face of a changing climate and growing population.

Keywords: Carbohydrates, Chlorophyll, Essential oil, Nano potassium oxide

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۴۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص. ۱۲۸-۱۱۱

بررسی صفات کمّی و کیفی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill) تحت تأثیر زمان و سطوح مختلف محلول‌پاشی با نانوکودپتاسیم

نساء قره باغلی[1*] - احمد مهربان[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۷

چکیده

رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill) از گیاهان ارزشمند دارویی خانواده چتریان و دارای مصارف متعدد دارویی و غذایی می‌باشد. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثرات زمان و سطوح مختلف محلول‌پاشی نانوذرات پتاسیم بر خصوصیات رشدی و اسانس رازیانه طی دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱، به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در شهرستان رزن استان همدان اجرا گردید. زمان محلول‌پاشی در سه مرحله ساقه‌دهی، گل‌دهی و میوه‌دهی؛ و غلظت‌های مختلف نانوکودپتاسیم با ترکیب نانواکسیدپتاسیم در پنج غلظت شامل عدم محلول‌پاشی (شاهد)، ۲، ۳، ۴ و ۵ در هزار بودند. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی در مرحله ساقه‌دهی با غلظت ۳ در هزار از نانوکودپتاسیم بیشترین اثر مثبت بر افزایش ارتفاع بوته، عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد چتر در بوته، کربوهیدرات دانه، میزان کلروفیل a، b و کل را داشت. بیشترین افزایش صفات رشد رازیانه مربوط به عملکرد دانه بود. بیشترین درصد اسانس دانه (۴/۳۷ درصد) در تیمار ۵ در هزار نانوکودپتاسیم، و بیشترین عملکرد اسانس دانه (۶۹/۵ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۴ در هزار نانوکودپتاسیم در مرحله میوه‌دهی به دست آمد. نتایج این پژوهش تأیید می‌کند که برای بهبود صفات کیفی رازیانه با محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم، بهترین زمان مرحله میوه‌دهی می‌باشد. با توجه به هدف تولید می‌توان غلظت محلول‌پاشی را تعیین کرد. ازآنجاکه ارزش گیاهان دارویی بیشتر به تولید عملکرد اسانس مرتبط است، به‌منظور دستیابی به حداکثر عملکرد اسانس دانه، محلول‌پاشی در غلظت ۴ در هزار نانوکودپتاسیم در مرحله میوه‌دهی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اسانس، کربوهیدرات، کلروفیل، نانواکسیدپتاسیم

مقدمه

اهمیت، جایگاه و نقش ویژه و رو به افزایش گیاهان دارویی و صنعتی به‌ویژه در ابعاد کلان توسعه اقتصادی، زیست‌محیطی، بهداشتی، اشتغال، امنیت غذایی و ذخایر ژنتیکی در عرصه ملی و جهانی به حدی است که می‌توان امروزه روند احیاء نقش گیاهان دارویی به‌ویژه در تأمین دارو را به‌عنوان یکی از شاخص‌های توسعه مورد توجه قرار داد (Davis & Choisy, 2024). رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill) از مهم‌ترین و قدیمی‌ترین گیاهان دارویی و ادویه‌ای است که در تمام دارونامه‌های معتبر از آن به‌عنوان نوعی گیاه دارویی پراهمیت یاد شده است. قدیمی‌ترین شواهد استفاده از این گیاه دارویی به ۶۰۰۰۰ سال پیش در غار شانیدر کردستان عراق برمی‌گردد (Lietava, 1992). رازیانه متعلق به خانواده چتریان (Apiaceae) است که امروزه در صنایع غذایی، دارویی، آرایشی و بهداشتی استفاده فراوان می‌شود (Bahmani et al., 2016). این گیاه بومی جنوب اروپا و منطقه مدیترانه بوده و در فرانسه، اسپانیا، پرتغال و شمال آفریقا به حالت خودرو رشد می‌کند (Lim, 2013). مردم یونان و روم باستان از خواص دارویی آن اطلاع کاملی داشتند و از آن برای درمان برخی از بیماری‌ها استفاده می‌کردند (Bahmani et al., 2016). رازیانه در طب سنتی ایران جهت درمان مشکلات گوارشی مانند نفخ، سوءهاضمه و درد معده، ضداسپاسم و ضدالتهاب، تنظیم‌کننده هورمون‌های زنانه و همچنین برای افزایش شیر مادران شیرده توصیه شده است (Damjanovic et al., 2005). رازیانه یکی از چهار گیاه ادویه‌ای بسیار مهم است که در سراسر نواحی معتدل و نیمه

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
۲- گروه زراعت، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: n.gharebaghli@areeo.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92581.1420

گرمسیری جهان کشت می‌شود (Jadid et al., 2023). وجود تنوع ژنتیکی بین گونه‌ها، نیاز آبی کم و مقاومت به خشکی بیش از پیش بر اهمیت این گیاه می‌افزاید (Coshge et al., 2008). ایران یکی از تولیدکنندگان و صادرکنندگان مهم رازیانه در منطقه است و استان‌های عمده تولیدکننده آن در کشور، همدان، خراسان، کهکیلویه و بویراحمد، لرستان، تهران، کرمان و گلستان می‌باشند. سطح زیرکشت رازیانه در کشور سه هزار و ۲۱۷ هکتار است که سه هزار و ۳۴ هکتار آن در استان همدان کشت می‌شود و سه هزار هکتار آن مربوط به شهرستان رزن است. همدان، بیشترین میزان عملکرد دانه در واحد سطح (۲۵۳۵ کیلوگرم در هکتار) را تولید می‌کند. در سال‌های اخیر به‌منظور افزایش تولید کمّی و کیفی گیاهان دارویی به تغذیه آن‌ها توجه زیادی شده است.

در بین عناصر مورد استفاده به‌صورت کود، پتاسیم مهم‌ترین کاتیون یک‌ظرفیتی است که دارای جذب انتخابی بوده و در فیزیولوژی و متابولیسم گیاه و فعال کردن آنزیم‌های گیاهی و افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی نقش مهمی دارد (Larki et al., 2015). مـصرف کودهای شیمیایی می‌تواند زیست‌توده گیاهی را افزایش دهد. در این رابطه، مقدار و منابع کودی پتاسیم دارای اهمیـت خاصی هستند (Rawat et al., 2016). پتاسیم علاوه‌بر افزایش تولید و بهبود کیفیت محصول سبب افزایش مقاومت گیاهان به شوری، کم‌آبی، انواع تنش‌ها، آفت‌ها و بیماری‌ها گردیده و کارآیی آب و کود را افزایش می‌دهد (Hasanuzzaman et al., 2018). نقش پتاسیم در تغذیه گیاه دارویی رازیانه شامل تنظیم فشار تورگر و باز شدن روزنه‌ها (Marschner, 2012)، فعال‌سازی بیش از ۵۰ آنزیم از جمله آنزیم‌های دخیل در سنتز پروتئین و کربوهیدرات‌ها (Cakmak, 2005)، افزایش مقاومت به تنش‌ها از طریق تقویت دیواره سلولی و کاهش تنش اکسیداتیو (Hasanuzzaman et al., 2018) گزارش شده است. علاوه‌بر این پتاسیم نیز بر تولید متابولیت‌های ثانویه در رازیانه تأثیر می‌گذارد. مطالعات نشان داده‌اند که مصرف بهینه پتاسیم (معمولاً ۲۰۰–۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) محتوای اسانس دانه‌های رازیانه را افزایش داد (Hassanpour Aghdam et al., 2011). پتاسیم با بهبود فتوسنتز، پیش‌سازهای اسانس‌ها (مانند فنیل پروپانوئیدها) را افزایش می‌دهد (Omid Baigi, 2005) و آنزیم‌های کلیدی در مسیر شیکیمات و فنیل پروپانوئید مانند فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL) را فعال می‌کند که منجر به سنتز بیشتر ترکیبات فنلی می‌شود (Taiz & Zeiger, 2015). مطالعات روی گیاه رازیانه نشان داد که کمبود پتاسیم باعث کاهش غلظت ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند روتین و کوئرستین می‌شود (Alam et al., 2014). همچنین پتاسیم با تنظیم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و کاتالاز (CAT)، از تخریب متابولیت‌های ثانویه تحت تنش جلوگیری می‌کند (Cakmak, 2005). این تأثیرات نشان‌دهنده اهمیت مدیریت صحیح تغذیه پتاسیمی در کشت رازیانه برای دستیابی به حداکثر تولید کمّی و کیفی متابولیت‌های ارزشمند در این گیاه دارویی است.

طی چند سال اخیر، با توجه به چالش‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، راهبردهای مختلف تغذیه گیاه برپایه حفظ محیط‌زیست و دسترسی بهتر عناصر غذایی برای گیاه مورد بررسی قرار گرفته است، که یکی از مهم‌ترین آن‌ها استفاده از فناوری نانو می‌باشد. فناوری نانو عبارت از دستکاری مواد در مقیاس اتمی و مولکولی، با هدف کنترل و استفاده از خواص آن‌ها در این سطوح است (Liu & Lal, 2014). با توجه به مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی و در نتیجه آلودگی آب‌های زیرزمینی و شور شدن خاک، استفاده از کودهای نانو به‌دلیل رهاسازی کنترل‌شده عناصر غذایی و کاهش هدررفت آن‌ها، بسیار کارآمد و مؤثر خواهد بود (Mim et al., 2025). راوات و همکاران (Rawat et al., 2019) گزارش دادند که کودهای نانو، پتانسیل استفاده به‌عنوان محرک رشد گیاه را دارند و می‌توانند تبادل گازی گیاه و کارآیی ریشه را افزایش دهند. استفاده از نانوکودها (Nanofertilizers (NFs)) سبب افزایش کارآیی عناصرغذایی می‌شوند، به‌طوری‌که علاوه‌بر رهاسازی مداوم عناصر غذایی، جذب و انتقال آن‌ها از طریق برگ نیز به‌سهولت انجام می‌گیرد (Yadav et al., 2023). از جمله ویژگی‌های جالب توجه مواد نانو، سبک و کوچک بودن آن‌ها و صرفه‌جویی در مواد مصرفی است، که این ویژگی‌ها باعث کاهش هزینه‌ها و افزایش کارآیی در کشاورزی می‌شود (Subramanian & Thirunavukkarasu, 2017). ازآنجاکه مدیریت تغذیه در گیاهان زراعی و دارویی یکی از مهم‌ترین عواملی است که بر رشد، تولید و کیفیت ترکیبات مؤثره گیاهان اثر می‌گذارد، استفاده از نانوکودها ضروری به نظر می‌رسد (Karami et al., 2018).

با توجه به اهمیت بالای تغذیه در تولید کمّی و کیفی گیاهان دارویی و مزایای کاربرد نانوکودپتاسیم نسبت به کودهای معمولی پتاسیم، استفاده از کودها در ابعاد نانو توصیه شده است. این‌طور به نظر می‌رسد که مصرف نانوکودها به سبب بهبود جذب و انتقال آن‌ها از طریق روزنه‌های برگ (استوماتا[1]) و ریشه، همچنین انتقال سریع‌تر به بافت‌های گیاهی به‌دلیل عبور از موانع سلولی (Yadav et al., 2023) باشد. همچنین به نظر می‌رسد که نانوکودپتاسیم اثر بیشتری بر افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز، سنتز اسانس‌ها و دفاع آنتی‌اکسیدانی نسبت به کود پتاسیم داشته باشند (Davarpanah et

1 - Stomata

al., 2017). علی‌رغم مشخص شدن اثرات چشمگیر نانوکودهای پتاسیمی بر تولید کمّی و کیفی بسیاری از گیاهان دارویی، متأسفانه اطلاعات بسیار کمی در خصوص زمان و غلظت کاربرد این ترکیبات در رازیانه وجود دارد. ازآنجاکه یکی از دلایل عمده محدودیت توسعه سطح زیرکشت رازیانه در ایران، کمبود تحقیقات به‌زراعی و به‌نژادی، بالا بودن هزینه و پایین بودن بازده تولید است (Safaii et al., 2020). بنابراین تحقیق حاضر در راستای بررسی زمان و غلظت‌های مطلوب محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم در تولید رازیانه به‌عنوان یک گیاه دارویی پراهمیت در شهرستان رزن استان همدان، برای ارزیابی صفات کمّی (ارتفاع بوته، عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد چتر در بوته و تعداد دانه در چتر) و صفات کیفی (درصد اسانس، عملکرد اسانس، کربوهیدرات، کلروفیل a,b و کلروفیل کل) اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر مدیریت زمان و سطوح محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم بر صفات کمّی وکیفی رازیانه، این پژوهش طی دو سال در بهار سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ انجام شد. شهرستان رزن، با مختصات جغرافیایی ۴۹ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی و با ارتفاع ۲۶۴۳ متر از سطح دریا با آب‌وهوایی نیمه‌خشک و میانگین بارندگی سالانه ۲۳۰ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت ۱۱ درجه سانتی‌گراد، در فاصله ۷۵ کیلومتری شمال شهرستان همدان قرار دارد. میانگین آمار هواشناسی در بهار سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در جدول ۱ ارائه شده است.

مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- میانگین آمار هواشناسی در بهار سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱

Table 1- The average of meteorological statistics in the spring of the 1400-1401 and 1401-1402 crop years

سال Year	۱۴۰۱-۱۴۰۰ 2021-2022			۱۴۰۲-۱۴۰۱ 2022-2023		
ماه Month	فروردین March	اردیبهشت April	خرداد May	فروردین March	اردیبهشت April	خرداد May
میانگین دما Average temperature (°C)	15.06	20.26	26.14	17.24	20.00	25.65
بارش Precipitation (mm)	22.6	13.2	2.4	24.2	20.11	10.50

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 2- The physical and chemical characteristics of soil

سال Year	بافت Texture	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	واکنش خاک pH	ماده آلی Organic matter	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K
		(%)					(%)		(ppm)	
اول First	لوم شنی Sandy loam	52	26	22	1.02	7.7	0.79	0.09	8	169.53
دوم Second					1.10	7.4	0.83	0.07	8.1	141

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. در این آزمایش، مراحل مختلف محلول‌پاشی به‌عنوان عامل اول در سه مرحله ساقه‌دهی، گل‌دهی و میوه‌دهی محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم در این سه مرحله بحرانی، نیاز گیاه به پتاسیم را به‌صورت هدفمند تأمین می‌کند و از هدررفت کود جلوگیری می‌نماید. این روش مبتنی بر فیزیولوژی گیاه و شواهد آزمایشگاهی است (Marschner, 2012; Zorb et al., 2014; Hasanuzzaman et al., 2018) و غلظت‌های مختلف نانوکودپتاسیم به‌عنوان عامل دوم در پنج غلظت شامل عدم محلول‌پاشی (شاهد)، ۲، ۳، ۴ و ۵ در هزار نانوکودپتاسیم بودند (Saedi et al., 2020).

نانوکودپتاسیم با نام تجاری Nano-Potassium Fertilizer از شرکت نانوکود پارس خریداری گردید. این نانوکود با فرمولاسیون مبتنی بر نانوذرات اکسیدپتاسیم (K_2O) با اندازه ذرات ۱۰۰-۲۰ نانومتر بوده که با روش‌های استاندارد سنتز و مشخص‌سازی شده است. این ترکیب در آب (به‌دلیل پوشش سطحی هیدروفیل) محلول بوده، در PH= 5-8 و دمای ۴-۳۰° سانتی‌گراد پایدار است و شکل ذرات مشاهده‌شده با میکروسکوپ الکترونی (SEM) به‌شکل کروی یا

بیضوی می‌باشد. بذرهای مورد نیاز جهت کشت از توده محلی رازیانه همدان، بعد از اطمینان از قوه نامیه مناسب تهیه شد. به‌منظور اجرای عملیات زراعی زمانی‌که دمای خاک مناسب بود، زمین زراعی با یک شخم و دو دیسک سبک عمود بر هم، آماده و با لولر تسطیح شد. هر کرت با طول شش متر و عرض سه متر، فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر، فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ متر، و فاصله بین بلوک‌ها سه متر در نظر گرفته شد. اولین آبیاری قبل از کشت به‌صورت ثقلی و نشتی بود. پس از گاورو شدن زمین، عملیات کاشت به‌ترتیب در سال‌های اول و دوم آزمایش در تاریخ یکم اردیبهشت ماه ۱۴۰۰ و سوم اردیبهشت ماه ۱۴۰۱ به‌صورت دست‌پاش در چاله‌هایی به‌عمق دو تا سه سانتی‌متر و در هر چاله سه تا چهار بذر در کرت‌های مذکور صورت گرفت و بلافاصله عملیات آبیاری انجام شد. بذرها با استفاده از رطوبت خاک جوانه زده و طی یک هفته سبز شدند. در این زمان، خاک خشک شده و آبیاری دوم انجام شد. دور آبیاری هر چهار تا پنج روز یک بار بود، مگر اینکه شرایط خاصی نظیر دمای بالا به مدت طولانی سبب تغییر دور آبیاری گردید. به‌طورکلی، مسئله آبیاری در انجام بازدیدهای مزرعه‌ای کنترل و برنامه‌ریزی شد.

جهت دستیابی به تراکم مطلوب، عمل تنک کردن در دو مرحله شش و هشت برگی صورت گرفت. مبارزه با علف‌های هرز در دو مرحله در نیمه دوم اردیبهشت و اوایل خرداد ماه به‌روش مکانیکی (وجین دستی) و با نیروی کارگری انجام شد. مقدار و نوع کود مصرفی با توجه به آزمایش خاک، شامل ۱۰۰ کیلوگرم آمونیوم فسفات در هکتار در مرحله خاکورزی و کود اوره در سه مرحله هنگام کاشت، ساقه‌دهی و قبل از گل‌دهی به‌مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار همراه با آب آبیاری مورد استفاده قرار گرفت. همچنین محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم براساس تیمارهای مورد مطالعه روی گیاه اعمال شد. محلول‌پاشی در ساعات پایانی روز و هنگام غروب آفتاب به‌وسیله سم‌پاش پشتی تلمبه‌ای و با فشار یکسان روی بوته‌ها انجام شد. فاصله نازل سم‌پاش تا بالای بوته‌ها ۵۰ سانتی‌متر بود. محلول‌پاشی تا زمان جاری شدن قطرات محلول از روی بوته‌ها ادامه یافت.

بذرهای رازیانه به‌طور همزمان نمی‌رسند و پس از رسیدن از گیاه جدا و به اطراف پراکنده می‌شوند. ازاین‌رو قبل از ریزش باید محصول را برداشت نمود. عملیات برداشت در سال‌های اول و دوم آزمایش به‌ترتیب در تاریخ ۲۱ شهریورماه ۱۴۰۰ و ۱۹ شهریور ماه ۱۴۰۱ پس از حذف ردیف‌های کناری و ۰/۵ متر ابتدا و انتهای هر کرت در زمان رسیدگی فیزیولوژیک (زرد شدن ۷۰ درصد برگ‌ها و چترها) با نمونه‌برداری از ۱۰ بوته به‌طور تصادفی آغاز گردید.

اندازه‌گیری ارتفاع بوته از محل یقه در سطح خاک تا نوک بوته با استفاده از متر پارچه‌ای برحسب سانتی‌متر انجام شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد زیست‌توده، ابتدا بذور از نمونه‌ها جدا و سپس به کمک دستگاه آون (در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد) تا حصول وزن ثابت خشک شدند، سپس وزن ساقه و برگ خشک‌شده همراه بذور اندازه‌گیری و بر مبنای کیلوگرم در هکتار گزارش گردید. جهت بررسی و محاسبه عملکرد دانه، بعد از جداسازی دانه از بوته، عملکرد دانه در هکتار برحسب کیلوگرم در هکتار به‌وسیله ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. تعداد چتر در بوته و دانه در چتر ۱۰ بوته به‌طور جداگانه شمارش و میانگین آن‌ها محاسبه گردید. جهت محاسبه وزن هزاردانه، تعداد چهار نمونه ۱۰۰ تایی به‌طور تصادفی انتخاب و میانگین وزنی به‌دست‌آمده در عدد ۱۰ ضرب و برحسب گرم برای هر کرت آزمایشی گزارش گردید.

تعیین درصد اسانس دانه با کمک روش استفاده‌شده در تحقیق میرعبداللهی (Mirabdollahi, 2011) انجام گردید. سپس عملکرد اسانس از حاصل‌ضرب عملکرد دانه و درصد اسانس محاسبه شد. برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول برگ از روش ایریگوین و همکاران (Irigoyen et al., 1992) و برای اندازه‌گیری کلروفیل برگ از روش آرنون (Arnon, 1965) استفاده شد. اندازه‌گیری غلظت نیتروژن با استفاده از روش کجلدال (Kjeldahl, 1883) ، فسفر با استفاده از روش اولسن و همکاران (Olsen et al., 1954) و پتاسیم به‌روش شعله‌سنجی با استفاده از دستگاه نورسنج شعله‌ای (فلیم‌فتومتر) در آزمایشگاه اندازه‌گیری و تعیین شد.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) و ترسیم جداول با استفاده از نرم‌افزار Word انجام گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

برپایه نتایج حاصل از تجزیه واریانس، ارتفاع بوته رازیانه بین دو سال آزمایش به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مراحل و سطوح مختلف محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم با احتمال خطای یک درصد قرار گرفت (جدول ۳).

با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) مشاهده می‌شود که بیشترین ارتفاع بوته برابر با ۸۴/۵۹ سانتی‌متر در سال دوم آزمایش در مرحله ساقه‌دهی همراه با محلول‌پاشی در غلظت ۳ در هزار نانوکودپتاسیم به دست آمد. بین این تیمار با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد، به‌طوری‌که محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم در

مرحله میوه‌دهی در سال اول آزمایش نسبت به شاهد منجر به افزایش ۲۰ سانتی‌متری ارتفاع بوته شد. به نظر می‌رسد که نقش پتاسیم در حفظ پتانسیل آب سلول و کمک به جذب آب توسط گیاه، از دلایل افزایش ارتفاع بوته‌های رازیانه در واکنش به مصرف نانوکودپتاسیم می‌باشد. پتاسیم با تأثیری که در رشد و فتوسنتز گیاه، تنظیمات روزنه‌ای و فعال کردن حداقل ۶۰ آنزیم گیاهی داشته (Selva-Preetha & Balakrishnam, 2017) می‌تواند به‌عنوان محرک رشد طولی سلول‌ها همراه با مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفردار در افزایش ارتفاع بوته نقش داشته باشد.

حسنی و همکاران (Hassani et al., 2015) در مطالعه‌ای روی نعناع فلفلی (*Mentha piperta*) نشان دادند که کودهای آهن، نانو آهن، روی، نانو روی، پتاس و نانوپتاس به‌طور معنی‌داری ارتفاع بوته را در گیاه نعناع فلفلی نسبت به شاهد افزایش دادند. آن‌ها معتقد بودند که کودهای شیمیایی معمول و نانو علاوه‌بر تحریک رشد، فعالیت متابولیکی را در گیاهان دارویی تغییر می‌دهند. نجفی وفا و همکاران (Najafi Vafa et al.et, 2015) گزارش نمودند که استفاده از کودهای نانو روی در سطوح بالاتر به‌شکل محلول‌پاشی به‌طور معنی‌داری ارتفاع بوته را در گیاه مرزه (*Satueja hotensis*) نسبت به تیمار بدون کود افزایش داد. در تأیید نتایج این پژوهش، مباشیر و همکاران (Mubashir et al., 2023) گزارش کردند که محلول‌پاشی با نانوکودپتاسیم در مراحل اولیه رشد اندام هوایی در گیاه گوجه فرنگی (*Solanum lycopersiacum*)، افزایش معنی‌داری در ارتفاع بوته به‌وجود آورده است. مطالعات ماهیل و کومار (Mahil & Aravinda Kumar, 2019)، دلیل افزایش رشد در گیاهان مختلف با کاربرد نانوکودها را تأثیر نانوکودها بر افزایش دسترسی به مواد مغذی و نقش مهم آن‌ها در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان دانسته و تأکید کردند که نانوکودها سبب ارتقای فعالیت‌های مریستمی در گیاهان شده و رشد رأس ساقه و ناحیه فتوسنتزی را افزایش می‌دهد که احتمالاً این موضوع، دلیل اصلی افزایش ارتفاع در گیاهان در معرض نانوکودها می‌باشد.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفات رازیانه تحت تأثیر مراحل و سطوح محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم

Table 3- Combined ANOVA for the fennel traits affected by stages and levels of nanopotassium foliar application

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	عملکرد زیست‌توده Biomass yield	عملکرد دانه Seed yield	وزن هزار دانه Thousand-seed weight	چتر در بوته Umbles in plant	دانه در چتر Seed in umbles
سال Year (Y)	1	322.89**	639983.74*	461003.84**	1.61**	193.98**	373.21**
تکرار (سال) Replication (year)	2	15.20	120000.45	85000.32	0.05	18.45	25.12
مراحل محلول‌پاشی Spraying steps (SS)	2	49.72*	1239066.25**	424826.42**	0.17^{ns}	149.62**	62.06*
Y × SS	2	35.79*	991260.57**	230074.40*	0.08^{ns}	121.86**	37.62^{ns}
غلظت محلول‌پاشی Spray concentration (SC)	4	141.91**	1655105.9**	5559097.67**	0.29*	55.81**	262.86**
Y × SC	4	32.62*	171991.61^{ns}	1013189.66**	0.06^{ns}	8.54^{ns}	68.98**
SS × SC	8	52.43**	670012.52**	516494.33**	0.22*	63.92**	82.64**
Y × SS × SC	8	38.47**	559752.25**	572354.83**	0.17*	39.70**	27.07^{ns}
خطای آزمایش Error	58	11.30	157504.38	58490.77	0.08	13.49	14.06
ضریب تغییرات C.V (%)	-	4.64	10.24	16.13	6.27	11.10	2.88

^{ns}: غیرمعنی‌دار، *و**: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

^{ns}: non- significant, * and **: significant at $p\leq0.05$ and $p\leq0.01$, respectively

جدول ۴- صفات رازیانه تحت تأثیر مراحل و سطوح محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم

Table 4- The fennel traits affected by stages and levels of potassium nanoparticles foliar spraying

تیمارهای آزمایشی Experimental treatments			ارتفاع بوته Plant height (cm)	عملکرد زیست توده Biomass yield (kg.h^{-1})	عملکرد دانه Seed yield (kg.h^{-1})	وزن هزار دانه Thousand seed weight (g)	چتر در بوته Umbles in plant
سال Year	مراحل محلول‌پاشی Spraying steps	غلظت محلول‌پاشی Spray concentration					
سال اول First year	ساقه‌دهی Stemming	شاهد Control	68.02^{e-i*}	3468.9^{e-j}	783.3^{lm}	4.247^{efg}	30.53^{d-g}
		۲ در هزار 2/1000	72.20^{c-h}	3770.3^{l-i}	1283.6^{e-k}	4.231^{efg}	32.43^{d-g}
		۳ در هزار 3/1000	76.41^{b-d}	4113.2^{b-f}	2798.8^{b}	4.635^{a-f}	34.94^{de}
		۴ در هزار 4/1000	72.52^{c-h}	3954.1^{c-h}	1728.2^{de}	4.548^{a-f}	32.69^{d-g}
		۵ در هزار 5/1000	70.58^{d-i}	3880.7^{c-i}	1244.5^{f-l}	4.473^{b-f}	31.90^{d-g}
	گل‌دهی Flowering	شاهد Control	71.25^{d-h}	3137.0^{ij}	588.2^{m}	4.163^{fg}	29.55^{efg}
		۲ در هزار 2/1000	68.57^{e-i}	3668.9^{d-j}	1468.6^{e-h}	4.273^{efg}	32.12^{d-g}
		۳ در هزار 3/1000	74.66^{c-e}	4254.6^{a-c}	1361^{e-j}	4.552^{a-f}	34.58^{def}
		۴ در هزار 4/1000	70.97^{d-i}	4080.7^{b-g}	1559^{efg}	4.564^{a-f}	31.43^{d-g}
		۵ در هزار 5/1000	72.59^{c-g}	3937.0^{c-h}	2379.1^{bc}	4.601^{a-f}	30.70^{d-g}
	میوه‌دهی Fruiting	شاهد Control	64.59^{i}	2934.9^{j}	576.3^{m}	3.905^{g}	25.72^{g}
		۲ در هزار 2/1000	66.44^{g-i}	3504.2^{a-d}	952.1^{j-m}	4.273^{efg}	27.49^{fg}
		۳ در هزار 3/1000	70.00^{d-i}	4313.2^{a-d}	1476.8^{efg}	4.407^{l-g}	34.03^{def}
		۴ در هزار 4/1000	66.56^{f-i}	3651.7^{d-j}	1145.8^{g-l}	4.469^{b-f}	31.64^{d-g}
		۵ در هزار 5/1000	71.28^{d-h}	3495.5^{e-j}	1351.4^{e-j}	4.443^{e-g}	27.24^{fg}
سال دوم Second year	ساقه‌دهی Stemming	شاهد Control	69.63^{e-i}	3308.1^{g-j}	1111.9^{g-l}	4.497^{b-f}	31.80^{d-g}
		۲ در هزار 2/1000	69.53^{e-i}	4154.1^{b-f}	1228.8^{f-l}	4.693^{a-f}	32.53^{d-g}
		۳ در هزار 3/1000	84.59^{a}	4931.3^{a}	3311.1^{a}	5.099^{a}	45.97^{a}
		۴ در هزار 4/1000	81.58^{ab}	4773.9^{ab}	2080.9^{cd}	4.657^{a-f}	42.89^{ab}
		۵ در هزار 5/1000	78.31^{bc}	4561.8^{abc}	1451.4^{e-i}	4.481^{b-f}	42.29^{abc}
	گل‌دهی Flowering	شاهد Control	67.74^{f-i}	3177.5^{hij}	987.9^{i-m}	4.278^{efg}	32.10^{d-g}
		۲ در هزار 2/1000	72.97^{c-g}	4102.0^{b-f}	998.1^{h-m}	4.719^{a-f}	33.93^{def}
		۳ در هزار 3/1000	74.59^{c-e}	4928.7^{a}	2602.8^{b}	5.028^{ab}	36.09^{cde}
		۴ در هزار 4/1000	76.55^{b-d}	3704.8^{d-j}	1576.8^{efg}	4.859^{a-d}	37.43^{bcd}
		۵ در هزار 5/1000	77.93^{bc}	3481.4^{e-j}	1245.8^{f-l}	4.947^{a-d}	32.01^{d-g}

	شاهد Control	65.88^{hi}	3414.3^{f-j}	858.6^{klm}	4.265^{efg}	26.31^{g}
	۲ در هزار 2/1000	70.57^{d-i}	3823.4^{e-i}	1328.8^{e-j}	4.504^{b-f}	30.39^{g}
میوه‌دهی Fruiting	۳ در هزار 3/1000	78.36^{bc}	4199.1^{a-f}	2407.1^{bc}	4.978^{abc}	35.52^{de}
	۴ در هزار 4/1000	73.25^{c-f}	3841.9^{e-i}	1701.9^{def}	4.764^{a-e}	35.30^{de}
	۵ در هزار 5/1000	72.00^{c-h}	3664.7^{d-j}	1383.6^{e-j}	4.781^{a-e}	31.66^{d-g}

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

* Means with common letters in each column are not significantly different at the five percent probability level, based on Duncan's multiple range test.

عملکرد زیست‌توده

برپایه نتایج حاصل از تجزیه واریانس، عملکرد زیست‌توده رازیانه بین دو سال آزمایش به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مراحل و سطوح مختلف محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم با احتمال خطای یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) مشاهده شد که بیشترین عملکرد زیست‌توده برابر با ۴۹۳۱/۳ کیلوگرم در هکتار در سال دوم آزمایش در مرحله ساقه‌دهی همراه با محلول‌پاشی در غلظت ۳ در هزار نانوکودپتاسیم به دست آمد. بین این تیمار با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد، به‌طوری‌که نسبت به تیمار محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم در مرحله میوه‌دهی در سال اول آزمایش (کمترین عملکرد زیست توده)، ۱۹۹۶/۴ کیلوگرم افزایش نشان داد. می‌توان اظهار داشت که استفاده از نانوکودپتاسیم ضمن دسترسی سریع عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، موجبات افزایش پیکره رویشی و تولید زیست‌توده را فراهم آورده است. پتاسیم به‌راحتی در سراسر گیاه حرکت می‌کند و به‌مقدار زیاد در بخش‌های فعال و در حال رشد گیاه وجود دارد، یون پتاسیم انتقال مواد حاصل از فتوسنتز را تسریع می‌کند و منجر به رشد بهتر گیاهان می‌شود (Patil, 2011). پتاسیم نقش حیاتی در فتوسنتز دارد، چون باعث افزایش سطح برگ و جذب دی‌اکسید کربن و افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به خارج برگ می‌شود. فعالیت پتاسیم موجب تشکیل ATP بیشتر شده که برای تجمع مواد فتوسنتزی در آوند آبکش لازم است (Gardner et al., 2011).

نتایج کاظمی و همکاران (Kazemi et al., 2019) نیز نشان داد که برهم‌کنش تنش آبی و کودهای نانو و کودهای شیمیایی بر عملکرد زیستی گیاه سورگوم (*Sorghum bicolor*) معنی‌دار گردید. بالاترین عملکردهای زیستی و دانه به‌ترتیب در شرایط آبیاری + کود شیمیایی و آبیاری معمولی + ماکرو نانوکود + میکرو نانوکود به دست آمد. همچنین نتایج آزمایش آستانه و همکاران (Astaneh et al., 2020) در بررسی اثر متقابل تنش، اوره و کود نانوکلات نیتروژن نشان داد که در شرایط نرمال و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی، بالاترین عملکرد بیولوژیک با کاربرد ۱۱۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ۴۱ کیلوگرم نانوکودنیتروژن در هکتار به دست آمد.

عملکرد دانه

برپایه نتایج حاصل از تجزیه واریانس، عملکرد دانه رازیانه بین دو سال آزمایش به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مراحل و سطوح مختلف محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم با احتمال خطای یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) مشاهده می‌شود که بیشترین عملکرد دانه برابر با ۳۳۱۱/۱ کیلوگرم در هکتار در سال دوم آزمایش در مرحله ساقه‌دهی همراه با محلول‌پاشی در غلظت ۳ در هزار نانوکودپتاسیم به دست آمد. بین این تیمار با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد، به‌طوری‌که محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم در مرحله میوه‌دهی در سال اول آزمایش نسبت به شاهد، ۲۷۳۴/۸ کیلوگرم در هکتار افزایش نشان داد. نتایج آزمایش‌های بخشایش و شرف الدین (Bakhshayesh & Sharafuddin Zadeh, 2017) نشان داد که نانوذرات فسفر، کلسیم، آهن، روی، بور و مولیبدن سبب بهبود فتوسنتز و متابولیسم گیاه می‌گردد. لذا تلفیق میکرونانوکودها با ماکرونانوکودها می‌تواند عملکرد دانه را افزایش دهد. رامشایاه و همکاران (Rameshaiah et al., 2015) پس از آزمایش‌های خود روی نانوکودها، نانوکودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم را بسیار مؤثر در افزایش عملکرد گیاهان دانستند. در آزمایش دیگری، محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم در مرحله پنجه‌زنی و ساقه‌دهی گندم (*Triticum sativum*)، باعث افزایش قابل توجه عملکرد اقتصادی گردید (Jafarzadeh et al., 2013).

نتایج رضایی و همکاران (Rezaie et al., 2019) نشان داد که برهم‌کنش محلول‌پاشی متانول و نانوکودپتاس بر عملکرد دانه تأثیر معنی‌داری داشت. بیشترین عملکرد دانه از تیمار ۱۵ درصد حجمی متانول + ۴ کیلوگرم در هکتار نانوکودپتاس حاصل شد. طبق نتایج

پژوهشگران، محلول‌پاشی سه در هزار نانوکلسیم باعث افزایش شاخص‌های رشدی از جمله سطح برگ و عملکرد دانه در ریحان (*Ocimum basilicum*) شد (Ghahremani et al., 2014). آن‌ها دلیل آن را بهبود فتوسنتز و همچنین بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه و به‌دنبال آن افزایش رشد در گیاه دانستند. آقازاده خلخالی و همکاران (Aghazadeh-Khalkhali et al., 2015) با بررسی اثر محلول‌پاشی نانوکود کلات آهن و پتاسیم بر رشد و عملکرد اسفرزه (*Plantago ovata*) گزارش کردند که فراهم کردن این دو کود سبب افزایش رشد ریشه و در نهایت عملکرد دانه این گیاه دارویی گردید.

وزن هزار دانه

برپایه نتایج حاصل از تجزیه واریانس، وزن هزار دانه رازیانه بین دو سال آزمایش به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مراحل و سطوح مختلف محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم با احتمال خطای پنج درصد قرار گرفت (جدول ۳). با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) مشاهده می‌شود که بیشترین وزن هزار دانه برابر با ۵/۰۹ گرم در سال دوم آزمایش در مرحله ساقه‌دهی همراه با محلول‌پاشی در غلظت ۳ در هزار نانوکودپتاسیم به دست آمد. بین این تیمار با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد، به‌طوری‌که محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم در مرحله میوه‌دهی در سال اول آزمایش نسبت به شاهد، ۱/۱۹ گرم افزایش نشان داد. از موارد تأثیر پتاسیم بر گیاهان می‌توان ازدیاد وزن دانه را نام برد، زیرا پتاسیم، تولید نشاسته وکربوهیدارت‌ها را افزایش می‌دهد (Tavan et al., 2014). لذا مصرف کود پتاسیم می‌تواند افزایش‌دهنده وزن دانه باشد. همچنین نقش عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گزارش‌های پژوهشگران دیگر (Selva-Preetha & Balakrishnam, 2017; Tavan et al., 2014) در افزایش وزن دانه گزارش گردید. در پژوهش دیگری، امیرنیا و همکاران (Amirnia et al., 2014) گزارش نمودند که نانوکود آهن به‌طور معنی‌داری وزن تر گل زعفران (*Crocus sativus*) را در مقایسه با کودهای نانوپتاس و نانوفسفر افزایش داد.

تعداد چتر در بوته

برپایه نتایج حاصل از تجزیه واریانس، تعداد چتر در بوته رازیانه بین دو سال آزمایش به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مراحل و سطوح مختلف محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم با احتمال خطای یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) مشاهده می‌شود که بیشترین تعداد چتر در بوته برابر با ۴۵/۹۷ عدد در سال دوم آزمایش در مرحله ساقه‌دهی همراه با محلول‌پاشی در غلظت ۳ در هزار نانوکودپتاسیم به دست آمد. بین این تیمار با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد، به‌طوری‌که محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم در مرحله میوه‌دهی در سال اول آزمایش نسبت به شاهد، تقریباً ۲۱ عدد افزایش نشان داد. نتایج آزمایش آستانه و همکاران (Astaneh et al., 2020) در بررسی اثر متقابل تنش، اوره و کود نانوکلات نیتروژن بر گیاه گندم نشان داد که در شرایط نرمال و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی بیشترین تعداد پنجه بارور، وزن هزار دانه و عملکرد دانه با کاربرد ۱۱۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ۴۱ کیلوگرم نانوکودنیتروژن در هکتار به دست آمد. همچنین نتایج هرسینی و همکاران (Harsini et al., 2014) روی گندم نشان داد که محلول‌پاشی کلات نانوکود اثرات قابل توجه و معناداری در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد سنبله، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه داشت. نتایج بیاتی و همکاران (Bayati et al., 2014) نیز حاکی از اثر بهبوددهنده نانوکود آهن بر عملکرد دانه کلزا (*Brassica napus*) بود که این نتیجه به‌علت بهبود تعداد خورجین و وزن هزاردانه به دست آمد.

تعداد دانه در چتر

بر پایه نتایج حاصل از تجزیه واریانس، تعداد دانه در چتر رازیانه بین دو سال آزمایش به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مراحل و سطوح مختلف محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم با احتمال خطای یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها مشاهده می‌شود که بیشترین تعداد دانه در چتر در سال دوم آزمایش برابر با ۱۳۲/۰۸ عدد بوده است (جدول ۵). همچنین در مرحله ساقه‌دهی همراه با محلول‌پاشی در غلظت ۳ در هزار نانوکودپتاسیم برابر با ۱۴۳/۰۸ عدد به دست آمد (جدول ۶). بین این تیمار با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد، به‌طوری‌که نسبت به سال اول آزمایش تقریبا ۴ عدد دانه در چتر و نسبت به شاهد با محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم در مرحله میوه‌دهی ۲۳ عدد دانه در چتر افزایش یافت. احتمالاً محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم از طریق تأثیر بر ظرفیت فتوسنتزی بوته‌ها و نیز انتقال مواد فتوسنتزی به سمت چترهای در حال رشد توانست از ریزش چترها جلوگیری کند و بر پر شدن دانه‌ها اثر مثبت بگذارد، و با توجه به نقش پتاسیم در انتقال مواد پرورده و مواد غذایی، افزایش تعداد دانه بر اثر مصرف آن منطقی به نظر می‌رسد. با افزایش سرعت رشد چتر و تخصیص بیشتر مواد پرورده فتوسنتزی به چترهای در حال رشد، دانه‌های بزرگتر و بیشتری تولید می‌شود.

جدول ۵- تعداد دانه در چتر رازیانه در سال‌های مختلف

Table 5- The number of seeds in fennel umbrellas in different years

سال Year	تعداد دانه در چتر Number of seed per umbel
اول First	128.015[b*]
دوم Second	132.088[a]

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

* Means with common letters in each column are not significantly different at the five percent probability level, based on Duncan's multiple range test.

جدول ۶- تعداد دانه در چتر تحت اثرات متقابل مراحل و سطوح محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم

Table 6- The number of seeds in the umbrella under the interaction effects of stages ×levels of nano potassium foliar application

تیمارهای آزمایشی Experimental treatments		تعداد دانه در چتر Number of seed per umbel	
مراحل محلول‌پاشی Spraying steps	غلظت محلول‌پاشی Spray concentration	سال اول First year	سال دوم Second year
ساقه‌دهی Stemming	شاهد Control	137.57[a*]	143.08[a]
	۲ در هزار 2/1000	129.90[bc]	127.48[c]
	۳ در هزار 3/1000	126.47[cd]	130.91[bc]
	۴ در هزار 4/1000	124.86[cd]	126.21[cd]
	۵ در هزار 5/1000	120.89[d]	120.45[d]
گل‌دهی Flowering	شاهد Control	125.43[cd]	141.99[a]
	۲ در هزار 2/1000	130.45[bc]	140.64[a]
	۳ در هزار 3/1000	136.26[ab]	132.09[bc]
	۴ در هزار 4/1000	126.37[cd]	131.44[bc]
	۵ در هزار 5/1000	124.24[cd]	127.25[c]
میوه‌دهی Fruiting	شاهد Control	126.91[cd]	136.97[ab]
	۲ در هزار 2/1000	128.09[cd]	131.85[bc]
	۳ در هزار 3/1000	127.44[cd]	129.25[c]
	۴ در هزار 4/1000	127.85[cd]	131.50[bc]
	۵ در هزار 5/1000	127.50[cd]	130.22[bc]

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

* Means with common letters in each column are not significantly different at the five percent probability level, based on Duncan's multiple range test.

نتایج رضایی و همکاران (Rezaie et al., 2019) نشان داد که برهم‌کنش محلول‌پاشی متانول و نانوکودپتاس بر تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه در گیاه گندم تأثیر معنی‌داری داشت. بیشترین تعداد دانه در سنبله از تیمار ۱۵ درصد حجمی متانول + ۴ کیلوگرم در هکتار

نانوکودپتاس حاصل شد که نسبت به شاهد، ۴۲ درصد افزایش نشان داد. جعفرزاده و همکاران (Jafarzadeh et al., 2013) نقش کود نانوپتاسیم در افزایش تعداد دانه در سنبله گندم را مثبت ارزیابی کردند که در نهایت منجر به افزایش عملکرد دانه گندم شد.

درصد اسانس دانه

برپایه نتایج حاصل از تجزیه واریانس، درصد اسانس دانه رازیانه بین دو سال آزمایش به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مراحل و سطوح مختلف محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم با احتمال خطای پنج درصد قرار گرفت (جدول ۷).

با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۸) مشاهده می‌شود که بیشترین درصد اسانس دانه برابر با ۴/۳۷ درصد در سال دوم آزمایش در مرحله میوه‌دهی همراه با محلول‌پاشی در غلظت ۵ در هزار نانوکودپتاسیم به دست آمد. بین این تیمار با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد، به‌طوری‌که نسبت به شاهد محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم در مرحله ساقه‌دهی در سال اول آزمایش ۲/۵۶ واحد افزایش نشان داد.

پتاسیم در ساخت آنزیم‌های درگیر در سنتز مواد مؤثره گیاهی، نقش دارد و سبب تقویت مسیرهای درگیر در تولید متابولیت‌های ثانویه می‌شود (Hassanpour Aghdam, 2008). تأمین عناصر ضروری در مراحل مختلف به‌خصوص بعد از گل‌دهی موجب تداوم فعالیت سطح برگ و افزایش بازده فتوسنتزی شده و نقش کلیدی در افزایش میزان اسانس دارد (Briat, Dubos & Gaymard, 2015). افزایش اسانس گیاه بادرنجبویه دنایی (*Dracocephalum kotschyi Boiss*) (Khanizadeh et al., 2024) و پونه‌معطر (*Mentha pulegium*) (El-Naggar & Osman, 2024) در معرض نانوکودها گزارش شده است.

جدول ۷- تجزیه واریانس مرکب صفات کیفی رازیانه تحت تأثیر مراحل و سطوح محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم

Table 7- Combined ANOVA for the fennel quality traits affected by stages and levels of nano-potassium foliar spraying

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد اسانس Percentage essential oil	عملکرد اسانس Essential oil performance	کربوهیدرات Carbohydrats	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Chlorophyll total
سال Year (Y)	1	4.394**	6037.01**	0.2960**	0.1106*	0.0508**	49.03**
تکرار (سال) Replication (year)	2	0.305	150.32	0.052	0.025	0.0032	0.045
مراحل محلول‌پاشی Spraying steps (SS)	2	0.319^{ns}	70.86^{ns}	0.0923*	0.0555*	0.0118**	0.1046**
سال × مراحل محلول‌پاشی Y× SS	2	1.068*	42.93^{ns}	0.0428^{ns}	0.0356^{ns}	0.0075*	0.0864*
غلظت محلول‌پاشی Spray concentration (SC)	4	6.517**	1051.02**	0.5956**	0.2852**	0.0363**	0.3506**
Y× SC	4	0.468^{ns}	310.61*	0.0897**	0.0399^{ns}	0.0028^{ns}	0.1273**
مراحل × غلظت محلول‌پاشی SS× SC	8	0.683**	298.18**	0.1336**	0.0901**	0.0106**	0.1123**
Y× SS× SC	8	0.519*	213.38*	0.1151**	0.0723**	0.0081**	0.0926**
خطای آزمایش Error	58	0.229	91.071	0.0207	0.0173	0.0019	0.0202
ضریب تغییرات C.V (%)	-	16.53	26.06	5.57	5.56	10.63	6.77

^{ns}: غیرمعنی‌دار، * و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

^{ns}: non- significant, * and **: significant at p≤0.05 and p≤0.01, respectively

جدول ۸- صفات کیفی رازیانه تحت تأثیر مراحل و سطوح محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم

Table 8 - The fennel quality traits affected by the stages and levels of potassium nanoparticles foliar spraying

تیمارهای آزمایشی Experimental treatments			درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg.h)	کربوهیدرات Carbohydrat (mg.g^{-1})	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g^{-1} fresh wieght)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g^{-1} fresh wieght)	کلروفیل کل Chlorophyll total (mg.g^{-1} fresh wieght)
سال Year	مراحل محلول‌پاشی Spraying steps	غلظت محلول‌پاشی Spray concentration						
سال اول First year	ساقه‌دهی Stemming	شاهد Control	1.81^{j*}	13.31^{j}	2.45^{e-i}	2.09^{ijk}	0.337^{hi}	1.317^{ij}
		۲ در هزار 2/1000	1.91^{ij}	21.25^{ij}	2.56^{d-h}	2.32^{e-i}	0.363^{f-i}	1.357^{ij}
		۳ در هزار 3/1000	2.38^{f-j}	22.31^{hij}	2.87^{abc}	2.47^{b-f}	0.463^{a-d}	1.433^{ij}
		۴ در هزار 4/1000	2.40^{e-j}	29.01^{f-j}	2.47^{e-i}	2.28^{f-i}	0.460^{a-e}	1.357^{ij}
		۵ در هزار 5/1000	3.28^{b-f}	28.43^{f-j}	2.45^{e-i}	2.31^{e-i}	0.403^{c-i}	1.327^{ij}
	گل‌دهی Flowering	شاهد Control	2.23^{g-j}	20.16^{ij}	2.27^{ijk}	2.03^{jk}	0.320^{i}	1.283^{ij}
		۲ در هزار 2/1000	2.33^{g-j}	23.68^{hij}	2.57^{d-i}	2.15^{h-k}	0.340^{hi}	1.347^{ij}
		۳ در هزار 3/1000	2.84^{d-i}	25.68^{hij}	2.77^{bcd}	2.47^{b-f}	0.427^{b-g}	1.463^{i}
		۴ در هزار 4/1000	3.09^{b-g}	35.91^{c-i}	2.62^{c-g}	2.36^{d-h}	0.413^{b-h}	1.387^{ij}
		۵ در هزار 5/1000	3.51^{a-d}	29.23^{e-j}	2.56^{d-h}	2.28^{f-i}	0.403^{c-i}	1.350^{ij}
	میوه‌دهی Fruiting	شاهد Control	2.25^{g-j}	27.21^{g-j}	2.08^{k}	1.98^{k}	0.320^{i}	1.177^{j}
		۲ در هزار 2/1000	2.24^{g-j}	26.60^{hij}	2.28^{ijk}	2.25^{f-j}	0.320^{i}	1.300^{ij}
		۳ در هزار 3/1000	2.99^{c-h}	29.25^{e-j}	2.62^{c-g}	2.55^{a-e}	0.427^{b-g}	1.510^{i}
		۴ در هزار 4/1000	3.32^{b-e}	48.28^{bcd}	2.61^{c-g}	2.42^{b-g}	0.393^{di}	1.423^{ij}
		۵ در هزار 5/1000	3.57^{a-d}	46.21^{c-f}	2.37^{f-j}	2.33^{e-i}	0.347^{ghi}	1.367^{ij}
سال دوم Second year	ساقه‌دهی Stemming	شاهد Control	2.07^{hij}	24.13^{hij}	2.36^{g-j}	2.23^{f-j}	0.387^{d-i}	1.303^{h}
		۲ در هزار 2/1000	2.23^{g-j}	34.21^{d-i}	2.70^{cde}	2.32^{e-i}	0.470^{a-d}	2.470^{gh}
		۳ در هزار 3/1000	2.77^{d-i}	51.96^{bcd}	3.12^{a}	2.73^{a}	0.540^{a}	3.273^{a}
		۴ در هزار 4/1000	3.88^{abc}	41.16^{c-h}	2.88^{abc}	2.56^{a-e}	0.483^{abc}	3.057^{a-d}
		۵ در هزار 5/1000	3.62^{a-d}	41.30^{c-h}	2.69^{cde}	2.18^{g-k}	0.480^{abc}	2.523^{fgh}
	گل‌دهی Flowering	شاهد Control	2.12^{hij}	33.50^{d-i}	2.32^{h-k}	2.36^{d-h}	0.407^{c-i}	2.753^{ef}
		۲ در هزار 2/1000	2.58^{e-j}	41.06^{c-h}	2.47^{e-i}	2.36^{d-h}	0.377^{e-i}	2.880^{cde}
		۳ در هزار 3/1000	2.37^{f-j}	65.40^{ab}	2.98^{ab}	2.65^{ab}	0.573^{a}	3.197^{a}
		۴ در هزار 4/1000	3.52^{a-d}	45.83^{c-g}	2.65^{c-f}	2.61^{a-d}	0.387^{d-i}	3.097^{abc}

	۵ در هزار 5/1000	3.81^{abc}	36.25^{c-i}	2.65^{c-f}	2.40^{b-h}	0.443^{b-f}	2.847^{cde}
میوه‌دهی Fruiting	شاهد Control	2.69^{d-j}	36.01^{c-i}	2.14^{jk}	2.28^{f-i}	0.337^{hi}	2.500^{gh}
	۲ در هزار 2/1000	2.78^{d-i}	49.87^{bcd}	2.43^{e-i}	2.35^{e-h}	0.363^{f-i}	2.693^{efg}
	۳ در هزار 3/1000	3.96^{ab}	54.14^{abc}	2.78^{bcd}	2.64^{abc}	0.537^{a}	3.177^{ab}
	۴ در هزار 4/1000	4.00^{ab}	69.50^{a}	2.98^{ab}	2.55^{a-e}	0.497^{ab}	2.937^{b-e}
	۵ در هزار 5/1000	4.37^{a}	47.80^{b-e}	2.60^{c-h}	2.39^{c-h}	0.347^{ghi}	2.833^{de}

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

* Means with common letters in each column are not significantly different at the five percent probability level, based on Duncan's multiple range test.

عملکرد اسانس دانه

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، عملکرد اسانس دانه رازیانه بین دو سال آزمایش به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مراحل و سطوح مختلف محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم با احتمال خطای پنج درصد قرار گرفت (جدول ۷). با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۸) مشاهده می‌شود که بیشترین عملکرد اسانس دانه برابر با ۶۹/۵ کیلوگرم در هکتار در سال دوم آزمایش در مرحله میوه‌دهی همراه با محلول‌پاشی در غلظت ۴ در هزار نانوکودپتاسیم به دست آمد. بین این تیمار با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد، به‌طوری‌که نسبت به شاهد محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم در مرحله ساقه‌دهی در سال اول آزمایش ۵۶/۱۹ واحد افزایش نشان داد. می‌توان گفت که کودهای مختلف با تأثیری که بر افزایش عملکرد گیاه می‌گذارند سبب افزایش میزان اسانس و عملکرد آن می‌شوند که در این آزمایش نیز محلول‌پاشی نانوکود پتاسیم تا حد زیادی سبب افزایش عملکرد خشک گیاه و به‌تبع اسانس آن شد. خاتر (Khater, 2015)، اثر محلول‌پاشی نانوکود مگنتیت را بر رشد و ترکیب اسانس نعناع مطالعه کرد. نتایج نشان داد که کاربرد نانوکودمگنتیت، رشد گیاه و اسانس گیاهان نعناع را به‌طور قابل توجهی افزایش داد که در غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر بیشترین بود.

کربوهیدرات دانه

برپایه نتایج حاصل از تجزیه واریانس، میزان کربوهیدرات دانه رازیانه بین دو سال آزمایش به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مراحل و سطوح مختلف محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم با احتمال خطای یک درصد قرار گرفت (جدول ۷). با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۸) مشاهده می‌شود که بیشترین میزان کربوهیدرات دانه برابر با ۳/۱۲ میلی‌گرم بر گرم در سال دوم آزمایش در مرحله ساقه‌دهی همراه با محلول‌پاشی در غلظت ۳ در هزار نانوکودپتاسیم به دست آمد. بین این تیمار با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد، به‌طوری‌که نسبت به شاهد محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم در مرحله میوه‌دهی در سال اول آزمایش ۱/۰۴ واحد افزایش نشان داد. پتاسیم، تولید نشاسته و کربوهیدارت‌ها را افزایش می‌دهد. لذا استفاده از کود پتاس، روند افزایشی میزان کربوهیدرات‌ها در مرحله پنجه‌زنی را در پی داشته و می‌تواند محرک آن باشد (Tavan et al., 2014). افزایش رشد و عملکرد گیاهان تحت تأثیر نانوکلات پتاسیم در ریحان نیز گزارش شده است (Zahedifar & Najafian, 2016; Ghahremani et al., 2014).

کلروفیل a، b و کل برگ

برپایه نتایج حاصل از تجزیه واریانس، میزان کلروفیل a، b و کل برگ رازیانه بین دو سال آزمایش به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مراحل و سطوح مختلف محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم با احتمال خطای یک درصد قرار گرفت (جدول ۷). با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۸) مشاهده می‌شود که بیشترین میزان کلروفیل a، b و کل به‌ترتیب برابر با ۲/۷۳، ۰/۵۴ و ۳/۲۷ میلی‌گرم بر گرم در سال دوم آزمایش در مرحله ساقه‌دهی همراه با محلول‌پاشی در غلظت ۳ در هزار نانوکودپتاسیم به دست آمد. بین این تیمار با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد، به‌طوری‌که میزان کلروفیل a، b و کل در اثر کاربرد محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم در مرحله میوه‌دهی در سال اول آزمایش نسبت به شاهد، به‌ترتیب ۰/۷۵، ۰/۲۲ و ۲/۰۹ واحد افزایش نشان داد. این امر می‌تواند به‌دلیل افزایش جذب مواد غذایی باشد که موجب افزایش کلروفیل و فتوسنتز گیاه شده و از این طریق رشد گیاه را افزایش داده است.

پتاسیم و نیتروژن خاک بر میزان سبزینگی و مقدار کلروفیل تأثیر زیادی دارند. در نتایج گزارش‌های برخی از پژوهشگران، افزایش محتوای کلروفیل در برگ‌ها به‌واسطه نقش پتاسیم گزارش شده است

و افزایش میزان کلروفیل برگ، تثبیت بهتر دی‌اکسید کربن برای برگ را به همراه دارد و در نتیجه سبب رشد بهتر برگ خواهد شد (Tavan et al., 2014). نتایج رضایی و همکاران (Rezaie et al., 2019) نشان داد که برهم‌کنش محلول‌پاشی متانول و نانوکودپتاس بر میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئید تأثیر معنی‌داری داشت و اثر تیمار ۱۰ درصد حجمی متانول + ۴ کیلوگرم در هکتار نانوکودپتاس بر رنگیزه‌های فتوسنتزی بیشتر از سایر صفات بود. در پژوهش قهرمانی و همکاران (Ghahremani et al., 2014)، استفاده از نانوکودهای کلسیم و پتاسیم در غلظت‌های بالا باعث افزایش کلروفیل کل در گیاه ریحان شد. همچنین آزمایش دیگری روی گیاه مرزه، بیشترین شاخص کلروفیل از تیمار تلفیقی نانوکودها و اسیدهیومیک گزارش شده است (Najafi Vafa et al., 2015).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این پژوهش، بیشترین ارتفاع بوته، عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد چتر در بوته، کربوهیدرات دانه، بیشترین میزان کلروفیل a، b و کل در تیمار ۳ در هزار نانوکودپتاسیم در مرحله ساقه‌دهی در سال دوم آزمایش حاصل شد. همچنین بیشترین درصد اسانس دانه در تیمار ۵ در هزار نانوکودپتاسیم، و بیشترین عملکرد اسانس دانه در تیمار ۴ در هزار نانوکودپتاسیم در مرحله میوه‌دهی در سال دوم آزمایش به دست آمد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، اعمال تیمارها در مراحل و سطوح مختلف محلول‌پاشی نانوکودپتاسیم، برای تعیین سطح و مرحله‌ای که بیشترین تأثیر را بر بهبود شاخص‌ها کمّی و کیفی در گیاه دارد، پیشنهاد می‌شود. همچنین پیشنهاد می‌شود که این آزمایش در زمین‌های زراعی دیگر که خاک آن‌ها از نظر فیزیکی و شیمیایی نسبت به هم اختلاف دارند، اجرا شود.

References

1. Aghazadeh-Khalkhali, D., Mehrafarin, A, Abdossi, V., & Naghdi Badi, H. (2015). Mucilage and seed yield of psyllium (*Plantago psyllium* L.) in response to foliar application of nano-iron and potassium chelate fertilizer. *Journal of Medicinal Plants*, *14*(56), 23-34. Dor: (In Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.2717204.2015.14.56.4.1
2. Alam, M. A., Juraimi, A. S., Rafii, M. Y., Abdul Hamid, A., Aslani, F., Hasan, M. M., Zainudin, M. A. M., & Uddin, M. K. (2014). Evaluation of antioxidant compounds, antioxidant activities, and mineral composition of 13 collected purslane (*Portulaca oleracea* L.) accessions. *BioMed Research International*, *2014*(1), 296063. https://doi.org/10.1155/2014/296063
3. Amirnia, R., Bayat, M., & Tajbakhsh, M. (2014). Effects of nano fertilizer application and maternal corm weight on flowering of some saffron (*Crocus sativus* L.) ecotypes. *Turkish Journal of Field Crops*, *19*(2), 158-168. https://doi.org/10.17557/tjfc.46269
4. Arnon, D. I. (1965). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, *24*, 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1
5. Astaneh, N., Bazrafshan, F., Zare, M., Amiri, B., & Bahrani, A. (2020). Effect of nano chelated nitrogen and urea fertilizers on wheat plant under drought stress condition. *Journal of Plant Ecophysiology*, *12*(43), 214-228. (In Persian with English abstract)
6. Bahmani, K., Izadi-Darbandi, A., Faleh Alfekaiki, D., & Sticklen, M. (2016). Phytochemical diversity of fennel landraces from various growth types and origins. *Agronomy Research*, *14*(5), 1530-1547.
7. Bakhshayesh, A. M,. & Sharafuddin Zadeh, S. (2017). Monitoring of commercial nanotechnology products in the agricultural industry. *Nanotechnology Monthly*, *16*(2), 27-36. (In Persian with English abstract)
8. Bayati, F., Aynehband, A., & Fateh, E. (2014). Effect of different rates and application times of nano-iron on yield and yield components of canola (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(4), 805-812. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v12i4.27090.
9. Briat, J. F., Dubos, C., & Gaymard, F. (2015). Iron nutrition, biomass production, and plant productquality. *Trends Plant Science*, *20*, 33-40. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.07.005
10. Cakmak, I. (2005) The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *168*, 521-530. https://doi.org/10.1002/jpln.200420485
11. Coshge, B., Kiralan, M., & Gürbüz, B. (2008). Characteristics of fatty acids and essential oil from sweet fennel (*Foeniculum vulgare* Mill. var. dulce) and bitter fennel fruits (*F. vulgare* Mill. var. Vulgare) growing in Turkey. *Journal Natural Product Research*, *22*(12), 1011-1016.
12. Davarpanah, S., Tehranifar, A., Davarynejad, G., Aran, M., Abadia, J., & Khorassani, R. (2017). Effects of foliar nano-nitrogen and urea fertilizers on the physical and chemical properties of pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani) fruits. *HortScience*, *52*(2), 288-294. https://doi.org/10.21273/HORTSCI11248-16

13. Damjanovic, B., Lepojevic, Z., Zivkovic, Z., & Tolic, A. (2005). Extraction of fennel (*Foeniculum vulgar* Mill) seed with supercritical CO_2: comparison with hydro distillation. *Food Chemistry, 92*, 143-149. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.07.019.
14. Davis, C. C., & Choisy, P. (2024). Medicinal plants meet modern biodiversity science. *Current Biology*, *34*(4), R158-R173. https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.12.038.
15. Gardner, W. L., Cogliser, C. C., Davis, K. M., & Dickens, M. P. (2011). Authentic leadership: A review of the literature and research agenda. *The Leadership Quarterly*, *22*(6), 1120-1145.
16. El-Naggar, H. M., & Osman, A. R. (2024). Enhancing growth and bioactive metabolites characteristics in *Mentha pulegium* L. via silicon nanoparticles during *in vitro* drought stress. *BMC Plant Biology*, *24*, 657. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05313-z
17. Ghahremani, A., Akbari, K., Yousefpour, M., & Ardalani, H. (2014). Effects of nano-potassium and nano-calcium chelated fertilizers on qualitative and quantitative characteristics of *Ocimum basilicum. International Journal for Pharmaceutical Research Scholars*, *3*, 235-241.
18. Harsini, M. G., Habibi, H., & Talaei, G. H. (2014). Study the effects of iron nano chelated fertilizers foliar application on yield and yield components of new line of wheat cold region of Kermanshah provence. *Agricultural Advances*, *3*(4), 95-102. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.14196/aa.v3i4.1339.
19. Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., Nahar, K., Hossain, M. S., Mahmud, J. A., Hossen, M. S., Masud, A. A. Moumita, C., & Fujita, M. (2018). Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy*, *8*(3), 31. https://doi.org/10.3390/agronomy8030031
20. Hassani, A., Tajali, A. L., & Hosseni Mazinani, S. M. (2015). Study the conventional chemical fertilizers and nano-fertilizer of iron, zinc and potassium on quantitative yield of medicinal plant of peppermint (*Mentha Piperita* L.) in Khuzestan. *International Journal of Agriculture Innovations and Research (IJAIR)*, *3*(4), 1078-1082.
21. Hassanpour Aghdam, M. B., Tabatabaie, S. J., Nazemiyeh, H., & Aflatuni, A. (2008). N and nutrition levels affect growth and essential oil content of costmary (*Tanacetum balsamita* L.). *Food, Agriculture and Environment*, *6*(2), 150-154. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2022.74403.1120.
22. Irigoyen, J. J., Einerich, D. W., & Sanchez-Diaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, *84*, 55-60. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x
23. Jadid, N., Febrianti Widodo, A., Ermavitalini, D., Sa'adah, N. N., Gunawan, S., & Nisa, C. (2023). The medicinal umbelliferae plant fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.): Cultivation, traditional uses, phytopharmacological properties, and application in animal husbandry, *Arabian Journal of Chemistry*, *16*, 104541, https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104541.
24. Jafarzadeh, R., Jami Moieni, M., & Hokmabadi, M. (2013). Response of yield and yield components in wheat to soil and foliar application of nano potassium fertilizer. *Journal of Crop Production Research (Environmental Stresses in Plant Sciences)*, *5*(2), 189-197. (In Persian with English abstract)
25. Karami, H., Maleki, A., & Fathi, A. (2018). Determination effect of mycorrhiza and vermicompost on accumulation of seed nutrient elements in maize (*Zea mays* L.) affected by chemical fertilizer. *Journal of Crop Nutrition Science*, *4*(3), 15-29. (In Persian with English abstract)
26. Kazemi, E., Ganjali, H., Mehraban, A., & Ghasemi, A. (2019). The effect of different nanocodes and water stress on the yield and yield components of grain sorghum in Sistan region. *Journal of Plant Ecophysiology*, *12*(41), 242-230. (In Persian with English abstract)
27. Khanizadeh, P., Mumivand, H., Morshedloo, M. R., & Maggi, F. (2024). Application of Fe_2O_3 nanoparticles improves the growth, antioxidant power, flavonoid content, and essential oil yield and composition of *Dracocephalum kotschyi* Boiss. *Frontiers in Plant Science*, *9*(15), 1475284. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1475284.
28. Khater, M. S. (2015). Magnetite-nanoparticles effects on growth and essential oil of peppermint. *Current Science International*, *4*(2), 2077-4435.
29. Kjeldahl, J. (1883). Neue methode zur bestimmung des stickstoffs in organischen körpern (New method for the determination of nitrogen in organic substances). *Zeitschrift Für Analytische Chemie*, *22*(1), 366-383. https://doi.org/10.1007/BF01338151
30. Larki, S., Rahnama, A., & Aynehband, A. (2015). Effect of application of potassium fertilizers on physiological traits and cadmium accumulation in grain of two durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum (Desf.) Husn.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *17*(3), 223-235. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22055/ppd.2015.11455.

31. Lietava, J. (1992). Medicinal plants in a middle paleolithic grave Shanidar IV. *Journal of Ethnopharmacology*. *35*(2), 263-266. https://doi.org/10.1016/0378-8741(92)90023-k
32. Lim, T. K. (2013). Edible medicinal and Non-Medicinal Plants: Volume 5, *Fruits*. Springer Science+Business Media Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5653-3.
33. Liu, R., & Lal, R. (2014). Synthetic apatite nanoparticles as a phosphorus fertilizer for soybean (*Glycine max*). *Scientific Reports*, *4*, 5686-5691. https://doi.org/10.1038/srep05686
34. Mahil, E. I. T., & Aravinda Kumar, B. N. (2019). Foliar application of nanofertilizers in agricultural crops -A review. *Journal of Farm Science*, *32*(3), 239-249.
35. Marschner, H. (2012). Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. pp: 648. https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9
36. Mim, J. J., Rahman, S. M., Maksudur, K. F., Fardin, P. D., Sikder, S., Das, H., Khan, S., Orny, N., Hossain Shuvo, R., & Nayem, H. (2025). Towards smart agriculture through nano-fertilizer—a review. *Materials Today Sustainability*. https://doi.org/101100. 10.1016/j.mtsust.2025.101100
37. Mirabdollahi, S. M. (2011). Variation in the content and composition of fennel essential oil under limited irrigation conditions. Faculty of Agriculture, M.Sc. Thesis. Zanjan University, Zanjan, Iran. (In Persian with English abstract)
38. Mubashir, A., Nisa, Z. U., Shah, A. A., Kiran, M., Hussain, I., Ali, N., Zhang, L., Madnay, M. M. Y., Alsiary, W. A., Korany, S. M., Ashraf, M., Al-Mur, B. A., & AbdElgawad, H. (2023). Effect of foliar application of nano-nutrients solution on growth and biochemical attributes of tomato *(Solanum lycopersicum)* under drought stress. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 1066790. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1066790
39. Najafi Vafa, Z., Sirousmehr, A. R., Ghanbari, A., Khammari, I., & Falahi, N. (2015). Effects of nano zinc and humic acid on quantitative and qualitative characteristics of savory (*Satureja hortensis* L.). *International Journal of Biosciences*, *6*, 124-136. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.12692/ijb/6.3.124-136.
40. Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., & Dean, L. A. (1954). Estimation of Available Phosphorous in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. U.S. Department of Agriculture, Washington DC: USDA Circ, 939 p.
41. Omid Beigi, R. (2008). *Production and Processing of Medicinal Plants*. Vol. 2. Astan Quds Publication, Tehran, Iran. 414 p.
42. Patil, R. B. (2011). Role of potassium humate on growth and yield of soybean and black gram. *International Journal of Pharma and Bio science*, *2*(1), 242-246.
43. Rameshaiah, G., Jpallavi, N., & Shabnam, S. (2015). Nano fertilizers and nano sensors an attempt for developing smart agriculture. *Engineering Research and General Science*, *3*(1), 314-320.
44. Rawat, J., Sanwal, P. & Saxena, J. (2016). Potassium and Its Role in Sustainable Agriculture. 235-253. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2776-2_17.
45. Rawat, S., Adisa, I. O., Wang, Y., Sun, Y., Fadil, A. S., Niu, G., Sharma, N., Hernandez-Viezcas, J. A., Peralta-Videa, J. R., & Gardea-Torresdey, J. L. (2019). Differential physiological and biochemical impacts of nano vs. micron Cu at two phenological growth stages in bell pepper (*Capsicum annuum*) plant. *Nano Impact*, *14*, 100-161. https://doi.org/10.1016/j.impact.2019.100161
46. Rezaie, F., Barary, M., Hatami, A., & Hassanein Khoshro, H. (2019). The effect of nano-potass fertilizer and methanol application on some physiological characters, yield and yield components of wheat. *Journal of Plant Ecophysiology*, *11*(39), 180-191. (In Persian with English abstract)
47. Saedi, F., Sirousmehr, A., & Javadi, T. (2020). Effect of nano-potassium fertilizer on some morpho-physiological characters of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *33*(1), 94-110. (In Persian with English abstract)
48. Safaii, L., Seinali, H., & Afiuni, D. (2020). The effect of environmental condition on essential oil and essential oil components in superior fennel genotypes (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *33*(1), 129-141. (In Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832592.1399.33.1.18.8.
49. Selva-Preetha, P,. & Balakrishnan, N. (2017). A reviw of nanofertilizers and their use and function in soil. *Microbiology and Applied Sciences*, *6*(12), 3117-3133. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.612.364
50. Subramanian, K. S., & Thirunavukkarasu, M. (2017). Nano-fertilizers and Nutrient Transformations in Soil. In: M. Ghorbanpour, M. Khanuja, and A.Varma (Eds.). Nanoscience and Plant-Soil Systems. *Soil Biology*, *48*, 305-318. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46835-8_11
51. Taiz, L. Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development*. 6th Edition, Sinauer Associates, Sunderland, CT.
52. Tavan, T., Niakan, M., & Norinia, A. A. (2014). Effect of nano-potassium fertilizer on growth factors, photosynthetic system and protein content in wheat (*Triticum aestivum* L. Cv. N8019). *Journal of Plant Environmental Physiology*, *3*(35), 61-71. (In Persian with English abstract)

53. Yadav, A., Yadav, K., & Abd-Elsalam, K. (2023). Exploring the potential of nanofertilizers for a sustainable agriculture. *Plant Nano Biology*, *5*, 100044. https://doi.org/10.1016/j.plana.2023.100044.
54. Zahedifar, M., & Najafian, S. (2016). *Ocimum basilicum* L. growth and nutrient status as influenced by biochar and potassium-nano-chelate fertilizers. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 63(5):638-656. https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1233323.
55. Zorb, C., Senbayram, M., & Peiter, E. (2014). Potassium in agriculture – Status and perspectives, *Journal of Plant Physiology*, *171*(9), 656-669. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.08.008.

Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 40, No. 1, Spring 2026, p. 129-144

Eucalyptus (*Eucalyptus* spp) Essential Oil in Northern Iran: A Comparative Analysis of Chemical Composition with International Standards and Leading Global Producers

Z. Ziaei Movahhed[1], A. Yadollahi[1*], L. Samiei[2], M. T. Ebadi[1], A. Mokhtassi-Bidgoli[3]

1- Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2- Department of Horticulture and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
(*- Corresponding author's Email: yadollah@modares.ac.ir)

Received: 20 April 2025
Revised: 24 August 2025
Accepted: 08 September 2025
Available Online: 08 September 2025

How to cite this article: [1]
Ziaei Movahhed, Z., Yadollahi, A., Samiei, L., Ebadi, M. T., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2026). Eucalyptus (*Eucalyptus* spp) essential oil in Northern Iran: A comparative analysis of chemical composition with international standards and leading global producers. *Journal of Horticultural Science*, *40*(1), 129-144. (In Persian with English abstract). https://doi.org/ 10.22067/jhs.2025.93102.1425

Introduction

Eucalyptus essential oils are among the most commercially important plant-derived oils due to their high content of bioactive terpenoid compounds, particularly 1,8-cineole and α-pinene, which are widely used in pharmaceutical, food, cosmetic, and hygienic products. In recent years, the increasing global demand for natural and plant-based ingredients has further enhanced the industrial significance of eucalyptus essential oils. Although various *Eucalyptus* species have been introduced and cultivated in different regions of Iran, comprehensive comparative information on the yield and chemical quality of locally produced oils, especially in relation to international standards, remains limited. Among the cultivated species, *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus camaldulensis* are of particular economic and industrial importance. Evaluating their essential oil characteristics under local climatic conditions is crucial for assessing their suitability for industrial applications and their potential competitiveness in global markets. Therefore, the present study aimed to analyze and compare the essential oil yield and chemical composition of *E. globulus* and *E. camaldulensis* cultivated in Northern Iran, with special emphasis on their conformity with ISO 770:2002 and ISO 3065:2011 standards and their potential industrial value.

Materials and Methods

Fresh leaves of *E. globulus* and *E. camaldulensis* were collected from mature trees grown in the Behshahr region of Mazandaran Province, Northern Iran, an area characterized by a humid temperate climate. To minimize the loss of volatile compounds, the leaves were shade-dried under controlled conditions at 24 °C and 40% relative humidity. Essential oils were extracted by hydrodistillation using a Clevenger-type apparatus for three hours, and oil yield was calculated on a dry weight basis. The chemical composition of the extracted essential oils was determined using gas chromatography (GC) and gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) equipped with a DB-5 capillary column. Compound identification was carried out by comparing mass spectra and retention indices with those reported in the Wiley7 and Adams spectral libraries. The resulting chemical profiles were evaluated and interpreted in accordance with the requirements of ISO 770:2002 and ISO 3065:2011 standards.

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.2025.93102.1425

Results and Discussion

The results demonstrated a clear difference in essential oil yield between the two species. *E. globulus* exhibited a higher oil yield (2.6%) compared with *E. camaldulensis* (1.2%), indicating superior productivity under the studied environmental conditions. In both species, oxygenated monoterpenes constituted the dominant class of compounds; however, their relative proportions varied substantially. In the essential oil of *E. globulus*, 1,8-cineole was the predominant compound, accounting for 83.19% of the total oil composition. This value fully satisfied the minimum cineole requirements specified in both ISO 770:2002 and ISO 3065:2011 standards, confirming the high quality of this oil and its suitability for pharmaceutical, food-grade, and medicinal applications. Comparative evaluation with previously reported data from other regions indicated that the chemical profile and yield of *E. globulus* essential oil produced in Northern Iran are highly competitive at the international level. In contrast, the essential oil of *E. camaldulensis* contained a lower proportion of 1,8-cineole (39.46%), which did not meet the cineole thresholds defined by the ISO standards. Nevertheless, this oil exhibited a more chemically diverse composition, characterized by notable amounts of α-pinene (13.28%), p-cymene (11.83%), spathulenol (7.38%), and caryophyllene oxide (2.33%). The broader distribution of monoterpene and sesquiterpene compounds suggests that, despite its lower cineole content, *E. camaldulensis* essential oil may be advantageous for specialized industrial applications requiring a more complex terpene profile, such as fragrance formulation, antimicrobial products, and functional additives.

Conclusion

This study demonstrates the high potential of Iranian Eucalyptus essential oils. *E. globulus* showed superior yield and composition in line with global quality standards, rendering it suitable for pharmaceutical and food industries. *E. camaldulensis*, with its chemically diverse profile, offers promising opportunities for broader industrial applications. Given Iran's availability of suitable cultivation zones and the growing demand for sustainable plant-based raw materials, the expansion of Eucalyptus farming and essential oil production could strengthen Iran's position in the international essential oil sector. Further research is encouraged to improve cultivation practices and support industrial-scale development.

Acknowledgements

This research was financially supported by Tarbiat Modares University, for which the authors are sincerely grateful.

Keywords: Gas chromatography, ISO standard, Monoterpene, Sesquiterpene

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۴۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص. ۱۴۴-۱۲۹

اسانس اکالیپتوس (*Eucalyptus* spp) در شمال ایران: مقایسه ترکیبات با استانداردهای جهان و تولیدکننده‌های برتر

زکیه ضیائی موحد[۱]- عباس یداللهی[۱*]- لیلا سمیعی[۲]- محمدتقی عبادی[۱]- علی مختصی بیدگلی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۷

چکیده

اسانس اکالیپتوس (*Eucalyptus* spp) به‌دلیل داشتن ترکیباتی نظیر ۱،۸-سینئول و آلفاپینن، در صنایع مختلف از جمله دارویی و غذایی کاربرد زیادی دارد. با وجود معرفی گونه‌های مختلف این گیاه در ایران، مطالعات تطبیقی اندکی در زمینه مقایسه کیفیت و کمیت اسانس‌ها با گونه‌های دیگر در ایران و کشورهای دیگر صورت گرفته است. این پژوهش با هدف بررسی ترکیبات شیمیایی اسانس *E. camaldulensis* و *E. globulus* در شمال ایران و مقایسه آن با استانداردهای جهانی انجام شد. برگ‌ها از منطقه بهشهر جمع‌آوری و اسانس به‌روش تقطیر با آب استخراج گردید. بازده اسانس‌ها با فرمول وزنی-وزنی محاسبه و ترکیبات شیمیایی با روش‌های کروماتوگرافی گازی و کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی شناسایی شد. بازده در *E. globulus* ۲/۶ درصد و در *E. camaldulensis* ۱/۲ درصد بود. ۱،۸-سینئول، ترکیب غالب هر دو گونه بود. *E. globulus* با ۸۳/۱۹ درصد ۱،۸-سینئول کاملاً منطبق با استاندارد ISO 3065:2011 بود، درحالی‌که مقدار ۱،۸-سینئول در *E. camaldulensis* (به‌مقدار ۳۹/۴۶ درصد) پایین‌تر از حد استاندارد قرار داشت. آلفاپینن در *E. globulus* به مقدار ۷/۲۴ درصد در محدوده استاندارد و در *E. camaldulensis* به‌مقدار ۱۳/۲۸ درصد بالاتر از حد استاندارد قرار داشت. مقدار ترکیب ۱،۸-سینئول *E. globulus* در محدوده استاندارد ISO 770:2002 قرار داشت و آلفاپینن اندکی کمتر از حداقل استاندارد بود. مطابقت ترکیب اصلی *E. globulus* با استانداردها، آن را به گزینه مناسبی به‌منظور استفاده در صنایع دارویی و غذایی تبدیل می‌کند. هرچند *E. camaldulensis* از نظر مقدار ۱،۸-سینئول با استانداردها مطابقت نداشت، امّا دارا بودن درصد بالای آلفاپینن و ترکیبات متنوع‌تر، این اسانس را برای کاربردهایی که به مونوترپن‌های متنوع نیاز دارد، مناسب می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: استاندارد ایزو، سزکوئی‌ترپن، کروماتوگرافی گازی، مونوترپن

مقدمه

اکالیپتوس (*Eucalyptus* spp) بزرگ‌ترین جنس خانواده میرتاسه[۴] است که بیش از ۹۰۰ گونه و زیرگونه را شامل می‌شود. این جنس دامنه وسیعی از گیاهان از جمله درختچه‌های کوچک انعطاف‌پذیر تا درختان مرتفع و گسترده را در برمی‌گیرد. خاستگاه اصلی آن استرالیا است، امّا امروزه در بسیاری از کشورهای جهان کشت می‌شود (Yost et al., 2021). در بین گونه‌های مختلف، *E. camaldulensis* و *E. globulus* از نظر اقتصادی و صنعتی اهمیت ویژه‌ای دارد. *E. camaldulensis* به‌دلیل رشد سریع، تحمل بالا در برابر خشکی و مقاومت به شرایط محیطی سخت، بیشتر در مناطق نیمه‌خشک و خشک کاشته می‌شود و علاوه‌بر تولید چوب و کاغذ، به‌عنوان منبع اسانس‌های دارویی کاربرد دارد و در فضای سبز شهری نیز مورد استفاده است (Hirsch et al., 2020). در مقابل، *E. globulus* عمدتاً به‌عنوان منبع اصلی تولید تجاری اسانس اکالیپتوس شناخته می‌شود. این‌گونه به رطوبت بیشتری نیاز داشته و در مناطق مرطوب رشد بهتری دارد (Costa et al., 2022). در حال حاضر، بیش از ۱۳ میلیون هکتار از اراضی جهان به کشت اکالیپتوس اختصاص یافته است که بخش عمده آن در تولید محصولات دارویی و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ایران حدود ۹۵۰۰ هکتار *E.*

۱- گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران
۳- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: yadollah@modares.ac.ir)
https://doi.org/ 10.22067/jhs.2025.93102.1425
4- Myrtaceae

camaldulensis در استان‌های گرمسیری جنوب کشور مانند خوزستان، هرمزگان و بوشهر کشت شده است و حدود ۱۰۰ هزار هکتار در استان خوزستان به‌عنوان مناطق مستعد به‌منظور کشت اکالیپتوس شناسایی شده است (National Poplar and Fast-growing Trees Commission of Iran, 2024). گسترش جهانی کشت اکالیپتوس به عواملی همچون فراوانی گونه‌ها و تنوع ژنتیکی بالا، سازگاری اکولوژیک بالا، تحمل به تنش‌های محیطی از جمله خشکی و شوری، قابلیت رشد در خاک‌های فقیر، مقاومت نسبی در برابر تغییرات اقلیمی و مقاومت بالا به آفات و بیماری‌ها بستگی دارد. این ویژگی‌ها همراه با کاربردهای گسترده در صنایع مختلف به‌ویژه صنایع دارویی و غذایی موجب توجه روزافزون به این جنس شده است. اسانس حاصل از برگ‌ها و پوست ساقه اکالیپتوس در طب سنتی و پزشکی کاربرد گسترده دارد (Abiri et al., 2020). در حوزه تجارت جهانی اسانس‌های گیاهی، اسانس اکالیپتوس تا سال ۲۰۲۰ پس از اسانس مرکبات، دومین اسانس پرکاربرد در صنایع مختلف از جمله داروسازی بوده و یکی از شش اسانس پرکاربرد در صنایع غذایی جهان به شمار می‌رود (Sharmeen et al., 2021). اگرچه گونه‌های مختلف اکالیپتوس از سال‌ها پیش به ایران وارد شده و پژوهش‌های متعددی درباره سازگاری، عملکرد و محصولات آن‌ها انجام شده است، امّا داده‌های موجود درباره مقایسه کمّی و کیفی اسانس‌های تولیدشده در شرایط اقلیمی ایران با استانداردهای بین‌المللی و نمونه‌های سایر کشورها محدود است. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی ترکیب شیمیایی اسانس‌های *E. camaldulensis* و *E. globulus* در شمال ایران و مقایسه آن‌ها با استانداردهای جهانی ISO 3065:2011 (British Standards Institution, 2012) و ISO 770:2002 (International Organization for Standardization, 2002) و نتایج گزارش‌شده از نقاط دیگر ایران و تولیدکنندگان برتر جهان انجام شده است. این مطالعه با رویکرد مقایسه هم‌زمان درون‌گونه‌ای و بین‌المللی، می‌تواند به شناخت بهتر پتانسیل‌های صنعتی و تجاری اسانس اکالیپتوس داخل کشور کمک کرده و امکان ارزیابی جایگاه رقابتی آن را در بازار جهانی اسانس فراهم سازد.

مواد و روش‌ها

برگ درختان *E. camaldulensis* و *E. globulus* در شهریورماه و در یک روز از درختان بالغ با بیش از ۳۰ سال سن در ایستگاه تحقیقات زاغمرز در منطقه بهشهر واقع در استان مازندران با مشخصات جغرافیایی ۵۳° و ´۳۲ طول شرقی و ۳۶° و ´۴۱ عرض شمالی و ارتفاع ۱۵ متری از سطح دریا جمع‌آوری گردید. منطقه بهشهر به‌دلیل قرارگیری در کوهپایه‌های شمالی رشته‌کوه البرز، از آب‌وهوای معتدل خزری برخوردار است. میانگین رطوبت نسبی سالانه بین ۷۳ تا ۸۵ درصد و میانگین بارندگی سالانه در حدود ۴۰۵ تا ۶۳۸ میلی‌متر گزارش شده است (Eskandari & Jalilvand, 2017). این پژوهش در آزمایشگاه گروه باغبانی دانشگاه تربیت مدرس تهران انجام گردید. برگ‌ها در سایه و به دور از نور خورشید به مدت یک هفته در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۴۰ درصد خشک گردید. ۴۰ گرم از نمونه‌های برگ به مدت سه ساعت با استفاده از دستگاه کلونجر و به‌روش تقطیر با آب (در سه تکرار) اسانس‌گیری شد. پس از جداسازی کامل اسانس، آب جزئی موجود در اسانس به‌وسیله سدیم سولفات حذف گردید و اسانس‌ها در ظروف تیره‌رنگ در دمای صفر درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (Chen et al., 2021). درصد بازده اسانس با استفاده از فرمول بازده اسانس تعیین گردید (Jaimand & Rezaee, 2004).

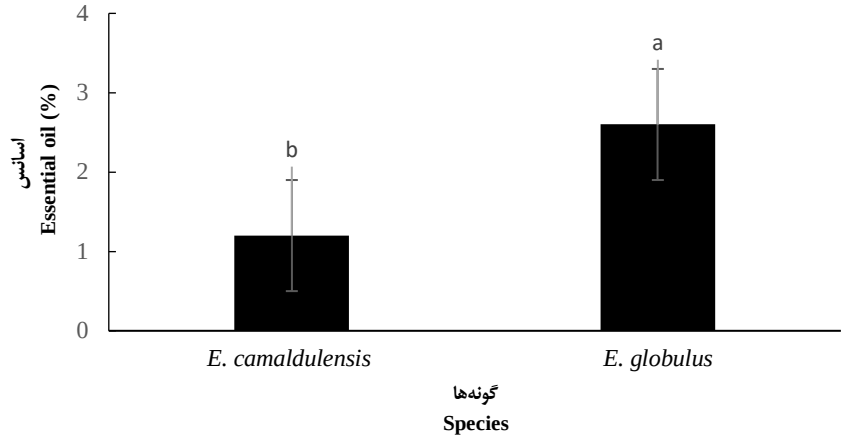
درصد بازده اسانس = (وزن اسانس/وزن خشک گیاه) × ۱۰۰

تعیین درصد و نوع ترکیبات شیمیایی اسانس با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی[1] و کروماتوگرافی گازی–طیف‌سنجی جرمی[2] در مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور صورت گرفت. کروماتوگرافی گازی Agilent 7890A مجهز به آشکارساز یونیزاسیون شعله و ستون موئین DB-5 به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت فیلم ۰/۲۵ میکرومتر استفاده شد. برنامه دمایی از ۶۰ درجه سانتی‌گراد آغاز و با سرعت ۳ و ۲۰ درجه در دقیقه به‌ترتیب تا دمای ۲۲۰ و سپس ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. تجزیه و تحلیل کروماتوگرافی گازی– طیف‌سنج جرمی توسط دستگاه Agilent 7890A/5975C با ستون DB-5 به طول ۱۲ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت فیلم ۰/۲۵ میکرومتر انجام شد. برنامه دمایی مشابه کروماتوگرافی گازی بود و دما به مدت ۵ دقیقه در ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد. گاز حامل هلیوم با سرعت ۳۰/۶ سانتی‌متر بر ثانیه و نسبت تقسیم ۱:۱۰۰ به کار رفت. ولتاژ یونیزاسیون ۷۰ الکترون‌ولت و محدوده جرم بین ۴۰ تا ۳۰۰ واحد جرمی اتمی تنظیم شد. شناسایی ترکیبات با تطبیق طیف جرمی نمونه‌ها با کتابخانه‌های طیفی Wiley7 و Adams انجام گرفت.

نتایج و بحث

در این تحقیق، بازده اسانس *E. camaldulensis* و *E. globulus* به‌ترتیب ۱/۲ درصد و ۲/۶ درصد محاسبه گردید که نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میزان تولید اسانس بین دو گونه بود (شکل ۱).

1- Gas Chromatography (GC)
2- Gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS)



شکل ۱- بازده متوسط اسانس در دو گونه اکالیپتوس

Figure 1- Average essential oil yield in two *Eucalyptus* species

حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد احتمال براساس آزمون t با واریانس نابرابر است.

Different letters above the columns indicate a significant difference at the 1% level of probability based on the t-test with unequal variances

ترکیبات اسانس *E. camaldulensis*

نتایج نشان داد که از مجموع ۳۱ ترکیب شناسایی‌شده در اسانس *E. camaldulensis*، ترکیب ۱،۸–سینئول [1] به مقدار ۳۹/۴۶ درصد ترکیب غالب بود. دومین ترکیب آلفاپینن [2] به مقدار ۱۳/۲۸ درصد شناسایی گردید. پاراسایمن [3] به مقدار ۱۱/۸۳ درصد، اسپاتولنول [4] به مقدار ۷/۳۸ درصد و کرایپتون [5] به مقدار ۵/۸۸ درصد به‌ترتیب دیگر ترکیبات غالب بودند. این ترکیبات نزدیک به ۷۸ درصد از کل ترکیبات موجود در اسانس را شامل شد و ۲۶ ترکیب باقی‌مانده تنها ۲۲ درصد از مجموع ترکیبات اسانس بود. دو ترکیب ۱،۸–سینئول و آلفاپینن بیش از ۵۰ درصد از ترکیبات *E. camaldulensis* را تشکیل داد. در اسانس *E. globulus* در مجموع ۱۸ ترکیب شناسایی شد که بیشترین ترکیب ۱،۸–سینئول به مقدار ۸۳/۱۹ درصد و آلفاپینن به مقدار ۷/۲۴ درصد بود. ۱،۸–سینئول و آلفاپینن بیش از ۹۰ درصد ترکیبات را در بر گرفت و دیگر ترکیبات باقی‌مانده ۱۰ درصد اسانس را تشکیل داد (جدول ۱).

اجزای اسانس *E. camaldulensis* و *E. globulus*

ترکیبات شیمیایی شناسایی‌شده در اسانس *E. camaldulensis* به دو گروه مونوترپن‌ها و سزکوئی‌ترپن‌ها تقسیم گردید. مونوترپن‌ها شامل مونوترپن‌های هیدروکربنی (۳۰/۱۱ درصد) و مونوترپن‌های اکسیژن‌دار (۵۱/۷۲ درصد) بود. مجموع درصد مونوترپن‌ها ۸۱/۸۳ درصد از کل اسانس را تشکیل داد. سزکوئی‌ترپن‌های هیدروکربنی ۱/۰۶ درصد و سزکوئی‌ترپن‌های اکسیژن‌دار ۱۰/۹۲ درصد بود. مجموع ترکیبات هیدروکربنی مونوترپنی و سزکوئی‌ترپنی ۳۱/۱۷ درصد از کل اسانس و مجموع ترکیبات اکسیژن‌دار مونوترپنی و سزکوئی‌ترپنی ۶۲/۶۴ درصد از اسانس بود. در اسانس *E. globulus*، مونوترپن‌ها ۹۶/۵ درصد از ترکیبات را شامل شد. مونوترپن‌های اکسیژن‌دار و هیدروکربنی به‌ترتیب ۸۸/۷ درصد و ۷/۸ درصد ترکیبات را تشکیل داد. سزکوئی‌ترپن‌ها با ۲/۸ درصد، سهم کمتری از ترکیبات را داشت و سهم سزکوئی‌ترپن‌های اکسیژن‌دار و هیدروکربنی به‌ترتیب ۲/۳ درصد و ۰/۵ درصد بود. در مجموع، اسانس هر دو گونه اکالیپتوس بیشتر از ترکیبات اکسیژن‌دار تشکیل شد، امّا درصد ترکیبات اکسیژن‌دار در *E. globulus* بیشتر از *E. camaldulensis* بود. اسانس *E. camaldulensis* عمدتاً از مونوترپن‌ها تشکیل شده بود؛ امّا درصد ترکیب ۱،۸–سینئول آن نسبت به *E. globulus* کمتر بود و در عوض سهم بیشتری از سزکوئی‌ترپن‌ها مانند اسپاتولنول و کریوفیلن اکساید [6] را دارا بود (جدول ۲).

مقایسه ترکیبات اصلی اسانس *E. camaldulensis* و *E. globulus* با استاندارد ISO 3065:2011 اکالیپتوس‌های استرالیایی

در تحقیق حاضر، مقدار ۱،۸–سینئول *E. globulus* به مقدار ۸۳/۱۹ درصد مطابق با استانداردهای ISO 3065:2011 بود؛ امّا

1- 1,8-Cineole
2- α-Pinene
3- ρ-Cymene
4- Spathulenol
5- Cryptone

6- Caryophyllene oxide

مقدار ۱،۸-سینئول *E. camaldulensis* (۳۹/۴۶ درصد) کمتر از استاندارد بود. آلفاپینن *E. globulus* به مقدار ۷/۲۴ درصد مطابق با استاندارد بود، امّا مقدار آلفاپینن *E. camaldulensis* به مقدار ۱۳/۲۸ درصد بیشتر از استاندارد ISO 3065:2011 بود (جدول ۳).

جدول ۱- ترکیب‌های اسانس در *E. camaldulensis* و *E. globulus*

Table 1- Essential oil components of *E. camaldulensis and E. globulus*

		E. camaldulensis		*E. globulus*	
شماره Number	ترکیب Compound	شاخص بازداری Retention index (RI)	درصد Percentage	شاخص بازداری Retention index (RI)	درصد Percentage
1	α-Thujene	928	0.8		
2	α-Pinene	939	13.28	940	7.24
3	β-Pinene	982	0.63	983	0.23
4	Myrcene	987	0.56	989	0.25
5	α-Phellandrene	1009	0.47		
6	ρ-Cymene	1030	11.83		
7	Limonene	1035	4.32		
8	1,8-Cineole	1041	39.46	1045	83.19
9	γ-Terpinene	1062	0.35		
10	Linalool	1099	0.52	1103	0.24
11	Dihydro Sabina Ketone	1124	0.36		
12	Trans-Pinocarveol + Trans-Sabinol	1139	0.66	1140	1.16
13	Trans-Verbenol	1142	0.27		
	Pinocarvone			1156	0.27
14	Borneol	1164	0.65		
15	Terpinen-4-ol	1169	1.8	1169	0.26
16	Cryptone	1176	5.88	1174	0.5
17	α-Terpineol	1179	1.62	1180	1.24
18	Verbenone	1213	0.35		
19	Cumin Aldehyde	1249	1.15	1250	0.33
20	Dihydrolinalool Acetate	1283	0.56		
21	Methyl Myrtenate	1296	0.35		
22	α-Terpinyl Acetate	1338	0.8	1338	0.53
23	Aromadendrene	1441	0.67	1441	0.53
24	Allo-Aromadendrene	1462	0.39		
25	Bicyclogermacrene	1490	0.6		
26	Spathulenol	1568	7.38	1566	0.31
27	Caryophyllene Oxide	1574	2.33	1574	1.51
28	Viridiflorol	1581	0.47	1580	0.32
29	Guaiol	1606	0.33		
30	β-Atlantol	1610	0.49		
31	Allo-Aromadendrene Epoxide	1634	0.39	1633	0.22
32	Unknown			1657	0.67
	جمع Total	38550	99.7	24575	99

جدول ۲- گروه‌های اجزای اسانس *E. camaldulensis* و *E. globulus*

Table 2- Compound groups of essential oils from *E. camaldulensis* and *E. globulus*

ترکیب Compound	*E camaldulensis*		*E. globulus*	
	درصد Percentage	جمع Total	درصد Percentage	جمع Total
مونوترپن هیدروکربنی Monoterpene hydrocarbons	30.11	8	7.8	3
مونوترپن اکسیژن‌دار Oxygenated monoterpenes	51.72	12	88.7	8
سزکوئی‌ترپن هیدروکربنی Sesquiterpene hydrocarbons	1.06	3	0.5	1
سزکوئی‌ترپن اکسیژن‌دار Oxygenated sesquiterpenes	10.92	6	2.3	4
غیر ترپن Non-terpenes	19.6	2	0.8	2

جدول ۳- استاندارد و پروفایل کروماتوگرافی BS ISO 3065:2011 اسانس اکالیپتوس‌های استرالیایی

Table 3- Standard and chromatographic profile of australian eucalyptus essential oils according to BS ISO 3065:2011

ویژگی Characteristic	مشخصات Description
ظاهر Appearance	مایع شفاف و سیال Clear and fluid liquid
رنگ Color	بی‌رنگ تا زرد کم‌رنگ Colorless to pale yellow
بو Odor	تازه، معطر و مشخصه ۱،۸-سینئول Fresh, aromatic, and characteristic of 1,8-cineole
چگالی نسبی در ۲۰ درجه سانتی‌گراد Relative density at 20°C	حداقل: ۰/۹۰۶، حداکثر: ۰/۹۲۸ Minimum: 0.906, Maximum: 0.928
ضریب شکست در ۲۰ درجه سانتی‌گراد Refractive index at 20°C	حداقل: ۱/۴۵۷، حداکثر: ۱/۴۶۵ Minimum: 1.457, Maximum: 1.465
چرخش نوری در ۲۰ درجه سانتی‌گراد Optical rotation at 20°C	حداقل: °۰، حداکثر: °۵ Minimum: 0°, Maximum: +5°
انحلال‌پذیری در اتانول ۷۰ درصد در ۲۰ درجه سانتی‌گراد Solubility in 70% ethanol at 20°C	برای انحلال ۱ واحد حجم اسانس، حداکثر ۳ واحد حجم اتانول ۷۰ درصد مورد نیاز است. To dissolve 1 volume of essential oil, a maximum of 3 volumes of 70% ethanol is required
نقطه اشتعال Flash point	میانگین نقطه اشتعال: C °۴۸ اندازه‌گیری‌شده با دستگاه پنسکی-مارتنس Average flash point: 48 °C measured using Pensky-Martens apparatus
پروفایل کروماتوگرافی Chromatographic profile	
ترکیب Compound	حداکثر- حداقل Minimum & maximum
آلفاپینن α-Pinene	0.1-9
۱،۸-سینئول 1,8-Cineole	80-85

مقایسه ترکیبات اصلی اسانس *E. globulus* با استاندارد ISO 770:2002

در استاندارد ISO 770:2002، مقدار ۱،۸–سینئول ۶۰ درصد و بیشتر تعریف شده است. در تحقیق حاضر، ۱،۸–سینئول *E. globulus* به مقدار ۸۳/۱۹ درصد مطابق با استاندارد بود و آلفاپینن به مقدار ۷/۲۴ درصد اندکی کمتر از حداقل استاندارد (۱۰ درصد) بود (جدول ۴).

جدول ۴- استاندارد و پروفایل کروماتوگرافی ISO 770:2002 اسانس *E. globulus*

Table 4– Standard and chromatographic profile of *E. globulus* essential oil according to ISO 770:2002

ویژگی Characteristic	اسانس خام Raw essential oil		اسانس تصفیه‌شده ۷۵–۷۰٪ Refined oil 70–75%		اسانس تصفیه‌شده ۸۵–۸۰٪ Refined oil 80–85%	
ظاهر Appearance	مایع Liquid		مایع Liquid		مایع Liquid	
رنگ Color	زرد تا زرد کم‌رنگ Yellow to pale yellow		بی‌رنگ Colorless		بی‌رنگ Colorless	
بو Odor	تازه، معطر، مشخصه سینئول Fresh,aromatic, characteristic of cineole		معطر، مشخصه سینئول Aromatic,cineole characteristic		معطر، مشخصه سینئول Aromatic, cineole characteristic	
چگالی نسبی در ۲۰ درجه سانتی‌گراد Relative density at 20 °C	0.905-0.925		0.904-0.920		0.906-0.920	
ضریب شکست در ۲۰ درجه سانتی‌گراد Refractive index at 20°C	1.457-1.475		1.460-1.468		1.458-1.468	
چرخش نوری در ۲۰ درجه سانتی‌گراد Optical rotation at 20°C	− 2°- +8°		0°- +10°		− 2°- +10°	
انحلال‌پذیری در اتانول (۷۰٪) Solubility in 70% Ethanol at 20°C	حداکثر حجم انحلال‌پذیری ۷: Max volume required: 7		حداکثر حجم انحلال‌پذیری ۱۰: Max volume required: 10		حداکثر حجم انحلال‌پذیری ۵: Max volume required: 5	
نقطه اشتعال Flash point	44C°		51C°		51C°	
پروفایل کروماتوگرافی Chromatographic profile						
ترکیب Compound	اسانس خام Raw essential oil		اسانس تصفیه‌شده ۷۵–۷۰٪ Refined oil 70–75%		اسانس تصفیه‌شده ۸۵–۸۰٪ Refined oil 80–85%	
	حداکثر (٪) Max (%)	حداقل (٪) Min (%)	حداکثر (٪) Max (%)	حداقل (٪) Min (%)	حداکثر (٪) Max (%)	حداقل (٪) Min (%)
آلفاپینن α-Pinene	22	10	10	1	10	1
۱،۸–سینئول Cineole-1,8	—	60	—	70	—	80

مقایسه ترکیبات اصلی اسانس *E. camaldulensis* و *E. globulus* با ترکیبات اسانس مناطق دیگر

ترکیب غالب اسانس *E. camaldulensis* در شمال ایران ۱،۸-سینئول بود (۳۹/۴۶ درصد) بود که در مقایسه با اسانس به‌دست‌آمده از درختان *E. camaldulensis* در مناطق دیگر ایران از جمله شوشتر (Chaghakaboodi et al., 2024)، ارومیه به مقدار ۳۶/۶۲ درصد (Etemadi et al., 2020) و کاشان به مقدار ۲۶/۱ درصد (Sefidkon et al., 2006) مقدار بالاتری داشت و تنها نمونه ممسنی در استان فارس با ۴۸/۸ درصد (Shaker et al., 2003) حاوی ۱،۸-سینئول بالاتری بود. مقدار ۱،۸-سینئول در اسانس *E. camaldulensis* شمال ایران در مقایسه با اسانس مناطق دیگر جهان از جمله مونته‌نگرو به مقدار ۲/۸۹ درصد (Grbović et al., 2010) و اسپانیا به مقدار ۲/۳۱ درصد (Verdeguer et al., 2020) در اروپا، سنگال به مقدار ۴/۸ درصد (Ndiaye et al., 2021)، مصر به مقدار ۰/۸۶ درصد (El-Ghorab et al., 2002)، الجزایر به مقدار ۱/۲۲ درصد (Barboucha et al., 2024)، موزامبیک به مقدار ۳۷ درصد (Pagula et al., 2000) و سودان به مقدار ۰/۹ درصد (Mubarak et al., 2015) در آفریقا، تایلند به مقدار ۳۶/۳۷ درصد (Siramon & Ohtani, 2007)، ترکیه به مقدار ۱۳/۹۲ درصد (Sahin Basak & Candan, 2010) و فلسطین به مقدار ۶/۴۵ (Jaradat et al., 2023) در آسیا و آمریکا به مقدار ۲/۷۱ درصد (Pappas & Sheppard-Hanger, 2000) بیشتر بود. تنها ترکیبات گزارش‌شده از پرتغال به مقدار ۵۰/۸ درصد (Faria et al., 2011)، عراق به مقدار ۵۹/۰۹ درصد (Kheder et al., 2020) و پاکستان به مقدار ۴۰/۰۵ درصد (Ashraf et al., 2010)، ۱،۸-سینئول بالاتری داشتند. آلفاپینن به‌عنوان دومین ترکیب غالب در اسانس *E. camaldulensis* نیز در مقایسه با گزارش‌های منتشرشده از مناطق دیگر ایران و همچنین مناطق جهان، به‌استثناء ترکیب گزارش‌شده از پرتغال (۳۱/۶ درصد) از درصد بالاتری برخوردار بود. مقدار پاراسایمن به‌عنوان سومین ترکیب غالب در اسانس *E. camaldulensis* در شمال ایران (۱۱/۸۳ درصد) در مقایسه با نمونه ارومیه (۱/۵۵ درصد) بیشتر و از نمونه ممسنی در استان فارس (۱۶/۳ درصد) و کاشان (۱۴/۴ درصد) کمتر بود. در مقایسه با کشورهای دیگر، پاراسایمن در اسانس *E. camaldulensis* شمال ایران از مقادیر گزارش‌شده عراق (۶/۵۵ درصد)، مصر (۵/۳۹ درصد) و پرتغال (۰/۵ درصد) بیشتر بود. تفاوت قابل توجه در مقدار ترکیب گاما-ترپینن [1] در نمونه سودان (۷۲/۵ درصد) و نمونه شوشتر (۹/۹۷ درصد) نسبت به مقدار این ترکیب در نمونه مورد بررسی (۰/۳۵ درصد) و نیز مقدار قابل توجه آلفا-فلاندرن [2] در نمونه سنگال (۴۵/۳ درصد) در مقایسه با مقدار آن در نمونه‌های شمال ایران (۰/۴۷ درصد) از نکات قابل توجه بود (جدول ۵).

مقایسه داده‌های اجزای ترکیبات اسانس *E. globulus* در شمال ایران با مناطق دیگر نشان داد که ۱،۸-سینئول اسانس *E. globulus* شمال ایران به مقدار ۸۳/۱۹ درصد به‌طور قابل توجهی بیشتر از گزارش‌های منتشرشده از مناطق دیگر ایران از جمله نوشهر به مقدار ۳۹/۵۹ درصد (Pashazanousi et al., 2012)، تهران به مقدار ۷۶/۶۵ درصد (Abdossi et al., 2015)، گیلان غرب به مقدار ۴۰/۰۹ درصد، قصر شیرین به مقدار ۴۰/۰۱ درصد، سرپل ذهاب به مقدار ۴۲/۰۹ درصد (Gerdkaneh et al., 2018)، اهواز به مقدار ۵۰/۶۷ درصد (Asgari et al., 2023) و کرج به مقدار ۷۲/۷۱ درصد (Mahmoodi et al., 2012) بود. همچنین مقایسه با داده‌های سایر کشورها نیز نشان داد که ترکیب ۱،۸-سینئول در اسانس استخراج‌شده از *E. globulus* شمال ایران تقریباً برابر با نمونه مورد بررسی در برزیل به مقدار ۸۳/۸ درصد (Maciel et al., 2010) بود؛ امّا از اسانس استخراج‌شده از کشورهای دیگر ازجمله هند به مقدار ۵۴/۷ درصد (Joshi et al, 2016) و ویتنام به مقدار ۳۵/۰۳ درصد در آسیا (Ngo et al., 2020) اکوادور به مقدار ۶۷/۴ درصد (Pino et al., 2021) در آمریکای جنوبی، مکزیک به مقدار ۷۷/۹۱ درصد در آمریکای مرکزی (Flores-Macías et al., 2021)، تانزانیا به مقدار ۵۱/۶ درصد (Almas et al., 2021)، الجزایر به مقدار ۸۱/۵ درصد (Djellouli et al., 2024)، اتیوپی به مقدار ۶۲ /۳۸ درصد (Bachheti, 2015)، مراکش به مقدار ۶۲/۳۲ درصد (Ait Akolade et al., 2012) و نیجریه (گزارش نشد) (Benlabchir et al., 2024) در آفریقا، پرتغال به مقدار ۷۰/۳ درصد (Faria et al., 2011) و اسپانیا به مقدار ۶۳/۱ درصد (Čmiková et al., 2023) در اروپا بیشتر بود. آلفاپینن به‌عنوان دومین ترکیب غالب در اسانس *E. globulus* شمال ایران از نمونه نوشهر و تهران به‌ترتیب با ۲/۳۸ درصد و ۵/۶۵ درصد بیشتر بود؛ امّا از نمونه‌های دیگر گزارش‌شده از جنوب، غرب و مرکز ایران از جمله گیلان غرب (۱۲/۶۲ درصد)، اهواز (۱۷/۴۸ درصد)، سرپل ذهاب (۱۱/۲۳ درصد)، قصر شیرین (۱۲/۴۱ درصد) و همچنین نمونه گزارش‌شده از کرج (۹/۲۲ درصد) کمتر بود.

1- γ-terpinene

2- α-phellandrene

جدول ۵- مقایسه اجزاء ترکیبات اساسی *E. camaldulensis*

Table 5- Comparison of essential oil components in *E. camaldulens*

ردیف No.	نام ترکیب Compound	منطقه Region																	
		بهشهر (ایران) Behshahr (Iran)	شوشتر (ایران) Shoushtar (Iran)	ارومیه (ایران) Urmia (Iran)	میمسند (ایران) Mamasani (Iran)	کاشان (ایران) Kashan (Iran)	آمریکا USA	تایلند Thailand	اسپانیا Spain	پرتغال Portugal	مصر Egypt	سودان Sudan	مونته نگرو Monte negro	سنگال Senegal	موزامبیک Mozambique	الجزایر Algeria	فلسطین Palestine	پاکستان Pakistan	ترکیه Turkey	عراق Iraq
1	α-thujene	0.8					4.25		0.43				2.68	2.3			0.57		0.34	
2	α-pinene	13.29	3.36	11.17			1.36	0.97		31.6	12.68	0.7	1.66	3.3	0.8		0.94	12.43	3.45	3.75
3	β-pinene	0.63		7.76		12.6	0.10			0.4			0.94	0.2	0.1		0.03	2.33		
4	Myrcene	0.56					0.87						0.77	1	0.1		0.09			
5	α-phellandrene	0.47					0.32		0.11	0.8		0.2	4.26	45.3			0.27			
6	p-cymene	11.83		1.55	16.3	14.4	34.99	40.2		0.5	5.39	14.6	28.6	17.1		15.53	38.64		68.43	6.55
7	Limonene	4.32			2.8				0.87	3.3		0.8		1.9	1				2.84	
8	1,8-cineole	39.46		36.62	48.8	26.1	2.71	36.37	2.31	50.8	0.86	0.9	2.89	4.8	37	1.22	6.45	40.05	13.92	59.09
9	γ- terpinene	0.35	9.97		2.3		0.47		0.12			72.5	1.12	4.8			0.34	7.48	0.77	10.4
10	Linalool	0.52					3.39					0.3	0.81							
11	Borneol	0.65		0.27										0.6			0.19			
12	Terpinen-4-ol	1.8	4.78		0.7		5.72	1.98	2.89			6.7	4.21	1.7			3.04			
13	Cryptone	5.88					13.70		0.17				7.25							
14	α-terpineol	1.62	3.53				1.21	2.66	0.93	1.2		0.2	0.58	0.5			0.09			
15	Cumin aldehyde	1.15	2.54				3.65		4.15				2.57							
16	α-terpinyl acetate	0.8	5.29				0.19													
17	Aromadendrene	0.67		2.07	1.4		0.35				17.99		0.3	2.8				2.78		0.7
18	Bicyclogermacrene	0.6		0.32							2.94		3.73							
19	Spathulenol	7.38		0.33	3.7	13.2	4.30				0.74			0.2						
20	Viridiflorol	0.47	2.2	0.69								0.1		2.4				2.76		

جدول ٦- مقایسه اجزاء ترکیبات اسانس *E. globulus*

Table 6- Comparison of essential oil components in *E. globulus*

شماره No.	ترکیب Compound	بهشهر (ایران) Behshahr (Iran)	نوشهر (ایران) Noushahr (Iran)	تهران (ایران) Tehran (Iran)	گیلانغرب (ایران) Gilane gharb (Iran)	اهواز (ایران) Ahvaz (Iran)	سرپل ذهاب (ایران) Sarpole zahab (Iran)	کرج (ایران) Karaj (Iran)	قهرمشیرین (ایران) Ghasre Shirin (Iran)	اسپانیا Spain	هند India	تانزانیا Tanzania	برزیل Brazil	پرتقال Portugal	مراکش Morocco	اتیوپی Ethiopia	نیجریه Nigeria	اکوادور Ecuador	الجزایر Algeria	ویتنام Vietnam	مکزیک Mexico
1	1,8-cineole	83.19	39.59	76.65	40.19	50.67	42.09	72.71	40.01	63.1	54.7	51.6	83.8	70.3	62.32	62.38		67.4	81.5	35.03	77.91
2	Terpinen-4-ol	0.26		0.37				0.34			0.03				2.43		23.46			1.45	
3	myrcene				0.03	1.05	0.04		0.06	1.7	0.3	8.7			1.51			0.4			0.62
4	α-Terpineol	1.24	0.71	1.96	4.08		3.88		4.01	0.1				0.6						4.75	
5	α-pinene	7.24	2.38	5.65	12.62	17.48	11.23	9.22	12.41	7.3	11.46	23.6	4.1	15.5	4.15		4.16	12.8	4.10	17.86	4.33
6	β-pinene	0.23		0.31		0.79		0.39		3	18.54			0.2	0.86	1.01		0.6		11.02	1.97
7	Caryophyllene oxide	1.51			0.13		0.08														
8	Spathulenol	0.31															8.94			1.87	
9	Viridiflorol	0.32	1.51													0.34					

در مقایسه با کشورهای دیگر، آلفاپینن اندازه‌گیری‌شده در *E. globulus* شمال ایران از مقدار آلفاپینن موجود در اسانس *E. globulus* مکزیک (۴/۳۳ درصد)، الجزایر (۴/۱۰ درصد)، مراکش (۴/۱۵ درصد)، برزیل (۴/۱ درصد) و نیجریه (۴/۱۶ درصد) بیشتر بود و با مقدار آن در نمونه اسپانیا (۷/۳ درصد) تقریباً برابر بود. در پژوهش‌های دیگر نیز این ترکیب به‌عنوان ترکیب اصلی *E. globulus* معرفی شد (Rodríguez et al., 2006; Shiferaw et al., 2019; Hassani Moghaddam et al., 2020). در آرژانتین، بیشترین مقدار آن در *E. globulus* ssp. *bicostata* با ۹۰/۷ درصد گزارش شد (Carmen et al., 2003). در اسانس *E. globulus* شمال ایران ترکیب اسپاتولنول وریدی‌فلورول[1] و کاریوفیلن اکسید نیز شناسایی گردید که در اکثر گزارش‌ها مشاهده نشد (جدول ۶).

تفاوت‌های مشاهده‌شده در بین ترکیبات اسانس مناطق مختلف به عوامل محیطی و اکولوژیک ارتباط دارد. عواملی از جمله اقلیم، نوع و ترکیب خاک، ارتفاع از سطح دریا، سن گیاه و زمان برداشت به‌طور مستقیم مسیرهای بیوسنتزی و تجمع متابولیت‌های ثانویه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. علاوه‌بر این، روش استخراج اسانس نقش مهمی در ترکیب نهایی آن دارد؛ به‌عنوان مثال، اگرچه تقطیر با آب روش استاندارد و رایجی است، امّا به‌دلیل حرارت طولانی ممکن است باعث کاهش یا تخریب ترکیبات حساس از جمله برخی از مونوترپن‌ها شود. روش‌هایی مانند تقطیر بخار تحت خلأ یا استخراج با دی‌اکسید کربن فوق بحرانی می‌تواند درصد ترکیبات سبک‌تر و از جمله ۱،۸–سینئول را افزایش دهد. از سوی دیگر، هرچند شناسایی ترکیبات با استفاده از GC و GC-MS دقت بالایی دارد، امّا هم‌زمانی پیک‌ها و نزدیکی شاخص بازداری می‌تواند باعث اختلاف در گزارش درصد ترکیبات جزئی شود؛ بنابراین، تفاوت‌های مشاهده‌شده در مطالعات مختلف نتیجه تعامل پیچیده‌ای از عوامل اکولوژیک، سن گیاه، روش برداشت، روش استخراج و فن‌های تحلیلی است.

امروزه در علم پزشکی و صنایع غذایی محصولاتی که دارای برچسب "طبیعی" هستند، توجه بیشتری را به خود جلب می‌کند. اسانس‌ها از جمله این موارد هستند که کاربرد آن‌ها در ساخت داروها و مواد غذایی روزبه‌روز در حال افزایش است. مطالعات نشان می‌دهد که اسانس‌ها عوارض جانبی کمی از خود نشان می‌دهد و در این بین، اسانس‌های حاوی ترپن‌ها از جمله ۱،۸–سینئول و آلفاپینن به‌دلیل سازگاری بالا و عملکرد چندگانه و با دارا بودن ویژگی‌های طعم‌دهندگی، نگه‌دارندگی طبیعی و خواص بیولوژیکی مفید، پتانسیل بالایی در جایگزینی ترکیبات شیمیایی مصنوعی در صنایع غذایی و دارویی دارد. ۱،۸–سینئول خواص ضدالتهابی، ضدسرطانی، ضدباکتری و ضدقارچی دارد (Rahaman et al, 2022; Garzoli, 2023; Venkataraman et al., 2023). این ترکیب به‌مقدار ۰/۲ تا ۱۵ میلی‌گرم به‌عنوان تسکین‌دهنده در قرص‌های خوراکی بدون نسخه به کار می‌رود (Kainat & Nadeem, 2019). آلفاپینن در پیشگیری و درمان عفونت‌های میکروبی و قارچی نقش دارد و با کاهش تنش اکسیداتیو، در مهار سرطان مؤثر است (Tan, 2024). خاصیت ضدالتهابی آلفاپینن و تأثیر آن در کاهش ضایعات دهانی و جلوگیری از تشکیل پلاک، اهمیت آن را در تولید محصولات مربوط به بهداشت دهان و دندان نشان می‌دهد (Potocka et al., 2023). ۱،۸–سینئول، با عطر مطبوع و ساختار شیمیایی مونوترپنی حاوی اکسیژن، به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان افزودنی طعم‌دهنده در محصولات غذایی و کالاهای شیمیایی استفاده می‌شود. انجمن تولیدکنندگان عصاره، ۱،۸–سینئول را به‌عنوان یکی از طعم‌دهنده‌های ایمن مورد تأیید قرار داده است. غلظت‌های مختلف ۱،۸–سینئول در محصولات غذایی و نوشیدنی‌ها با هدف طعم‌دهندگی و افزایش مقبولیت مصرف‌کنندگان به کار می‌رود. به‌عنوان مثال، در نوشیدنی‌ها ۱،۸–سینئول با دوز ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم کاربرد دارد. در سایر مواد خوراکی و غذاها، از این ترکیب به‌میزان ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم استفاده می‌شود. ۱،۸–سینئول در آب‌نبات‌ها و شیرینی‌ها به‌منظور ایجاد طعم دلپذیر و افزایش خواص ضدمیکروبی با غلظت ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم کاربرد دارد. ۱،۸–سینئول با دوز ۰/۵ تا ۹ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به‌عنوان نگهدارنده در مواد غذایی استفاده می‌شود و سبب افزایش ماندگاری و جلوگیری از فساد مواد خوراکی می‌گردد (Eisenbrand et al., 2021). در سال‌های اخیر، کشورهای مختلف با توجه به مزایای اسانس اکالیپتوس، برنامه‌های مختلفی را به‌منظور ورود به بازار اسانس این محصول برنامه‌ریزی کرده‌اند. در کشور نیوزیلند به‌منظور گسترش صنعت اسانس، ۵۰۰۰ هکتار از مناطق خشک این کشور در قالب یک برنامه در فاصله زمانی بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ زیرکشت اکالیپتوس خواهد رفت. برآوردهای این تحقیق بیان می‌دارد که ۲۰ تا ۳۰ سال پس از شروع برداشت، ورود به بازار اسانس اکالیپتوس در مقیاس بزرگ قابل اجرا می‌باشد (Rajapaksha et al., 2023). در چین در دهه ۱۹۸۰، مساحت جنگل‌های اکالیپتوس ۴۵۰ هزار هکتار بود؛ امّا کشت این محصول در سال‌های اخیر افزایش یافته و به بالای ۴/۵ میلیون هکتار رسیده است، به‌طوری‌که این کشور رتبه اول در کشت اکالیپتوس در جهان را دارا می‌باشد (Chen et al., 2020). دلیل این افزایش فزاینده به‌خصوص در دو دهه اخیر را می‌توان به ترکیبی از عوامل از جمله افزایش شناخت پتانسیل سودآوری این محصول و پیشرفت‌های عمده در بهره‌وری ارائه‌شده توسط شرکت‌های تحقیق و توسعه نسبت داد. توسعه صنعت کشت

1- Viridiflorol

اکالیپتوس‌ها در چین با گردش مالی سالانه به ارزش بیش از ۳۰۰ میلیارد یوان، سهم مهمی در اقتصاد ملی و معیشت تعداد قابل توجهی از مردم چین دارد (Xie *et al*, 2017). در ایران در سال‌های اخیر با توجه به توقف بهره‌برداری از جنگل‌های صنعتی شمال ایران، برنامه‌هایی با هدف کشت درختان و گیاهان مناسب در مناطق و اقلیم‌های مختلف ارائه شده است. به‌عنوان مثال در سال ۱۴۰۰، طرحی به‌منظور شناسایی اراضی مناسب کشت اکالیپتوس در جنوب کشور و به‌ویژه در استان خوزستان اجرا گردید. همچنین تحقیقاتی در زمینه شناسایی اراضی مستعد کشت اکالیپتوس در جنوب ایران انجام شد. نتایج این تحقیقات نشان داد که استان خوزستان، منطقه مناسبی جهت کشت اکالیپتوس می‌باشد (Eskandari et al., 2022).

این مطالعه، اطلاعاتی در زمینه بازده و ترکیبات شیمیایی اسانس دو گونه *E. camaldulensis* و *E. globulus* در شمال ایران ارائه داد. بازده اسانس هر دو گونه قابل مقایسه با گزارش‌های دیگر بود. سلواکومار و همکاران (Selvakumar et al., 2012)، بازده اسانس *E. globulus* را ۰/۷ درصد گزارش کرد. بازده اسانس *E. camaldulensis* در چین ۰/۲۵ تا ۰/۴۶ درصد و بازده اسانس *E. globulus* ۱/۳ تا ۲/۷ درصد وزن تازه گزارش شد (Zhang et al., 2010). نتایج آنالیز ترکیبات شیمیایی نشان داد که اسانس *E. globulus* با دارا بودن سطح مطلوب و استاندارد ۱،۸–سینئول، از ظرفیت بالایی به‌منظور استفاده در صنایع دارویی و غذایی برخوردار است. در مقابل، توزیع متوازن‌تر ترکیبات در اسانس *E. camaldulensis* می‌تواند مزیتی مهم در گسترش کاربردهای صنعتی و تجاری آن محسوب شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که اسانس دو گونه *E. globulus* و *E. camaldulensis* در شمال ایران از نظر بازده و ترکیبات شیمیایی در سطح مناسب و قابل مقایسه با گزارش‌های جهانی قرار دارد. ترکیب غالب ۱،۸–سینئول در اسانس *E. globulus* و پراکندگی متوازن‌تر ترکیبات در *E. camaldulensis* هر دو نشان‌دهنده ظرفیت ارزشمند این گونه‌ها به‌منظور استفاده در صنایع دارویی، غذایی و صنایع دیگر از جمله عطرسازی است. بنابراین، این منابع گیاهی را می‌توان به‌عنوان گزینه‌هایی با هدف توسعه و گسترش کاربردهای صنعتی و تجاری اسانس‌ها در منطقه معرفی کرد؛ هرچند تحقق این هدف مستلزم انجام مطالعات تکمیلی و آزمون‌های کارایی در مقیاس عملی و صنعتی است. با توجه به شرایط اکولوژیک و وجود اراضی مستعد کشت گیاهان صنعتی و دارویی در ایران، امکان دستیابی به جایگاه مناسب در صنعت جهانی اسانس وجود دارد. دستیابی به این جایگاه نیازمند به‌کارگیری روش‌های استخراج بهینه، استانداردسازی فرآیندها و تقویت همکاری‌های علمی و فناورانه با مراکز بین‌المللی است. همچنین سرمایه‌گذاری هدفمند در زمینه کشت پایدار و فرآوری استانداردشده اکالیپتوس می‌تواند زمینه‌ساز ارتقای کیفیت، افزایش رقابت‌پذیری در بازارهای جهانی و ایجاد فرصت‌های علمی، صنعتی و اقتصادی برای کشور باشد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی و پشتیبانی دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است. بدینوسیله مراتب سپاس و قدردانی صمیمانه خود را ابراز می‌داریم.

References

1. Abdossi, V., Yaghooti Moghaddam, E., & Hadipanah, A. (2015). Chemical composition of *E. globulus* grown in Iran. Biological Forum – An Intern: https://www.researchgate.net/publication/280944359
2. Abiri, R., Atabaki, N., Abdul-Hamid, H., Sanusi, R., Ab Shukor, N., Shaharuddin, N., Ahmad, S., & Malik, S. (2020). The prospect of physiological events associated with the micropropagation of *Eucalyptus* sp. *Forests, 11*(11), 1211. https://doi.org/10.3390/f11111211
3. Ait Benlabchir, A., Fikri-Benbrahim, K., Moutawalli, A., Alanazi, M. M., Halmoune, A., Benkhouili, F. Z., Oubihi, A., Kabra, A., Hanoune, E., Assila, H., & Ouaritini, Z. B. (2024). GC–MS characterization and bioactivity study of *E. globulus* Labill. (Myrtaceae) essential oils and their fractions: Antibacterial and antioxidant properties and molecular docking modeling. *Pharmaceuticals, 17*(11), 1552. https://doi.org/10.3390/ph17111552
4. Akolade, J. O., Olajide, O. O., Afolayan, M. O., Akande, S. A., Idowu, D. I., & Orishadipe, A. T. (2012). Chemical composition, antioxidant and cytotoxic effects of *E. globulus* grown in north-central Nigeria. *Journal of Natural Products and Plant Resources, 2*(1), 1-8
5. Almas, I., Innocent, E., Machumi, F., & Kisinza, W. (2021). Chemical composition of essential oils from *E. globulus* and *Eucalyptus maculata* grown in Tanzania. *Scientific African, 12*, e00758. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00758
6. Asgari, M., Kazemi, M., Mahmoudi Sourastani, M., & Sharififard, M. (2023). Chemical analysis of eucalyptus and rosemary essential oils using gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) and evaluation of their

toxicity against the most common urban pest. *Analytical Methods in Environmental Chemistry Journal, 6*(3), 89-102. https://doi.org/10.24200/amecj.v6.i03.256
7. Ashraf, M., Ali, Q., Anwar, F., & Hussain, A. I. (2010). Composition of leaf essential oil of *Eucalyptus camaldulensis*. *Asian Journal of Chemistry, 22*(3), 1779-1786
8. Bachheti, R. K. (2015). Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil from the leaves of *E. globulus* collected from Haramaya University, Ethiopia. *Der Pharma Chemica, 7*(2), 209-214. https://doi.org/10.4172/0975-413X.1000273
9. Barboucha, G., Rahim, N., Boulebd, H., Bramki, A., Andolfi, A., Salvatore, M. M., & Masi, M. (2024). Chemical composition, *in silico* investigations and evaluation of antifungal, antibacterial, insecticidal and repellent activities of *E. camaldulensis* Dehn. leaf essential oil from Algeria. *Plants, 13*(22), 3229. https://doi.org/10.3390/plants13223229
10. British Standards Institution. (2012). BS ISO 3065:2011. Oil of Eucalyptus Australian Type, Containing A Volume Fraction of 80% to 85% of 1,8-Cineole. British Standards Institution. https://doi.org/10.3403/30191763
11. Carmen, I., Viturro, A., Molina, C., & Cecilia, I. (2003). Volatile components of *E. globulus* Labill. ssp. Bicostata from Jujuy, *Argentina*. *Journal of Essential Oil Research, 15*(3), 206-208
12. Chaghakaboodi, Z., Kahrizi, D., & Nasiri, J. (2024). Chemical composition and antimicrobial potential of *E. camaldulensis* essential oil from Shushtar, Iran. *Journal of Medicinal Plants and By-Products, 3*(3), 691-702. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/jmpb.2024.365950.1700
13. Chen, H., Gu, Z., Yang, L., Yang, R., Ji, Y., Zeng, Q., Xiao, F., & Huang, P. (2021). Optimization extraction of rosemary essential oils using hydrodistillation with extraction kinetics analysis. *Food Science & Nutrition, 9*(6), e2549. https://doi.org/10.1002/fsn3.2549
14. Chen, W., Zheng, Q., Dang, Y., & Sakari, T. (2020). Eucalyptus productivity increase in China comes from newly afforested plantations. *Europe PMC*. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-81375/v1
15. Čmiková, N., Galovičová, L., Schwarzová, M., Schwarzová, M., Vukic, M., Vukovic, N., Kowalczewski, P., Bakay, L., Kluz, M., Puchalski, C., & Kačániová, M. (2023). Chemical composition and biological activities of *E. globulus* essential oil. *Journal of Plants, 12*(5), 1076. https://doi.org/10.3390/plants12051076
16. Costa, J., Silva, J. S., Deus, E., Pinho, S., Pinto, J. F., & Borralho, N. (2022). The genetics and ecology of post-fire *E. globulus* recruitment in an isolated stand in central Portugal. *Forests, 13*(5), 680. https://doi.org/10.3390/f13050680
17. Djellouli, M., Ziane, L., & Elhendi, H. (2024). Essential oil composition and antibacterial activity of *E. globulus* from Southwest Algeria. *Studies in Engineering and Exact Sciences, 5*(2), 1-12. https://doi.org/10.54021/seesv5n2-560
18. Eisenbrand, G., Cohen, M., Fukushima, S., Gooderham, N., Guengerich, F., Hecht, S., Rietjens, I., Rosol, T., Davidsen, J., Harman, C., & Taylor, S. (2021). FEMA GRAS assessment of natural flavor complexes: Eucalyptus oil and other cyclic ether-containing flavoring ingredients. *Food and Chemical Toxicology, 155*, 112357. https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112357
19. El-Ghorab, A. H., Fadel, H. M., & El-Massry, K. F. (2002). The Egyptian *E. camaldulensis* var. brevirostris: Chemical compositions of the fruit volatile oil and antioxidant activity. *Flavour and Fragrance Journal*, 17(4), 306-312. https://doi.org/10.1002/ffj.1085
20. Eskandari, S., & Jalilvand, H. (2017). The effect of climate change on fire regime of Neka and Behshahr forests. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 15*(1), 30-39. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijfrpr.2017.107772.1219
21. Eskandari, S., Behnamfar, K., Pourghasemi, H. R., & Tiefenbacher, J. P. (2022). Provision of eucalyptus wood farming potential map in Iran: An application of land cover, ecological, climatic, hydrologic, and edaphic analysis in a GIS-based fuzzy AHP framework. *Ecological Indicators, 136*, 108621. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108621
22. Etemadi, R., Moghadam, P., & Yousefi, F. (2020). Evaluation of chemical composition and antimicrobial activities of *E. camaldulensis* essential oil on dental caries pathogens. *Journal of Basic Research in Medical Sciences, 7*(1), 43-49.
23. Faria, J. M. S., Lima, A. S., Mendes, M. D., Leiria, R., Geraldes, D. A., Figueiredo, A. C., Trindade, H., Pedro, L. G., Barroso, J. G., & Sanches, J. (2011). Eucalyptus from Mata Experimental do Escaroupim (Portugal): Evaluation of the essential oil composition from sixteen species. Acta Horticulturae, 925, 51–58. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.925.7
24. Flores-Macías, A., Reyes-Zarate, G. G., Gomes da Camara, C. A., López-Ordaz, R., Campos Guilln, J., & Ramos-López, M. Á. (2021). Chemical composition and phytotoxic potential of *E. globulus* essential oil against Lactuca sativa and two herbicide-resistant weeds: Avena fatua and Amaranthus hybridus. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 24*, 1-8. https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.303

25. Garzoli, S. (2023). Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils. *Plants, 12*(4), 800. https://doi.org/10.3390/plants12040800
26. Gerdkaneh, M., Mohammadi, N., & Arji, I. (2018). Composition and quantitative seasonal variation of *E. globulus* essential oil in the three regions of Kermanshah province. *Iranian Journal of Medicinal Plants, 17*(66), 50-62. (In Persian with English abstract)
27. Grbović, S., Orčić, D., Couladis, M., Jovin, E., Bugarin, D., Balog, K., & Mimica-Dukić, N. (2010). Variation of essential oil composition of *E. camaldulensis* (Myrtaceae) from the Montenegro coastline. *Acta Periodica Technologica, 41*(41), 151-158. https://doi.org/10.2298/APT1041151G
28. Hassani Moghaddam, E., Karamian, R., Shaaban, M., & Mohammadian, A. (2020). Identification and comparison of some essential oils components in seven *Eucalyptus* species cultivated in Khorramabad. *Journal of Medicinal Plants and By-Products, 9*, 59-66. https://doi.org/10.22092/jmpb.2020.121751
29. Hirsch, H., Allsopp, M. H., Canavan, S., Cheek, M., Geerts, S., Geldenhuys, C. J., Harding, G., Hurley, B. P., Jones, W., Keet, J. H., Klein, H., Ruwanza, S., van Wilgen, B. W., Wingfield, M. J., & Richardson, D. M. (2020). *E. camaldulensis* in South Africa – past, present, future. *Transactions of the Royal Society of South Africa, 75*(1), 1-22. https://doi.org/10.1080/0035919X.2019.1669732
30. International Organization for Standardization. (2002). ISO 770:2002. Crude or Rectified Oils of *E. globulus* (*E. globulus* Labill.). ISO. https://www.iso.org/standard/31688.html
31. Jaimand, K., & Rezaee, M. B. (2004). Investigation on chemical constituentsof essential oils from *Achillea millefolium* L. Subsp. Millefolium by distillation methods. *Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 20*, 181-190. (In Persian with English abstract)
32. Jaradat, N., Al-Maharik, N., Hawash, M., Qadi, M., Issa, L., Anaya, R., Daraghmeh, A., Hijleh, L., Daraghmeh, T., Alyat, A., & Aboturabi, R. (2023). *E. camaldulensis* Dehnh leaf essential oil from Palestine exhibits antimicrobial and antioxidant activity but no effect on porcine pancreatic lipase and α-amylase. *Plants, 12*(22) 3805. https://doi.org/10.3390/plants12223805
33. Joshi, A., Sharma, A., Bachheti, R. K., & Pandey, D. P. (2016). A comparative study of the chemical composition of the essential oil from *E. globulus* growing in Dehradun (India) and around the world. *Oriental Journal of Chemistry, 32*(1), 331-340. https://doi.org/10.13005/ojc/320137
34. Kainat, R., & Nadeem, Z. (2019). Derivatization of essential oil of eucalyptus to obtain valuable market products – A comprehensive review. *International Journal of Chemical and Biochemical, 15*, 58-68
35. Kheder, D. A., Al-Habib, O. A. M., Gilardoni, G., & Vidari, G. (2020). Components of volatile fractions from *E. camaldulensis* leaves from Iraqi–Kurdistan and their potent spasmolytic effects. *Molecules, 25*(4), 804. https://doi.org/10.3390/molecules25040804
36. Maciel, M. V., Morais, S. M., Bevilaqua, C. M. L., Silva, R. A., Barros, R. S., Sousa, R. N., Sousa, L. C., Brito, E. S., & Souza-Neto, M. A. (2010). Chemical composition of *Eucalyptus* spp. essential oils and their insecticidal effects on *Lutzomyia longipalpis*. *Veterinary Parasitology, 167*(1), 1-7. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.09.053
37. Mahmoodi, A., Roomiani, L., Soltani, M., Akhondzadeh Basti, A., Kamali, A., & Taheri, S. (2012). Chemical composition and antibacterial activity of essential oils and extracts from *Rosmarinus officinalis*, *Zataria multiflora*, *Anethum graveolens*, and *E. globulus*. *Global Veterinaria, 9*(1), 73-79. https://doi.org/10.5829/idosi.gv.2012.9.1.6426
38. Mubarak, E. E., Ali, L. Z., Ahmed, I. F. A., Ahmed, A. B. A., & Taha, R. M. (2015). Essential oil compositions and cytotoxicity from various organs of *Eucalyptus camaldulensis*. *International Journal of Agriculture & Biology, 17*(2), 320-326.
39. National Poplar and Fast-growing Trees Commission of Iran. Islamic Republic of Iran, Ministry of Agriculture-Jahad. (2024). Country Report on Poplars and Other Fast-Growing Trees Sustaining People and the Environment: Period 2020 to 2023. Food and Agriculture Organization of the United Nations
40. Ndiaye, E. H. B., Gueye, M. T., Diop, S. M., Thiam, A., Sanghare, C. H., Diop, M. B., & Fauconnier, M. L. (2021). Chemical composition of essential oils and floral waters of *E. camaldulensis* (Dehnh) from two locations in Senegal. *Journal of Applied Biological Sciences, 15*(3), 318-329
41. Ngo, T. C. Q., Tran, T. H., & Le, X. T. (2020). The effects of influencing parameters on the *E. globulus* leaves essential oil extraction by hydrodistillation method. In 5th International Conference of Chemical Engineering and Industrial Biotechnology (ICCEIB 2020), Kuala Lumpur, Malaysia (IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 991, 012126). IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1757-899X/991/1/012126
42. Pagula, F. P., Baser, K. H. C., & Kurkcuoglu, M. (2000). Essential oil composition of *E. camaldulensis* Dehn. from Mozambique. *Journal of Essential Oil Research, 12*(3), 333-335. https://doi.org/10.1080/10412905.2000.9699530

43. Pappas, R. S., & Sheppard-Hanger, S. (2000). Essential oil of *E. camaldulensis* Dehn. from South Florida: A high cryptone/low cineole eucalyptus. *Journal of Essential Oil Research*, *12*(6), 383-384. https://doi.org/10.1080/10412905.2000.9699541
44. Pashazanousi, M. B., Delfanian, C., Hejazi, S. M., & Khalilzadeh, M. A. (2012). Measurement of essential oil components of *E. globulus* subsp. using gas chromatography–mass spectrometry (GC/MS). Journal of Quantum Chemistry and Spectroscopy, 2(6), 33–38.
45. Pino, J. A., Moncayo-Molina, L., Spengler, I., & Pérez, J. C. (2021). Chemical composition and antibacterial activity of the leaf essential oil of *E. globulus* Labill. From two highs of the canton Cañar, Ecuador. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, *52*(1), 26-33.
46. Potocka, W., Assy, Z., Bikker, F., & Laine, M. (2023). Current and potential applications of monoterpenes and their derivatives in oral health care. *Molecules*, *28*(20), 71-78. https://doi.org/10.3390/molecules28207178
47. Rahaman, A., Chaudhuri, A., Sarkar, A., Chakraborty, S., Bhattacharjee, S., & Mandal, D. (2022). Eucalyptol targets PI3K/Akt/mTOR pathway to inhibit skin cancer metastasis. *Carcinogenesis*, *43*(6), 571-583. https://doi.org/10.1093/carcin/bgac020
48. Rajapaksha, C., Greaves, P., & Clemens, M. (2023). Economic potential of essential oil production from New Zealand-grown *Eucalyptus bosistoana*. *Scientific Reports*, *13*(1), 14083. https://doi.org/10.1038/s41598-023-40632-5
49. Rodríguez, P., Sierra, W., Rodríguez, S., & Menéndez, P. (2006). Biotransformation of 1,8-cineole, the main product of Eucalyptus oils. *Electronic Journal of Biotechnology*, *9*(3), 232-236. https://doi.org/ 10.2225/vol9-issue3-28
50. Sahin Basak, S., & Candan, F. (2010). Chemical composition and in vitro antioxidant and antidiabetic activities of E. camaldulensis Dehnh. essential oil. Iranian Chemical Society, 7(1), 216-226.
51. Sefidkon, F., Assareh, M. H., Abravesh, Z., & Mirza, M. (2006). Chemical composition of the essential oils of five cultivated eucalyptus species in Iran: *E. intertexta*, *E. platypus*, *E. leucoxylon*, *E. sargentii* and *E. camaldulensis*. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, *9*(3), 245-250. https://doi.org/10.1080/0972060X.2006.10643498
52. Selvakumar, P., Edhayanaveena, B., & Dprakash, S. (2012). Studies on the antidandruff activity of the essential oil of *Coleus amboinicus* and *E. globulus*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, *2*(2), 715-719. https://doi.org/10.1016/S2222-1808(12)60250-3
53. Shaker, H., Barazandeh, M. M., & Rezaei, M. B. (2003). The effect of collection region on the essential oil yield and composition of Eucalyptus camaldulensis Dehn. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, (15), 33-48. (In Persian with English abstract)
54. Sharmeen, J., Mahomoodally, F., Zengin, G., & Maggi, F. (2021). Essential oils as natural sources of fragrance compounds for cosmetics and cosmeceuticals. *Molecules*, *26*(3), 666. https://doi.org/10.3390/molecules26030666
55. Shiferaw, Y., Kassahun, A., Tedla, A., Feleke, G., & Abebe, A. (2019). Investigation of essential oil composition variation with age of *E. globulus* growing in Ethiopia. *Research Article*, *7*(2). https://doi.org/10.35248/2329-6836.19.7.360
56. Siramon, P., & Ohtani, Y. (2007). Antioxidative and antiradical activities of *E. camaldulensis* leaf oils from Thailand. *Journal of Wood Science*, *53*(6), 498-504. https://doi.org/10.1007/s10086-007-0887-7
57. Tan, J. (2024). Preventive effect of alpha-pinene on cisplatin-induced kidney injury by oxidative stress, inflammation, and apoptosis via NF-κB signaling pathway. *Letters in Drug Design & Discovery*, *21*(12), 2416-2422. https://doi.org/10.2174/1570180820666230719121723
58. Venkataraman, B., Almarzooqi, S., Raj, V., Bhongade, A., Patil, R., Subramanian, V., Attoub, S., Rizvi, T., Adrian, T., Sandeep, B., & Subramanya, S. (2023). Molecular docking identifies 1, 8-cineole (eucalyptol) as a novel PPARγ agonist that alleviates colon inflammation. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(7), 61. https://doi.org/10.3390/ijms24076160
59. Verdeguer, M., Castañeda, L. G., Torres-Pagan, N., Llorens-Molina, J. A., & Carrubba, A. (2020). Control of *Erigeron bonariensis* with *Thymbra capitata*, *Mentha piperita*, *Eucalyptus camaldulensis*, and *Santolina chamaecyparissus* Essential Oils. *Molecules*, *25*(3), 562. https://doi.org/10.3390/molecules25030562
60. Xie, Y., Arnold, R., Wu, Z., Chen, W., Du, A., & Luo, J. (2017). Advances in eucalypt research in China. *Frontiers in Agricultural Science and Engineering*, *4*(4), 380-390. https://doi.org/10.15302/J-FASE-2017171
61. Yost, J., Wise, S., Love, N., Steane, D., Jones, R., Ritter, M., & Potts, B. (2021). Origins, diversity, and naturalization of *E. globulus* (Myrtaceae) in California. *Forests*, *12*(8), 1129. https://doi.org/10.3390/f12081129
62. Zhang, J., An, M., Wu, H., Stanton, R., & Lemerle, D. (2010). Chemistry and bioactivity of eucalyptus essential oils. *Allelopathy Journal*, *25*(2), 313-330

Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 40, No. 1, Spring 2026, p. 145-161

Evaluation of Promising Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Hybrids with Emphasis on Fruit Quality Traits and Shelf Life

Z. Ghiasi Limanjoobi[1], M. Lotfi[1], H. Ramshini[2*], S. Sarikhani[1]

1- Department of Horticultural Sciences, Agricultural College of Aburaihan, University of Tehran, Pakdasht, Iran
2- Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences , Agricultural College of Aburaihan, University of Tehran, Pakdasht, Iran
(*- Corresponding author's Email: Ramshini_h@ut.ac.ir)

Received: 27 April 2025
Revised: 31 July 2025
Accepted: 30 August 2025
Available Online: 30 August 2025

How to cite this article:
Ghiasi Limanjoobi, Z., Lotfi, M., Ramshini, H., & Sarikhani, S. (2026). Evaluation of promising tomato (*Solanum lycopersicum* L.) hybrids with emphasis on fruit quality traits and shelf life. *Journal of Horticultural Science*, *40*(1), 145-161. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93191.1426

Introduction

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.), belonging to the Solanaceae family with a chromosome number of 2n=2x=24, is recognized as the second most cultivated vegetable worldwide after potatoes. Despite its global importance, a significant proportion of tomato seeds used in Iran are imported. To address this, a comprehensive breeding program has been undertaken, resulting in the development of over 1,500 inbred lines. The most promising lines have been selected for hybrid development. This study focuses on evaluating and comparing 26 selected hybrids out of a total of 180, intending to identify superior varieties in terms of yield and fruit quality. Gaining insights into the advantages of these superior hybrids can contribute to the development of varieties that better meet consumer demands while also promoting agricultural sustainability.

Material and Methods

This research was carried out at the Agricultural Research Station in Mohammadshahr, Karaj City, Alborz Province, involving the evaluation of 26 selected tomato hybrids from the Abouraihan Campus of Tehran University. The experiment was arranged as a randomized complete block design (RCBD) with eight plants per plot. The hybrids were compared to three commercial cultivars—'Matin', 'Brivio', and 'Bedero'—as well as an old hybrid, 'H12', used as a control. Seedlings were prepared in February 2024, with 32 seeds from each genotype sown into trays filled with a 1:1 mixture of peat moss and perlite. The spacing between rows was 2 meters, and the distance between two plants within a row was 50 centimeters. Throughout the trial, standard agronomic practices, including irrigation, fertilization, and pest management, were implemented. Evaluations encompassed both field and laboratory assessments, focusing on quantitative and qualitative traits. Over a single growing season, the hybrids were assessed for attributes such as fruit size, weight, color, and biochemical parameters including pH, total soluble solids (TSS), and titratable acidity. After the experiment, raw data were organized using Excel, followed by normality tests, analysis of variance (ANOVA), and mean comparisons via Duncan's method in SAS software. Qualitative traits were analyzed using the Kruskal-Wallis test and principal component analysis was performed with R software.

Results and discussion

The analysis of variance revealed significant differences among the hybrids across various traits. Key quantitative traits evaluated included fruit yield per plant, fruit weight, number of fruits, calyx stability, and ripening index. Results showed that hybrid 'H114' produced the highest number of fruits (83), while 'gH74' had

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.2025.93191.1426

the lowest (38). The average fruit weight ranged from 62 grams in ‘gH15’ to 136 grams in ‘gH47’. Calyx stability was notably higher in hybrids ‘gH54’ and ‘H95’, which is important for maintaining post-harvest quality. Regarding ripening, hybrids ‘H186’, ‘H165’, ‘H163’, and ‘H114’ were among the earliest to mature, requiring less than 95 days to reach harvest readiness. In terms of shelf life, hybrids ‘gH168’, ‘gH181’, and ‘gH54’ exhibited superior durability, lasting up to 13 days. The study also identified significant correlations among traits; for instance, a positive relationship between fruit firmness and overall yield suggested that denser fruits are often associated with higher productivity. Qualitative assessments, which included fruit firmness, shape uniformity, and taste, showed a wide variation in firmness levels, with commercial varieties ‘Brivio’ and ‘Bedero’ displaying the highest firmness. Additionally, meaningful correlations among traits—such as the positive relationship between the number of fruits and total yield—were observed. The discussion emphasizes the implications of these findings for breeding programs, highlighting the potential to select hybrids not only for higher yield but also for improved quality traits like flavor and shelf life.

Conclusion

In conclusion, this study emphasizes the importance of hybrid selection for optimizing tomato production. The results revealed significant differences among the evaluated hybrids in several key quantitative and qualitative traits. Some hybrids demonstrated the potential to rival commercial varieties used as controls. To identify the superior hybrids, comprehensive evaluation and analysis of the measured traits were performed, with prioritization based on their relative importance. All traits were assessed simultaneously across all hybrids, with certain hybrids excelling in specific characteristics. Based on the overall findings, hybrids ‘H163’, ‘gH55’, and ‘gH57’ were identified as the top-performing options. Further research involving long-term field trials under diverse environmental conditions is recommended to enhance the adaptability and practical viability of these hybrids in agricultural production.

Acknowledgements: The authors gratefully acknowledge Zhinodaneh Company and the University of Tehran for their support.

Keywords: Hybrid variety, Plant breeding

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۴۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص. ۱۶۱-۱۴۵

ارزیابی هیبریدهای امیدبخش گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) با تأکید بر صفات کیفیت میوه و ماندگاری

زهره سادات قیاسی لیمنجوبی[۱] - محمود لطفی[۱] - حسین رامشینی[۲*] - سعادت ساریخانی[۱]

تاریخ دریافت:۱۴۰۴/۰۲/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۸

چکیده

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)، مهم‌ترین محصول بعد از سیب‌زمینی در بین سبزیجات است. متأسفانه در ایران بخش زیادی از بذر مصرف‌شده برای این محصول وارداتی است. این پژوهش با هدف ارزیابی و مقایسه ۲۶ هیبرید منتخب از بین ۱۸۰ هیبرید اولیه انجام گردید تا بهترین آن‌ها از نظر عملکرد و کیفیت میوه معرفی شود. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات پایداری کاسبرگ، تعداد میوه در بوته، شاخص زودرسی، وزن تک میوه، ماندگاری، سفتی بافت میوه و اسیدیته قابل تیتراسیون در سطح احتمال ۰/۰۱ و صفات اسیدیته و مواد جامد محلول در سطح احتمال ۵ درصد وجود داشت. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که دو مؤلفه اول ۶۰ درصد تغییرات را توجیه کردند. در گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها با این روش، هیبریدهای 'H114'، 'gH168'، 'gH181'، 'gH55' و 'gH57' با هیبریدهای تجاری و پرطرفدار 'Bedero' و 'Brivio' در یک گروه قرار گرفتند. در نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صفات کیفی، دو مؤلفه اول ۵۲/۱ درصد تغییرات را توجیه کردند. بر همین اساس، هیبریدهای 'gH57'، 'H163' و 'H107' با ارقام تجاری 'Bedero' و 'Brivio' در یک گروه قرار گرفتند. با توجه به صفت تعداد میوه در بوته، هیبرید 'H114' با ۸۴ و هیبرید 'H163' با تعداد ۷۶ میوه برترین بودند. هیبریدهای 'gH74'، 'H107' و 'H163' بیشترین اسیدیته قابل تیتراسیون را داشتند. از نظر ماندگاری میوه، هیبرید 'gH168' بهترین نتیجه (۱۳ روز) را داشت. در مورد صفت شکل میوه، هیبریدهای 'gH57'، 'gH14'، 'gH55'، 'H114' و 'H163' و در مورد صفت رنگ گوشت، هیبرید 'gH55' برترین هیبریدها شناخته شدند. در نهایت، با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، سه هیبرید 'gH55'، 'gH57' و 'H163' به‌عنوان هیبریدهای منتخب معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: اصلاح نباتات، رقم هیبرید

مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) متعلق به خانواده بادمجانیان (Solanaceae) و یکی از پرمصرف‌ترین سبزیجات جهان با واریته‌های متنوع است که بعد از سیب‌زمینی بیشترین سطح زیرکشت را دارد. در سال ۲۰۲۲، سطح زیرکشت جهانی آن حدود ۴/۵ میلیون هکتار و تولیدی برابر با ۱۷۱ میلیون تن داشته است (FAO, 2022). ایران نیز در جایگاه رتبه یازدهم جهانی، بخش عمده‌ای از تولید خود را با بذرهای هیبرید وارداتی انجام می‌دهد. گوجه‌فرنگی یک گیاه علفی چندساله است که اغلب به‌عنوان یک محصول یک‌ساله شناخته شده و در شرایط گرمسیری و معتدل، در مزرعه یا گلخانه رشد می‌کند. گوجه‌فرنگی به‌منظور تازه‌خوری و همچنین فرآوری کشت می‌شود (Yang et al., 2023). این گیاه از طریق بذر به‌صورت مستقیم یا با نشاء به‌صورت غیرمستقیم تکثیر شده و به‌صورت محدود با روش قلمه زدن نیز تکثیر می‌شود (Chauhan et al., 2021).

ازآنجاکه گوجه‌فرنگی به‌طور طبیعی خودگشنی دارد، بذرهای یک گوجه‌فرنگی گیاهانی شبیه به والدین تولید می‌کند. در اوایل قرن

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده فناوری کشاورزی (ابوریحان)، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

۲- گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکده فناوری کشاورزی (ابوریحان)، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: ramshini_h@ut.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93191.1426

بیستم، شرکت‌های خصوصی از تولید ارقام با گرده‌افشانی باز (OP)[1] به تولید هیبریدها[2] روی آوردند. هیبریدها ویژگی‌های خوب هر دو والدین را ترکیب می‌کنند که در نسل‌های بعدی تفکیک می‌شوند و ازاین‌رو تکثیر بذر توسط کشاورزان غیرممکن شد (Bai & Lindhout, 2007). برای تولید رقم هیبرید باید لاین‌های[3] خالص با قدرت ترکیب‌پذیری بالا تهیه شوند که یکی از روش‌های آن، خودگشن کردن هیبریدهای موفق است (Ehdaei, 2012). از دستاوردهای به‌نژادی گوجه‌فرنگی، اهلی‌سازی، افزایش عملکرد و ایجاد ارقام برای تولید محصولات فرآوری‌شده است (Ehdaei, 2012). ارقام هیبرید گوجه‌فرنگی دارای مزایای فراوانی از جمله عملکرد بیشتر، بلوغ یکنواخت‌تر، کیفیت میوه بالا و مقاومت به بیماری‌ها هستند (Avdikos et al., 2021). با توجه به مزایای بذرهای هیبرید، کشاورزان علی‌رغم هزینه‌های بالا به کشت این بذرها علاقه‌مند هستند. اولین هیبریدهای تجاری در اواسط قرن بیستم با هدف ایجاد ژنوتیپ‌هایی[4] با هتروزیس[5] بالا و سازگاری با شرایط نامطلوب وارد بازار شدند. امروزه بیشتر محصول گوجه‌فرنگی هیبرید است و این نوع رقم دارای ارزش بالایی برای اصلاحگر است (Prohens-Tomás & Nuez, 2007). تولید بذر هیبرید تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد: ۱- انتخاب والدین مناسب با صفات مطلوب (عملکرد بالا، مقاومت به بیماری و سازگاری با شرایط محیطی)، ۲- شرایط اقلیمی مناسب (دما و رطوبت) برای رشد گیاه، ۳- مدیریت مزرعه (بررسی pH خاک و اجتناب از کشت در زمین‌های مشابه)، ۴- استفاده از روش‌های کنترل‌شده و دقیق برای گرده‌افشانی و ۵- مهار و مدیریت آفات و بیماری‌ها برای حفظ سلامت گیاه و افزایش کیفیت بذر (Colombo & Galmarini, 2017). بذر هیبرید از تلاقی دو والد ژنتیکی متمایز به دست می‌آید و ترکیبی از صفات خوب هر دو والد را دارد. این بذرها نسبت به والدین خود، پایداری و مقاومت بیشتری در برابر آفات و بیماری‌ها دارند. والدین باید خالص باشند و حداقل به مدت شش نسل خودگرده‌افشانی شده باشند که به این لاین‌ها اینبرد[6] (خویش‌آمیز) گفته می‌شود. برای تولید بذر هیبرید گوجه‌فرنگی، گرده از والد نر استخراج و روی والد ماده عقیم‌شده تلقیح می‌شود. سپس با استفاده از پاکت روی گل پوشانده و علامت‌گذاری می‌شود (Zhou et al., 2023). مطالعه‌ای در مؤسسه تحقیقات کشاورزی بنگلادش روی ۱۱ ژنوتیپ گوجه‌فرنگی نشان داد که تولید میوه در هیبریدها نسبت به والدین برتر خود در تابستان بیشتر بود (Yesmin et al., 2014). پژوهشی دیگر نشان داد که تکرار گرده‌افشانی پس از اخته‌سازی گل باعث افزایش کارآیی تشکیل میوه و بهبود تولید بذر هیبرید می‌شود، امّا تأثیر معنی‌داری بر کیفیت و قابلیت ذخیره‌سازی بذر ندارد (Patta et al., 2015). مطالعه آنیسا و همکاران (Anisa et al., 2022) نشان داد که انتخاب، بخش مهمی از اصلاح نباتات برای توسعه واریته‌های[7] پرمحصول است و هیبریدهای دابل کراس[8] تنوع ژنتیکی و فنوتیپی[9] بالایی دارند که انتخاب بهترین گیاه براساس پتانسیل[10] عملکرد آن‌ها را ضروری می‌کند. یکی از روش‌های اصلاحی، هیبریداسیون است که در گوجه‌فرنگی و سایر محصولات انجام می‌شود و از طریق تلاقی لاین خالص و حذف صفات نامطلوب توسط تلاقی بازگشتی، ارقام جدید گسترش می‌یابند (Iqbal et al., 2019). مطالعه چادری و همکاران (Chaudary et al., 2019) نشان داد که جهش‌زایی القایی می‌تواند بدون تغییر زمینه ژنتیکی اصلی، به بهبود صفات گیاهان از جمله گوجه‌فرنگی کمک کند و استفاده مؤثر از این روش در برنامه‌های اصلاحی می‌تواند منجر به افزایش کیفیت و عملکرد شود.

صفات مهم اصلاحی گوجه‌فرنگی عبارتند از عملکرد تک بوته، تعداد میوه در بوته، رسیدگی، سایه‌اندازی بوته، وزن تک میوه، سفتی میوه، مواد جامد محلول و اسیدیته میوه، شکل میوه، پایداری کاسبرگ روی میوه ومقاومت بوته به بیماری‌ها و ویروس‌ها. در فرآیند تولید و ارزیابی هیبریدهای گوجه‌فرنگی باید این صفات مورد توجه به‌نژادگر قرار گیرد. در پژوهشی، وراثت‌پذیری صفات کیفی گوجه‌فرنگی بررسی و مشخص شد که برخی صفات متفاوت و برخی مشابه بین نسل‌ها عمل می‌کنند؛ وراثت‌پذیری صفاتی مانند ماندگاری کم یا صفر، و صفاتی همچون وزن و شکل زیاد است (Del Medico et al., 2019). در مطالعه‌ای در دانشگاه کشاورزی و فناوری نارندا دوا هند روی ۳۵ ژنوتیپ گوجه‌فرنگی، ۱۳ صفت کمّی ارزیابی و وراثت‌پذیری بالا همراه با پیشرفت ژنتیکی بالا در برخی صفات مشاهده شد که نشان‌دهنده فرصت برای انتخاب بهتر است (Kerketta & Bahadur, 2019). میوه‌چی لنگرودی (Mivehchi Langaroudi, 2000) در مطالعه‌ای صفات مهم گوجه‌فرنگی را برای نسل‌های F1، F2 و F3 شامل عملکرد، زمان رسیدگی، شکل و اندازه میوه، میزان مواد جامد محلول (TSS)، سفتی میوه، ضخامت گوشت داخلی و سایر صفات مرتبط بررسی کرد. این مطالعه به بررسی صفات مهم

1- Open pollinated
2- Hybrid
3- Line
4- Genotype
5- Heterosis
6- Inbred
7- Variety
8- Double cross
9- Phenotype
10- Potential

گوجه‌فرنگی برای نسل‌های مختلف پرداخت. در پژوهشی دیگر به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های شکل میوه مانند نسبت طول به عرض، رنگ قرمز و نسبت مواد جامد محلول به اسیدیته قابل تیتراسیون می‌توانند به‌طور مؤثری با روش‌های اصلاحی و انتخاب کلاسیک تغییر کنند و بهبود یابند (Breksa et al., 2015). در مطالعه‌ای روی ۳۰ هیبرید و ۱۳ والد گوجه‌فرنگی، تنوع معنی‌داری در صفات مختلف مشاهده شد و نتایج نشان داد که انتخاب دوره‌ای با ترکیب متقابل بهترین روش است و وراثت‌پذیری برای بیشتر صفات پایین بود (Saleem et al., 2009). در مطالعه‌ای روی ۶۱ ژنوتیپ گوجه‌فرنگی و خانواده‌های وحشی، ۲۲ صفت مورفوفیزیولوژیکی با دستورالعمل‌های IPGRI اندازه‌گیری و نشان داده شد که تعامل بین ژنوتیپ و محیط بر ارزش‌دهی صفات تأثیر دارد و باید در مدیریت ژرم‌پلاسم و اصلاح گوجه‌فرنگی مد نظر قرار گیرد (Figàs et al., 2018).

هم‌اکنون بخش زیادی از بذر گوجه‌فرنگی کشور به‌صورت واردات از شرکت‌های بزرگ خارجی تأمین می‌شود. عمده ارقام واردشده هیبرید هستند. بااین‌حال متأسفانه هنوز در داخل کشور تلاش جدی برای تولید بذر برای این محصول پراهمیت انجام نشده است. به همین منظور در پروژه اصلاحی که در سال ۱۳۹۷ آغاز شد، جمعیت‌های در حال تفرق گوجه‌فرنگی تشکیل شد و ۱۵۰۰ بوته F2 به‌صورت بالک تک بذر[1] خودگشن گردید تا به نسل F6 برسند، از بین آن‌ها تعداد ۵۰ لاین برتر انتخاب شد. در گام بعدی این ۵۰ لاین برتر با هم تلاقی داده شدند و هیبریدهای حاصل از آن‌ها غربال شده و از بین ۱۸۰ هیبرید، ۲۶ هیبرید برتر انتخاب گشت. پیش از تجاری‌سازی، لازم بود که در یک مطالعه جامع، هیبریدهای منتخب با ارقام هیبرید تجاری خارجی مقایسه شوند. بنابراین هدف از این تحقیق، بررسی ۲۶ هیبرید مورد مطالعه است تا بهترین هیبریدها شناسایی شده و برای تولید تجاری مراحل بعدی طی شود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و روش اصلاحی مورد استفاده

مواد گیاهی شامل ۲۶ هیبرید منتخب از برنامه اصلاح گوجه‌فرنگی پردیس ابوریحان و سه رقم تجاری ‘Matin’، ‘Brivio’ و ‘Bedero’ و یک هیبرید قدیمی تولیدشده در شرکت ژینودانه دانش آریا با نام ‘H12’، به‌عنوان شاهد بودند که در قالب طرح آزمایشی بلوک کامل تصادفی[2] ارزیابی شدند. در هر واحد آزمایشی هشت بوته کشت گردید. این تحقیق در زمین زراعی واقع در محمدشهر، استان البرز و گلخانه و آزمایشگاه‌های گروه باغبانی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران طی سال‌های ۱۴۰۳-۱۴۰۲ اجرا شد. برای تهیه نشاء در بهمن ماه ۱۴۰۲، تعداد ۳۲ بذر از هر ژنوتیپ داخل سینی نشاء حاوی پیت‌ماس[3] و پرلیت[4] به‌نسبت ۱ به ۱ کشت گردید. آبیاری نشاها در صورت خشک شدن سطح بستر انجام شد. آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و مالچ‌کشی بود. نشاها در زمان ۵-۴ برگی به زمین اصلی منتقل و در دو ردیف با فاصله ۵۰ سانتی‌متر کشت شدند. همچنین فاصله بین ردیف‌ها دو متر بود. قبل از انتقال نشاء، زمین دو ساعت آبیاری شد و آبیاری به‌صورت قطره‌ای و دو نوبت در هفته انجام گردید.

در دوره رویشی بوته‌ها، دو بار وجین دستی صورت گرفت، خاک‌دهی در هفته‌های دوم و چهارم انجام شد و از کودهای مختلف استفاده گردید. کود هیومکس (هومی پاور پلاس شش درصد)[5] چهار لیتر در هکتار، کود ۱۰-۵۲-۱۰ (آرمان سبز آدینه) برای رشد ریشه، کود ۲۰ ۲۰ ۲۰ (آرمان سبز آدینه) و اوره (پریل ۴۶ درصد) برای تقویت رشد، و پتاسیم نیترات[6] (فرمولایف ۹۵ درصد) برای فاز زایشی به کار رفت. همچنین کود کلسیم نیترات[7] (بنیفر ۲۶ درصد) برای جلوگیری از پوسیدگی گلگاه و سولوپتاس[8] (پرینوا ۵۲ درصد) برای پر کردن میوه‌ها استفاده شد.

ارزیابی ویژگی‌های زراعی

ارزیابی مزرعه‌ای گوجه‌فرنگی در دو نوبت انجام و یادداشت‌برداری صورت گرفت. تعداد بوته‌های باقی‌مانده و بیمار ثبت شد تا خطایی در اندازه‌گیری صفات رخ ندهد. صفات به دو دسته کمّی و کیفی تقسیم شدند. صفات کمّی شامل تعداد خوشه، پایداری کاسبرگ روی میوه (درصد)، عملکرد (کیلوگرم در بوته)، تعداد میوه، ترک‌خوردگی میوه (درصد)، وزن متوسط میوه (گرم)، ضخامت گوشت (میلی‌متر)، قند میوه با واحد درجه بریکس، آفتاب‌سوختگی (درصد)، ترک‌خوردگی (درصد)، بدفرمی (درصد)، پوسیدگی گلگاه (درصد)، شاخص زودرسی (میانگین وزنی) و پراکنش زمان برداشت میوه (انحراف معیار زمان‌های برداشت) و اسیدیته و صفات کیفی شامل گستردگی بوته (امتیازدهی ۱ تا ۵)، یکنواختی شکل و اندازه میوه (امتیازدهی ۱ تا ۵)، بوته‌میری (تعداد) و آلودگی به بیماری‌ها و آفات (امتیازدهی ۱ تا ۴)

1- Single seed descend
2- Randomized Block Design

3- Peat moss
4- Pearlite
5- Humex
6- Potassium nitrate
7- Calcium nitrate
8- Soluptas

بودند. صفات کمّی به‌روش تجزیه واریانس و صفات کیفی به‌روش کروسکال- والیس[1] تجزیه و تحلیل شدند.

صفات مورد مطالعه در آزمایشگاه

بعد از برداشت میوه‌ها، تعداد ۱۰ میوه از هر کرت به آزمایشگاه منتقل شد و خصوصیات ظاهری مانند شکل (نسبت طول به عرض میوه)، سفتی (امتیازدهی ۱ تا ۳) و طول و عرض میوه (توسط کولیس[2] برحسب میلی‌متر) ثبت گردید. سپس میوه‌ها برش خورده و صفات دیگری مانند ضخامت گوشت (توسط کولیس برحسب میلی‌متر)، تعداد حفره، رنگ گوشت (امتیازدهی ۱ تا ۹)، اسیدیته، طعم (پنل تست[3] و امتیازدهی از ۱ تا ۵) و مواد جامد محلول (توسط رفراکتومتر[4])، شاخص طعم (تقسیم میزان مواد جامد محلول به‌میزان اسیدیته قابل تیتراسیون) و بافت گوشت میوه (امتیازدهی ۱ تا ۳) اندازه‌گیری شد. برای ارزیابی ماندگاری، چهار عدد گوجه‌فرنگی در ظرف یک بار مصرف قرار داده شد، زمانی‌که دو عدد از چهار عدد میوه غیرقابل مصرف بودند به‌عنوان زمان ماندگاری میوه ثبت شد (Saeedi et al., 2025).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در پایان، داده‌های اولیه وارد نرم‌افزار اکسل[5] شده و پس از مرتب‌سازی، آزمون نرمال بودن به‌روش کولموگروف-اسمیرنوف[6]، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها (با آزمون چنددامنه‌ای دانکن[7]) در نرم‌افزار SAS انجام شد. صفات کیفی توسط آزمون کروسکال- والیس و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به‌وسیله نرم‌افزار R تحلیل شدند.

نتایج و بحث

صفات کمّی

میانگین مربعات تجزیه واریانس برای صفات کمّی مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.

تعداد میوه در بوته

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که از نظر صفت تعداد میوه در بوته اختلاف معنی‌داری بین هیبریدهای مورد بررسی وجود داشت (شکل ۱). طبق نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین و کمترین تعداد میوه به‌ترتیب متعلق به هیبرید 'H114' (۸۳ عدد) و هیبرید' gH74' (۳۸ عدد) بود. همچنین ژنوتیپ‌های 'H25'، 'H163'، 'gH57'، 'gH182' و 'gH168' به همراه هیبریدهای تجاری 'Brivio' و 'Bedero' از تعداد میوه بالایی برخوردار بودند.

متوسط وزن میوه

مقایسه میانگین وزن میوه نشان داد که بیشترین وزن مربوط به هیبرید 'gH47' (۱۳۶ گرم) و کمترین وزن مربوط به 'gH15' (۶۲ گرم) بود. نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات کرکتا و بهادر (Kerketta & Bahadur, 2019) نشان داد که وزن میوه بر بازارپسندی تأثیر زیادی دارد. در ایران، میوه‌های با وزن متوسط (۷۰ تا ۱۰۰ گرم) ترجیح داده می‌شوند. تعداد زیادی از ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، وزن میوه‌ای مشابه ارقام تجاری دارند. هیبرید 'gH47' می‌تواند گزینه مناسبی برای تولید تجاری باشد، زیرا هرچه وزن میوه بالاتر باشد، محتوای ماده خشک و میزان قند آن کاهش می‌یابد (Prudent et al., 2009).

پایداری کاسبرگ روی میوه

بیشترین پایداری کاسبرگ روی میوه پس از برداشت مربوط به هیبرید 'gH54'(۶۰ درصد) و کمترین میزان آن مربوط به 'H95' (۱/۲۵ درصد) است. پایداری کاسبرگ بر ماندگاری و کیفیت میوه تأثیر دارد. هیبریدهای 'gH57'، 'gH55'، 'gH54'، 'gH53'، 'gH50'، 'gH47'، 'gH43'، 'gH4'، 'gH181'، 'gH168' و 'gH14' پایداری کاسبرگ بالایی داشتند، درحالی‌که هیبریدهای 'H95'، 'H186'، 'H165'، 'H146'، 'H114' و'H107' برای فرآوری مناسب‌تر بودند (Mostert, 2023).

شاخص زودرسی

مطابق نتایج به‌دست‌آمده، ارقام تفاوت زیادی از لحاظ زمان رسیدگی نداشتند، ولی اختلاف آن‌ها معنی‌دار بود (شکل ۴). براساس مقایسه میانگین‌ها، هیبریدهای 'H186'، 'H165'، 'H163' و 'H114' به همراه هیبرید تجاری 'Brivio' (کمتر از ۹۵ روز) از بقیه زودرس‌تر و هیبریدهای 'gH15'، 'gH74' و 'H12' (بیش از ۱۰۰ روز) از بقیه دیررس‌تر بودند.

هیبرید 'H114' کمترین زمان رسیدگی را داشت که می‌تواند به توانایی این هیبرید در رسیدن سریع‌تر به مرحله بلوغ مرتبط باشد. هیبریدهایی با زمان رسیدگی طولانی‌تر برای مناطق با فصل رشد طولانی‌تر مناسب‌تر هستند، درحالی‌که هیبریدهایی با زمان رسیدگی کوتاه‌تر می‌توانند در مناطق با فصل رشد کوتاه‌تر یا شرایط آب‌وهوایی نامساعدتر استفاده شوند.

1- Kruskal-Wallis
2- Caliper
3- Test panel
4- Refractometer
5- Excel
6- Normality test
7- Duncan

جدول ۱- تجزیه واریانس برخی از صفات کمّی مربوط به هیبریدهای مورد مطالعه گوجه‌فرنگی

Table 1- ANOVA for some quantitative traits related to the studied tomato hybrids

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares						
		پایداری کاسبرگ Calyx stability	ترک‌خوردگی میوه Fruit cracking	درصد بد شکلی Percentage of deformity	تعداد میوه در بوته Number of fruits per plant	وزن میوه Fruit weight	عملکرد در بوته Yield per plant	شاخص زودرسی Earliness index
بلوک Block	3	888.1**	19.43*	19.43^{ns}	2578.75**	300.47^{ns}	23.34**	54.05**
ژنوتیپ Genotype	29	933.52**	28.23**	109.84**	502.1**	1249.55**	1.36^{ns}	10.06**
خطا Error	87	187.33	7	30.06	184.13	309.47	1.41	4.66
ضریب تغییرات C.V (%)	-	49.04	119.86	66.36	13.57	19.62	27.56	2.21

^{ns}، ** و *: به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

^{ns}, ** and *: non-significant, and significant at $p\leq0.01$ and $p\leq0.05$, respectively

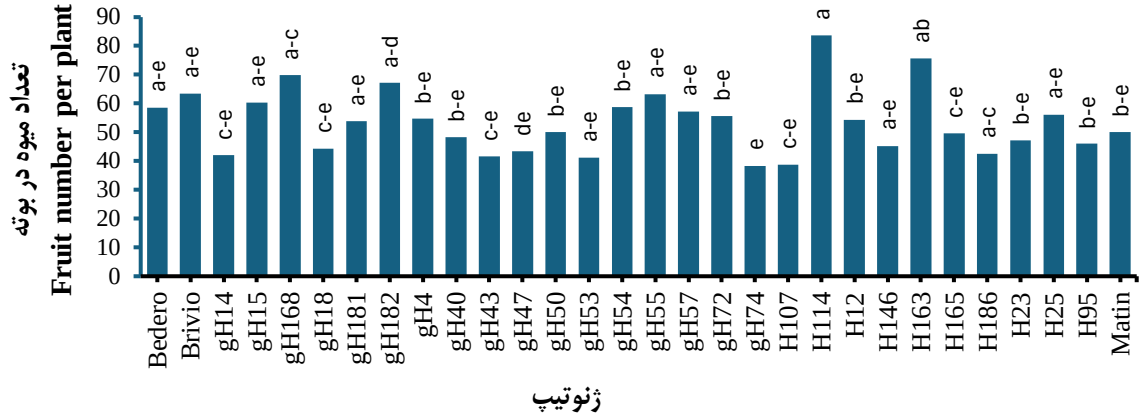
ادامه جدول ۱- تجزیه واریانس برخی از صفات کمّی مربوط به هیبریدهای مورد مطالعه گوجه‌فرنگی

Table 1- Continued- ANOVA for some quantitative traits related to the studied tomato hybrids

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares								
		پراکنش زمان برداشت میوه Fruit harvest time distribution	طول میوه Fruit length	عرض میوه Fruit width	قطر گوشت Flesh diameter	ماندگاری Durability	pH	مواد جامد محلول کل TSS	شاخص طعم Taste index	اسیدیته قابل تیتراسیون TA
بلوک Block	3	5.49**	12.92^{ns}	16.32^{ns}	1.11*	12.86^{ns}	0.74**	1.02**	0.13^{ns}	0.97^{ns}
ژنوتیپ Genotype	29	0.67**	139.13**	104.48**	1.22*	20.2**	0.15*	0.4*	0.0005**	0.002**
خطا Error	87	0.31	13.69	19.63	0.83	7.87	0.08	0.22	7.7	0.006
ضریب تغییرات C.V (%)	-	6.75	6.3	7.4	12.52	28.49	5.22	9.3	19.75	20.75

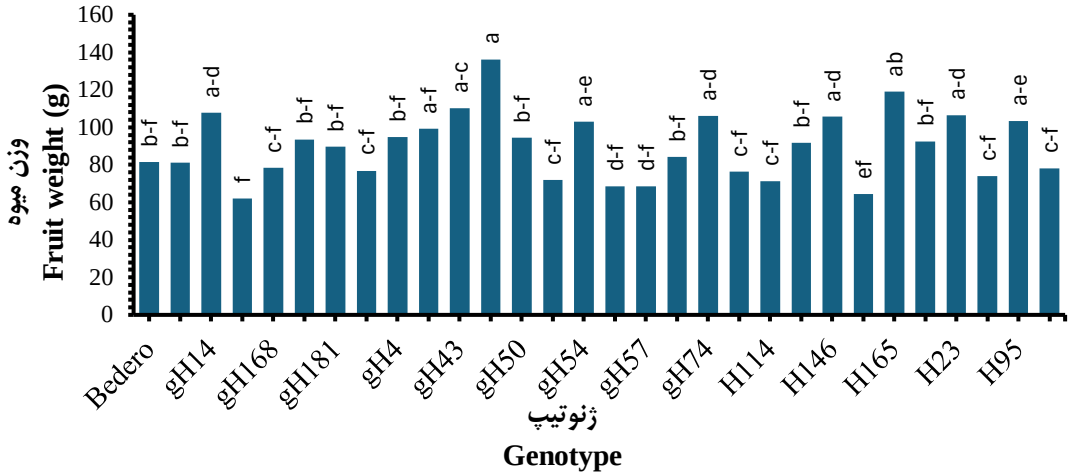
^{ns}، ** و *: به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

^{ns}, ** and *: non-significant, and significant at $p\leq0.01$ and $p\leq0.05$, respectively



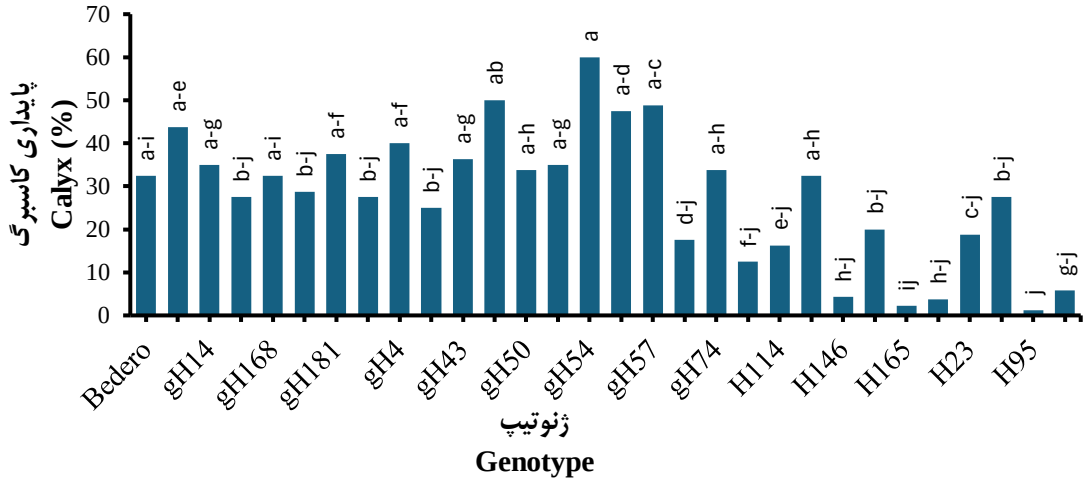
شکل ۱- تعداد میوه در بوته در هیبریدهای مورد مطالعه گوجه‌فرنگی

Figure 1- The fruit number per plant in tomato hybrids (DMRT, *p≤0.05*)



شکل ۲- وزن میوه در هیبریدهای مورد مطالعه گوجه‌فرنگی

Figure 2- The fruit weight in tomato hybrids (DMRT, *p≤0.05*)



شکل ۳- پایداری کاسبرگ میوه در هیبریدهای مورد مطالعه گوجه‌فرنگی

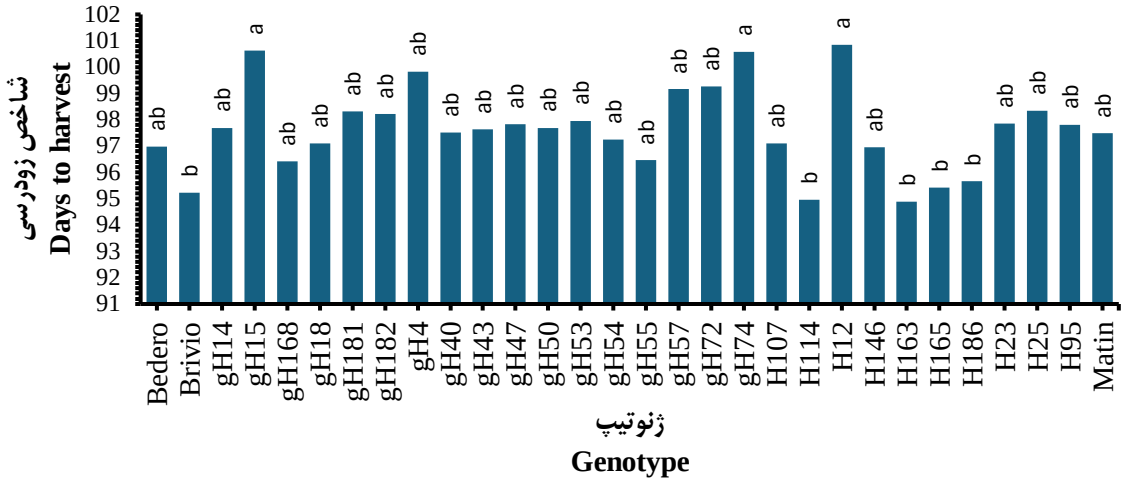
Figure 3- The fruit calyx stability in tomato hybrids (DMRT, *p≤0.05*)

ماندگاری میوه

بیشترین ماندگاری به هیبریدهای ’gH168‘ (۱۳ روز)، ’gH181‘ (۱۲ روز)، ’gH54‘ (۱۱ روز) و رقم تجاری ’Bedero‘ (۱۴ روز) تعلق داشت و کمترین ماندگاری مربوط به هیبریدهای ’H186‘ (۴ روز) ’H23‘، ’H165‘ و ’H146‘ بود (شکل ۵). ماندگاری اغلب هیبریدها در سطح رقم تجاری ’Brivio‘ و قابل قبول بود.

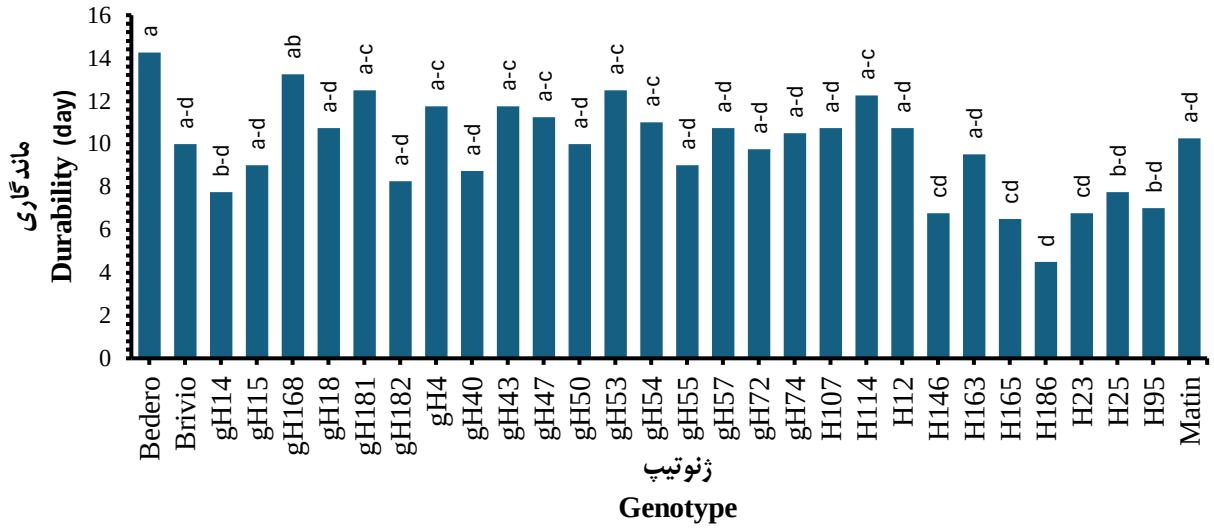
اسیدیته (pH)

براساس داده‌ها، بیشترین میزان اسیدیته را هیبریدهای ’gH55‘ (۵/۸)، ’gH18‘ (۵/۷۸)، ’gH57‘ (۵/۷۴)، ’gH47‘ (۵/۷) و رقم تجاری ’Brivio‘ (۵/۸) داشتند و کمترین میزان آن متعلق به هیبرید ’gH4‘ (۵) بود (شکل ۶). میزان پایین اسیدیته نشان‌دهنده ترش بودن محصول است. همچنین اسیدیته میوه یکی از مهم‌ترین صفات کیفی در ارزیابی میوه‌ها است که تأثیر زیادی بر طعم، ماندگاری و پذیرش بازار دارد.



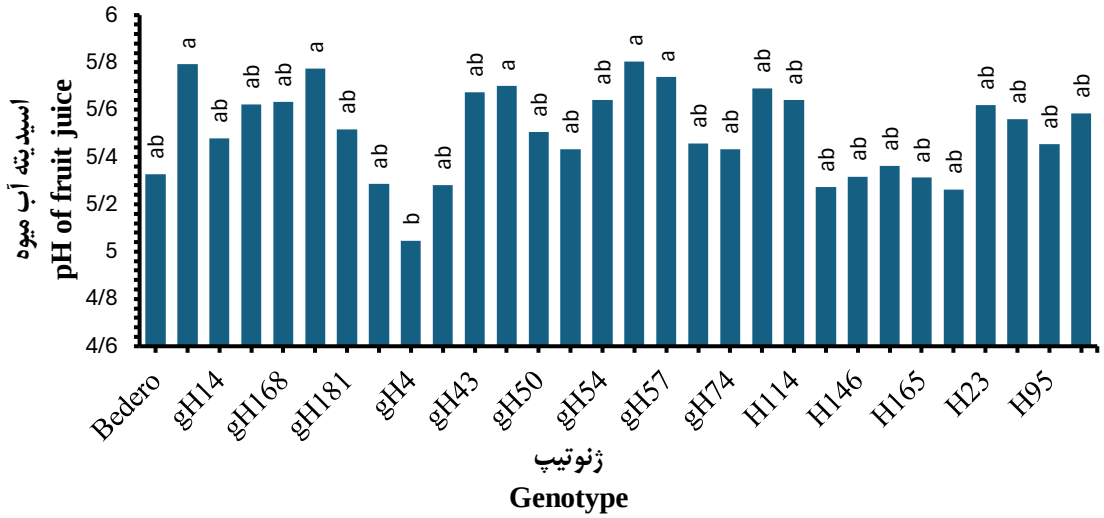
شکل ۴- میانگین وزنی روز تا برداشت میوه در هیبریدهای مورد مطالعه گوجه‌فرنگی

Figure 4- The weighted average days to fruit harvest in tomato hybrids (DMRT, *p≤0.05*)



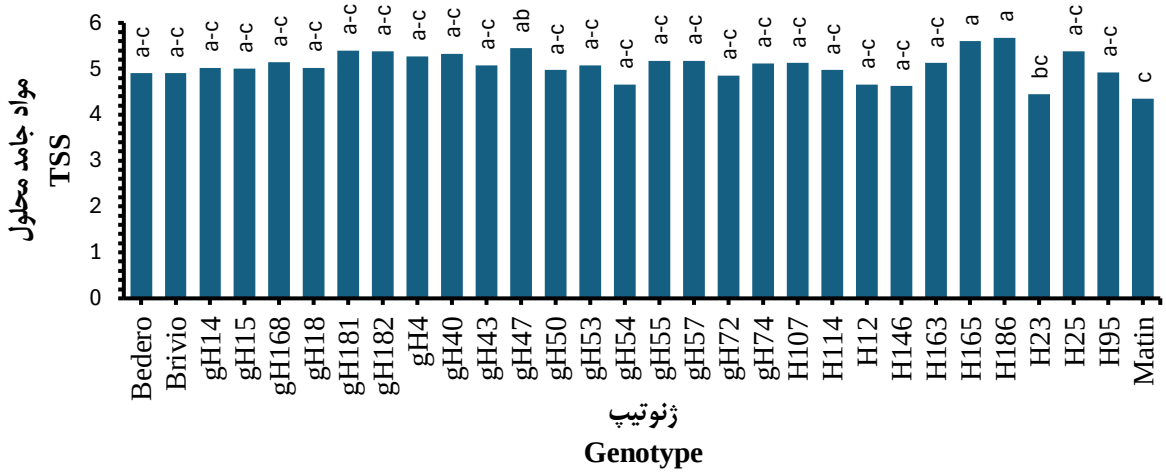
شکل ۵- میزان ماندگاری در هیبریدهای مورد مطالعه گوجه‌فرنگی

Figure 5– The durability of tomato hybrids (DMRT, *p≤0.05*)



شکل ۶- pH آب میوه در هیبریدهای مورد مطالعه گوجه‌فرنگی

Figure 6- The fruit juice pH in tomato hybrids (DMRT, *p≤0.05*)



شکل ۷- مواد جامد محلول آب میوه در هیبریدهای مورد مطالعه گوجه‌فرنگی

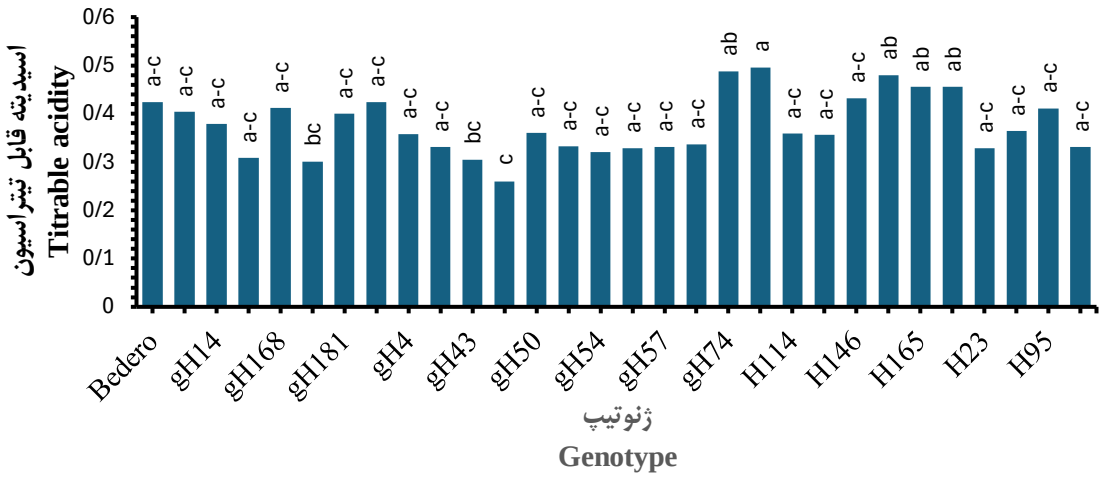
Figure 7- The TSS content of fruit juice in tomato hybrids (DMRT, *p≤0.05*)

مواد جامد محلول (TSS)

براساس نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین میزان مواد جامد محلول را هیبریدهای ’H165‘ (۵/۶) و ’H186‘ (۵/۶) و کمترین میزان آن را رقم تجاری ’Matin‘ (۴/۳۵) به خود اختصاص دادند (شکل ۷). عملکرد هیبریدهای ’H165‘ و ’H186‘ بالاتر از میزان عملکرد ارقام تجاری ’Bedero‘ و ’Brivio‘ بود.

اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)

مطابق نتایج، بیشترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون مربوط به هیبرید ’H107‘ (۰/۵)، ’gH74‘ (۰/۴۹)، ’H163‘ (۰/۴۸)، ’H165‘ (۰/۴۶) و ’H186‘ (۰/۴۶) و کمترین آن مربوط به هیبرید ’gH47‘ (۰/۲۶) بود (شکل ۸). میزان اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) در گوجه‌فرنگی می‌تواند بر طعم و ماندگاری آن تأثیر بگذارد. میزان بالای مواد جامد محلول و اسیدیته پایین باعث خوش‌طعم‌تر شدن میوه می‌گردد. با توجه به نتایج ارائه‌شده در شکل ۸، هیبریدهای ’H186‘، ’H165‘، ’gH182‘، ’gH4‘، ’gH40‘ و ’H163‘ دارای اسیدیته پایین و میزان مواد جامد محلول بالایی بودند که در نهایت عملکرد بهتری نسبت به ارقام تجاری ’Bedero‘ و ’Brivio‘ داشتند. این نتیجه نشان می‌دهد که این هیبریدها از نظر طعم عملکرد بهتری نسبت به سایر هیبریدها داشتند. در مقابل، هیبریدهای ’H23‘، ’gH54‘ و رقم تجاری ’Matin‘ دارای میزان مواد جامد محلول پایین و اسیدیته بالایی بودند که عملکرد خوبی از نظر طعم نداشتند.



شکل ۸- میزان اسیدیته قابل تیتراسیون آب میوه در هیبریدهای مورد مطالعه گوجه‌فرنگی

Figure 8- The titratable acidity of fruit juice in tomato hybrids (DMRT, $p\leq0.05$)

هرچه تعداد میوه در یک بوته بیشتر باشد نشان‌دهنده عملکرد بهتر هیبرید بوده و صرفه اقتصادی بالاتری برای کشت دارد. در این پژوهش، هیبریدهای 'H114' و 'H163'، عملکرد بهتری از نظر تعداد میوه نسبت به ارقام تجاری 'Bedero' و 'Brivio' داشتند. اندازه و وزن میوه تأثیر زیادی در بازارپسندی رقم دارد و به‌شدت تحت تأثیر نظر مصرف‌کننده می‌باشد. در برخی مناطق و کشورها، ارقام با میوه‌های خیلی درشت (بالای ۱۰۰ گرم) مورد پسند واقع می‌شوند، ولی در کشور ما اغلب میوه‌های با وزن متوسط (۷۰ تا ۱۰۰ گرم) ترجیح داده می‌شوند. تعداد زیادی از ژنوتیپ‌های مورد مطالعه دارای وزن میوه متوسط، هم‌تراز ارقام هیبرید تجاری 'Brivio'و 'Bedero'بودند. همچنین هیبرید 'gH47' می‌تواند به‌عنوان یک گزینه مناسب درشت میوه برای تولید تجاری مورد توجه قرار گیرد. هرچه وزن تازه میوه بالاتر باشد، محتوای ماده خشک و میزان قند آن کاهش می‌یابد (Prudent et al., 2009).

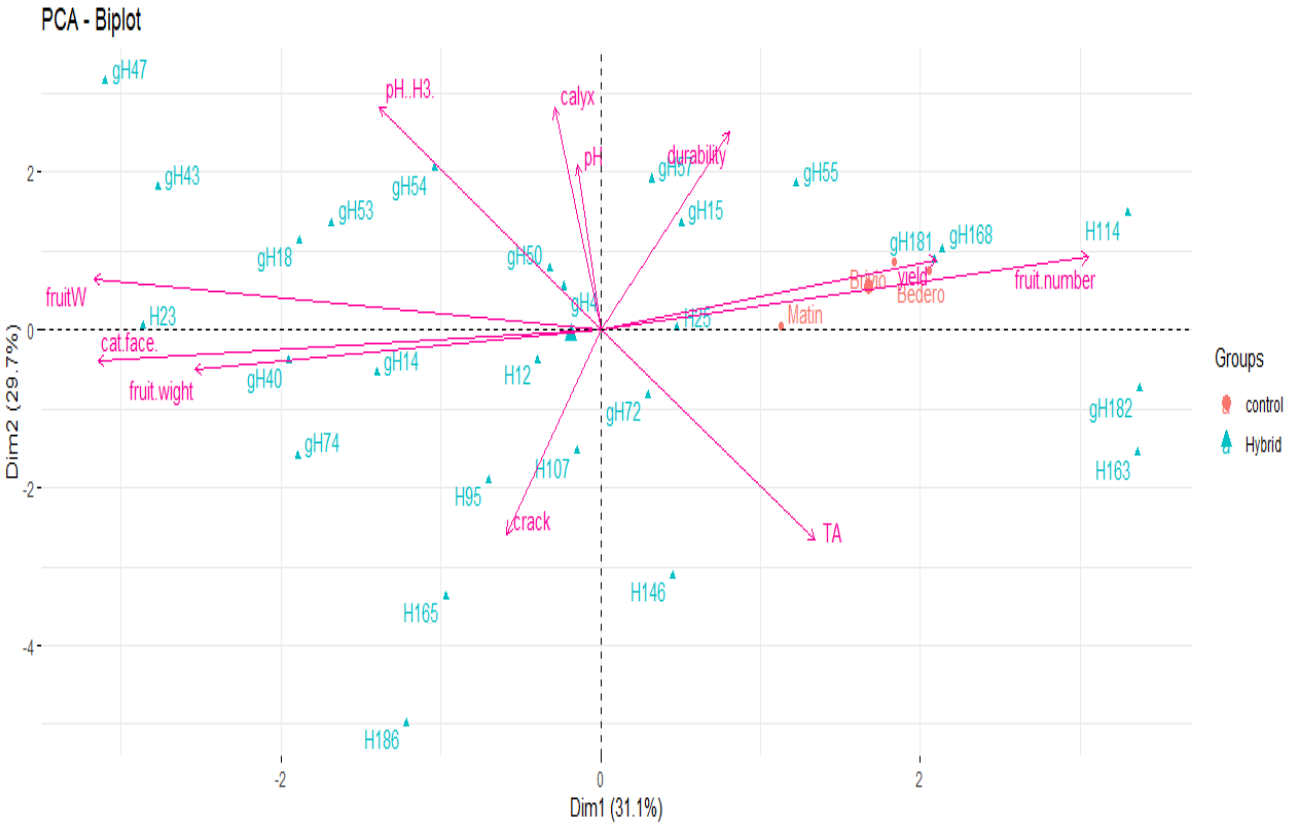
پایداری کاسبرگ، یکی از عوامل مؤثر بر میزان ماندگاری، کیفیت میوه و بازارپسندی محصول است (Mostert, 2023). باقی ماندن کاسبرگ روی میوه در ارقام تازه‌خوری، نشانه تازگی میوه در بازار است و به جذابیت ظاهری آن می‌افزاید، درحالی‌که برای اهداف فرآوری گوجه‌فرنگی اغلب صفتی منفی محسوب می‌شود. زودرسی به‌شرط آنکه کاهش زیادی در عملکرد ایجاد نکند برای فروش اول فصل بسیار مهم است. خوشبختانه در این تحقیق، بسیاری از ارقام هیبرید از نظر رسیدگی تفاوت معنی‌داری نسبت به ارقام هیبرید تجاری نشان ندادند. در پژوهشی که توسط هناره و همکاران (Henareh et al., 2015) منتشر شده است، به بررسی ارتباط بین عملکرد و صفات مختلف گوجه‌فرنگی پرداخته شد. نتایج این مطالعه نشان داد که تعداد روز تا رسیدگی میوه با عملکرد و سایر صفات ریخت‌شناختی مانند طول و عرض برگ‌ها، وزن میوه، قطر و طول میوه، ضخامت پریکارپ و طول دم میوه همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد. این مطالعه همچنین نشان داد که ارقام مختلف گوجه‌فرنگی از نظر تعداد روز تا رسیدگی تفاوت‌های معنی‌داری دارند و این صفت می‌تواند به‌عنوان یکی از معیارهای انتخاب ارقام مناسب برای بهبود عملکرد و کیفیت محصول مورد استفاده قرار گیرد.

ماندگاری گوجه‌فرنگی به‌میزان نرم شدن میوه که همراه با رسیدن میوه است و آسیب را در طول حمل و نقل و جابجایی تشدید می‌کند، بستگی دارد (Thole et al., 2020). در مطالعه‌ای که توسط ردی و همکاران (Reddy et al., 2013) صورت گرفت، مشخص شد که صفت ماندگاری در ۱۹ ژنوتیپ مختلف در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار بود. نگهداری میوه در دمای نسبتاً پایین، کارآمدترین روش برای حفظ کیفیت میوه گوجه‌فرنگی است، زیرا این دما باعث کاهش نرخ تنفس، تعرق، تولید اتیلن، رسیدگی، پیری و توسعه پوسیدگی می‌شود. عمر مفید میوه‌های گوجه‌فرنگی به نوع واریته، شرایط نگهداری و وجود یا عدم وجود نگهدارنده‌های گیاهی بستگی دارد (Garuba et al., 2018).

میزان پایین اسیدیته نشان‌دهنده ترش بودن محصول است. همچنین اسیدیته میوه یکی از مهم‌ترین صفات کیفی در ارزیابی میوه‌ها است که تأثیر زیادی بر طعم، ماندگاری و پذیرش بازار دارد. در پژوهشی که توسط ال–دیری و همکاران (Al-Dairi et al., 2021) انجام شد، میزان اسیدیته گوجه‌فرنگی بین ۴/۲۵ تا ۴/۸۵ گزارش گردید. در آزمایش انجام‌شده در این پژوهش، میزان اسیدیته گوجه‌فرنگی بین ۵ تا ۵/۸ به دست آمد.

مواد جامد محلول، یکی از مهم‌ترین صفات کیفی در ارزیابی میوه‌ها است که تأثیر زیادی بر طعم، کیفیت تغذیه‌ای و پذیرش بازار دارد. بنابراین، انتخاب هیبریدهایی با میزان مواد جامد محلول بالا می‌تواند به بهبود کیفیت محصول و افزایش بازارپسندی آن کمک کند (Al-Dairi et al., 2021). در این مطالعه، مواد جامد محلول هیبریدهای ’H165‘ و ’H186‘ بالاتر از میزان آن در ارقام تجاری ’Bedero‘و ’Brivio‘بود.

اسیدیته قابل تیتراسیون بالاتر معمولاً به‌معنای طعم تندتر و ترش‌تر است که می‌تواند برای برخی مصرف‌کنندگان و همچنین تهیه سس‌ها و کنسروها مطلوب باشد. همچنین اسیدیته بالاتر می‌تواند به افزایش ماندگاری گوجه‌فرنگی کمک کند، زیرا محیط اسیدی‌تر رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها را محدود می‌کند. از سوی دیگر، اسیدیته پایین‌تر ممکن است طعم ملایم‌تری داشته باشد که برای برخی دیگر از مصرف‌کنندگان جذاب‌تر است، امّا میوه‌هایی که اسیدیته پایینی دارند دارای ماندگاری پایین‌تری هستند. بنابراین، انتخاب مناسب بستگی به هدف نهایی و ترجیحات مصرف‌کنندگان دارد.



شکل ۹- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صفات کمّی در هیبریدهای مورد مطالعه گوجه‌فرنگی

Figure 9- Principal component analysis of quantitative traits in the studied tomato hybrids

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صفات کمّی

تجزیه فاکتور به‌روش چرخش وریمکس [1] انجام داده شد که در مجموع ۶۰/۸ درصد تغییرات را توجیه کردند. فاکتور ۱ تحت تأثیر صفات عرض میوه، بدشکلی، تعداد میوه، وزن میوه و عملکرد به‌ازای تک بوته و فاکتور دوم تحت تأثیر صفات ماندگاری، اسیدیته، اسیدیته قابل تیتراسیون، ترک‌خوردگی، درصد پایداری کاسبرگ و اسیدیته برداشت سوم می‌باشد (جدول ۲). طبق شکل ۹، مؤلفه اول تحت تأثیر عملکرد و اجزاء عملکرد و مؤلفه دوم تحت تأثیر ویژگی‌های ظاهر و کیفیت میوه بود. هیبریدهای ’H114‘، ’H163‘، ’gH182‘، ’gH168‘، ’gH181‘ و ’gH55‘ در کنار ارقام تجاری ’Bedero‘، ’Brivio‘و ’Matin‘ بیشترین تعداد میوه و عملکرد در بوته، مقدار مناسب اسیدیته قابل تیتراسیون و ماندگاری قابل قبولی داشتند. هیبریدهای ’gH47‘، ’gH43‘، ’H23‘، ’gH18‘ و ’gH40‘ دارای بیشترین وزن میوه، ترک‌خوردگی و عرض میوه بودند.

1- Rotate varimax

جدول ۲- آزمون کروسکال - والیس برای صفات رتبه‌ای در بین هیبریدهای مورد مطالعه گوجه‌فرنگی

Table 2- Kruskal-Wallis test for ordinal traits among the studied tomato hybrids

نام صفت Trait name	درجه آزادی df	کای اسکوئر Chi-square	احتمال Probability
میزان گستردگی بوته Plant spread	29	29.94	0.42
یکنواختی شکل و اندازه میوه‌ها Uniformity of fruit shape and size	29	53.81	0.003
سهولت برداشت میوه Fruit harvesting ease	29	21.54	0.84
تعداد خوشه گل روی ساقه اصلی Flower cluster count on the main stem	29	48.61	0.012
فرم رشد Growth form	29	29	0.47
تعداد بوته‌میری Wilting plant count	29	27.46	0.55
تعداد بوته رنجور Anthracnose plant count	29	23.37	0.76
درصد آفتاب‌سوختگی Sunburn percentage	29	26.98	0.57
درصد پوسیدگی گلگاه Blossom end rot percentage	29	55.45	0.002
درصد رنگ‌گیری غیریکنواخت Uneven color percentage	29	33.11	0.27
تعداد بوته باقی‌مانده Remaining plant count	29	37.34	0.14
آلودگی ویروسی Virus contamination	29	21.65	0.83
آلودگی به کنه و سایر آفات Mite and pest infestation	29	21.65	0.83
شکل میوه Fruit shape	29	103.24	<0.0001
رنگ گوشت میوه Fruit flesh color	29	48.57	0.013
سفتی میوه Fruit firmness	29	50.27	0.008
تعداد حفره در برش عرضی Number of cavities in cross-section	29	68.73	<0.0001
طعم Taste	29	30.14	0.41
بافت گوشت Flesh texture	29	47.58	0.016

صفات کیفی

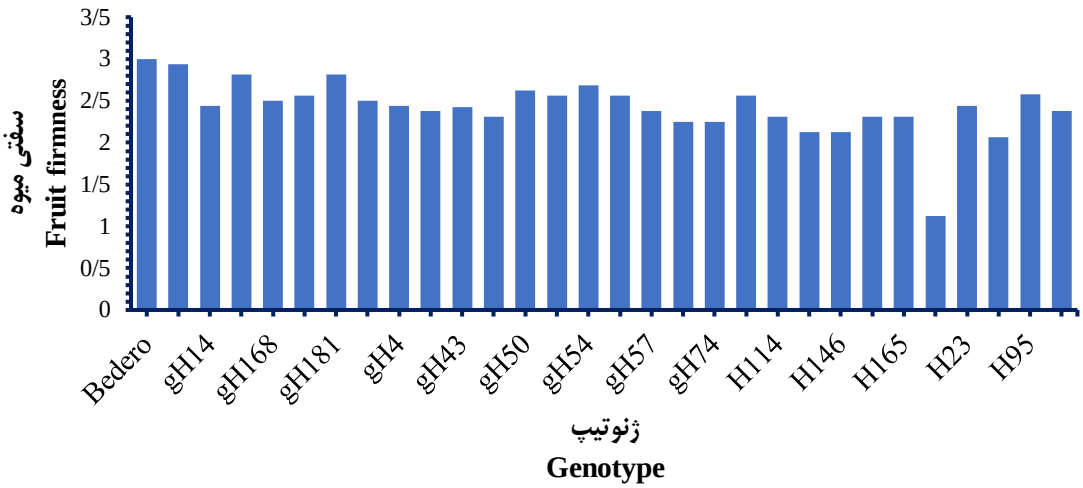
نتایج بررسی صفات کیفی با استفاده از مقیاس رتبه‌بندی آزمون کروسکال- والیس سنجیده و در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

سفتی میوه

با توجه به نتایج، بیشترین سفتی را ارقام تجاری ’Brivio‘ و ’Bedero‘داشتند که هیبریدهای ’gH15‘، ’gH181‘، ’gH50‘، ’gH54‘، ’H107‘، ’H23‘ و ’H95‘ عملکردی مشابه با آن‌ها داشتند. در مقابل، نرم‌ترین میوه به هیبرید ’H186‘ تعلق داشت (شکل ۱۰). هیبریدهایی که سفتی میوه بالاتری داشتند، ممکن است برای بازارهای تجاری که به ماندگاری و حمل‌ونقل محصول اهمیت می‌دهند، مناسب‌تر باشند. درحالی‌که هیبریدهایی با سفتی کمتر می‌توانند در شرایطی که مصرف تازه و طعم میوه اهمیت بیشتری دارد، مورد استفاده قرار گیرند. صفت سفتی میوه تأثیر زیادی بر میزان عمر انباری آن و همچنین میزان بازارپسندی میوه دارد (Kumar et al., 2022).

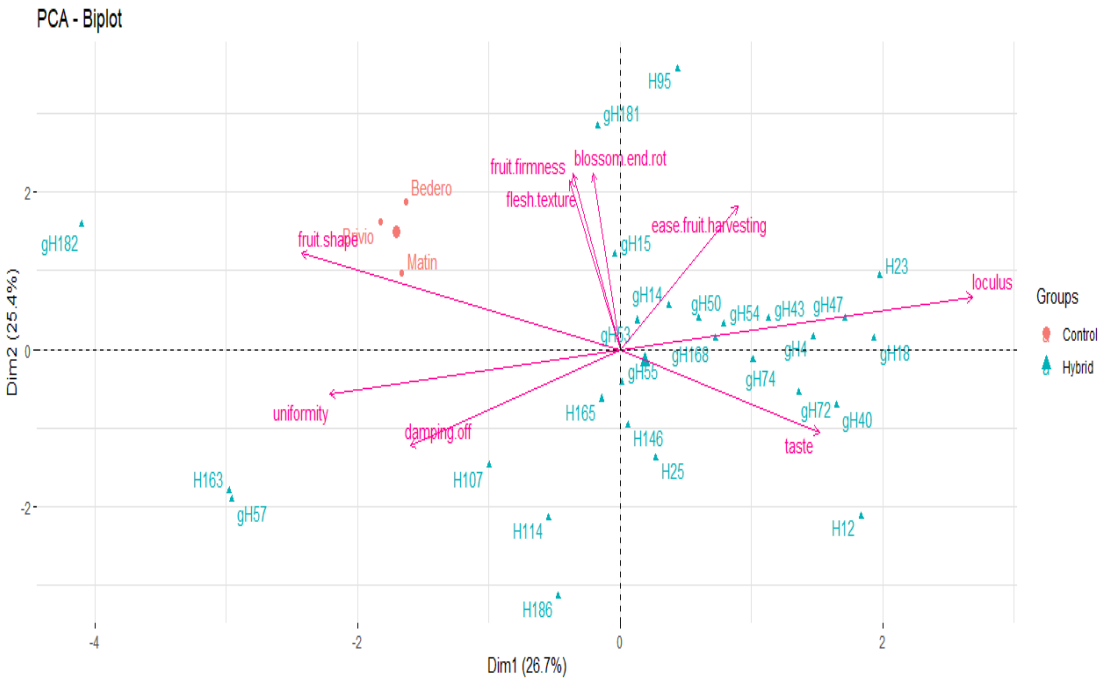
تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صفات کیفی

تجزیه به فاکتور به‌روش چرخش وریمکس انجام شد که در مجموع فاکتورهای اول و دوم میزان ۵۲/۱ درصد تغییرات را توجیه کردند. طبق شکل ۱۱، مؤلفه اول تحت تأثیر شکل ظاهری میوه و مؤلفه دوم تحت تأثیر سفتی و بافت میوه بود. هیبرید ‘gH182’ بیشترین کشیدگی میوه را داشت و هیبریدهای ‘gH57’، ‘H163’ و ‘H107’ در کنار ارقام تجاری ‘Brivio’، ‘Matin’ و ‘Bedero’تقریباً کشیدگی یکسانی داشتند و همچنین از یکنواختی بالایی برخوردار بودند. هیبریدهای ‘gH181’، ‘H95’ و’gH15’ بالاترین میزان سفتی میوه، بالاترین سفتی گوشت میوه و بیشترین میزان پوسیدگی گلگاه را به خود اختصاص دادند.



شکل ۱۰- رتبه سفتی میوه برای هیبریدهای گوجه‌فرنگی

Figure 10- The firmness rank of fruits for tomato hybrids



شکل ۱۱- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای صفات کیفی در هیبریدهای مورد مطالعه گوجه‌فرنگی

Figure 11- Principal component analysis for qualitative traits in the studied tomato hybrids

نتیجه‌گیری

تولید ارقام هیبرید، یکی از مهم‌ترین اهداف در پیشبرد اصلاح گیاهان می‌باشد. با توجه به اینکه بیشتر بذر هیبرید کشور وارداتی است، در این مطالعه سعی شد تا هیبریدهای تولیدشده داخلی که در نتیجه برنامه جامع اصلاح گوجه‌فرنگی در دانشگاه تهران است، نسبت به هم مقایسه شوند. براساس نتایج به‌دست‌آمده، اختلاف معنی‌داری بین هیبریدهای مورد مطالعه از نظر بسیاری از صفات کلیدی کمّی و کیفی وجود داشت. در بین هیبریدهای مورد مطالعه، برخی قابلیت رقابت با ارقام تجاری که به‌عنوان رقم شاهد کشت شده بودند، داشتند. برای شناسایی بهترین هیبریدها از بین تمامی هیبریدهای آزمایشی طبق بررسی‌های انجام‌شده روی صفات اندازه‌گیری‌شده، صفات مورد ارزیابی از لحاظ درجه اهمیت مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بدین‌گونه که تمامی صفات به‌صورت هم‌زمان در تمامی هیبریدها بررسی و آنالیز شد. برای هر صفت تعدادی از هیبریدها برتر از بقیه هیبریدها بودند. هیبرید ’H163‘ از نظر تعداد میوه، متوسط وزن میوه، اسیدیته، مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون جزء سه هیبرید برتر شناخته شد. همچنین هیبرید ’gH55‘ از نظر متوسط وزن میوه، پایداری کاسبرگ، مواد جامد محلول و سفتی میوه و هیبرید ’gH57‘ در صفات متوسط وزن میوه، پایداری کاسبرگ، شاخص زودرسی، ماندگاری و مواد جامد محلول در بین سه هیبرید برتر قرار گرفتند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در مورد صفات اندازه‌گیری‌شده، این سه هیبرید به‌عنوان برترین هیبریدها برگزیده شدند (شکل ۱۲).

سپاسگزاری

سپاس و قدردانی ویژه از تیم محترم شرکت ژینودانه و دانشگاه تهران که با حمایت‌های بی‌دریغ نقش بسزایی در پیشبرد این مطالعه داشته‌اند.



شکل ۱۲- هیبریدهای برتر (بالا) و هیبریدهای تجاری (پایین) گوجه‌فرنگی

Figure 12 - Superior hybrids (top) and commercial hybrids (bottom) of tomato.

References

1. Al-Dairi, M., Pathare, P. B., & Al-Yahyai, R. (2021). Chemical and nutritional quality changes of tomato during postharvest transportation and storage. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *20*(6), 401–408. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.05.001
2. Anisa, W. N., Afifah, E. N., & Murti, R. H. (2022). Selection of tomato breeding lines based on morphological traits associated with high yield potential in double-cross population. *Biodiversitas*, *23*(6), 2973–2980. https://doi.org/10.13057/biodiv/d230624
3. Avdikos, I. D., Tagiakas, R., Tsouvaltzis, P., Mylonas, I., Xynias, I. N., & Mavromatis, A. G. (2021). Comparative evaluation of tomato hybrids and inbred lines for fruit quality traits. *Agronomy*, *11*(3), 1–14.

https://doi.org/10.3390/agronomy11030609
4. Bai, Y., & Lindhout, P. (2007). Domestication and breeding of tomatoes: What have we gained and what can we gain in the future? In *Annals of Botany* (Vol. 100, Issue 5, pp. 1085–1094). https://doi.org/10.1093/aob/mcm150
5. Breksa, A. P., Robertson, L. D., Labate, J. A., King, B. A., & King, D. E. (2015). Physicochemical and morphological analysis of ten tomato varieties identifies quality traits more readily manipulated through breeding and traditional selection methods. *Journal of Food Composition and Analysis*, *42*(6), 16–25. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.02.011
6. Chaudary, Yadav, S. K., Shivaraj, S. M., & Sonah, H. (2019). Mutation Breeding in Tomato: Advances, Applicability and Challenges . Plants , 8(5), 1-17. https://doi.org/10.3390/plants8050128
7. Chauhan, A., Sharma, D., Kumar, R., & Shiwani, K. (2021). Methods of propagation in vegetable crops. *Recent Trends in Propagation of Forest and Horticultural Crops*, *October*, 270–281. https://www.researchgate.net/publication/355393673
8. Colombo, N., & Galmarini, C. R. (2017). The use of genetic, manual and chemical methods to control pollination in vegetable hybrid seed production: A review. *Plant Breeding*, *136*(3), 287–299. https://doi.org/10.1111/pbr.12473
9. Del Medico, A. P., Cabodevila, V. G., Vitelleschi, M. S., & Pratta, G. R. (2019). Multivariate estimate of heritability for quality traits in tomatoes by the multiple factor analysis. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, *54*, 1-8 https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00064
10. Ehdaei, B. (2012). Plant Breeding. University of Tehran Publications, Tehran, Iran .471 p. (in Persian).
11. FAO. 2022. FAOSTAT production crops. https://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor.
12. Figàs, M. R., Prohens, J., Casanova, C., Fernández-de-Córdova, P., & Soler, S. (2018). Variation of morphological descriptors for the evaluation of tomato germplasm and their stability across different growing conditions. *Scientia Horticulturae*, *238*, 107–115. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.039
13. Garuba, T., Mustapha, O. T., & Oyeyiola, G. P. (2018). Shelf life and proximate composition of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits as influenced by storage methods. *Ceylon Journal of Science*, *47*(4), 387. https://doi.org/10.4038/cjs.v47i4.7557
14. Henareh M, Dursun A and Abdoullahi Mandoulakani B (2015) Genetic diversity in tomato landraces collected from Turkey and Iran revealed by morphological characters. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus*, *14*(2): 87-96. https://czasopisma.up.lublin.pl/asphc/article/view/2560.
15. Iqbal, R. K., Saeed, K., Khan, A., Noreen, I., & Bashir, R. (2019). Tomato (Lycopersicum Esculentum) Fruit Improvement through Breeding. *Inno Scholar Journal of Applied Sciences and Research*, *2*(7), 7–21. https://innovationinfo.org/articles/SJASR/SJASR-1-243.pdf
16. Kerketta, A., & Bahadur, V. (2019). Genetic Variability, Heritability and Genetic Advance for Yield and Yield Contributing Characters in Tomato (Solanum lycopersicumL.) Genotypes. *Plant Archives*, *7*(3), 577–582. https://doi.org/10.5539/jas.v7n3p148
17. Kumar, R., Paul, V., Pandey, R., Sahoo, R. N., Gupta, V. K., Asrey, R., & Jha, S. K. (2022). Reflectance based non-destructive assessment of tomato fruit firmness. *Plant Physiology Reports*, *27*(3), 374–382. https://doi.org/10.1007/s40502-022-00678-5
18. Mivehchi Langaroudi, H. (2000). Comparison of yield and quality of 15 tomato cultivars in Bushehr province. *Seed and Plant Journal*, *16*(3), 386–389.(in Persian with English abstract)
19. Mostert, S. (2023). Optimise 2 , 4-D applications and investigate alternatives for calyx retention. *Plant Breeding 25*(3). https://doi.org/10.5987/0974-4517.2023.00740.3 .
20. Patta, S., Vari, A. K., Tomar, B. S., & Singh, B. (2015). Standardization of seed production technology in hybrid tomato (Solanum lycopersicum L.) . *Applied Biological Research*, *17*(3), 280. https://doi.org/10.5958/0974-4517.2015.00040.3
21. Prohens-Tomás, J., & Nuez, F. (2007). *Vegetables II: Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae, and Umbelliferae* (J. Prohens (ed.); Vol. 2). Springer Science & Business Media.
22. Prudent, M., Causse, M., Génard, M., Tripodi, P., Grandillo, S., & Bertin, N. (2009). Genetic and physiological analysis of tomato fruit weight and composition: Influence of carbon availability on QTL detection. *Journal of Experimental Botany*, *60*(3), 923–937. https://doi.org/10.1093/jxb/ern338
23. Reddy, B. R., Reddy, D. S., Reddaiah, K., & Sunil, N. (2013). Studies on genetic variability, heritability and genetic advance for yield and quality traits in tomato (Solanum lycopersicum L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *2*(9), 238–244. http://www.chemijournal.com
24. Saeedi, M., Mirdehghan, S. H., Koushesh Saba, M., & Nazoori, F. (2025). Strategies to preserve quality and improve storage life of fresh in-hull pistachio: a review. *Postharvest Biology and Technology*, *230*,

113751. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2025.113751
25. Saleem, M. Y., Asghar, M., Haq, M. A., Rafique, T., Kamran, A., & Khan, A. A. (2009). Genetic analysis to identify suitable parents for hybrid seed production in tomato (Lycopersicon esculentum Mill.). *Pakistan Journal of Botany*, *41*(3), 1107–1116. http://www.plantarchives.org/PDF%2019-1/559-564%20(4842).pdf
26. Thole, V., Vain, P., Yang, R. Y., Almeida Barros da Silva, J., Enfissi, E. M. A., Nogueira, M., Price, E. J., Alseekh, S., Fernie, A. R., Fraser, P. D., Hanson, P., & Martin, C. (2020). Analysis of Tomato Post-Harvest Properties: Fruit Color, Shelf Life, and Fungal Susceptibility. *Current Protocols in Plant Biology*, *5*(2), 1–17. https://doi.org/10.1002/cppb.20108
27. Yang, J., Liu, Y., Liang, B., Yang, Q., Li, X., Chen, J., Li, H., Lyu, Y., & Lin, T. (2023). Genomic basis of selective breeding from the closest wild relative of large-fruited tomato. *Horticulture Research*, *10*(8). https://doi.org/10.1093/hr/uhad142
28. Yesmin, L., Islam, M., Rahman, M., Uddin, M., & Ahmad, S. (2014). Inbred and hybrid seed production potentiality of tomato (Lycopersicon esculentum) genotypes and their yield performance during summer. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, *39*(1), 13–21. https://doi.org/10.3329/bjar.v39i1.20057
29. Zhou, M., Deng, L., Yuan, G., Zhao, W., Ma, M., Sun, C., Du, M., Li, C., & Li, C. (2023). Rapid generation of a tomato male sterility system and its feasible application in hybrid seed production. *Theoretical and Applied Genetics*, *136*(9), 1–21. https://doi.org/10.1007/s00122-023-04428-5

Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 40, No. 1, Spring 2026, p. 163-182

Evaluation of the Efficiency of Calcium and Potassium Thiosulfate Compounds on Biochemical Traits and Yield in the Walnut (*Juglans regia* L. var. Chandler)

S. Heydari[1], V. Rabiei[1]*, A. Soleimani[2], F. Nasr[1]

1- Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
2- Temperate Fruits Research Center, Horticultural Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organizations, Karaj, Iran
(*- Corresponding author's Email: rabiei@znu.ac.ir)

Received: 28 April 2025
Revised: 19 June 2025
Accepted: 30 June 2025
Available Online: 30 June 2025

How to cite this article:
Heydari, S., Rabiei, V., Soleimani, A., & Nasr, F. (2026). Evaluation of the efficiency of calcium and potassium thiosulfate compounds on biochemical traits and yield in the walnut (*Juglans regia* L. var. Chandler). *Journal of Horticultural Science*, *40*(1), 163-182. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93226.1427

Introduction

The Persian walnut (*Juglans regia* L.) is a valuable commercial crop with high economic and nutritional value. Nutrition management is one of the most important factors affecting the growth and performance of modern walnut orchards. The demand for high-quality walnuts is increasing day by day in the national and international markets. Horticultural production has undergone tremendous changes in recent years due to the development of innovative technologies, including nutrient management practices. Nutrient management of walnuts is one of the important factors for increasing yield and improving the quality of walnut kernels. The use of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers is essential for tree growth and the production of fruits such as walnuts. The enhancement in the use of fertilizers in an irrational manner has led to a decrease in soil productivity and multiple nutrient deficiencies. Minimizing the use of chemical fertilizers in fruit cultivation is the goal of integrated fruit production. The gravity of environmental degradation caused by the faulty cultivation practices has led to focus on ecologically sound, viable and sustainable farming systems. In this study, in order to investigate the efficiency and feasibility of replacing sulfate-containing fertilizers with thiosulfate-based fertilizers, the effect of calcium thiosulfate and potassium thiosulfate fertilizers on increasing the yield and quality of walnut fruit was evaluated in an experiment.

Materials and Methods

This experiment was conducted in 1402, in a randomized complete block design with three replications and 5 trees per experimental unit in an orchard with 6-year-old Chandler trees grown from tissue culture seedlings in the Khoramdareh Agro-Industrial Complex. The experimental treatments included T1: regular orchard nutrition (control) including 50 kg.ha^{-1} potassium nitrate calcium + 200 kg.ha^{-1} potassium sulfate, T2: 100 L.ha^{-1} calcium thiosulfate plus 200 kg.ha^{-1} potassium sulfate, T3: 50 kg.ha^{-1} potassium nitrate and calcium plus 100 L.ha^{-1} potassium thiosulfate plus 125 kg potassium sulfate, T4: 100 L.ha^{-1} calcium thiosulfate plus 100 L.ha^{-1} potassium thiosulfate plus 125 kg potassium sulfate. After applying the treatments, after observing signs of ripening, the fruits of the tree were harvested and transferred to the laboratory for evaluation of biochemical and physical traits.

Results and Discussion

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.2025.93226.1427

Analysis of variance for fruit and yield traits showed significant differences at the 1 and 5 % levels. Comparison of the means of these traits showed that the highest fruit dry weight, fresh and dry kernel weights, and kernel percentage were obtained in the calcium and potassium thiosulfate treatment, and the highest tree yield and yield efficiency per trunk cross-section were obtained in the calcium thiosulfate treatment. Calcium increases the growth of hairy roots, root cell division, root length and also enhance the absorption and transfer of nutrients and water to the plant, This led to an improvement in fresh and dry weight of the plant and yield. Calcium also increases the fresh and dry weight of the plant by increasing the transfer of carbohydrates from leaves to fruit. On the other side, potassium increases fresh and dry weight and yield by enhancing photosynthesis, carbohydrate formation and transport, maintaining intracellular pH, and absorbing nutrients from the soil. In addition, the results of the comparison of means showed that all treatments used increased the total phenol and flavonoid content of walnut fruit compared to the control, so that the highest total phenol and flavonoid content were obtained in the potassium thiosulfate and potassium and calcium thiosulfate treatments. Calcium reduces oxidative stress in the membrane through membrane strength and delays the degradation and reduction of phenolic compounds by strengthening the membrane and cell wall. Moreover, Potassium increases plant growth and photosynthetic activity, increasing the allocation of additional carbon to the shikimic acid pathway, thereby increasing phenolic substances such as phenols and total flavonoids. Potassium also increases phenolic compounds and antioxidants by increasing the activity of the enzyme phenylalanine ammonia lyase, which is a key enzyme in the synthesis of phenolic compounds. Analysis of variance of data related to crude fiber, total protein and crude fat of fruit showed significant difference between treatments at 1% level, but the effect of treatments on ash content of samples was not significant. Results of mean comparison showed that the highest amount of crude fiber was related to potassium and calcium thiosulfate treatment. Increased absorption and transport of nutrients is one of the important factors in increasing crude fiber in plants, and it seems that rapid absorption and transport of thiosulfate-containing compounds has led to improved fiber production. Analysis of variance of data related to linoleic and oleic acid traits of walnut fruit showed significant difference between treatments at 1% level and results of mean comparison also showed significant increase in linoleic acid content in fruits under calcium and potassium thiosulfate treatment and potassium thiosulfate treatment. There are two important sources for assimilation and oil formation. The first is the carbohydrate pathway that is produced in the leaf after photosynthesis and transferred to the fruit, and the second is the carbohydrate pathway that is formed during photosynthesis in the walnut fruit, which is converted into fatty acids after enzymatic processes. In this study, increasing sulfur, potassium, and calcium and increasing the absorption of trace elements due to thiosulfate consumption increased photosynthetic activity and increased the production of plant metabolites, which increased the fatty acids in walnuts. Therefore, the obtained results indicate high efficiency of calcium and potassium thiosulfate fertilizers in increasing quality and yield of walnut fruit.

Conclusion

Our findings indicated that calcium thiosulfate - potassium thiosulfate combination were the best treatments for increasing quantitative and qualitative characteristics of walnut fruit. These findings demonstrate the potential of calcium and potassium thiosulfate fertilizers to enhance walnut orchard productivity and fruit quality, making them a recommended choice for nutrient management strategies.

Keywords: Fatty acids, Flavonoid, Nutrition, Yield efficiency

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۴۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص. ۱۸۲-۱۶۳

ارزیابی کارآیی ترکیبات تیوسولفات کلسیم و پتاسیم بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکرد گردو ایرانی رقم 'چندلر' (*Juglans regia* L. var. Chandler)

صغری حیدری[۱] - ولی ربیعی[۱*] - اصغر سلیمانی[۲] - فهیمه نصر[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۹

چکیده

گردوی ایرانی (*Juglans regia* L.)، یک محصول مهم تجاری است که ارزش اقتصادی و تغذیه‌ای ویژه‌ای دارد و تقاضا برای گردوهای با کیفیت روزبه‌روز در بازار ملی و بین‌المللی در حال افزایش است. ازاین‌رو، مدیریت مواد مغذی گردو یکی از عوامل مهم برای افزایش عملکرد و بهبود کیفیت مغز گردو می‌باشد. این پژوهش با هدف بررسی کارآیی ترکیبات تیوسولفات کلسیم و پتاسیم به‌عنوان جایگزین کودهای سولفاته بر صفات بیوشیمیایی و عملکرد گردو رقم Chandler ('چندلر') اجرا شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و پنج درخت در هر واحد آزمایشی در باغی با درختان شش ساله رقم 'چندلر' حاصل از نهال‌های کشت بافتی در مجتمع کشت و صنعت خرمدره اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل T1: تغذیه رایج باغ (شاهد) شامل نیترات پتاسیم و کلسیم ۵۰ کیلوگرم در هکتار + سولفات پتاسیم ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، T2: تیوسولفات کلسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار + سولفات پتاسیم ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، T3: نیترات پتاسیم و کلسیم ۵۰ کیلوگرم در هکتار + تیوسولفات پتاسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار + ۱۲۵ کیلوگرم سولفات پتاسیم، T4: تیمار تیوسولفات کلسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار + تیوسولفات پتاسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار + ۱۲۵ کیلوگرم سولفات پتاسیم بودند. نتایج نشان داد که همه تیمارها در افزایش کیفیت، ترکیبات بیوشیمیایی و عملکرد گردو رقم 'چندلر' مؤثر بودند. تیمار تیوسولفات کلسیم در تلفیق با تیوسولفات پتاسیم به‌طور مؤثری باعث افزایش فنل کل و فلاونوئید کل، آنتی‌اکسیدان کل، پروتئین خام، چربی خام میوه نسبت به شاهد شد. کمترین میزان آهن، اسیداولئیک و اسیدلینولئیک در شاهد مشاهده گردید. همچنین بیشترین عملکرد درخت (۲/۸۱ کیلوگرم میوه خشک) و کارآیی عملکرد در سطح مقطع تنه (۳۸/۵ گرم بر سانتی‌مترمربع) از تیمار تیوسولفات کلسیم به دست آمد. به‌طورکلی، استفاده از ترکیبات تیوسولفات کلسیم و پتاسیم به‌عنوان بخشی از راهبرد تغذیه‌ای در باغات گردو برای بهبود عملکرد و کیفیت میوه توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اسیدهای چرب، تغذیه، فلاونوئید، کارآیی عملکرد

مقدمه

گردو رقم چندلر (*Juglans regia* L. var. Chandler) یکی از خشک‌میوه‌های مهم است که از دیرباز در ایران مورد کشت‌وکار قرار می‌گیرد. در بین محصولات باغبانی، خشکبارها به‌دلیل مقادیر بالای روغن، پروتئین، عناصر غذایی، ویتامین‌ها و ترکیباتی مانند فسفولیپد-ها، استرهای استرول، توکوفرول‌ها، فنل‌ها، فلاونوئیدها، اسیدفولیک و انواع آنتی‌اکسیدان‌ها دارای ارزش غذایی بالایی هستند (Germain et al., 1999). با توجه به آمارنامه سازمان خواروبار جهانی (FAO)، سطح باغات گردو در جهان در سال ۲۰۲۳ بیش از ۱/۲ میلیون هکتار بوده است که از این مقدار حدود ۳/۹ میلیون تن گردو برداشت می-شود. کشور چین با ۲۷۹ هزار هکتار، بزرگ‌ترین تولیدکننده گردو و ایران با ۱۶۱ هزار هکتار چهارمین کشور از نظر سطح زیرکشت است. میانگین عملکرد جهانی باغات گردو در این سال بالغ بر ۳۹۳۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد، درحالی‌که در ایران براساس آخرین آمارنامه کشاورزی (۱۴۰۲)، عملکرد باغات گردوی کشور کمتر از ۱۷۰۰ کیلوگرم در هکتار بود (FAO, 2022; Anonymous, 2023). مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد و کیفیت محصول تولیدی باغات گردوی کشور ایران، بذری و سنتی بودن باغات در کنار

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۲- پژوهشکده میوه‌های معتدله وسردسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: rabiei@znu.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93226.1427

مشکلات مربوط به مدیریت باغات از قبیل تغذیه و آبیاری نامناسب می‌باشد (Hassani et al., 2020).

تأمین صحیح عناصر غذایی ضروری، نقش کلیدی در افزایش کمیت و کیفیت محصول ایفا می‌کند. در این میان، عناصر کلسیم، پتاسیم و گوگرد نقش ویژه‌ای در رشد، توسعه و کیفیت میوه دارند. کلسیم به‌عنوان یک ماده مغذی پرمصرف، نقش حیاتی در رشدونمو گیاهان ایفا می‌کند. کلسیم یکی از مهم‌ترین عناصر در تولید گردو می‌باشد که در بافت‌های گیاهی غیرمتحرک بوده و تنها با حرکت آب در طی فرآیند تعرق جابه‌جا می‌شود. به همین دلیل، انتقال این عنصر در درون بافت‌ها کند بوده و برای جلوگیری از بروز علائم کمبود باید به‌صورت پیوسته در دسترس گیاه قرار گیرد. کلسیم به‌صورت یون دوظرفیتی از خاک جذب می‌شود و در درون گیاه، قابلیت انتقال از برگ‌های پیر به برگ‌های جوان و نوک ساقه را ندارد و مقدار آن در آوندهای آبکش کمتر بوده و علت آن هم احتمالاً به‌دلیل رسوب کلسیم به‌صورت فسفات کلسیم می‌باشد (Malakoti, 2000). کمبود کلسیم موجب کاهش رشد و همچنین لوله شدن برگ‌ها و قهوه‌ای شدن ریشه‌ها می‌شود. درصورتی‌که گیاه با کمبود کلسیم مواجه شود، برگ‌ها بدشکل و پیچیده و زرد رنگ شده و به سمت پایین خم می‌شوند. کمبود کلسیم یا مشکل در جذب آن در گردو باعث می‌شود که پوست چوبی میوه به‌خوبی تشکیل نشود (Yu et al., 2020). همچنین کلسیم در اتصال پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌های تشکیل‌دهنده دیواره سلولی نقش داشته و از این طریق در بهبود نمو گل، بلوغ و انتقال کربوهیدرات‌ها از برگ‌ها به میوه‌ها نقش مهمی را ایفا می‌نماید (Lanauskas & Kvikliene, 2006).

در مطالعه‌ای، اثرات محلول‌پاشی برگی کلسیم بر رشد و پاسخ‌های فیزیولوژیکی درخت پسته (*Pistacia vera* L.) مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارهای کلسیم به‌صورت آمینوکلات یا کلرید انجام شد و هفته‌ای یک بار روی شاخ و برگ محلول‌پاشی شدند. نتایج نشان داد که تیمار کلسیم به‌طور قابل توجهی رشد و پاسخ‌های فیزیولوژیکی همه پایه‌ها را بهبود بخشید (Rabari et al., 2023).

در مطالعه‌ای دیگر نیز تأثیر کاربرد کود کلسیم بر رشد گیاه و تخصیص آن بین بخش‌های مختلف درختان مرکبات بررسی شد. نتایج نشان داد که گیاهانی که کلسیم دریافت کردند، به‌طور قابل توجهی دارای زیست‌توده بیشتری بودند و کلسیم موجب افزایش رشد و کیفیت میوه‌های مرکبات شد (Morales et al., 2023).

پتاسیم جزء فراوان‌ترین کاتیون‌ها در گیاهان است و عملکرد مهمی در گیاه ایفا می‌کند. از جمله نقش‌های پتاسیم در گیاهان می‌توان به فتوسنتز، تنظیم اسمزی، فعالیت آنزیم‌ها، حفظ پتانسیل غشاء پلاسمایی، سنتز پروتئین، حفظ تعادل آنیون-کاتیون و تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها اشاره نمود (Pandey & Mahiwal, 2020). همچنین این عنصر در حرکت آب، مواد مغذی و کربوهیدرات‌ها در بافت گیاه نقش دارد و عنصر مهمی در افزایش مقاومت گیاه به تنش است (Hafsi et al., 2014). اثر محلول‌پاشی پتاسیم در پرتقال رقم تامسون ناول *Citrus sinensis* (L.) Osbeck cv. Thomson (Navel) برای حفظ کمیت و کیفیت میوه‌ها مناسب گزارش شده است (Kaviani et al., 2023). در میوه کیوی (*Actinidia deliciosa* (A.Chev.) C.F.Liang & A.R.Ferguson) نیز اثر پتاسیم بر تمامی ویژگی‌های مربوط به عملکرد و خواص کیفی میوه معنی‌دار بود (Moradi et al., 2016) و در گردو نیز پتاسیم باعث افزایش وزن مغز و درصد مغز، کاهش میزان چروکیدگی مغز، بهبود کیفیت رنگ مغز و در نهایت افزایش عملکرد شد (Bilgin, 2022).

گوگرد به‌عنوان چهارمین عنصر بعد از نیتروژن، فسفر و پتاس قرار گرفته است که برای رشدونمو گیاه ضروری می‌باشد (Boyd, 2016). وقتی خاکی با کمبود گوگرد مواجه شود و به آن توجه نگردد، گیاهان به حداکثر تولید نخواهند رسید. گوگرد در گیاهان به‌صورت سولفات جذب می‌شود و این عنصر در ساختمان دو آمینواسید مهم متیونین و سیستئین وجود دارد (Droux, 2004). اثر کاربرد سطوح مختلف کود گوگردی کشاورزی بر برخی از خواص رشدی پسته و قره قاط[1] (*Vaccinium arctostaphylos* L.) و خرما (*Phoenix dactylifera* L.) بررسی و نتایج نشان داد که کود گوگردی بر تمامی خصوصیات مورد مطالعه تأثیر معنی‌دار داشت (Nazoori et al., 2022; Awad et al., 2003).

پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه ارتباط بین عناصر غذایی خاک و درخت گردو نشان داده است که عناصر قابل استخراج موجود در خاک به‌طور مستقیم با عناصر موجود در برگ و میوه‌های گردو مطابقت ندارند و برای به دست آوردن بالاترین عملکرد باید عناصر با بهترین شکل و کیفیت قابل جذب در اختیار درختان قرار داده شود (Oskonbaeva et al., 2024). در سال‌های اخیر، استفاده از ترکیبات کودهای با بنیان تیوسولفات به‌دلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاص، مورد توجه قرار گرفته است. تیوسولفات‌ها توانایی بالایی در افزایش جذب عناصر غذایی دارند و با بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، کارآیی جذب کلسیم و پتاسیم را ارتقاء می‌دهند. تیوسولفات و سولفات، ترکیبات شیمیایی هستند که هر دو حاوی سولفور (گوگرد) هستند، امّا در ساختار و رفتار با هم تفاوت دارند. این تفاوت به‌دلیل وجود یک اتم گوگرد اضافی در ساختار ترکیبات تیوسولفات است که جایگزین اکسیژن شده است. همچنین این ترکیبات فاقد کلر و ناخالصی‌ها هستند و جذب عناصر پتاسیم و

1- Cranberry

کلسیم در ترکیبات تیوسولفات در مقایسه با ترکیبات سولفات بیشتر می‌باشد (Moosavi-Nezhad et al., 2024).

مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد تیوسولفات پتاسیم، تعادل اسمزی را در گیاه تقویت کرده و به انتقال مؤثر کربوهیدرات‌ها و سایر مواد مغذی از طریق آوند آبکش کمک می‌کند (Xu et al., 2020). تیوسولفات‌های کلسیم از طریق تأمین کلسیم محلول در خاک منجر به افزایش جذب این عنصر شده و ناهنجاری‌های رایج فیزیولوژیکی ناشی از کمبود کلسیم شامل پوسیدگی گلگاه در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) و لکه تلخی در سیب (*Malus domestica* Borkh) را برطرف نموده و منجر به افزایش کیفیت میوه و عمر انباری آن شده است، که این کار علاوه‌بر جلوگیری از ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی، از طریق تثبیت ساختار سلولی انجام می‌گیرد (Santos et al., 2023). به‌علاوه تیوسولفات‌ها از طریق تأمین مقادیر کافی گوگرد و بهبود سنتز پروتئین‌ها در افزایش عملکرد و بهبود سلامتی گیاهان نقش بسیار مهمی دارند، بااین‌حال کارآیی تیوسولفات‌ها به شرایط خاک، نحوه مصرف و نوع گیاه بستگی دارد (Xu et al., 2020). کود تیوسولفات کلسیم و پتاسیم دارای درصد بالایی از عنصر کلسیم و پتاسیم است که سرعت جذب از طریق برگ گیاه را افزایش می‌دهد. این کود به‌دلیل قرار گرفتن درصد بالایی از کلسیم و پتاسیم در کنار گوگرد، ترکیبی منحصربه‌فرد در مقایسه با ترکیبات مشابه می‌باشد، که در تمامی مراحل رشدی گیاه قابل استفاده است (Xu et al., 2020). در مطالعه‌ای، تیوسولفات کلسیم و پتاسیم موجب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کیفیت فلفل دلمه (*Capsicum annuum* L.) شده است (Moosavi-Nezhad et al., 2024). در این تحقیق، اثرات کاربرد ترکیبات شیمیایی کلسیم و پتاسیم با بنیان تیوسولفات روی برخی صفات میوه‌شناختی، بیوشیمیایی و عملکردی درختان گردو رقم چندلر در مقایسه با کودهای معمول در کشور، مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۲ در باغات گردوی ۳۰۰ هکتاری مجتمع کشت و صنعت دشت خرمدره واقع در استان زنجان، شهرستان خرمدره با عرض جغرافیایی ´۲۵ °۳۶ شمالی و طول جغرافیایی ´۲۵ °۴۹ شرقی و ارتفاع ۱۵۹۸ متر از سطح دریا انجام گرفت. این باغ با استفاده از نهال‌های کشت بافتی شرکت کشت و صنعت رعنا و رقم چندلر با فاصله ۷×۷ متر احداث شده است و در سال‌های اولیهٔ باردهی اقتصادی قرار دارد. درختان گردوی مورد آزمایش به‌صورت تصادفی انتخاب شده و همگی شش ساله بودند. بافت خاک باغ مورد مطالعه تا عمق یک متری لومی ماسه‌ای با ۱۵–۱۳ درصد رس، ۲۴–۲۰ درصد سیلت و ۶۵–۶۳ درصد ماسه بود. نتایج تجزیه عناصر خاک باغ به‌شرح جدول ۱ می‌باشد (Bilgin, 2021).

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک باغ

Table 1- Physiochemical analysis of the garden soil

عمق نمونه‌برداری Sampling depth (cm)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	ارزش خنثی‌سازی کل Total neutralizing value (%)	مواد آلی Organic matter (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)	آهن Fe (ppm)	روی Zn (ppm)	مس Cu (ppm)	منگنز Mn (ppm)	کلسیم Ca (ppm)	منیزیم Mg (ppm)	گوگرد S (ppm)
0-30	0.79	7.02	2.55	1.94	1.13	0.11	8	96.4	9.43	1.73	1.07	13.77	60	84	62.5
30-60	0.87	7.28	6.23	0.96	0.56	0.06	5.8	137.4	4.86	0.6	1.06	3.28	164	31.2	30.25
60-90	0.92	7.1	3.86	2.07	1.2	0.12	23.6	246.2	4.5	1.44	1.52	3.8	168	62.4	44.7

این آزمایش با هدف ارزیابی کارآیی کودهای تیوسولفات پتاسیم و تیوسولفات کلسیم در مقایسه با کودهای سولفات کلسیم و نیترات پتاسیم کلسیم و بررسی امکان جایگزینی آن‌ها با کودهای سولفات پتاسیم و نیترات پتاسیم کلسیم انجام شد. برای اجرای آزمایش، چهار تیمار مختلف کودی اعمال شد که شامل موارد زیر بود.

در تمامی تیمارهای مورد ارزیابی، ترکیبات کودی به‌صورت مصرف خاکی در اختیار درختان قرار گرفتند، همچنین در تمامی تیمارها، کود کامل NPK (N=5 %, P=10 %, K=40 %) به‌میزان ۷/۵ لیتر در هکتار در اواسط خرداد محلول‌پاشی شد (Bilgin, 2021).

کودهای تیوسولفات کلسیم (CaTs) و تیوسولفات پتاسیم (KTS) مورد استفاده، تولیدی شرکت تسندرلو کرلی بلژیک [1] بودند که محلول‌های شفاف با پایه خنثی و بدون کلرید بوده و میزان و نحوه مصرف آن‌ها طبق دستورالعمل شرکت سازنده انجام شد (Moosavi-Nezhad et al., 2024).

1- TESSNDERLO Kerley

ترکیب شیمیایی و درصد وزنی (w/w) غلظت عناصر در تیمارهای کودی مورد استفاده به‌ترتیب زیر بود:

- نیترات کلسیم پتاسیم:
$(Ca(NO_3)_2+KNO_3$; N= 14%, K= 28 %, Ca= 10 %
- سولفات پتاسیم: K_2SO_4; K= 44 %, S= 17 %
- کود تیوسولفات کلسیم (CaTs):
CaS_2O_3: Ca=6 %, S= 10 %
- کود تیوسولفات پتاسیم (KTS):
$K_2S_2O_3$; K=25 % , S= 17%

جدول ۲- جزئیات کودهای مورد استفاده در آزمایش

Table 2- The details of fertilizer application in the experiment

شماره تیمار Treatment number	ترکیب کود استفاده‌شده در تیمار و زمان استفاده کود The composition of the fertilizer used in the treatment and time of application in the experiment
شاهد (Control)	سولفات پتاسیم ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (درمرداد) + نیترات کلسیم–پتاسیم ۵۰ کیلوگرم در هکتار (اواخر فروردین)
T1	Potassium sulfate 200 kg.ha^{-1} (in August) + calcium-potassium nitrate 50 kg.ha^{-1} (Late April)
تیمار دو	سولفات پتاسیم ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (در مرداد) + تیوسولفات کلسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار (اواخر فروردین)
T2	Potassium sulfate 200 kg.ha^{-1} (in August) + CaTs 100 L.ha^{-1} (Late April)
تیمار سه	نیترات کلسیم–پتاسیم ۵۰ کیلوگرم در هکتار (اواخر فروردین) + تیو سولفات پتاسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار (اواخر اردیبهشت)+ سولفات پتاسیم ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار (اواخر مرداد)
T3	Calcium-potassium nitrate 50 kg.ha^{-1} (late April) + KTS 100 L.ha^{-1} (late May) + potassium sulfate 125 kg.ha^{-1} (in late August)
تیمار چهار	تیوسولفات کلسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار (اواخر فروردین) + تیوسولفات پتاسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار (اواخر اردیبهشت) + سولفات پتاسیم ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار (مرداد)
T4	CaTs 100 L.ha^{-1} (late April) + KTS 100 L.ha^{-1} (late May) + potassium sulfate 125 kg.ha^{-1} (in August)

جدول ۳- ترکیب تیمارهای کودی اعمال‌شده در آزمایش

Table 3- Combination of fertilizer treatments applied in the experiment

شماره تیمار Treatment number	ترکیب کود استفاده‌شده در تیمار The composition of the fertilizer used in the treatment	علامت اختصاری Abbreviation
T1	سولفات پتاسیم ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار + نیترات کلسیم–پتاسیم ۵۰ کیلوگرم در هکتار Potassium sulfate 200 kg.ha^{-1} + calcium-potassium nitrate 50 kg.ha^{-1}	شاهد Control
T2	تیوسولفات کلسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار + سولفات پتاسیم ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار CaTs 100 L.ha^{-1} + potassium sulfate 200 kg.ha^{-1}	تیوسولفات کلسیم CaTs
T3	نیترات کلسیم–پتاسیم ۵۰ کیلوگرم در هکتار + تیو سولفات پتاسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار سولفات پتاسیم ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار Calcium-potassium nitrate 50 kg.ha^{-1} + KTS 100 L.ha^{-1} + potassium sulfate 125 kg.ha^{-1}	تیوسولفات پتاسیم KTS
T4	تیوسولفات کلسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار + تیوسولفات پتاسیم ۱۰۰ لیتر در هکتار + سولفات پتاسیم ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار CaTs 100 L.ha^{-1} + KTS 100 L.ha^{-1} + potassium sulfate 125 kg.ha^{-1}	تیوسولفات کلسیم+ تیوسولفات پتاسیم CaTs+KTS

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تیمار، سه تکرار و پنج درخت در هر واحد آزمایشی (۱۵ درخت برای هر تکرار و در مجموع ۶۰ درخت برای کل آزمایش) انجام شد. در زمان اجرای آزمایش، برای جلوگیری از اختلاط و تأثیر تغذیه درختان مجاور روی درختان تحت تیمار، بین هر کرت با کرت کناری سه ردیف فاصله در نظر گرفته شد. به‌علاوه در هر کرت، یک ردیف درخت کناری در چهار طرف تیمار اصلی نیز با تیمار کودی همان کرت تغذیه شد، ولی یاداشت‌برداری‌ها فقط بر روی درختان اصلی هر کرت انجام گرفت. برای اجرای آزمایش، یک تانک تزریق کود با لوله‌کشی جداگانه برای هر کرت طراحی شده بود و تزریق کودهای هر تیمار به‌صورت جداگانه از طریق این سیستم انجام گرفت. در بین تزریق‌های تیمارهای مختلف، سیستم با آب خالی شست‌وشو شده و سپس تیمار بعدی اعمال می‌شد. در نهایت بعد از اعمال تیمارها، آبیاری قطعات با استفاده از سیستم آبیاری اصلی باغ انجام شد تا کود در اختیار درختان قرار بگیرد.

در مهر ماه، بعد از مشاهده علائم رسیدگی (ترک خوردن ۸۰ درصد پوست سبز گردوها) میوه‌ها برداشت و شمارش شدند و از هر درخت ۲۰ عدد میوه به‌صورت تصادفی انتخاب شده و جهت انجام ارزیابی صفات بیوشیمیایی میوه‌ها به آزمایشگاه منتقل شد. آنالیزهای عناصر غذایی بافت میوه با همکاری آزمایشگاه گروه خاک‌شناسی دانشگاه زنجان و اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی و فیزیکی میوه در گروه علوم باغبانی دانشگاه زنجان انجام شد.

صفات مورد اندازه‌گیری

صفات میوه و عملکرد

وزن تر و وزن خشک میوه گردو با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۱ گرم به دست آمد. برای این منظور، در هر تکرار وزن ۲۰ میوه به‌صورت تکی ثبت شد و در نهایت میانگین وزن‌های به‌دست‌آمده در هر تکرار برای آنالیز مورد استفاده قرار گرفت. عملکرد هر درخت و کارآیی عملکرد از طریق معادله ۱ و ۲ محاسبه و به‌صورت گرم بر سانتی‌متر مربع بیان شد (Khorami & Vahdati, 2019).

(۱) عملکرد = میانگین وزن خشک میوه هر درخت × تعداد میوه هر درخت

(۲) کارآیی عملکرد (گرم در سانتی‌متر مربع) = میانگین عملکرد هر درخت / سطح مقطع تنه درخت

چربی خام

چربی خام با دستگاه سوکسوله مدل دستگاه SX100-G، شرکت سازنده Bakhshi، کشور ایران، در دمای ۶۰-۴۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد و برای استخراج چربی از حلال‌های اتراکسید، پترولیوم اتر و N هگزان استفاده شد. نمونه مورد آزمایش حداقل بین ۸-۱۱ ساعت در معرض این حلال‌ها قرار گرفت تا چربی آن‌ها استخراج شود (Anonymous, 2019).

فیبر یا الیاف خام

برای اندازه‌گیری الیاف خام (سلولز، همی‌سلولز و لیگنین) از روش جوشاندن با اسید رقیق‌شده (اسیدسولفوریک ۱/۲۵ درصد) و باز رقیق‌شده (سود ۱/۲۵ درصد) به مدت ۰/۵ ساعت استفاده شد و نمونه هضم‌شده با اسید و باز، صاف شده و مواد غیرمحلول آن جدا و به‌عنوان فیبر محاسبه گردید (de Almeida et al., 2006).

پروتئین خام

اندازه‌گیری پروتئین خام به‌روش استاندارد کجدال انجام شد و نمونه کاملاً آسیاب‌شده با اسیدسولفوریک غلیظ و همراه با کاتالیزور حدود ۳-۴ ساعت حرارت داده شد تا نمونه کاملاً هضم و محلول شفاف رنگی به دست آمد (Golzari et al., 2013). در اثر هضم، ازت آلی تبدیل به سولفات آمونیوم می‌شود. در دومین مرحله که تقطیر است با اضافه کردن سود، یون آمونیاک آزادشده در محلول اسیدبوریک جذب شده و بورات آمونیوم تشکیل شد. در مرحله سوم که تیتراسیون است، بورات آمونیوم با اسید استاندارد تیتر شده و مقدار ازت آلی به دست آمد.

محتوی فنل کل و فلاونوئید کل

محتوای فنل کل با استفاده از معرف فولین سیوکالتو در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری گردید. داده‌های به‌دست‌آمده براساس میلی‌گرم اسیدگالیک بر ۱۰۰ گرم وزن تر بیان شد. برای اندازه‌گیری فلاونوئید از دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۴۱۵ نانومتر استفاده شد و نتایج برحسب میلی‌گرم کوئرستین در ۱۰۰ گرم وزن تر بیان شد (Sharma et al., 2001).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی براساس روش دهقان و خوشکام (Dehghan & Khoshkam, 2012) انجام گرفت و برحسب درصد بیان شد.

(۳) RSA = (درصد رادیکال‌های آزاد جمع آوری شده) $(Ac - As)/Ac \times 100$

که در آن، As: جذب نمونه حاوی عصاره و Ac: جذب شاهد است.

عناصر غذایی

برای اندازه‌گیری عناصر غذایی برگ از دو روش هضم به‌روش مخلوط اسیدسولفوریک و اسیدسالیسلیک و هضم به‌روش سوزاندن خشک و ترکیب اسیدکلریدریک جهت تهیه عصاره استفاده شد (Simonne et al., 1993).

اندازه‌گیری اسیدهای چرب

مقدار اسیدهای چرب موجود در نمونه‌های شاهد و تحت تیمار به‌روش گونزالز و همکاران (Gonzalez et al., 2003) مورد ارزیابی قرار گرفت. شرایط و نوع ستون دستگاه GC-FID جهت سنجش میزان اسیدهای چرب، شامل ستون BPX70 دارای ابعاد ۳۰ میلی‌متر ×۰/۲۵ میلی‌متر گاز حامل هلیوم، نوع آشکارساز FID با دمای ۳۵۰ سانتی‌گراد و دمای تزریق ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد بود.

تجزیه و تحلیل آماری

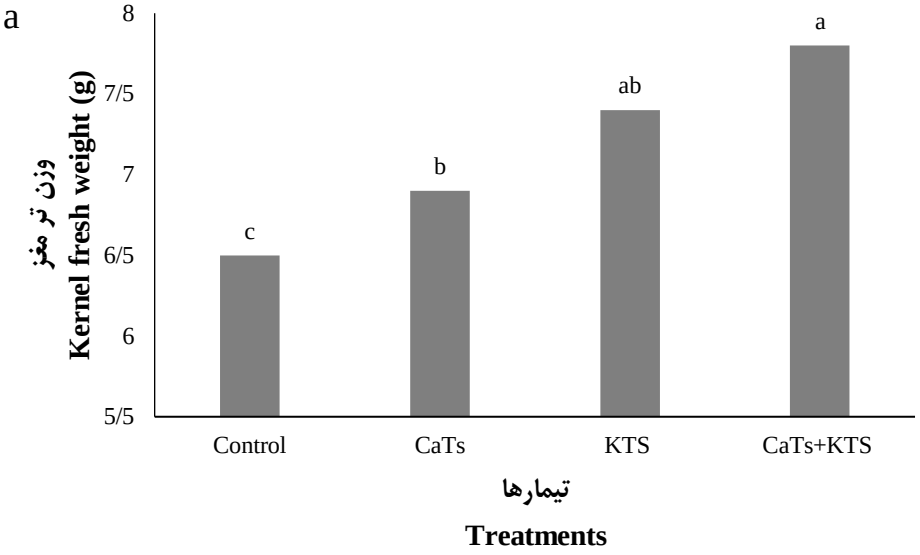
پس از کنترل مفروضات شامل نرمال بودن داده‌های آزمایشی توسط نرم‌افزار Minitab، تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS ورژن ۲۲ انجام گرفت و برای مقایسه بین میانگین‌ها نیز آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

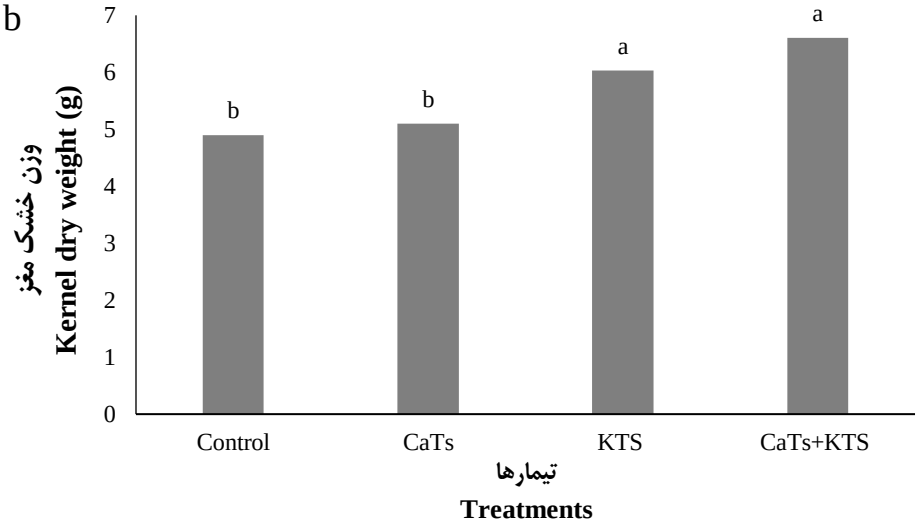
صفات میوه و عملکرد

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین تیمارهای مورد بررسی، اختلاف معنی‌داری در صفات مربوط به میوه و عملکرد در سطح احتمال یک و پنج درصد وجود داشت. مقایسه میانگین این صفات نشان داد که بیشترین میانگین وزن خشک میوه، میانگین وزن تر مغز، میانگین وزن خشک مغز و درصد مغز در تیمار تیوسولفات کلسیم و پتاسیم و بیشترین عملکرد درخت و کارآیی عملکرد در سطح مقطع تنه در تیمار تیوسولفات کلسیم به دست آمد. در مقابل، کمترین وزن خشک میوه، وزن تر مغز و وزن خشک مغز در شاهد، کمترین وزن میوه در درخت (۱/۹ کیلوگرم میوه خشک) و کارآیی عملکرد (۲۶/۸ گرم بر سانتی‌متر) در تیمار تیوسولفات پتاسیم مشاهده گردید (شکل ۱).

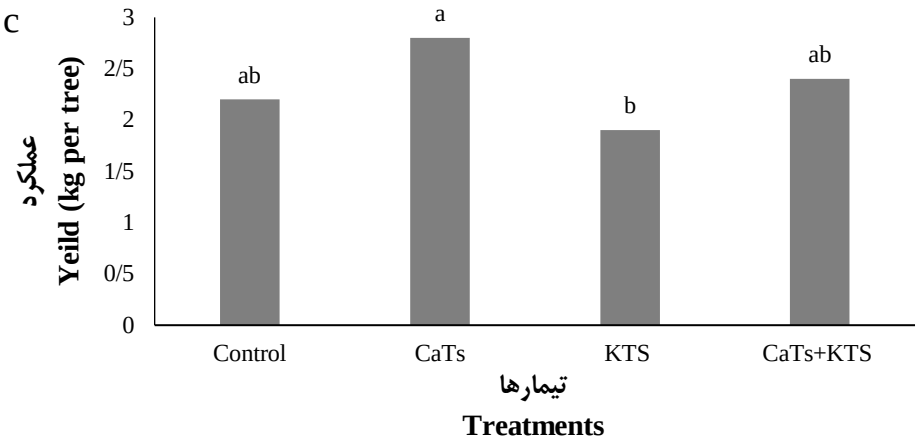
مصرف بهینه مواد غذایی برای افزایش عملکرد و کیفیت میوه بسیار ضروری است. پتاسیم و کلسیم با بهبود شرایط فیزیولوژیکی مانند محتوای نسبی آب (با فعال نمودن پمپ پروتونی غشاء و کنترل حرکات روزنه‌ای) موجب افزایش رشد ریشه و توسعه سطح برگ شده و با افزایش سطح برگ، میزان فعالیت فتوسنتزی و ماده‌سازی نیز افزایش می‌یابد. پتاسیم با کاهش میزان تنفس موجب افزایش ماده خشک و در نتیجه وزن تر و خشک گیاه می‌شوند (Taiz & Zeiger, 2002). پتاسیم موجب افزایش وزن تر و خشک میوه زیتون (*Olea europaea* L.) (Hegazi et al., 2011)، انگور (*Vitis vinifera* L.) (Zareei et al., 2018) و گردو (Bilgin, 2022) شده است. علاوه‌بر این، پتاسیم با افزایش فتوسنتز، تشکیل و انتقال کربوهیدات، حفظ pH درون سلولی و جذب عناصر غذایی از خاک موجب افزایش وزن تر و خشک و عملکرد شده است (El-Badawy, 2019). جذب و انتقال مواد هیدروکربنی با افزایش میزان پتاسیم افزایش می‌یابد (Singh & Usha, 2001).



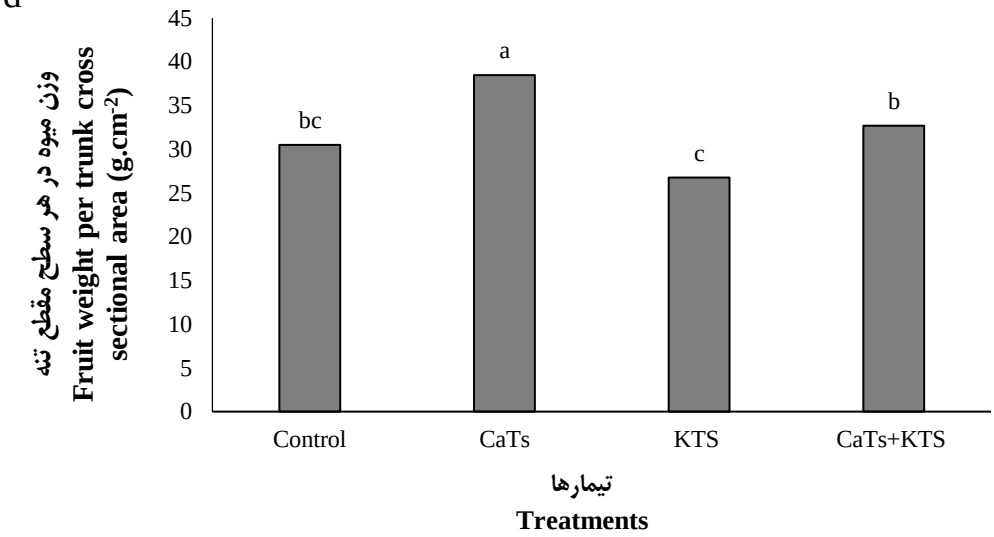
b

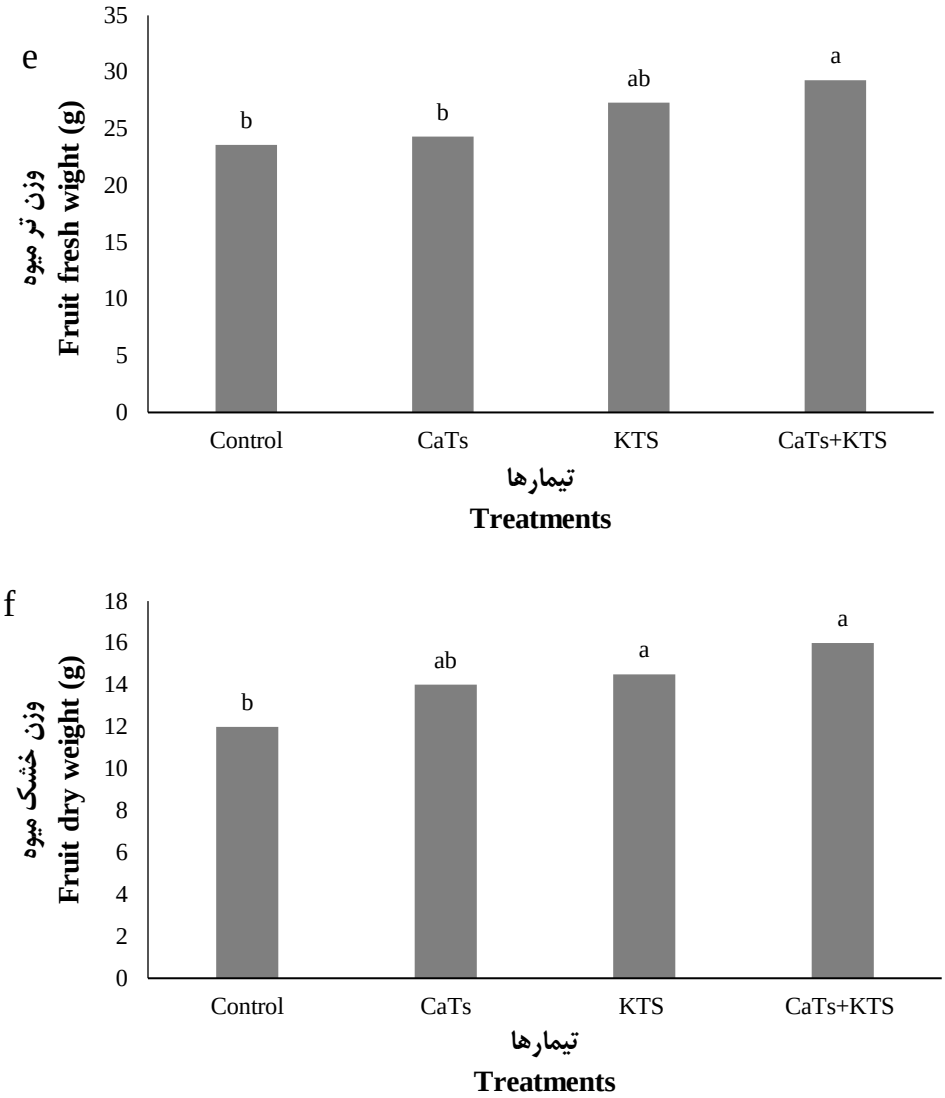

وزن خشک مغز
Kernel dry weight (g)
0
1
2
3
4
5
6
7
b
b
a
a
Control
CaTs
KTS
CaTs+KTS
تیمارها
Treatments

c


عملکرد
Yeild (kg per tree)
0
0/5
1
1/5
2
2/5
3
ab
a
b
ab
Control
CaTs
KTS
CaTs+KTS
تیمارها
Treatments

d


وزن میوه در هر سطح مقطع تنه
Fruit weight per trunk cross sectional area (g.cm-2)
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
bc
a
c
b
Control
CaTs
KTS
CaTs+KTS
تیمارها
Treatments



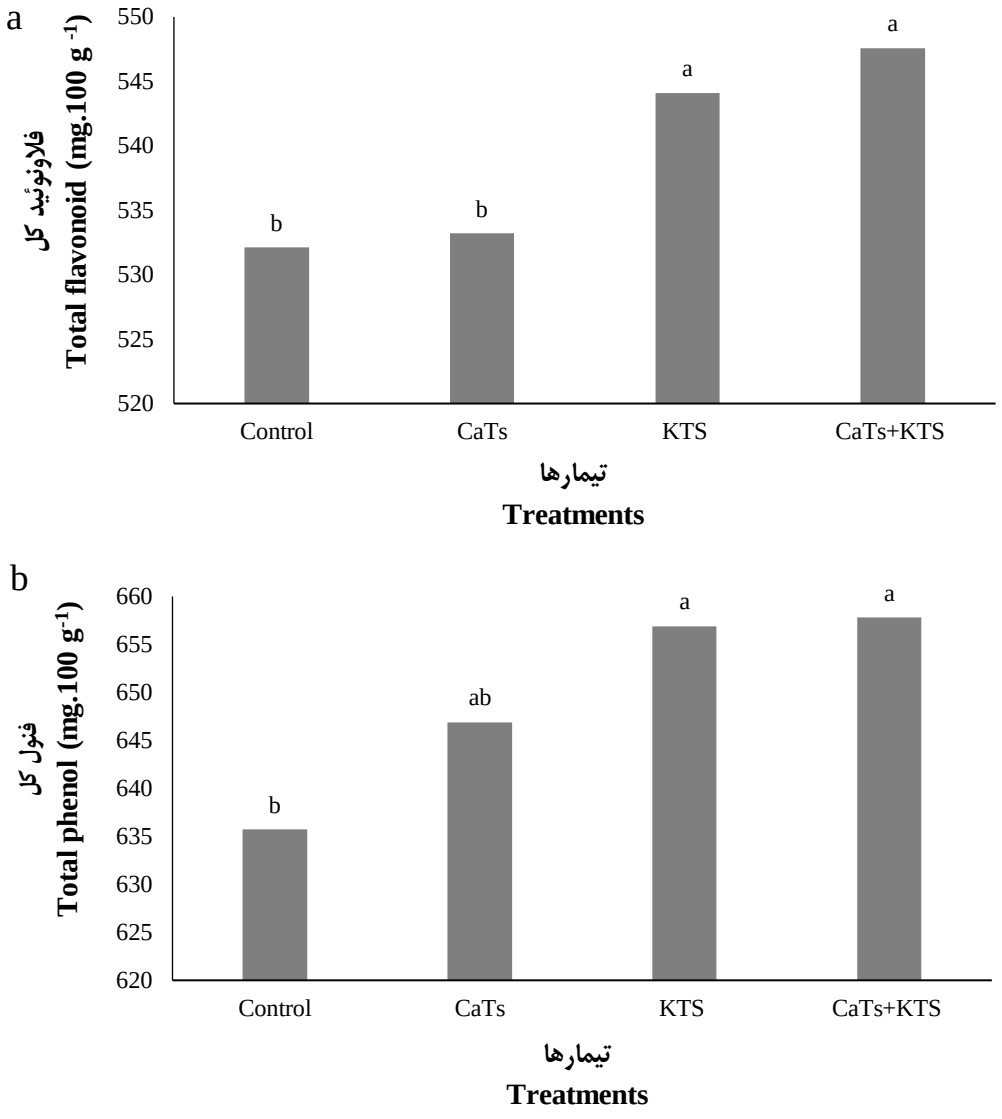
شکل ۱- وزن تر مغز (a)، وزن خشک مغز (b)، عملکرد (c)، وزن میوه در سطح مقطع تنه (d)، وزن تر میوه بدون پوست (e)، وزن خشک میوه بدون پوست (f) در میوه گردو رقم 'چندلر' تحت تأثیر تیمارهای تیوسولفات کلسیم، تیوسولفات پتاسیم و ترکیب تیوسولفات کلسیم و پتاسیم

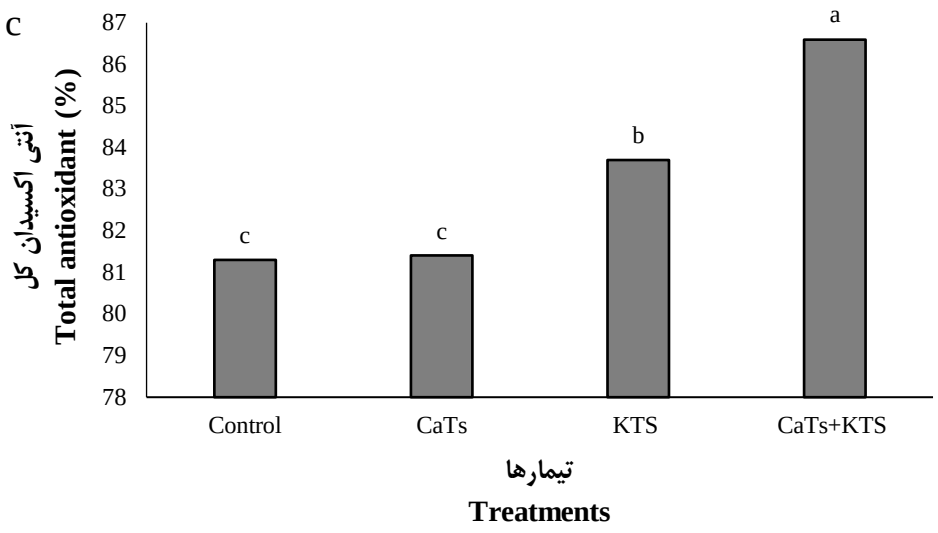
Figure 1- The kernel fresh weight (a), kernel dry weight (b), yield (c), fruit weight per trunk sectional area (d), fruit fresh weight (e), and fruit dry weight (f) of 'Chandler' walnut affected by calcium and potassium thiosulfate and their combination(DMRT, $p \leq 0.05$)

کلسیم با افزایش رشد ریشه‌های موئین، تقسیم سلولی ریشه و افزایش طول ریشه موجب افزایش جذب و انتقال مواد غذایی و آب به گیاه شده و موجب افزایش وزن تر و خشک گیاه و عملکرد می‌شود. علاوه‌بر این، کلسیم با افزایش انتقال کربوهیدرات از برگ‌ها به میوه موجب افزایش وزن تر و خشک گیاه می‌گردد (Al-Yousif & Al-Miahy, 2007). همچنین کلسیم موجب افزایش وزن تر و خشک عناب (*Ziziphus jujuba* Mill.) (Ghesmati et al., 2017) و انار (*Punica granatum* L.) (Rouhi et al., 2015) شده است و به نظر می‌رسد که کاربرد ترکیبات تیوسولفات با جذب بهتر عناصر پتاسیم و کلسیم و تأمین مقادیر کافی گوگرد باعث بهبود شرایط تولید محصول گردو به‌خصوص در صفات مربوط به میوه از قبیل وزن تر، خشک میوه و مغز گردو شده است. با توجه به اینکه درصد مغز در رقم چندلر به‌دلیل ویژگی‌های ژنتیکی معمولاً کمتر از ۵۰ درصد می‌باشد، کاربرد ترکیبات بهبوددهنده میزان مغز میوه نقش ارزشمندی در مدیریت باغات گردو خواهند داشت (Hassani et al., 2020). تیمار تیوسولفات پتاسیم موجب افزایش وزن تر و خشک میوه و عملکرد میوه سیب شده است که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد (Bound & Wilson, 2004).

فنل، فلاونوئید کل و آنتی‌اکسیدان‌ها

تجزیه واریانس فنل و فلاونوئید کل و آنتی‌اکسیدان‌ها اختلاف معنی‌داری را در سطح یک درصد نشان داد. نتایج مقایسه میانگین اثرات تیمارهای تیوسولفات پتاسیم و تیمار ترکیبی تیوسولفات پتاسیم و کلسیم نشان داد که تمامی تیمارها موجب افزایش میزان فنل و فلاونوئید کل میوه گردو نسبت به شاهد شد، به‌طوری‌که بیشترین میزان فنل کل و فلاونوئید کل در تیمارهای تیوسولفات پتاسیم و تیوسولفات پتاسیم و کلسیم به دست آمد. کمترین فنل کل و فلاونوئید کل در نمونه‌های شاهد مشاهده شد. بیشترین میزان آنتی‌اکسیدان کل در تیمارهای تیوسولفات پتاسیم و تیمار سولفات کلسیم و پتاسیم به‌ترتیب با میانگین‌های ۶۹/۳ و ۶۸ درصد مشاهده شد. تیمارهای شاهد و تیوسولفات کلسیم، کمترین میزان آنتی‌اکسیدان کل را داشتند (شکل ۲).





شکل ۲- محتوی فلاونوئید کل (a)، فنل کل (b) و آنتی‌اکسیدان کل (c) در میوه گردو رقم 'چندلر' تحت تأثیر تیمارهای تیوسولفات کلسیم، تیوسولفات پتاسیم و ترکیب تیوسولفات کلسیم و پتاسیم

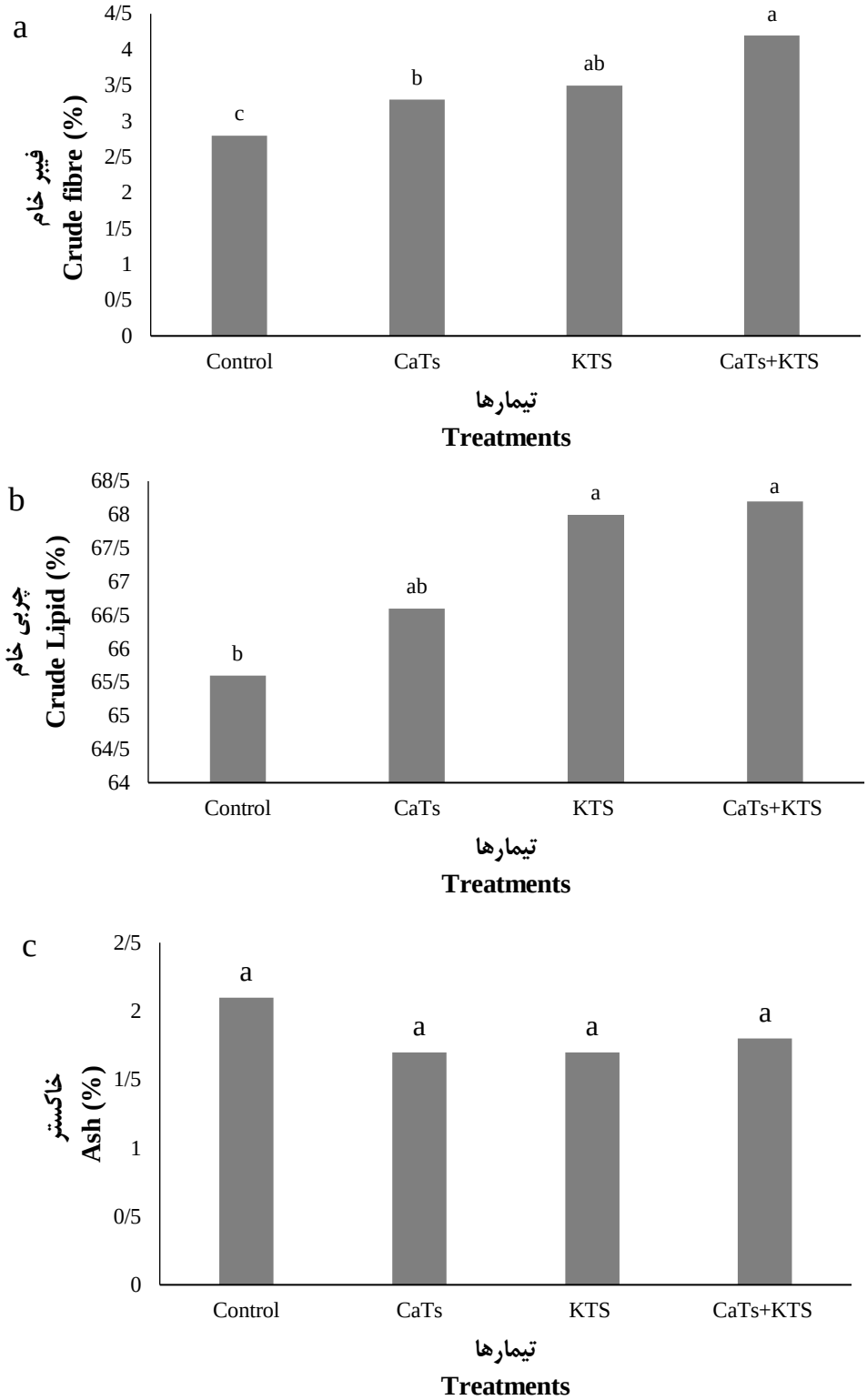
Figure 2- The total flavonoid (a), total phenol (b) total antioxidant (c) content of 'chandler' walnut fruit affected by calcium and potassium thiosulfate and their combination(DMRT, $p \leqslant 0.05$).

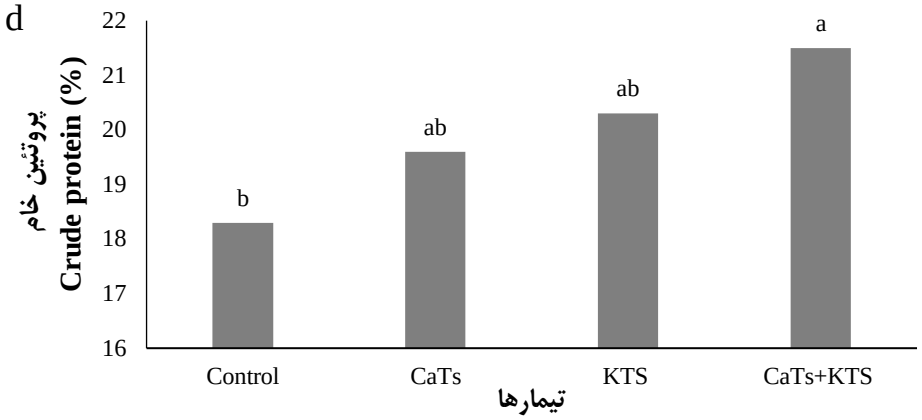
گردو حاوی اشکال مختلف مواد آنتی‌اکسیدانی مانند ترکیبات فنلی و توکوفرول است (Stampar et al., 2006). ترکیبات فنلی یکی از مهم‌ترین آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاهان هستند و اغلب به‌صورت فلاونوئیدها، جینجرول‌ها و پلی فنلیک اسید یافت می‌شوند. آن‌ها حاوی حلقه‌های معطر هستند که در فعالیت آنتی‌اکسیدانی نقش دارند. ترکیبات فنلی همچنین می‌توانند به رادیکال‌های آزاد اکسیژن آسیب برسانند و با اتصال به رادیکال‌های لیپیدی آلکوکسیل، پراکسیداسیون لیپیدی را مهار کنند. فلاونوئیدها همچنین توسط پراکسیداز اکسید می‌شوند و در تخریب پراکسیدهیدروژن نقش دارند (Sharma et al., 2013). میزان فنل و فلاونوئید گردو با تیمار تلفیقی تیوسولفات پتاسیم و کلسیم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز آنزیم اصلی در تولید ترکیبات فنلی است که افزایش فعالیت آن موجب افزایش ترکیبات فنلی می‌شود. کلسیم از طریق استحکام غشاء موجب کاهش تنش اکسیداتیو در غشاء شده و با استحکام غشاء و دیواره سلولی، تخریب و کاهش ترکیبات فنلی را به تأخیر می‌اندازد (Wang et al., 2024). پتاسیم نیز با کاهش تنش اکسیداتیو، حذف پراکسیدهیدروژن و کاهش تولید اتیلن موجب افزایش آنتی‌اکسیدان کل، فنل و فلاونوئید کل شده است (Puerta-Gomez & Cisneros-Zevallos, 2011). پتاسیم به همراه کلسیم و عناصر دیگر نقش مهمی در کیفیت میوه‌ها و سبزی‌ها و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها دارد. علت اصلی افزایش مواد آنتی‌اکسیدانی به‌دلیل اثر مستقیم پتاسیم بر مقادیر مواد آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی مانند فنل کل و فلاونوئیدکل می‌باشد. پتاسیم با افزایش رشد گیاه و افزایش فعالیت فتوسنتزی موجب افزایش تخصیص کربن اضافی به مسیر اسیدشیکمیک شده و از این طریق موجب افزایش مواد فنلی مانند فنل و فلاونوئید کل می‌شود (Nguyen et al., 2010). همچنین پتاسیم با افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز که آنزیم کلیدی در سنتز ترکیبات فنلی است موجب افزایش ترکیبات فنلی و مواد آنتی‌اکسیدانی می‌شود. در پژوهش‌های دیگر، پتاسیم موجب افزایش مواد آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات فنلی در ریحان (*Ocimum basilicum* L.) (Neguyen et al., 2010)، چای (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) (Mudau et al., 2007) و انگور (Zareei et al., 2018) شده است. مصرف تیوسولفات کلسیم و پتاسیم موجب افزایش مواد آنتی‌اکسیدانی در فلفل دلمه شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Moosavi-Nezhad et al., 2024).

فیبر خام، خاکستر، پروتئین کل و چربی خام

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به فیبر خام، پروتئین کل و چربی خام میوه اختلاف معنی‌داری را بین تیمارها در سطح یک درصد نشان داد، درحالی‌که اثر تیمارها بر میزان خاکستر میوه‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان فیبر خام در تیمار تیوسولفات پتاسیم و کلسیم و کمترین میزان آن در شاهد مشاهده شد. اگرچه از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین میزان خاکستر تیمارها و شاهد وجود نداشت، بااین‌حال میزان خاکستر در تیمار تیوسولفات پتاسیم و کلسیم کمتر از نمونه‌های شاهد بود و مقدار

خاکستر در میوه‌های شاهد ۲/۱ درصد گزارش شد. تیمار تیوسولفات کلسیم و پتاسیم، بیشترین میزان پروتئین را داشت و کمترین میزان آن در شاهد به دست آمد. تیمار تیوسولفات پتاسیم و کلسیم و تیمار تیوسولفات پتاسیم به‌تنهایی به‌طور معنی‌داری موجب افزایش چربی خام میوه گردو نسبت به شاهد (۶۵/۶ درصد) شدند (شکل ۳).





شکل ۳- محتوی فیبر خام (a)، چربی خام (b)، خاکستر(c) و پروتئین خام (d) در میوه گردو رقم 'چندلر' تحت تأثیر تیمارهای تیوسولفات کلسیم، تیوسولفات پتاسیم و ترکیب تیوسولفات کلسیم و پتاسیم

Figure 3- The cured fiber (a), crude lipid (b), ash (c) and crude protein (d) content of 'Chandler' walnut fruit affected by calcium and potassium thiosulfate and their combination(DMRT, $p\leq0.05$)

فیبر خام، بخش غیرقابل هضم باقی‌مانده از مواد گیاهی است که پس از استخراج با حلال و هضم با اسید و باز، باقی می‌ماند. مقدار سلولز، همی‌سلولز و لیگنین غیرقابل هضم در غذاهای گیاهی، در رژیم غذایی به‌عنوان فیبر خام اندازه‌گیری می‌شود. فیبر خام موجود در گردو می‌تواند به مدیریت وزن بدن، جلوگیری از یبوست، بهبود سلامت روده و کاهش خطر بیماری قلبی و دیابت نوع ۲ و بسیاری از بیماری‌های دیگر کمک کند (Shahidi & Zhong, 2005). کلسیم، یکی از ترکیبات مهم در ساختمان دیواره سلولی است و در تقسیم سلولی نقش مهمی دارد و موجب افزایش میزان فیبر خام در گیاه می‌شود (Conway & Sams, 1978). سولفات پتاسیم موجب افزایش فیبر خام در انگور شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Zareei et al., 2018). در این مطالعه، همه تیمارهای حاوی تیوسولفات پتاسیم و کلسیم موجب افزایش میزان فیبرخام میوه گردو در مقایسه با شاهد شدند. افزایش میزان فیبر خام در گیاهان به عوامل مختلفی بستگی دارد. افزایش جذب و انتقال مواد غذایی، یکی از عوامل مهم در افزایش فیبر خام در گیاهان است که به نظر می‌رسد جذب و انتقال سریع ترکیبات حاوی تیوسولفات‌ها منجر به بهبود تولید فیبرها شده است. خاکستر دارای عناصر معدنی مختلفی می‌باشد که با جذب این عناصر غذایی میزان خاکستر افزایش می‌یابد. در مطالعات مختلف، نتایج متفاوتی از تأثیر کودهای شیمیایی بر افزایش میزان خاکستر به دست آمده است. در این مطالعه، کودهای تیوسولفات پتاسیم و کلسیم اثر معنی‌داری بر افزایش میزان خاکستر نداشتند. پروتئین کل، مجموعه‌ای از پروتئین‌های حقیقی و ترکیبات نیتروژن‌دار غیرپروتئینی است. افزایش پروتئین در اثر استفاده از کودهای تیوسولفات کلسیم و پتاسیم به دسترس بودن مواد غذایی و افزایش جذب و انتقال عناصر غذایی مرتبط است. با افزایش جذب عناصر غذایی، میزان پروتئین‌سازی در گیاه افزایش یافته، ازاین‌رو میزان پروتئین کل نیز افزایش می‌یابد (Rasool et al., 2013). کاهش pH خاک در اثر استفاده از کودهای تیوسولفاته موجب افزایش جذب عناصر کم‌مصرف مانند روی شده که این عنصر در ساختمان برخی پروتئین‌ها و در متابولیسم نیتروژن شرکت می‌کند و از این طریق نیز میزان پروتئین کل افزایش می‌یابد (Emam & Semida, 2020). همچنین گوگرد در ساختمان اسیدهای آمینه شرکت داشته و علاوه‌بر این در تقسیم سلولی، افزایش انتقال مواد فتوسنتزی و مواد تنظیم‌کننده رشد از منبع به مخزن نقش مهمی دارد و موجب افزایش تولید پروتئین در گیاهان می‌شود (Devi et al., 2012). پتاسیم موجب افزایش پروتئین خام در انگور شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Wang et al., 2024). میزان چربی در گیاهان تحت کنترل عوامل ژنتیکی و محیطی بوده، امّا فراهمی عناصر ضروری در مرحله حساس گیاه می‌تواند بر میزان فتوسنتز و تولید متابولیت‌های گیاه تأثیر گذاشته و در نهایت به افزایش میزان روغن کمک کند (Fanaei et al., 2011). در مطالعه‌ای، استفاده از کودهای پتاسیمی موجب افزایش میزان چربی در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) شد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Afridi et al., 2002). پتاسیم با فعال‌سازی آنزیم‌ها و کوفاکتورهای موجود در مسیر بیوسنتز چربی موجب افزایش میزان چربی در کلزا و خردل شده است (Fanaei et al., 2013). در مطالعه‌ای دیگر، گوگرد با افزایش جذب و انتقال عناصر غذایی و نیتروژن موجب افزایش میزان چربی در کلزا شده است (Ahmad et al., 2007).

تیوسولفات‌ها، نقش مهمی در انتقال مواد غذایی در گیاهان ایفا می‌کنند. این ترکیب حاوی گوگرد است که برای سلامت و رشد گیاه ضروری بوده و در ساختار اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، روغن‌ها و کلروفیل نقش دارد. تیوسولفات پتاسیم و کلسیم به‌دلیل داشتن پتاسیم و کلسیم سریع‌الجذب و گوگرد، برای عملکرد حیاتی گیاه مانند تحمل تنش، مدیریت آب، فعالیت آنزیم‌ها و انتقال مواد مغذی بسیار مفید است و موجب سنتز ترکیبات بیوشیمیایی مانند فنل، فلاونوئید می‌شود (Moosavi-Nezhad et al., 2024).

اسیدهای چرب در میوه گردو (اسیدپالمیتیک، اولئیک، لینولئیک، لینولنیک، پالمتیک و استئاریک)

تجزیه واریانس لینولئیک و اسیداولئیک میوه گردو اختلاف معنی‌داری را بین تیمارها در سطح یک درصد نشان داد، امّا اثر تیمارها بر سایر اسیدهای چرب میوه‌ها (اسیدپالمیتیک، لینولنیک، پالمتیک و استئاریک) معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تیمار تیوسولفات کلسیم و پتاسیم و تیمار تیوسولفات پتاسیم به‌طور معنی‌داری موجب افزایش میزان اسیدلینولئیک شدند، به‌طوری‌که بیشترین میزان لینولئیک در تیمارهای تیوسولفات کلسیم و پتاسیم و تیمار تیوسولفات پتاسیم تنها مشاهده شد و کمترین میزان لینولئیک نیز مربوط به نمونه‌های شاهد بود. به‌علاوه مشخص شد که در منطقه خرمدره، بیشترین میزان اسید چرب موجود در مغز گردو اسیدلینولئیک می‌باشد که بیش از ۵۰ درصد اسیدهای چرب را تشکیل می‌دهد که با یافته‌های سایر محققان در مورد اسید چرب غالب گردوی رقم چندلر مطابقت دارد. بیشترین میزان اسیداولئیک در تیمار تیوسولفات پتاسیم و کلسیم و کمترین میزان آن در در شاهد مشاهده شد. تیمار ترکیبی تیوسولفات کلسیم و پتاسیم (۱۹/۴ درصد) موجب افزایش اسیداولئیک میوه گردو نسبت به شاهد شد (شکل ۴).

بررسی سایر اسیدها نیز در گردوی رقم چندلر تولیدشده در شرایط منطقه خرمدره نشان داد که میزان لینولنیک گردوهای تولیدشده در شرایط اقلیمی منطقه در تیمارهای مختلف کودی ۱۳/۹–۱۲/۱ درصد، اسیدپالمتیک ۶/۱–۴/۰۱ درصد و اسیداستئاریک هم ۴/۰۱–۲/۶ درصد بود (جدول ۴). نتایج این مطالعه از نظر مقادیر نسبی اسیدهای چرب با گزارش‌های گودرزی و همکاران (Goodarzi et al., 2023) مطابقت دارد. در اغلب موارد در تیمارهای تیوسولفات کلسیم و پتاسیم، مقدار اسیدهای چرب جزئی بالاتر بوده است، امّا اثر معنی‌داری نشان نداده‌اند. بااین‌حال، اطلاعات این بخش در مورد میزان اسیدهای چرب تولیدشده در این منطقه در باغات گردوی حاصل از رقم تجاری چندلر ارزشمند بوده و نشان می‌دهد که تأثیر نوع رقم و شرایط اقلیمی منطقه در تجمع اسیدهای چرب در محصول گردو بیشتر از نوع تغذیه می‌باشد.

نتایج مختلف نشان داده است که اسیدلینولئیک، اسید چرب غالب در میوه گردو است. پس از آن، اسیدهای چرب اسیدلینولنیک، اسیداولئیک، پالمتیک و اسیداستئاریک در رده‌های بعدی قرار دارند (Goodarzi et al., 2023; Ozkan & Koyuncu, 2005). در این پژوهش، کاربرد تیوسولفات پتاسیم و تیوسولفات کلسیم با افزایش میزان عناصر غذایی مانند گوگرد، پتاسیم و کلسیم موجب افزایش کیفیت روغن و افزایش اسیدهای چرب غالب موجود در گردو مانند اسیدلینولئیک شده است. عناصر غذایی مختلف موجب افزایش اسیدهای چرب متفاوت در گیاهان می‌شود، در گزارشی استفاده از سولفات کلسیم موجب افزایش اسیداولئیک در زیتون شده است (Desouky, 2009). در گزارشی دیگر، استفاده از سولفات پتاسیم موجب افزایش اسیداولئیک و اسیدلینولئیک شده است (Mahmoud et al., 2017) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

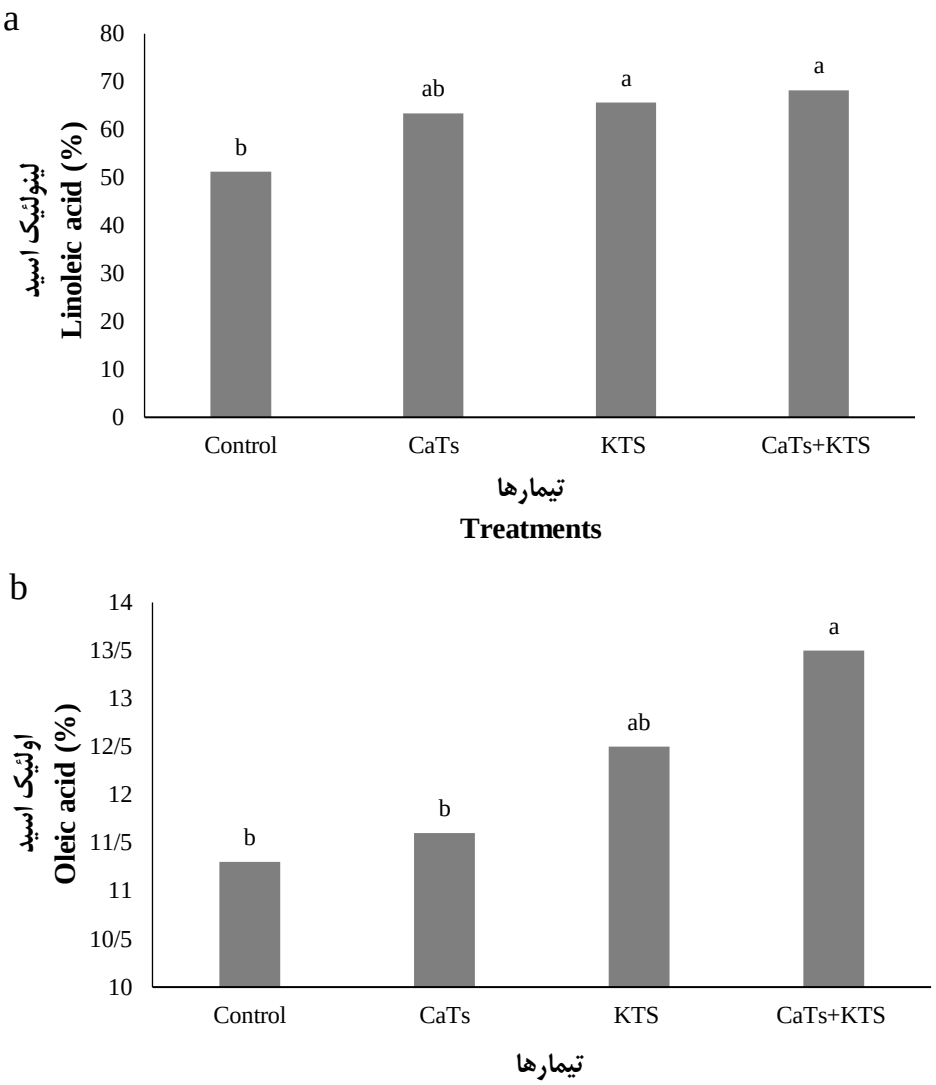
جدول ۴- محتوی اسیدهای چرب میوه گردو رقم 'چندلر' تحت تأثیر تیمارهای تیوسولفات کلسیم، تیوسولفات پتاسیم و ترکیب تیوسولفات کلسیم و پتاسیم

Table 4- The fatty acid contents of 'Chandler' walnut affected by calcium and potassium thiosulfate and their combination

تیمار Treatment	اسید استئاریک Stearic acid	اسید پالمتیک Palmitic acid	اسید لینولئیک Linolenic acid
شاهد Control	2.6[a*]	4.07[a]	12.1[a]
تیوسولفات کلسیم CaTs	3.2[a]	4.01[a]	13.4a
تیوسولفات پتاسیم KTS	3.7[a]	4.4[a]	13.6[a]
تیوسولفات کلسیم+تیوسولفات پتاسیم CaTs + KTS	4.01[a]	6.1[a]	13.9[a]

* در هر ستون، میانگین‌های دارای یک حرف مشترک، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری ندارند.

* In each column means with one common letter are not significantly different based on Duncan's multiple range test at the 5% probability level.



شکل ۴- محتوی اسیدلینولئیک (a) و اسیداولئیک (b) در میوه گردو رقم 'چندلر' تحت تأثیر تیمارهای تیوسولفات کلسیم، تیوسولفات پتاسیم و ترکیب تیوسولفات کلسیم و پتاسیم

Figure 4- The linoleic acid (a) and oleic acid (b) content of 'Chandler' walnut fruit affected by calcium and potassium thiosulfate and their combination (DMRT, $p \leq 0.05$)

عناصر غذایی مانند گوگرد، پتاسیم و کلسیم نقش مهمی در فرآیندهای فیزیولوژیکی و فعالیت‌های آنزیمی، متابولیسم اسید نوکلئیک و کربوهیدرات‌ها، افزایش نقل‌وانتقال کربوهیدرات‌ها و مواد فتوسنتزی دارند (Saadati et al., 2013). دو منبع مهم برای آسمیلاسیون و تشکیل روغن وجود دارد. اولین مسیر، کربوهیدراتی است که پس از انجام فرآیند فتوسنتز در برگ تولید می‌شود و به میوه منتقل می‌گردد و مسیر دوم، کربوهیدراتی است که طی فرآیند فتوسنتز در میوه گردو تشکیل می‌شود که بعد از انجام فرآیندهای آنزیمی به اسید چرب تبدیل می‌شود (Connor & Fereres, 2010).

در این مطالعه، مصرف تیوسولفات و تأمین بهتر عناصر گوگرد، پتاسیم و کلسیم با افزایش جذب عناصر کم‌مصرف و بهبود فعالیت فتوسنتزی موجب افزایش سنتز متابولیت‌ها و در نهایت، افزایش اسیدهای چرب در میوه گردو شده است (Hegazi et al., 2011). گوگرد و تیوسولفات‌ها به‌طور مستقیم در سنتز اسید چرب در گیاهان نقش ندارد، امّا به‌طور غیرمستقیم بر این فرآیند تأثیر می‌گذارد. تیوسولفات‌ها از طریق فعالیت احیاکننده، ریزمغذی‌ها را قابل جذب می‌کنند و همچنین در نیتریفیکاسیون (تبدیل آمونیوم به نیترات) دخالت دارند که

در نهایت بر سنتز اسیدهای چرب اثر می‌گذارند (Moosavi-Nezhad et al., 2024).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که اثر تیمار ترکیبی تیوسولفات کلسیم به همراه تیوسولفات پتاسیم سبب افزایش صفات مختلف مرتبط با کیفیت و عملکرد گردو گردید. در کشاورزی مدرن، تأمین متعادل و به‌موقع عناصر غذایی برای دستیابی به حداکثر پتانسیل عملکرد و کیفیت محصول، امری حیاتی است. کود تیوسولفات پتاسیم و کلسیم به‌دلیل فرمولاسیون منحصربه‌فرد خود، پتاسیم، کلسیم و گوگرد را به شکلی بسیار قابل دسترس در اختیار گیاه قرار می‌دهد. این محصول به‌دلیل عدم وجود کلراید، برای محصولات حساس بسیار مناسب است و به‌عنوان یک کود پتاسیم و کلسیم بدون کلر شناخته می‌شود. نتایج نشان داد که کاربرد کودهای دارای بنیان تیوسولفات به‌خصوص ترکیب تیوسولفات کلسیم و پتاسیم به‌طور مؤثری باعث افزایش فنل و فلاونوئید کل، آنتی‌اکسیدان کل، پروتئین، چربی خام، برخی اسیدهای چرب مهم و وزن تر و خشک مغز میوه گردو رقم چندلر شدند. به‌علاوه عملکرد و کارآیی عملکرد میوه، در نمونه‌های تحت تیمار کودهایی با بنیان تیوسولفات تا حدودی بهتر شده و بیشترین عملکرد و کارآیی عملکرد در تیمار تیوسولفات کلسیم به دست آمد. تیمار ترکیبی تیوسولفات پتاسیم و کلسیم موجب افزایش اسید چرب لینولئیک و اولئیک گردید. نتایج کلی نشان داد که استفاده از تیوسولفات پتاسیم و تیوسولفات کلسیم و پتاسیم به‌صورت ترکیبی باعث بهبود بسیاری از شاخص‌های فیزیکوشیمیایی میوه گردو گردید که در افزایش عملکرد و ویژگی‌های کمّی و کیفی میوه گردو مؤثرتر هستند. نقش پررنگ هزینه‌های تأمین نهاده در کنار سایر هزینه‌های اصلی و جانبی کشاورزی، لزوم به‌کارگیری روش‌ها و ابزارهای نوین را مشخص می‌کند که بتواند دقت را در کشاورزی افزایش داده و با استفاده از نهاده‌هایی با میزان جذب بالا، هم‌زمان با کاهش مصرف نهاده‌ها موجب افزایش کیفیت و کمیت محصول شده و از آلودگی‌های زیست‌محیطی مصرف کودهای شیمیایی نیز بکاهد. مصرف کودهای تیوسولفات می‌تواند به کاهش هزینه‌های اقتصادی و خطرات زیست‌محیطی در کشاورزی کمک نماید و همچنین تیوسولفات‌ها با بهبود کارآیی نیتروژن و کاهش نیاز به مصرف کود بیشتر، از هزینه‌های اقتصادی و آلودگی محیط زیست جلوگیری می‌کنند. اگرچه قیمت این کودها تا حدودی بیشتر از کودهای معمولی است، بااین‌حال با توجه به کاهش حجم کودهای مصرفی، افزایش جذب و افزایش کمیت و کیفیت محصول منجر به افزایش سود کشاورز و کاهش هزینه تولید خواهد شد. لذا استفاده از کودهای با بنیان تیوسولفات کلسیم و پتاسیم به‌صورت آب آبیاری برای افزایش خواص کیفی و عملکرد گردو رقم چندلر در شرایط و آب‌وهوایی شهرستان خرمدره در استان زنجان قابل توصیه می‌باشد. به‌علاوه با توجه به شرایط آهکی خاک‌های ایران، ارزیابی این کودها در باغ‌های گردو با میزان بالای آهک توصیه می‌شود.

References

1. Al-Yousif, A., & Al-Miahy, M. (2007). Effect of calcium on *Jujube Ziziphus* sp. fruit growth & their resistance to jujube fruit fly *Carpomyia incompleta*. *Journal of Kerbala University*, *3*(2), 106-113.
2. Afridi, M. Z., Jan, M. T., & Shad, A. A. (2002). Some aspects of NPK nutrition for improved yield and oil contents of canola. *Asian Journal of Plant Sciences*, *5*, 507-509. https://doi.org/10.3923/ajps.2002.507.509
3. Ahmad, G., Jan, A., Arif, M., Jan, M. T., & Khattak, R. A. (2007). Influence of nitrogen and sulfur fertilization on quality of canola (*Brassica napus* L.) under rainfed conditions. *Journal of Zhejiang University Science B*, *8*(10), 731-737. https://doi.org/ 10.1631/jzus.2007.B0731
4. Anonymous. (2019). Organization, I.N.S., Biscuit specifications and test methods. Iranian National Standard.
5. Anonymous. (2023). Agriculture Statistic of Iran. Deputy Planning and Economic, Ministry of Agriculture-Jahad, Iran.(in Persian). Retrieved 11 July 2018..from https://www.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/Amarnamehj194-95-site.pdf.
6. Awad, M. A., Soaud, A. A., Badawi, M. A., & Eshkandi, O. H. (2003). Effect of elemental sulfur, chemical and organic fertilizers on nutrient uptake, yield and fruit quality of date palm trees (*Phoenix dactylifera* L.) cv. 'Neghal'.The 7th Annual U.A.E. University Research Conference, p. 34-39.
7. Bilgin, N. (2021). Effects of foliar applications on nutrient concentrations of kernel, pomological properties and yield of 'Chandler' walnut variety at different altitudes. *Tarim Bilimleri Dergisi*, *28*(4), 603-614. https://doi.org/10.15832/ankutbd.925268
8. Bilgin, N. A. (2022). Effects of foliar applications on nutrient concentrations of kernel, pomological properties and yield of'Chandler'walnut variety at different altitudes. *Journal of Agricultural Sciences*, *28*(4), 603-612. https://doi.org/10.15832/ankutbd.92526
9. Bound, S., & Wilson, J. (2004). Response of two apple cultivars to potassium thiosulphate as a blossom thinner. *IX* International Symposium on Plant Bioregulators in Fruit Production, p. 36-62. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.653.9

10. Boyd, D. A. (2016). Sulfur and its role in modern materials science. *Angewandte Chemie International Edition*, *55*(50), 15486-15502. https://doi.org/10.1002/anie.201604615
11. Connor, D. J., & Fereres, E. (2010). The Physiology of Adaptation. *Horticultural Reviews*, *31*(31), 155
12. Conway, W. S., & Sams, C. E. (1987). The effects of postharvest infiltration of calcium, magnesium, or strontium on decay, firmness, respiration, and ethylene production in apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *112*(2), 300-303. https://doi.org/10.21273/JASHS.112.2.300
13. de Almeida Costa, G. E., da Silva Queiroz-Monici, K., Reis, S. M. P. M., & de Oliveira, A. C. (2006). Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food Chemistry*, *94*(3), 327-330. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.11.020
14. Dehghan, G., & Khoshkam, Z. (2012). Tin (II)–quercetin complex: Synthesis, spectral characterisation and antioxidant activity. *Food Chemistry*, *131*(2), 422-426. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.074
15. Desouky, I. M. (2009). Effect of boron and calcium sprays on fruit set, oil content and oil quality of some olive oil cultivars IM Desouky,"Laila F. Haggag, MMM Abd El-Migeed" FFM Kishk and "ES. El-Hady" Department of Faculty of Agriculture, Ain Shams University, Shoubra El-Kheima, Cairo, Egypt "Department of Pomology, National Research Centre, El-Tharir St., Dokki, Egypt. *World Journal of Agricultural Sciences*, *5*(2), 180-185.
16. Devi, K. N., Singh, L. N. K., Singh, M. S., Singh, S. B., & Singh, K. K. (2012). Influence of sulphur and boron fertilization on yield, quality, nutrient uptake and economics of soybean (*Glycine max*) under upland conditions. *Journal of Agricultural Science*, *4*(4), 1. https://doi.org/10.5539/jas.v4n4p1
17. Droux, M. (2004). Sulfur assimilation and the role of sulfur in plant metabolism: A survey. *Photosynthesis Research*, *79*(3), 331-348. https://doi.org/10.1023/B:PRES.0000017196.95499.11
18. El-Badawy, H. E. M. (2019). Implication of using potassium and magnesium fertilization to improve growth, yield and quality of crimson seedless grapes (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Plant Production*, *10*(2), 133-141. https://doi.org/10.21608/jpp.2019.36243
19. Emam, S. M., & Semida, W. M. (2020). Foliar-applied Amcoton® and potassium thiosulphate enhances the growth and productivity of three faba beans varieties by improving photosynthetic efficiency. *Archives of Agriculture and Environmental Sciences*, *5*(2), 89-96. https://doi.org/10.26832/24566632.2020.050202
20. Fanaei, H. R., Galavi, M., Kafi, M., Bonjar, A. G., & Shirani-Rad, A. H. (2011). Effect of drought stress and potassium on solutes accumulation and chlorophyll of canola (*B. napus* L.) and Indian mustard (*B. juncea* L.). *JWSS-Isfahan University of Technology*, *15*(57), 141-156. (In Persian with English abstract)
21. Fanaei, H., Galavi, M., Kafi, M., & Shirani-Rad, A. H. (2013). Interaction of water deficit stress and potassium application on potassium, calcium, magnesium concentration and oil of two species of canola (*Brassica napus*) and mustard (*Brassica juncea*). *Water and Soil Science*, *23*(3), 261-275. (In Persian with English abstract)
22. FAO. (2022). FAO statistical database. Available at: http://apps.fao.org
23. Gaaliche, B., Ladhari, A., Zarrelli, A., & Mimoun, M. B. (2019). Impact of foliar potassium fertilization on biochemical composition and antioxidant activity of fig (*Ficus carica* L.). *Scientia Horticulturae*, *253*, 111-119. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.024
24. Germain, E., Prunet, Y., & Garcin, A. (1999). Le noyer. Centre Technique Interprofessione ldes Fruits et Légumes Press: 279, 45-61.
25. Ghesmati, M., Moradinezhad, F., & Khayyat, M. (2017). Effects of foliar application of calcium nitrate and calcium chloride on antioxidant properties and quality of *Ziziphus jujuba* Mill. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *23*, 871-881. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.111043.2059
26. Golzari, M., Rahemi, M., Hassani, D., Vahdati, K., & Dalalppur, M. N. (2013). Protein content, fat and fatty acids of kernel in some Persian walnut (*Juglans regia* L.) cultivars affected by kind of pollen. *Quarterly Journal of Food Science and Technology*, *38*(10), 15-18.
27. Gonzalez, S., Duncan, S. E., O'Keefe, S. F., Sumner, S. S., & Herbein, J. H. (2003). Oxidation and textural characteristics of butter and ice cream with modified fatty acid profiles. *Journal of Dairy Science*, *86*(1), 70-77. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73585-1
28. Goodarzi, H., Hassani, D., Pourhosseini, L., Kalantari, S., & Lashgari, A. (2023). Total lipid and fatty acids components of some Persian walnut (*Juglans regia*) cultivars. *Scientia Horticulturae*, *321*, 112252. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112252
29. Hafsi, C., Debez, A., & Abdelly, C. (2014). Potassium deficiency in plants: Effects and signaling cascades. *Acta Physiologiae Plantarum*, *36*(5), 1055-1070. https://doi.org/10.1007/s11738-014-1491-2
30. 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

31. Hegazi, E. S., Mohamed, S. M., El-Sonbaty, M. R., Abd El-Naby, S. K. M., & El-Sharony, T. F. (2011). Effect of potassium nitrate on vegetative growth, nutritional status, yield and fruit quality of olive cv. Picual. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, *3*(3), 252-258.
32. Jamaly, R., Parent, S., Ziadi, N., & Parent, L. (2023) Short-term impact of elemental sulfur on cranberry nutrition and crop performance. *Open Journal of Soil Science*, *13*, 83-96. https://doi.org/10.4236/ojss.2023.132004.
33. Kaviani, B., Ansari, R., Babaei, S. K., Aboksari, H. A., Ansari, M. H., & Akhgari, H. (2023). Effect of combined foliar application of calcium and potassium on the shelf life and quality of Thomson Navel orange. *Journal of Plant Production*, 63-82. https://doi.org/10.22069/jopp.2021.19143.2827
34. Khorami, S. S., & Vahdati, K. (2019). Determination of Persian walnut yield components and its correlation with phenological, morphological and biochemical traits. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *6*(3), 549-560. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.260251.1474
35. Lanauskas, J. & Kvikliene, N. (2006). Effect of calcium foliar application on some fruit quality characteristics of 'Sinap Orlovskij'apple. *Agronomy Research*, *4*(1), 31-36.
36. Mahmoud, T. S. M., Mohamed, E. S. A., & El-Sharony, T. F. (2017). Influence of foliar application with potassium and magnesium on growth, yield and oil quality of "Koroneiki" olive trees. *American Journal of Food Technology*, *12*, 209-220. https://doi.org/10.3923/ajft.2017.209.220
37. Malakoti, M. J. (2000). The role of calcium and zinc in increasing the yield and improving the quality of apple trees "Calcium and zinc are vital and forgotten elements in the proper nutrition of fruit orchards in the country. The Second Iranian Congress of Horticultural Sciences. Tehran, Iran. (In Persian with English abstract)
38. Moradi, B., Raeisei, T., & Shahnazari, S. (2016). The effect of different fertilization methods on the quantitative and qualitative characteristics of kiwi fruit. *Soil Research Journal*, *30*(3), 237-248. (In Persian)
39. Morales, J., Martínez-Alcántara, B., Bermejo, A., Millos, J., Legaz, F., Quiñones, A. (2023). Effect of calcium fertilization on calcium uptake and its partitioning in citrus trees. *Agronomy*, *13*, 2971. https://doi.org/10.3390/agronomy13122971
40. Moosavi-Nezhad, M., Homayoonzadeh, M., Tsaniklidis, G., Roessner, U., Woltering, E., Fanourakis, D., Aliniaeifard, S. (2024). Enhancing shelf life of bell peppers through preharvest fertigation with calcium and potassium thiosulfate: A focus on antioxidant and cell wall degradation enzymes. *Journal of Agriculture and Food Research*, *2*(8), 45-63. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101262
41. Mudau, F. N., Soundy, P., & Du Toit, E. S. (2007). Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium nutrition on total polyphenol content of bush tea (*Athrixia phylicoides* L.) leaves in shaded nursery environment. *HortScience*, *42*(2), 334-338. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.2.334
42. Nazoori, F., ZamaniBahramabadi, E., Mirdehghan, H., & Yousef, M. (2022). Preharvest application of sulfur as pesticide on fresh hull and kernel of pistachio (*Pistacia vera* L.). *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 117-129. https://doi.org/10.22059/ijhst.2021.313206.408
43. Nguyen, P. M., Kwee, E. M., & Niemeyer, E. D. (2010). Potassium rate alters the antioxidant capacity and phenolic concentration of basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves. *Food Chemistry*, *123*(4), 1235-1241. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.092
44. Oskonbaeva, Z., Joergensen, R. G., & Wichern, F. (2024). Influence of soil extractable plant nutrients on the walnut kernel ionome in Southern Kyrgyzstan at different elevations. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-13. https://doi.org/10.1007/s42729-024-02122-z
45. Ozkan, G., & Koyuncu, M. A. (2005). Physical and chemical composition of some walnut (*Juglans regia* L) genotypes grown in Turkey. *Grasas y Aceites*, *56*(2), 141-146. https://doi.org/10.3989/gya.2005.v56.i2.122
46. Pandey, G. K., & Mahiwal, S. (2020). Role of Potassium in Plants (Vol. 49). Chamistry, Switzerland: Springer.
47. Puerta-Gomez, A. F., & Cisneros-Zevallos, L. (2011). Postharvest studies beyond fresh market eating quality: Phytochemical antioxidant changes in peach and plum fruit during ripening and advanced senescence. *Postharvest Biology and Technology*, *60*(3), 220-224. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.01.005
48. Rabari, K., Souri, M., & Roozban, M. (2023). Exogenous calcium improves growth and physiological responses of pistachio rootstocks against excess boron under salinity. *Journal of Plant Nutrition*, *46*, 2-18. https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2224817
49. Rasool, F. U., Hasan, B., Jahangir, I. A., Ali, T., & Mubarak, T. (2013). Nutritional yield and economic responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to integrated levels of nitrogen, sulphur and farmyard manure. Open Research Repository, p. 73-78. https://doi.org/10.4038/jas.v8i1.5373
50. Rouhi, V., Nikbakht, A., & Hooshmand, S. (2015). Effect of sodium chloride concentrations and Its foliar application time on quantitative and qualitative characteristics of pomegranate fruit (*Punica granatum* L.) cv."Malas Saveh". *Journal of Horticultural Science*, *29*(2), 158-167. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.26271

51. Saadati, S., Moallemi, N., Mortazavi, S. M. H., & Seyyednejad, S. M. (2013). Effects of zinc and boron foliar application on soluble carbohydrate and oil contents of three olive cultivars during fruit ripening. *Scientia Horticulturae*, *164*, 30-34. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.08.033
52. Santos, E., Montanha, G. S., Agostinho, L. F., Polezi, S., Marques, J. P. R., & de Carvalho, H. W. P. (2023). Foliar calcium absorption by tomato plants: Comparing the effects of calcium sources and adjuvant usage. *Plants*, *12*(14), 2587. https://doi.org/10.3390/plants12142587
53. Shahidi, F., & Zhong, Y. (2005). Lipid oxidation: Measurement methods. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. https://doi.org/10.1002/047167849X.bio050
54. Sharma, R. R., Singh, C. N., & Goswami, A. M. (2001). Polyphenol oxidase activity in mango (*Mangifera indica* L.) in relation to flowering behaviour and the malformation incidence. *Fruits*, *56*(4), 219-224. DOI: https://doi.org/10.1051/fruits:2001124
55. Sharma, R. R., Singh, D., & Pal, R. K. (2013). Synergistic influence of pre-harvest calcium sprays and postharvest hot water treatment on fruit firmness, decay, bitter pit incidence and postharvest quality of royal delicious apples (*Malus* x *domestica* Borkh). *American Journal of Plant Sciences*, *4*(1), 153-159. https://doi.org/10.4236/ajps.2013.41020
56. Simonne, E. H., Jones Jr, J. B., Mills, H. A., Smittle, D. A., & Hussey, C. G. (1993). Influence of catalyst, sample weight, and digestion conditions on Kjeldahl nitrogen. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *24*(13-14), 1609-1616. https://doi.org/10.1080/00103629309368904
57. Singh, B., & Usha, K. (2001, September). Effect of macro and micro-nutrient spray on fruit yield and quality of grape (*Vitis vinifera* L.) cv. Perlette. In International Symposium on Foliar Nutrition of Perennial Fruit Plants 594. pp. 197-202. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.594.21
58. Stampar, F., Solar, A., Hudina, M., Veberic, R., & Colaric, M. (2006). Traditional walnut liqueur–cocktail of phenolics. *Food Chemistry*, *95*(4), 627-631. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.035
59. Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). Plant Physiology. Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.035
60. Wang, Q., Liao, Y., Zhao, W., Yi, T., Jiang, Y., Zhu, G., Sun, Y., Wang, Q., Chen, F., Zhang, & PRui, Y. (2024). Potassium-based nanomaterials significantly enhance nutrient utilization efficiency and promote high crop yields. *Environmental Science: Nano*, *11*(7), 2906-2922. https://doi.org/10.1039/D4EN00148F
61. Xu, X., Du, X., Wang, F., Sha, J., Chen, Q., Tian, G., Zhu, Z., Ge, S., & Jiang, Y. (2020). Effects of potassium levels on plant growth, accumulation and distribution of carbon, and nitrate metabolism in apple dwarf rootstock seedlings. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 904. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00904
62. Yu, J., Zhu, M., Bai, M., Xu, Y., Fan, S., & Yang, G. (2020). Effect of calcium on relieving berry cracking in grape (*Vitis vinifera* L.) 'Xiangfei'. *Reviewed and Open Access Journal*, *8*, e9896. https://doi.org/10.7717/peerj.9896
63. Zareei, E., Javadi, T., & Aryal, R. (2018). Biochemical composition and antioxidant activity affected by spraying potassium sulfate in black grape (*Vitis vinifera* L. cv. Rasha). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *98*(15), 5632-5638. https://doi.org/10.1002/jsfa.9107

Contents

Yield and Quality of 'Navelina' Sweet Orange (*Citrus sinensis* cv. Navelina) on Different Citrus Rootstocks in the North of Iran 1
N. Akhlaghi Amiri, A. Asadi Kangarshahi
Optimizing the *in vitro* Culture for Callus Induction of Iranian St John's Wort (*Hypericum perforatum* L.) 19
M. Abdollahpoor, M. Azizi, S. Kalantari, Y. A. Saadat
Effect of Fulvic Acid on Morpho-Physiological Characteristics and the Vase Life of Rose Cut Flowers (*Rosa hybrid* c.v. Dolce vita) under Salinity Stress 31
M. Danandeh, R. Azarmi, M. Torabi Giglou, E. Chamani, Z. Aslani
Effect of Putrescine Foliar Application on Growth and Physiological Characteristics of *Echium amoenum* Seedlings Under Salinity Conditions 45
B. Rahimkhani, M. Naseri, A. Ahmadian, M. Alipanah
The Effect of Different Pretreatments on Seed Germination of the Medicinal Plant *Artemisia herba-alba*: A Strategy for the Revival of an Endangered Species 61
A. Azizi, M. Mahmoodi Sourestani, H. Motamedi, M. Bagnazari
The Effect of Seaweed Extract and Sucrose Foliar Application on Some Growth, Physiological, and Phytochemical Indices of Basil (*Ocimum basilicum*) 77
A. Khoshnoudi Abroudi, V. Akbarpour, M. A. Bahmanyar, M. Ashnavar
Study of Vegetative and Ornamental Traits of Different Species of Sage (*Salvia* spp.) in the Climatic Conditions of Birjand 93
M. Abaspour, H. Bayat, M. H. Aminifard, F. Moradinezhad
Investigating Quantitative and Qualitative Traits of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) under the Effect of Different Growth Stages and Levels of Foliar Spraying with Potassium Nanoparticles 103
N. Gharehbaghli, A. Mehraban
Eucalyptus (*Eucalyptus* spp) Essential Oil in Northern Iran: A Comparative Analysis of Chemical Composition with International Standards and Leading Global Producers 121
Z. Ziaei Movahhed, A. Yadollahi, L. Samiei, M. T. Ebadi, A. Mokhtassi-Bidgoli
Evaluation of Promising Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Hybrids with Emphasis on Fruit Quality Traits and Shelf Life 137
Z. Ghiasi Limanjoobi, M. Lotfi, H. Ramshini , S. Sarikhani
Evaluation of the Efficiency of Calcium and Potassium Thiosulfate Compounds on Biochemical Traits and Yield in the Walnut (*Juglans regia* L. var. Chandler) 155
S. Heydari, V. Rabiei, A. Soleimani, F. Nasr

HORTICULTURAL SCIENCES

(AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY)

Vol. 40 No. 1 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
Tehranifar,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
Lahouti, M.	Plant Physiology	Ferdowsi University of Mashhad
Fujii, Y.	Agricultural	Tokyo University of Agriculture and Technology, International Environmental and Agricultural Sciences

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad

Address: College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

P.O.BOX: 91775- 1163

Tel: +98-0511- 38804621

Fax: +98-0511- 8787430

E-Mail: Jhorts4@um.ac.ir

Web Site: https://jhs.um.ac.ir

Ferdowsi University of Mashhad

Journal of Horticultural Science

(Agricultural Science and Technology)

Vol. 40 No. 1

2026

ISSN:2008-4730

Contents

Yield and Quality of 'Navelina' Sweet Orange (*Citrus sinensis* cv. Navelina) on Different Citrus Rootstocks in the North of Iran 1
N. Akhlaghi Amiri, A. Asadi Kangarshahi

Optimizing the *in vitro* Culture for Callus Induction of Iranian St John's Wort (*Hypericum perforatum* L.) 19
M. Abdollahpoor, M. Azizi, S. Kalantari, Y. A. Saadat

Effect of Fulvic Acid on Morpho-Physiological Characteristics and the Vase Life of Rose Cut Flowers (*Rosa hybrid* c.v. Dolce vita) under Salinity Stress 31
M. Danandeh, R. Azarmi, M. Torabi Giglou, E. Chamani, Z. Aslani

Effect of Putrescine Foliar Application on Growth and Physiological Characteristics of *Echium amoenum* Seedlings Under Salinity Conditions 45
B. Rahimkhani, M. Naseri, A. Ahmadian, M. Alipanah

The Effect of Different Pretreatments on Seed Germination of the Medicinal Plant *Artemisia herba-alba*: A Strategy for the Revival of an Endangered Species 61
A. Azizi, M. Mahmoodi Sourestani, H. Motamedi, M. Bagnazari

The Effect of Seaweed Extract and Sucrose Foliar Application on Some Growth, Physiological, and Phytochemical Indices of Basil (*Ocimum basilicum*) 77
A. Khoshnoudi Abroudi, V. Akbarpour, M. A. Bahmanyar, M. Ashnavar

Study of Vegetative and Ornamental Traits of Different Species of Sage (*Salvia* spp.) in the Climatic Conditions of Birjand 93
M. Abaspour, H. Bayat, M. H. Aminifard, F. Moradinezhad

Investigating Quantitative and Qualitative Traits of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) under the Effect of Different Growth Stages and Levels of Foliar Spraying with Potassium Nanoparticles 103
N. Gharehbaghli, A. Mehraban

Eucalyptus (*Eucalyptus* spp) Essential Oil in Northern Iran: A Comparative Analysis of Chemical Composition with International Standards and Leading Global Producers 121
Z. Ziaei Movahhed, A. Yadollahi, L. Samiei, M. T. Ebadi, A. Mokhtassi-Bidgoli

Evaluation of Promising Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Hybrids with Emphasis on Fruit Quality Traits and Shelf Life 137
Z. Ghiasi Limanjoobi, M. Lotfi, H. Ramshini , S. Sarikhani

Evaluation of the Efficiency of Calcium and Potassium Thiosulfate Compounds on Biochemical Traits and Yield in the Walnut (*Juglans regia* L. var. Chandler) 155
S. Heydari, V. Rabiei, A. Soleimani, F. Nasr