



# پژوهش‌های تولید گیاهی

(نشریه علوم کشاورزی و منابع طبیعی)

جلد سی‌ام، شماره ۱، ۱۴۰۲

شاپا (نسخه چاپی): ۲۳۲۲-۲۰۵۰

(نسخه آنلاین): ۲۳۲۲-۲۷۷۸

## فهرست مطالب

- بررسی اثر سطوح مختلف تنش شوری و رقم بر ویژگی‌های زیست شیمیایی، فیزیولوژیکی و غلظت عناصر غذایی گیاه قرنفل (*Dianthus barbatus*)  
 وحید قاسمی، عبدالله احتشام‌نیا، عبدالحسین رضایی‌نژاد، حسن موموند..... ۳
- پارامتریایی و ارزیابی مدل SSM-iCrop2 برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه برنج در ایران  
 صالح کرامت، بنیامین ترابی، افشین سلطانی، ابراهیم زینلی..... ۲۳
- تأثیر تنش خشکی بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و زیست شیمیایی برخی گونه‌های گل سوسن در شرایط درون‌شیشه‌ای  
 رضوان احدی راد، یونس پور بیرامی هیر، اسماعیل چمنی، حسن ملکی لجایر، نورالدین ایزدی..... ۵۱
- بررسی پایداری عملکرد لاین‌های امیدبخش زمستانه کلزا در اقلیم سرد و معتدل سرد ایران  
 مهرداد احمدی، منصور امید، علی‌اکبر شاه نجات بوشهری، نازنین امیربختیار..... ۶۹
- اثر سدیم نیتروپروپوساید (SNP) بر خصوصیات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita L.*) تحت تنش شوری  
 کلثوم ارشان، داود صمصام‌پور، حسین پاسالاری..... ۸۶
- شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در ارقام جدید گندم نان با استفاده از مدل DSSAT-Nwheat  
 فراست سجادی، حسین شریفان، حبیب‌اله سوقی، محمد عبدالحسینی..... ۱۰۵
- اثر کاربرد برگری اسید گاما آمینو بوتیریک بر برخی خصوصیات زیست شیمیایی و بیان ژن‌های PAL و CHS در انگور رقم قزل‌اوزوم (*Vitis vinifera L.*)  
 افسانه اله‌ویرن اوصالو، لطفعلی ناصری، ابوالفضل علیرضالو، رضا درویش‌زاده، صمد نژاد ابراهیمی..... ۱۲۷
- اثرات افزودن نور قرمز دور به طیف فعال فتوسنتزی، بر خصوصیات رشدی و ریخت‌شناسی ریحان (*Ocimum basilicum L.*) در محیط کنترل‌شده  
 حسین مزاری منقابی، مجتبی دلشاد، ساسان علی‌نیاپی‌فرد..... ۱۵۱
- اثر کم‌آبایی بر کیفیت ظاهری، پاسخ‌های فیزیولوژیکی و کارایی مصرف آب آلاله آسیایی (*Ranunculus asiaticus L.*)  
 ناهید بلاسمی، زینب رونین، عاطفه ضیوری، احمدرضا دادرس..... ۱۶۷
- مدل‌سازی عملکرد نخود دیم در کشت انتظاری با استفاده از مدل‌های گردش عمومی در غرب و شمال غرب ایران  
 سند رضا امیری، حامد عینی‌نرگسه..... ۱۸۹
- بررسی شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد و کارایی مصرف نور در ژنوتیپ‌های مختلف بادام‌زمینی در استان گیلان  
 سمیه فلاحی، محمدنقی صفرزاده ویشکایی، پیمان شریفی، حسن اجگری..... ۲۱۱
- شناسایی ترکیبات آنتوسیانینی در ۱۰ رقم انگور (*Vitis vinifera L.*) با روش HPLC-DAD  
 فاطمه صادقیان، اسماعیل سیفی، سیده سائاز رمضانپور، سید علیرضا سلامی..... ۲۲۷



## فهرست مطالب

- بررسی اثر سطوح مختلف تنش شوری و رقم بر ویژگی‌های زیست شیمیایی، فیزیولوژیکی و غلظت عناصر غذایی گیاه قرنفل  
(*Dianthus barbatus*)  
وحید قاسمی، عبدالله احتشام‌نیا، عبدالحسین رضایی‌نژاد، حسن مومیوند..... ۳
- پارامتریایی و ارزیابی مدل SSM-iCrop2 برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه برنج در ایران  
صالح کرامت، بنیامین ترابی، افشین سلطانی، ابراهیم زینلی..... ۲۳
- تأثیر تنش خشکی بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و زیست شیمیایی برخی گونه‌های گل سوسن در شرایط درون‌شیشه‌ای  
رضوان احدی راد، یونس پور بیرامی هیر، اسماعیل چمنی، حسن ملکی لجاير، نورالدین ایزدی..... ۵۱
- بررسی پایداری عملکرد لاین‌های امیدبخش زمستانه کلزا در اقلیم سرد و معتدل سرد ایران  
مهرزاد احمدی، منصور امیدی، علی‌اکبر شاه نجات بوشهری، نازنین امیربختیار..... ۶۹
- اثر سدیم نیتروپروساید (SNP) بر خصوصیات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)  
تحت تنش شوری  
کلتوم ارشان، داود صمصام‌پور، حسین پاسالاری..... ۸۶
- شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در ارقام جدید گندم نان با استفاده از مدل DSSAT-Nwheat  
فراست سجادی، حسین شریفان، حبیب‌اله سوقی، محمد عبدالحسینی..... ۱۰۵
- اثر کاربرد برگی اسید گاما‌آمینو بوتیریک بر برخی خصوصیات زیست شیمیایی و بیان ژن‌های PAL و CHS در انگور رقم  
قرل‌اوزوم (*Vitic vinifera* L.)  
افسانه اله‌ویرن اوصالو، لطفعلی ناصری، ابوالفضل علیرضالو، رضا درویش‌زاده، صمد نژاد ابراهیمی..... ۱۲۷
- اثرات افزودن نور قرمز دور به طیف فعال فتوسنتزی، بر خصوصیات رشدی و ریخت‌شناسی ریحان (*Ocimum basilicum* L.)  
در محیط کنترل‌شده  
حسین مزاری منقابی، مجتبی دلشاد، ساسان علی‌نمایی فرد..... ۱۵۱
- اثر کم‌آبایی بر کیفیت ظاهری، پاسخ‌های فیزیولوژیکی و کارایی مصرف آب آلاله آسیایی (*Ranunculus asiaticus* L.)  
ناهید بلاسمی، زینب روئین، عاطفه صبوری، احمدرضا دادرس..... ۱۶۷
- مدل‌سازی عملکرد نخود دیم در کشت انتظاری با استفاده از مدل‌های گردش عمومی در غرب و شمال غرب ایران  
سید رضا امیری، حامد عینی نرگسه..... ۱۸۹
- بررسی شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد و کارایی مصرف نور در ژنوتیپ‌های مختلف بادام‌زمینی در استان گیلان  
سمیه فلاحی، محمدنقی صفرزاده ویشکایی، پیمان شریفی، حسن اخگری..... ۲۱۱
- شناسایی ترکیبات آنتوسیانینی در ۱۰ رقم انگور (*Vitis vinifera* L.) با روش HPLC-DAD  
فاطمه صادقیان، اسماعیل سیفی، سیده ساناز رمضانپور، سید علیرضا سلامی..... ۲۲۷





## The effect of different levels of salinity stress and cultivar on biochemical and physiological characteristics and nutrient concentration of William Sweet (*Dianthus barbatus*)

Vahid Ghasemi<sup>1</sup>, Abdollah Ehtesham Nia<sup>\*2</sup>, Abdolhossein Rezaei Nejad<sup>3</sup>,  
Hasan Mumivand<sup>4</sup>

1. Ph.D. Graduate, Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: [vahidghasemi\\_tu@yahoo.com](mailto:vahidghasemi_tu@yahoo.com)
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: [ehteshamnia.ab@lu.ac.ir](mailto:ehteshamnia.ab@lu.ac.ir)
3. Professor, Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: [rezaeinejad.hossein@gmail.com](mailto:rezaeinejad.hossein@gmail.com)
4. Assistant Prof., Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: [h.mumivand@gmail.com](mailto:h.mumivand@gmail.com)

### Article Info

**Article type:**  
Full Length Research Paper

**Article history:**  
Received: 05.12.2021  
Revised: 06.14.2021  
Accepted: 09.05.2021

### Keywords:

Carnation,  
Chlorophyll,  
Nutrient uptake,  
RWC,  
Salinity stress

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** *Dianthus barbatus* belongs to the Caryophyllaceae family and is one of the most important ornamental plants in the open air, which gives a special beauty to the environment in spring. This plant grows in a wide range of climatic conditions. Due to the fact that extensive research on salinity stress threshold and cultivar resistance in this plant has not been studied, so this study aims to investigate the effect of different levels of salinity stress and cultivar type on some physiological, biochemical and nutrient concentration of *Dianthus* was done in greenhouse conditions.

**Materials and Methods:** This experiment was performed in November 2019 in the research greenhouse of Khomeyn Municipality located in Markazi province, as a factorial, in a completely randomized design, with three replications. Experimental factors included salinity stress and cultivar. The first factor was cultivars at two levels (including Diana and Barbarin cultivars), the second factor was salinity at 10 levels (including 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 and 90 mM NaCl). The seeds were prepared from a Dutch company and planted in pots containing soil, manure and sand (1:1:1). Salinity stress was applied from the four-leaf stage. At the end of the experiment at the stage of full flowering, the traits measured in this experiment included the concentration of nitrogen (N), P, K, calcium (Ca), magnesium, sodium, photosynthetic pigments, carotenoid content, proline, Electrolyte Leakage, Lipid peroxidation, relative leaf water content (RWC) and leaf enzyme activity (catalase and peroxidase).

**Results:** The results of ANOVA showed that the main effects and interactions of salinity stress and cultivar were significant for catalase, peroxidase, potassium uptake and Electrolyte Leakage. As the concentration of sodium chloride increased, the amount of chlorophyll and carotenoids, the concentration of calcium, magnesium, nitrogen, phosphorus and RWC decreased, and the amount of malondialdehyde, electrolyte Leakage, enzyme activity, proline and absorption of sodium and potassium increased. Among the two cultivars studied, Barbarin cultivar

---

was more tolerant to salinity stress than Diana cultivar. The highest uptake of potassium (5.157%) in Barbarin cultivar under non-stress conditions, the lowest (14.79%) in Diana cultivar under severe stress conditions (90 mM). The highest sodium uptake (1.36%) was reported in severe stress conditions (90 mM) and the lowest uptake (0.2196%) in non-stress conditions. Sodium uptake in Barbarin cultivar (0.5082%) was lower than Diana cultivar (0.5474%) which indicated that this cultivar was more resistant to sodium uptake.

**Conclusion:** According to the results of the present study, with increasing sodium chloride concentration, physiological parameters such as chlorophyll and carotenoid content and relative leaf water content decrease and biochemical parameters such as malondialdehyde content, enzyme activity, sodium and potassium uptake, electrolyte leakage and Proline increased. The results of this study showed that the cultivars studied in this study were resistant to low salinity (10-40 mM) and somewhat sensitive to moderate and severe salinity (50-90 mM). Among the studied cultivars, Barbarin cultivar was more tolerant to moderate and severe soil salinity than Diana cultivar.

---

Cite this article: Ghasemi, Vahid, Ehtesham Nia, Abdollah, Rezaei Nejad, Abdolhossein, Mumivand, Hasan. 2023. The effect of different levels of salinity stress and cultivar on biochemical and physiological characteristics and nutrient concentration of William Sweet (*Dianthus barbatus*). *Journal of Plant Production*, 30 (1), 1-19.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2021.19072.2815

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## بررسی اثر سطوح مختلف تنش شوری و رقم بر ویژگی‌های زیست شیمیایی، فیزیولوژیکی و غلظت عناصر غذایی گیاه قرنفل (*Dianthus barbatus*)

وحید قاسمی<sup>۱</sup>، عبدالله احتشام‌نیا<sup>۲\*</sup>، عبدالحسین رضایی‌نژاد<sup>۳</sup>، حسن مومیوند<sup>۴</sup>

۱. دانش‌آموخته دکتری گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: [vahidghasemi\\_tu@yahoo.com](mailto:vahidghasemi_tu@yahoo.com)
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: [ehteshamia.ab@lu.ac.ir](mailto:ehteshamia.ab@lu.ac.ir)
۳. استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: [rezaeinejad.hossein@gmail.com](mailto:rezaeinejad.hossein@gmail.com)
۴. استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: [h.mumivand@gmail.com](mailto:h.mumivand@gmail.com)

| اطلاعات مقاله   | چکیده  |
|---|--|
| نوع مقاله:<br>مقاله کامل علمی - پژوهشی  | سابقه و هدف: گیاه قرنفل، با نام علمی <i>Dianthus barbatus</i> متعلق به خانواده میخک‌سانان (Caryophyllaceae) از مهم‌ترین گیاهان زینتی در فضای باز محسوب می‌شود که در فصل بهار زیبایی خاصی به محیط می‌دهد. این گیاه در دامنه وسیعی از شرایط آب و هوایی رشد می‌کند. با توجه با این‌که پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه حد آستانه تنش شوری و مقاومت ارقام در این گیاه بررسی نشده است، بنابراین این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف تنش شوری و نوع رقم بر برخی صفات فیزیولوژیکی، زیست شیمیایی و غلظت عناصر غذایی گیاه قرنفل در شرایط گلخانه‌ای انجام شد.  |
| واژه‌های کلیدی:<br>تنش شوری،<br>جذب عناصر،<br>کلروفیل،<br>گیاه قرنفل،<br>محتوای نسبی آب | مواد و روش‌ها: این آزمایش در آبان سال ۱۳۹۹ در گلخانه تحقیقاتی شهرداری خمین واقع در استان مرکزی، به صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی، با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل تنش شوری و رقم بود. فاکتور اول، ارقام در دو سطح (شامل ارقام دیانا و باربارین)، فاکتور دوم شوری آب آبیاری ناشی از کلرید سدیم در ۱۰ سطح (شامل ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ میلی‌مولار) بودند. بذرها از شرکت هلندی تهیه و در گلدان حاوی خاک، کود دامی و ماسه کشت شدند. تنش شوری از مرحله ۴ برگ‌گی اعمال شد. در پایان آزمایش، در مرحله گل‌دهی کامل، صفات اندازه‌گیری شده در این آزمایش شامل غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاروتنوئید، پرولین، نشت یونی، مالون دی آلدئید، محتوای نسبی آب برگ و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برگ (کاتالاز و پراکسیداز) بودند. |

**یافته‌ها:** نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثرات اصلی و اثرات متقابل تنش شوری و رقم بر صفات آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، پراکسیداز، غلظت عنصر پتاسیم و نشت یونی معنی‌دار شد. با افزایش شوری، میزان کلروفیل و کاروتنوئید، غلظت عناصر کلسیم، منیزیم، نیتروژن، فسفر و محتوای نسبی آب برگ، کاهش، و میزان مالون دی آلدئید، نشت الکترولیت، فعالیت آنزیم‌ها، پرولین و غلظت عناصر سدیم و پتاسیم افزایش یافت. نتایج نشان داد که با افزایش شوری، نسبت  $Na^+:K^+$  افزایش معنی‌داری یافت، سایر صفات مورد بررسی کاهش معنی‌داری داشتند و شوری ۹۰ میلی‌مولار بیش‌ترین تأثیر منفی را ایجاد کرد. بیش‌ترین غلظت پتاسیم (۵/۱۵۷ درصد) در رقم باربارین و در شرایط بدون تنش و کم‌ترین میزان (۱/۸۵۷ درصد) در رقم دیانا در شرایط تنش شدید (۹۰ میلی‌مولار) مشاهده شد. بیش‌ترین غلظت سدیم (۱/۳۶ درصد) در شرایط تنش شدید (۹۰ میلی‌مولار) و کم‌ترین غلظت (۰/۲۱۹۶ درصد) در شرایط بدون تنش گزارش شد. نسبت سدیم به پتاسیم در رقم باربارین (۰/۷۷۹۱ درصد) در سطح تنش ۹۰ میلی‌مولار و در رقم دیانا (۰/۰۴۲۱ درصد) در سطح صفر (شاهد) بود که نشان‌دهنده مقاومت بیش‌تر این رقم در جذب عنصر سدیم بود. از بین دو رقم مورد بررسی رقم باربارین نسبت به رقم دیانا نسبت به تنش شوری، متحمل‌تر بود.

**نتیجه‌گیری:** با توجه نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر، با افزایش شوری شاخص‌های فیزیولوژیکی مانند، میزان کلروفیل، کاروتنوئید و محتوای نسبی آب برگ، کاهش و شاخص‌های بیوشیمیایی مانند میزان مالون‌دی‌آلدئید، فعالیت آنزیم‌ها، غلظت عنصر سدیم و پتاسیم، نشت الکترولیت و پرولین افزایش یافت. نتایج این مطالعه مشخص نمود که ارقام مورد بررسی در این پژوهش نسبت به مقادیر کم شوری (۴۰-۱۰ میلی‌مولار) متحمل و در شرایط شوری متوسط و شدید (۹۰-۵۰ میلی‌مولار) تا حدودی حساس بودند. از بین ارقام مورد بررسی، رقم باربارین نسبت به رقم دیانا متحمل‌تر به شرایط شوری خاک متوسط و شدید بود.

استناد: قاسمی، وحید، احتشام‌نیا، عبدالله، رضایی‌نژاد، عبدالحسین، مومیوند، حسن (۱۴۰۲). بررسی اثر سطوح مختلف تنش شوری و رقم بر ویژگی‌های زیست شیمیایی، فیزیولوژیکی و غلظت عناصر غذایی گیاه قرنفل (*Dianthus barbatus*). نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۰ (۱)، ۱۹-۱.

DOI: 10.22069/JOPP.2021.19072.2815



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان



## مقدمه

شوری خاک و آب‌های آبیاری، یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی محدودکننده تولید محصولات کشاورزی به دلیل افزایش نیاز آبیاری در مناطق خشک و نیمه خشک است (۱). تغییرات اقلیم و افزایش دما، منجر به افزایش تبخیر-تعرق و نیز افزایش خشکی و شوری خاک می‌شود (۲). تنش شوری از جمله تنش‌های غیرزیستی مهم است که اثرات زیان‌باری بر عملکرد گیاه و کیفیت محصول، رشد، جذب عناصر معدنی، سوخت‌وساز و فتوسنتز به‌خصوص در شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک دارد (۳). صدمات و آسیب ناشی از تنش شوری مربوط به سمیت یونی و نیز اثرات اسمزی آن‌ها است. گیاهان با برقراری ایزوستازی یونی به مقابله با اثرات سمیت یون‌ها می‌پردازند (۴) و در مقابله با اثرات اسمزی نمک‌ها از سازوکار تنظیم اسمزی استفاده می‌کنند و این عمل را با ساخت محلول‌های سازگار یا اسمولیت‌هایی مانند پرولین، گلیسین بتائین، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌های محلول و غیره انجام می‌دهند. با این حال، پاسخ اسمزی گیاهان متناسب با نوع نمونه و رقم گیاهی، مدت زمان تنش، شدت تنش، سن و مرحله تکوینی گیاه و نوع اندام متفاوت است (۵). گونه‌های مختلف گیاهی در مقابله با تنش شوری، یک یا چند نوع از اسمولیت‌های فوق را انباشته می‌کنند. در تنش‌های غیرزیستی، از جمله تنش شوری، تعادل در تولید رادیکال‌های آزاد و تولید آنتی‌اکسیدان‌ها (مکانیسم دفاعی) به هم خورده و با افزایش بیش از حد تولید ROS، تنش ثانویه اکسیداتیو رخ می‌دهد و منجر به تغییرات سلولی و انواع آسیب‌های بحرانی نیز می‌گردد (۶). گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو به تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدان شامل، آسکوربات، کاروتنوئیدها، گلوکاتیون، توکوفرول و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی متعدد از جمله سوپراکسید دسموتاز، کاتالاز، گلوکاتیون

پراکسیداز و پراکسیداز می‌پردازند (۶). همان‌طور که در مورد اسمولیت‌ها هم بیان شد متناسب با نوع گیاه و نوع تنش، گیاهان تنش دیده ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان متفاوتی را می‌سازند (۷).  
قرنفل *Dianthus spp.* گیاهی است دارویی-زینتی از تیره میخک (Caryophyllaceae) که دارای گونه‌های یک‌ساله و دوساله می‌باشد (۸). این گیاه مهم‌ترین گیاهان زینتی در فضای باز محسوب می‌شود که دارای گل‌های کوچک و مخملی به رنگ‌های صورتی، قرمز، سفید، بنفش و مخلوط سفید و قرمز است که به‌صورت منفرد یا به تعداد زیاد در یک گل‌آذین چترمانند در اواخر بهار در گیاه ظاهر می‌شوند (۹). این جنس حدود ۳۰۰ گونه را شامل می‌شود که در سراسر کره زمین توزیع شده‌اند اما بیش‌ترین فراوانی آن در مدیترانه و به‌طور ناچیز در اروپای غربی، مرکزی، شرقی و هم‌چنین در شمال آسیا توزیع شده است (۸). با توجه به مقاومت نسبی قرنفل به سرما و هم‌چنین تنوع رنگ گل و داشتن ارقام پاکوتاه و پابلند به‌صورت گسترده در فضای سبز کشت می‌شود به همین علت بررسی واکنش گیاه در شرایط تنش‌های محیطی از جمله خشکی و شوری از اهمیت بالایی برخوردار است. واکنش گیاهان مختلف در شرایط تنش متفاوت است. مطالعات محدودی در این زمینه انجام شده است ولی به‌طور کلی، قرنفل در شرایط تنش با کاهش شاخص‌های رشدی مانند طول ریشه‌چه و شاخساره، وزن تر و خشک به مقاومت با آن می‌پردازد. در بررسی پاسخ سه جمعیت گل‌محمدی (میمند، لاله‌زار و کاشان) و سه سطح شوری (آب چاه با هدایت الکتریکی ۰/۶، ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر) مشخص شد که با افزایش شدت شوری فاکتورهای رشدی مانند سطح برگ در جمعیت میمند و وزن خشک ریشه و شاخساره در جمعیت کاشان کاهش معنی‌داری نشان دادند. مقدار کلروفیل در شوری ۶

هنوز مورد بررسی قرار نگرفته‌اند، بنابراین لازم است که ارقام و پایه‌های بیش‌تری در جهت تحمل به شوری مورد بررسی قرار گیرند تا در نهایت اطلاعات اصلی از مجموع پژوهش‌های انجام‌شده منجر به معرفی متحمل‌ترین ارقام و دامنه مقاومت شوری این گیاه شود. بنابراین این پژوهش در راستای پژوهش‌های قبلی و با هدف بررسی اثر تنش شوری بر واکنش‌های زیست‌شیمیایی و غلظت عناصر غذایی در دو رقم قرنفل و انتخاب متحمل‌ترین رقم به شوری انجام شد.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در آبان‌ماه سال ۱۳۹۹ در گلخانه تحقیقاتی شهرداری خمین واقع در استان مرکزی با میانگین دمای روزانه  $28 \pm 3$  درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای شبانه  $24 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۶۰-۹۰ درصد، انجام شد. بذره‌های مورد نظر از شرکت هلندی خریداری و در آبان‌ماه در محیط کشت شامل ماسه، خاک و خاک برگ (به نسبت ۱:۱:۱) در گلدان پلاستیکی (با قطر ۱۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۹ سانتی‌متر) کشت شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل، بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. فاکتور اول ارقام در دو سطح (شامل ارقام دیانا و باربارین)، فاکتور دوم شوری ناشی از کلرید سدیم در ۱۰ سطح (شامل ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ میلی‌مولار) بود. برای سطح شوری صفر میلی‌مولار از آب مقطر استفاده شد.

**روش اعمال تیمار شوری:** بذره‌های ارقام مورد بررسی پس از ضدعفونی با هیپوکلرید سدیم ۱۰ درصد و سه مرتبه شستشو با آب مقطر، به تعداد یک بذر از هر رقم، در گلدان کاشته شدند. گلدان‌ها تا مرحله ۴ برگی، تا رسیدن به ظرفیت زراعی، با آب

دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد دارای بیش‌ترین کاهش بود. افزایش شوری در سطح ۶ دسی‌زیمنس بر متر سبب افزایش معنی‌داری در سطح پرولین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در برگ گیاهان جمعیت لاله‌زار شد و به‌طورکلی نشان‌دهنده نقش منفی اثر شوری بر ویژگی‌های رشدی و زیست‌شیمیایی جمعیت‌های گل‌محمدی شد (۱۰). بررسی تأثیر تنش شوری بر صفات فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی دو گونه مریم‌گلی تحت تأثیر تیمارهای (۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌مولار سدیم کلرید) نشان داد که با افزایش شوری طول ریشه‌چه، ساقه‌چه، وزن تر و خشک ریشه و ساقه و نیز ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس کاهش یافت، اما میزان پرولین، سدیم و قندهای محلول افزایش یافت (۱۱). مومن‌پور و ایمانی (۱۲)، در مطالعه‌ای به بررسی اثر تنش شوری بر ویژگی‌های رشدی تعدادی از ژنوتیپ‌های انتخابی بادام پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد، ژنوتیپ D99 به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ به تنش شوری انتخاب شد. این ژنوتیپ توانست از طریق حفظ خصوصیات رشدی خود و افزایش جذب پتاسیم در مقابل سدیم، به خوبی شوری تا ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر را تحمل نماید. روزبهانی و همکاران (۱۳)، تأثیر پرولین بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دو رقم گل حنا تحت تنش شوری پرداختند. به‌طورکلی نتایج این مطالعه نشان داد تنش شوری در همه سطوح دارای اثرات منفی بر رشد و عملکرد در هر دو رقم گل حنا بود، در صورتی که کاربرد پرولین به‌ویژه در غلظت ۱۰ میلی‌مولار باعث کاهش اثرات منفی تنش شوری و افزایش مقاومت گیاه به تنش شوری شد. علی‌رغم ارایه وجود اطلاعاتی در زمینه تأثیر تنش شوری بر خصوصیات فیزیولوژیک، زیست‌شیمیایی و تغییرات غلظت عناصر غذایی گیاهان زیتنی، ارقامی هستند که

غلظت‌های مختلف صورت گرفت. در مرحله گلدهی کامل، نمونه‌گیری از برگ‌های جوان توسعه یافته جهت انجام آزمایش‌های زیست شیمیایی استفاده شد.

#### اندازه‌گیری صفات زیست شیمیایی

**کلروفیل و کاروتنوئید:** به منظور اندازه‌گیری کلروفیل و کاروتنوئید ۰/۱ گرم برگ تازه در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر استون خالص، مخلوط گردید و پس از سانتریفیوژ، با استفاده از اسپکتروفتومتر، جذب محلول در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۲ و ۶۷۰ اندازه‌گیری شد. میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ، به دست آمد (۱۴).

**مالون دی‌آلدئید:** برای سنجش پراکسیداسیون لیپیدهای غشا، ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ در هاون چینی حاوی پنج میلی‌لیتر تری کلرواستیک اسید ۲۰ درصد و تیوباریوتیک ۰/۵ درصد آسیاب شده و عصاره به دست آمده به مدت ۱۵ دقیقه دور ۶۰۰۰ سانتریفیوژ شد و محلول رویی به مدت ۲۵ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۸۰ درجه قرار گرفت و پس از کاهش فوری دمای آن در حمام یخ، به مدت پنج دقیقه سانتریفیوژ شد. ماده قرمز رنگ مالون دی‌آلدئید- تیوباریوتیک تولید شده در طول موج ۵۳۲ نانومتر (A<sub>532</sub>) استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد و جذب سایر رنگیزه‌های اختصاصی نیز، در طول موج ۶۰۰ نانومتر (A<sub>600</sub>) قرائت شد و غلظت مالون دی‌آلدئید بر حسب میکرومول بر گرم وزن تازه برگ، با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (۱۵):

معمولی آبیاری شدند. سپس، اعمال تیمارهای شوری آغاز گردید، به نحوی که در نوبت آب آبیاری، همه گلدان‌ها، به جز سطح شاهد، با محلول ۱۰ میلی‌مولار شوری آبیاری شدند. در نوبت‌های بعدی، این مقادیر افزایش یافت و در نهایت سطح شوری مورد نظر بعد از گذشت یک هفته لحاظ گردید. در طول اجرای آزمایش، مقدار آب آبیاری برای هر گلدان ۱۵ درصد بیش‌تر از نیاز آبی گیاه در نظر گرفته شد تا با اعمال این مقدار آبیاری، شوری عصاره اشباع خاک حتی‌الامکان به شوری آب آبیاری نزدیک‌تر شود. برای ایجاد زهکش مناسب و جلوگیری از تجمع نمک در گلدان‌ها، سه سوراخ در ته هر کدام از گلدان‌ها تعبیه شد و ته هر گلدان به ارتفاع دو سانتی‌متر سنگریزه ریخته شد. و از اندازه‌گیری هدایت الکتریکی آب درون زهکش برای سنجش میزان شوری تجمع یافته درون خاک گلدان در طی زمان استفاده گردید. کلرید سدیم نیز به صورت خاکی و از طریق آبیاری (۲۰۰ میلی‌لیتر به ازای هر گلدان) با فواصل سه روزه به گیاهان داده شد. جهت کنترل شوری و EC در خاک، تعدادی تانسینونیک به‌طور تصادفی در داخل گلدان قرار گرفت و EC عصاره اشباع خاک در طول فصل رشد از تانسینونیک‌ها جمع‌آوری و اندازه‌گیری شد. میانگین نتایج نشان داد که با توجه به این‌که گلدان‌ها ۱۵ درصد بیش‌تر از ظرفیت زراعی آبیاری گردیدند. قبل از اعمال تیمار شوری، گلدان‌ها با کود NPK (۲۰-۲۰-۲۰) و با غلظت ۲ در هزار تغذیه شدند. اعمال تیمار تنش شوری پنج هفته صورت گرفت. هم‌چنین، خاک گلدان هر ۱۲-۱۰ روز یکبار با هدف جلوگیری از تجمع نمک در گلدان‌ها، با آب خالی شسته و بلافاصله پس از آن، اعمال تنش شوری در

$$\text{MDA } (\mu\text{mol/g FW}) = [(A_{532} - A_{600}) / 155] \times 1000 \quad (1)$$

سنجش هدایت الکتریکی تعیین شد ( $EC_1$ ). پس از آن لوله‌های حاوی محلول، به مدت ۲۰ دقیقه در دستگاه اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و پس از سرد شدن، هدایت الکتریکی آن تعیین شد ( $EC_2$ ). درصد نشت الکترولیت از طریق رابطه ۲ محاسبه شد (۱۶):

$$EC (\%) = (EC_1 / EC_2) \times 100 \quad (2)$$

(TW) آن اندازه‌گیری و جهت اندازه‌گیری وزن خشک (DW)، نمونه به مدت ۴۸ ساعت در آون و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. در نهایت محتوای نسبی آب برگ از طریق رابطه ۳ محاسبه گردید:

$$RWC = (FW - DW / TW - DW) \times 100 \quad (3)$$

کلریدریک ۲ نرمال به آن افزوده شد تا نمونه حل شود. سپس نمونه‌های حل شده از کاغذ صافی عبور داده شد و حجم محلول صاف شده با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد و غلظت پتاسیم و سدیم با دستگاه شعله‌سنج و عناصر کلسیم و منیزیم با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. غلظت عناصر نیتروژن و فسفر نیز به ترتیب با روش‌های کج‌جدال (۱۹) و نیترو مولیبدات وانادات (۲۰) اندازه‌گیری شدند.

**آنزیم کاتالاز:** برای استخراج آنزیم کاتالاز، به ۰/۳ گرم بافت برگ پودر شده ۱/۵ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم حاوی پلی‌وینیل پیرولیدون (PVP) و EDTA اضافه شد، سپس سوسپانسیون حاصل سانتریفیوژ شد. سنجش آنزیم نیز در طول موج ۲۴۰ نانومتر (تغییرات جذب نوری به فواصل ۱۰ ثانیه) قرائت و اندازه‌گیری شد و میزان فعالیت آنزیم بر حسب میزان آب اکسیژنه

**نشت الکترولیت:** جهت تعیین میزان نشت الکترولیت، ابتدا برگ‌های گیاه را با آب مقطر شسته، سپس دیسک‌هایی با اندازه مساوی از برگ‌ها جدا شد. دیسک‌های تهیه شده را در لوله‌های آزمایشگاهی حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند. پس از گذشت ۲۴ ساعت، هدایت الکتریکی محلول توسط دستگاه

**محتوای نسبی آب:** جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ طبق روش Ritchie و Hanson (۱۷) از برگ‌های جوان توسعه یافته، نمونه‌ای انتخاب و بعد از اندازه‌گیری وزن تر (FW)، نمونه به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر غوطه‌ور شد (۶). سپس وزن تورژسانس

**پرولین:** جهت اندازه‌گیری میزان پرولین، ۰/۵ گرم بافت تازه برگ در هاون چینی حاوی ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک‌اسید آسیاب و پس از سانتریفیوژ، قسمت بالای محلول جدا شد. سپس محلول معرف ناین هیدرین به آن‌ها اضافه شد و به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه در حمام آب گرم قرار گرفتند. پس از سرد شدن سریع نمونه‌ها در حمام آب یخ و اضافه کردن تولوئن، نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه ورتکس شدند. سپس میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری با طول موج ۵۲۰ نانومتر به دست آمد. در نهایت میزان پرولین بر اساس نمودار استاندارد پرولین بر حسب میکرومول بر گرم وزن تازه برگ به دست آمد (۱۸).

**اندازه‌گیری غلظت عناصر در گیاه:** برای تجزیه گیاه یک گرم ماده خشک گیاه در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس خاکستر شده و سپس ۵ میلی‌لیتر اسید



کلروفیل و کاروتنوئید: نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی شوری و رقم برای کلروفیل a به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی دار شد، اما اثرات متقابل این عوامل معنی دار نشد. نتایج تجزیه واریانس کلروفیل b نشان داد که تنها اثر عامل اصلی تنش شوری در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. تجزیه واریانس کلروفیل کل نشان داد که اثرات ساده تنش شوری و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثرات متقابل این عوامل در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد. نتایج تجزیه واریانس کاروتنوئید نشان داد که اثر عوامل اصلی تنش شوری و رقم در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد اما اثر متقابل این عوامل معنی دار نشد (جدول ۱). نتایج مقایسات میانگین اثرات اصلی نشان داد که اختلاف معنی داری بین سطوح تنش شوری از نظر میزان کلروفیل a وجود داشت و بیشترین میزان کلروفیل a (۸/۰۸۵ میلی گرم در گرم بافت برگ) در تیمار شاهد مشاهده شد. هم چنین رقم باربارین بیشترین اثر را بر میزان کلروفیل a داشت. در این بررسی کمترین میزان کلروفیل a مربوط به تیمار تنش شدید ۹۰ میلی مولار و در رقم دیانا مشاهده شد. نتایج مقایسات میانگین اثرات اصلی تنش شوری کلروفیل b نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل b (۳/۱۳ میلی گرم بر گرم بافت برگ) در رقم باربارین در شرایط بدون تنش وجود داشت. مقایسات میانگین اثرات اصلی برای کلروفیل کل نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل کل (۱۱/۵۵ میلی گرم بر گرم بافت برگ) در تیمار شاهد و رقم باربارین وجود داشت (جدول ۲). نتایج مقایسات میانگین اثرات اصلی شوری و رقم (جدول ۲) نشان داد که با افزایش سطح شوری، میزان کاروتنوئید کاهش یافت و بیشترین میزان کاروتنوئید (۳/۰۳ میلی گرم بر گرم بافت برگ) در تیمار شاهد مشاهده شد. کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت شرایط

غیرفعال شده در یک دقیقه در هر گرم بافت برگ محاسبه شد (۲۱).

**آنزیم پراکسیداز:** برای استخراج آنزیم پراکسیداز از روش مک‌آدام (۲۲) استفاده شد. به این منظور ۱/۵ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم (پی‌اچ = ۷) به ۰/۳ گرم بافت برگ پودر شده اضافه گردید. سوسپانسیون حاصل سانتریفیوژ شد و برای سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز تغییرات جذب نور به فواصل ۱۰ ثانیه، به مدت دو دقیقه در طول موج ۴۷۵ نانومتر قرائت و در نهایت مقدار فعالیت آنزیم برحسب میزان آب اکسیژنه غیرفعال شده در یک دقیقه در هر گرم وزن تازه بافت بیان شد.

**تجزیه و تحلیل آماری:** تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel و Minitab و مقایسات میانگین با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد محاسبه شد.

## نتایج و بحث

### صفات فیزیولوژیکی و زیست شیمیایی

**محتوای نسبی آب:** نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده تنش شوری و رقم در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۱). بیشترین میزان محتوای نسبی آب (۸۳/۲۱ درصد) در غلظت صفر میلی مولار شوری در شرایط بدون تنش در رقم باربارین و کمترین میزان (۵۸/۳۴ درصد) در تیمار تنش شوری ۹۰ میلی مولار در رقم دیانا مشاهده شد (جدول ۲). محتوای نسبی آب برگ، نشان‌دهنده وضعیت پتانسیل آبی گیاه بوده و کاهش میزان محتوای نسبی آب برگ، به علت کاهش میزان جذب آب توسط گیاه است. نمک موجب ایجاد پتانسیل منفی در خاک می‌شود، که در نتیجه آن، جذب آب توسط گیاه کاهش می‌یابد و در نهایت خشکی فیزیولوژیکی به وجود می‌آید (۲۳). این نتایج، با نتایج بررسی گیاه ریحان (۲۴) و عروسک پشت پرده (۲۳) مطابقت دارد.

ایجاد شده در شرایط تنش شوری باعث پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و در نتیجه آسیب به غشای سلول‌ها و افزایش مالون‌دی‌آلدئید می‌شود (۲۳).

**نشت الکترولیت:** نتایج تجزیه واریانس برای نشت الکترولیت نشان داد که اثر عوامل اصلی و اثر متقابل شوری و رقم در سطح یک درصد معنی‌دار شد. مقایسات میانگین اثرات متقابل نشت الکترولیت نشان داد که بیش‌ترین میزان نشت (۶۲/۱۱ درصد) در رقم دیانا در تیمار ۹۰ میلی‌مولار و کم‌ترین میزان (۱۵/۵۴ درصد) در رقم باربارین در شرایط بدون تنش مشاهده شد (شکل ۱-a). در تنش شوری، میزان رادیکال‌های آزاد و پراکسید هیدروژن افزایش می‌یابد، که در نتیجه پراکسیده شدن چربی‌های غشا افزایش یافته و موجب کاهش پایداری غشا و در نهایت افزایش نشت الکترولیت می‌شود (۳۱). از بین ارقام مورد بررسی رقم باربارین در شرایط تنش‌های بالاتر، نشت کم‌تری نسبت به رقم دیانا داشت. در این پژوهش، با افزایش سطح شوری، میزان نشت سلول‌های گیاه افزایش یافت، که با نتایج بررسی گیاه ریحان و عروسک پشت پرده (۴۱ و ۴۲) مطابقت دارد.

**پرولین:** نتایج تجزیه واریانس برای پرولین نشان داد که اثر تنها عامل اصلی تنش شوری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. نتایج نشان داد که با افزایش تنش شوری، میزان پرولین افزایش یافت، به طوری که بیش‌ترین میزان پرولین (۸/۲۵ میکرومول بر گرم بافت برگ) در رقم دیانا در تنش ۹۰ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۲). افزایش پرولین در گیاهان به هنگام تنش، نوعی سازوکار دفاعی است. پرولین با چندین سازوکار مانند تنظیم اسمزی، جلوگیری از تخریب آنزیم، حفظ و سنتز پروتئین مقاومت گیاه را در برابر تنش‌ها بالا می‌برد. بررسی‌های زیست شیمیایی نشان داده، که در گیاهان تحت تنش شوری، موادی با وزن

شوری، به علت کاهش میزان کلروفیل، افزایش بسته شدن روزنه‌ها (۲۵)، کاهش فعالیت آنزیم کربوکسیلاز و افزایش فعالیت کلروفیل‌از، تجزیه کلروفیل و یا کاهش سنتز کلروفیل می‌باشد (۲۶). کاروتنوئیدها به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های بیولوژیکی نقش بسیار مهمی در حفاظت از بافت گیاهی ایفا می‌نمایند. عدم حضور کاروتنوئید ممکن است باعث آسیب فتواکسیداتیو شدید در بافت گیاهی گردید (۲۷). در این بررسی رقم باربارین از نظر میزان فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش شوری در موقعیت مطلوب‌تری نسبت به رقم دیانا قرار داشت. همان‌طور که در سایر گیاهان هم گزارش شده، تحت تنش شوری ارقام متحمل نسبت به ارقام حساس غلظت کاروتنوئید بالاتری را دارا بودند (۲۸).

**مالون‌دی‌آلدئید:** نتایج تجزیه واریانس برای مالون‌دی‌آلدئید نشان داد که اثر عامل اصلی تنش شوری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسات میانگین اثرات ساده برای مالون‌دی‌آلدئید نشان داد که بیش‌ترین (۱۲/۳۸ و ۱۲/۰۹ میکرومول بر گرم بافت برگ) و کم‌ترین (۶/۶۰ میکرومول بر گرم بافت برگ) میزان مالون‌دی‌آلدئید به ترتیب در غلظت‌های ۹۰، ۸۰ و صفر میلی‌مولار تنش شوری مشاهده شد (جدول ۲). به نظر می‌رسد که پایداری غشای سلولی در شرایط تنش شوری با سنتز پروتئین‌های ویژه و آنزیم‌های کلیدی فتوسنتز گیاه و غشاهای تیلاکوئیدی مرتبط است (۲۹). پایداری سلولی، حتی در مراحل ابتدایی تنش شوری، معیار مناسبی از میزان تحمل به تنش است و غشاهای سلولی، اولین محل آسیب به سلول‌ها در شرایط تنش توسط گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد. افزایش مالون‌دی‌آلدئید که یکی از محصولات پراکسیداسیون لیپیدهاست در اثر کاهش شاخص پایداری غشا در مقابل تنش می‌باشد (۳۰). رادیکال‌های سوپراکسید

شوری نسبت داد. دلیل دیگر برای کاهش جذب فسفر، احتمالاً وجود یون‌های کلسیم و منیزیم در محیط است که موجب غیرفعال شدن فسفر در خاک می‌شود. بالا بودن قدرت یونی محیط‌های شور نیز عامل دیگری برای کاهش فعالیت فسفر در خاک می‌باشد (۳۴). در خاک‌های شور، آنیون‌های  $Cl^-$  و  $H_2PO_4^-$  برای جذب توسط گیاه با یکدیگر رقابت می‌کنند و در نتیجه جذب فسفر و تجمع آن در اندام هوایی کاهش می‌یابد (۳۵).

**نیترोजن:** نتایج تجزیه واریانس برای غلظت عنصر نیترोजن نشان داد که اثرات اصلی تنش شوری و رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. مقایسات میانگین اثرات اصلی نشان داد که بیش‌ترین میزان غلظت نیترोजن در تیمار صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار (۴/۵۴، ۴/۴۲ و ۴/۴۰ درصد به ترتیب) و کم‌ترین میزان ۲/۴۸ درصد در تیمار تنش شوری شدید (۹۰ میلی‌مولار) گزارش شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات رقم نشان داد که بیش‌ترین غلظت نیترोजن در رقم باربارین (۳/۹۱ درصد) مشاهده شد. با افزایش شوری، غلظت نیترोजن موجود در بخش‌های هوایی گیاه کاهش یافت. این امر می‌تواند به دلیل کاهش جذب نیترोजن در محیط شور به علت کاهش تراوایی ریشه گیاه، کاهش فعالیت میکروبی خاک، کاهش جذب نیترات در اثر عرضه زیاد آنیون کلر در محیط ریشه و کاهش فعالیت نیتراتی شدن در خاک باشد (۳۵).

**پتاسیم:** نتایج تجزیه واریانس برای جذب پتاسیم نشان داد که اثر عوامل اصلی و اثر متقابل شوری و رقم در سطح یک درصد معنی‌دار شد. مقایسات میانگین اثرات متقابل غلظت پتاسیم نشان داد که بیش‌ترین غلظت پتاسیم (۵/۱۵۷ درصد) در رقم باربارین و در شرایط بدون تنش (صفر میلی‌مولار) مشاهده شد و

مولکولی کم به نام اسمولیت، تجمع می‌یابد. پرولین یکی از این اسمولیت‌ها است. این ماده موجب تنظیم پتانسیل اکسیداسیونی سلول، حفظ تورژسانس و حجم سلول می‌شود که در نهایت موجب تحمل به تنش می‌شود. تنش شوری موجب تحریک ژن‌های سنتزکننده آنزیم‌های مسیر گلوتامات شده که این آنزیم‌ها موجب افزایش سنتز پرولین می‌شوند (۲۴). افزایش سطح پرولین در رقم دیانا نشان‌دهنده بهبود وضعیت گیاه تحت شرایط تنش می‌باشد که موجب حفظ رشد گیاه در این شرایط می‌شود. پژوهشی نشان داد که میزان پرولین در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت تنش شوری به صورت معنی‌داری افزایش یافت که نشان‌دهنده به کار افتادن سامانه مقاومتی گیاه و تولید اسمولیت در برابر آسیب‌های ناشی از تنش شوری در گیاه است (۳۲). همچنین نتایج این پژوهش با پژوهش وفادار و همکاران (۱۳۹۷)، در گیاه مورد (*Myrtus communis* L.) مطابقت داشت، در بررسی آن‌ها نیز با افزایش سطوح تنش شوری، میزان پرولین و مقاومت گیاه افزایش یافت (۳۳).

**فسفر:** نتایج تجزیه واریانس برای غلظت عنصر فسفر نشان داد که اثر عامل اصلی تنش شوری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقایسات میانگین اثرات اصلی تیمارها بر غلظت فسفر نشان داد که بیش‌ترین غلظت فسفر (۰/۴۸۴۶ درصد) در تیمار تنش صفر (بدون شوری) و سطوح ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار (۰/۴۶۰۷ و ۰/۴۵۸۹ درصد به ترتیب) مشاهده شد (جدول ۲). کاهش میزان غلظت فسفر در تنش شوری، می‌تواند منجر به کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های رویشی و در نهایت کاهش رشد عمومی گیاه گردد. با توجه به این که فسفر یک عنصر غیرمتحرک در خاک است، می‌توان کاهش جذب آن را به کاهش طول ریشه این گیاه در شرایط

کم‌ترین میزان (۱۴/۷۹ درصد) در رقم دیانا در شرایط تنش شدید (۹۰ میلی‌مولار) مشاهده شد (شکل ۱- b). کاهش رشد در شرایط کمبود پتاسیم احتمالاً می‌تواند به نقش مثبت پتاسیم در پایداری آنزیم‌ها و پروتئین‌ها و اثرات سمیت سدیم مربوط باشد. سدیم عنصر ضروری برای گیاه در نظر گرفته نمی‌شود و تجمع سدیم در گیاه در شرایط شور منجر به کاهش کلسیم و پتاسیم گیاه می‌گردد. اگرچه سدیم می‌تواند به افزایش فشار تورژسانس کمک کند، اما نمی‌تواند در فعالیت‌های فعالسازی آنزیم‌ها و سنتز پروتئین جایگزین یون پتاسیم گردد. بنابراین ممکن است اثرات سمیت سدیم تنها به دلیل اثرات مستقیم یون سدیم نباشد، بلکه به علت کاهش مقدار عناصر مغذی ضروری پتاسیم و کلسیم در گیاه باشد (۳۶).

**سدیم، کلسیم و منیزیم:** نتایج تجزیه واریانس برای غلظت عناصر سدیم، کلسیم و منیزیم نشان داد که اثر عامل اصلی تنش شوری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). اثر رقم تنها در غلظت عنصر سدیم، معنی‌دار شد و اثرات متقابل شوری و رقم در عناصر ذکر شده معنی‌دار نشد. مقایسه‌ها میانگین اثرات اصلی تنش شوری نشان داد که بیش‌ترین غلظت منیزیم (۰/۵۲۲۶ درصد) در شرایط بدون تنش (صفر میلی‌مولار) مشاهده شد و کم‌ترین میزان (۰/۳۴۶۷ درصد) در شرایط تنش شدید (۹۰ میلی‌مولار) مشاهده شد (جدول ۲). مقایسه میانگین غلظت عنصر سدیم نشان داد که بیش‌ترین غلظت (۱/۳۶ درصد) در شرایط تنش شدید (۹۰ میلی‌مولار) و کم‌ترین غلظت (۰/۲۱۹۶ درصد) در شرایط بدون تنش گزارش شد. از بین ارقام مورد بررسی میزان غلظت سدیم در رقم باربارین (۰/۵۰۸۲ درصد) نسبت به رقم دیانا (۰/۵۴۴۷ درصد) کم‌تر بود که نشان‌دهنده مقاومت بیش‌تر این رقم در جذب سدیم بود. مهم‌ترین اثر نمک‌های کلرید سدیم، افزایش غلظت

سدیم در بافت گیاهی است. سدیم اضافی می‌تواند منجر به تغییراتی در وضعیت تغذیه‌ای عناصر دیگر شود. به‌طور مثال کاهش جذب پتاسیم و کاهش رشد و عملکرد گیاه از نتایج افزایش غلظت سدیم است (۳۷). مقایسه‌ها میانگین اثرات اصلی تنش شوری نشان داد که بیش‌ترین غلظت کلسیم (۱/۵۰ درصد) در شرایط بدون تنش (صفر میلی‌مولار) مشاهده شد و کم‌ترین میزان (۰/۷۳۹ درصد) در شرایط تنش شدید (۹۰ میلی‌مولار) مشاهده شد (جدول ۲). بررسی اثر رقم نشان داد که بیش‌ترین غلظت کلسیم در رقم باربارین ۱/۲۵ درصد و کم‌ترین غلظت در رقم دیانا ۱/۱۹ درصد مشاهده شد. مهم‌ترین دلیل کاهش جذب کلسیم با افزایش سطوح شوری را می‌توان رقابت سدیم با کلسیم و منیزیم برای جذب توسط ریشه دانست. در پژوهش‌های انجام شده روی گیاهان مختلف تحت شرایط شوری نشان داده شده است که سدیم، باعث عدم تعادل اسمزی، کاهش رشد، جلوگیری از تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌ها و تخریب غشاهای سلولی و در نتیجه کاهش میزان کلسیم در گیاهان می‌شود (۳۸). با افزایش میزان شوری، غلظت کلسیم در اندام هوایی زیتون کاهش یافت (۳۹).

**آنزیم کاتالاز و پراکسیداز:** نتایج تجزیه آماری داده‌ها نشان می‌دهد تفاوت معنی‌داری در بین ارقام، سطوح مختلف شوری و اثر متقابل این دو بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز وجود دارد. به‌طور کلی با افزایش سطح شوری از شاهد تا ۹۰ میلی‌مولار، پراکسیداز و کاتالاز روند افزایشی داشتند. به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان پراکسیداز و کاتالاز، در سطح شوری ۹۰ میلی‌مولار شوری به‌دست آمد (شکل ۱- c, d). در بین ارقام نیز رقم باربارین و دیانا به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان این آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را به خود اختصاص داد.



کم‌ترین مقدار مربوط به آبیاری با آب معمولی بود. این امر می‌تواند ناشی از افزایش جذب یون سدیم و کاهش یون پتاسیم در سطوح بالاتر شوری باشد. بررسی اثر متقابل شوری و رقم نیز نشان که نسبت سدیم به پتاسیم در هر یک از سطوح شوری و نیز تیمار شاهد در رقم باربارین بیش از رقم دیانا دیگر بود و با افزایش شوری تفاوت بین ارقام از لحاظ میزان تجمع سدیم بیش‌تر آشکار شد. بنده‌حق و همکاران (۴۵) با بررسی مقاومت به شوری ارقام بهاره در مراحل رویشی و زایشی بیان نمودند که علاوه بر همبستگی مثبت پتاسیم با نسبت سدیم به پتاسیم، به‌ازای هر واحد کاهش در میزان پتاسیم، میزان سدیم به‌طور قابل‌توجهی افزایش پیدا نمی‌کند. در واقع، افزایشی که در این نسبت (سدیم/پتاسیم) با افزایش میزان شوری مشاهده می‌شود، به دلیل افزایش سرعت جذب سدیم و ممانعت این یون از جذب پتاسیم با افزایش میزان نمک می‌باشد. هم‌چنین، احتمال افزایش تجمع پتاسیم در سلول‌ها به خاطر حفظ تنظیم اسمزی در مقابل مقادیر زیاد کلر تحت تنش شوری توسط رضایی و همکاران (۴۶) گزارش شده است. تالوار و همکاران (۴۷) در رابطه با بررسی نسبت سدیم به پتاسیم جهت به‌گزینی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری در یولاف، نتیجه‌گیری کردند که در این گیاه، کوچک بودن نسبت سدیم به پتاسیم با تحمل بیش‌تر نمک کلرید سدیم ارتباط دارد و کاهش رشد در اثر شوری با افزایش مقدار یون‌های سدیم و کلر و افزایش نسبت سدیم به پتاسیم همراه است. در همین راستا، پوستینی نیز بیان نموده است که مقاومت به نمک به‌طور منفی با غلظت سدیم و به‌طور مثبت با غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در برگ همبستگی دارد و این همبستگی به اندازه‌ای است که می‌توان از آن یک معیار انتخاب‌گر برای اصلاح ارقام مقاوم استفاده کرد.

افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در واکنش به تنش شوری توسط دیگر پژوهش‌گران نیز گزارش شده است (۴۰). این آنزیم طی واکنش آنزیمی با زدودن انواع فعال اکسیژن و جلوگیری از تخریب دیواره سلولی به بقا گیاه کمک می‌نماید (۴۱). وقتی گیاه در معرض تنش‌های محیطی نامطلوب مختلف از جمله شوری قرار می‌گیرد تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد که این امر می‌تواند موجب آسیب به یاخته‌ها و اجزای یاخته‌ای شود. در گیاهان آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی هر دو در از بین بردن اثرهای مخرب گونه‌های فعال اکسیژن نقش دارند (۴۲). آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز باعث حذف و کاهش خسارت پراکسید هیدروژن می‌شوند (۴۳). آنزیم پراکسیداز با استفاده از مواد فنولیک به‌عنوان دهنده الکترون باعث تجزیه پراکسید هیدروژن می‌شود (۴۴). از آن جایی که تجمع پراکسید هیدروژن ناشی از واکنش سوپراکسید دیسموتاز نیاز به فعالیت ترکیبی دو آنزیم پراکسیداز و کاتالاز به‌منظور حفاظت سلول‌های گیاهی خواهد داشت، بنابراین این دو آنزیم نقش مهمی را در حذف پراکسید هیدروژن ایفا می‌نمایند. از فعالیت بالاتر این آنزیم در ارقام متحمل به شوری در شرایط تنش چنین استنباط می‌شود که ارقام متحمل دارای ظرفیت بالاتری برای تجزیه پراکسید هیدروژن تولیدی ناشی از فعالیت سوپراکسید دیسموتاز می‌باشند.

**نسبت سدیم به پتاسیم:** نتایج تجزیه واریانس برای صفت نسبت سدیم به پتاسیم تفاوت معنی‌داری را میان ارقام مختلف و سطوح مختلف شوری نشان داد (جدول ۲). مقایسه میانگین ارقام از لحاظ نسبت سدیم به پتاسیم نشان داد که رقم باربارین به‌طور نسبی بیش‌ترین یون پتاسیم را در مقایسه با سدیم جذب نمود. هم‌چنین نتایج (شکل ۱ e) نشان می‌دهد که بیش‌ترین نسبت مربوط به شوری ۹۰ میلی‌مولار و

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تنش شوری و رقم و برهمکنش آن‌ها بر صفات زیست شیمیایی گیاه قرنفل.

**Table 1. Analysis of variance (Mean squares) effect of salinity stress and cultivar on biochemical traits of Dianthus.**

| کلروفیل کل<br>Total Chl | کارتنوئید<br>Carotenoid | کلروفیل b<br>Chl b   | کلروفیل a<br>Chl a   | مالون دی آلدئید<br>MDA | پروکلین<br>Proline   | محتوای نسبی آب<br>RWC | نشت یونی<br>Electrolyte Leakage | درجه آزادی<br>df | منابع تغییرات<br>S.O.V                   |
|-------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------------|------------------|--|
| 23.072**                | 3.217**                 | 1.1572*              | 14.23**              | 27.46**                | 12.20**              | 340.03**              | 1235.04**                       | 9                | شوری<br>Salinity                         |
| 12.14*                  | 0.2863**                | 0.5669 <sup>ns</sup> | 7.46*                | 0.8310 <sup>ns</sup>   | 0.3694 <sup>ns</sup> | 54.83**               | 988.6**                         | 1                | رقم<br>Cultivar                          |
| 1.247 <sup>ns</sup>     | 0.01108 <sup>ns</sup>   | 0.2544 <sup>ns</sup> | 0.5268 <sup>ns</sup> | 0.2272 <sup>ns</sup>   | 0.1010 <sup>ns</sup> | 3.701 <sup>ns</sup>   | 36.72**                         | 9                | شوری × رقم<br>Salinity × Cultivar        |
| 2.660                   | 0.03511                 | 0.4548               | 1.251                | 1.328                  | 0.5906               | 5.088                 | 7.28                            | 40               | خطا<br>Error                             |
| -                       | -                       | -                    | -                    | -                      | -                    | -                     | -                               | 59               | کل<br>Total                              |
| 2.56                    | 2.86                    | 1.89                 | 3.69                 | 4.89                   | 3.58                 | 5.89                  | 5.68                            | -                | ضریب تغییرات<br>Coefficient of variation |

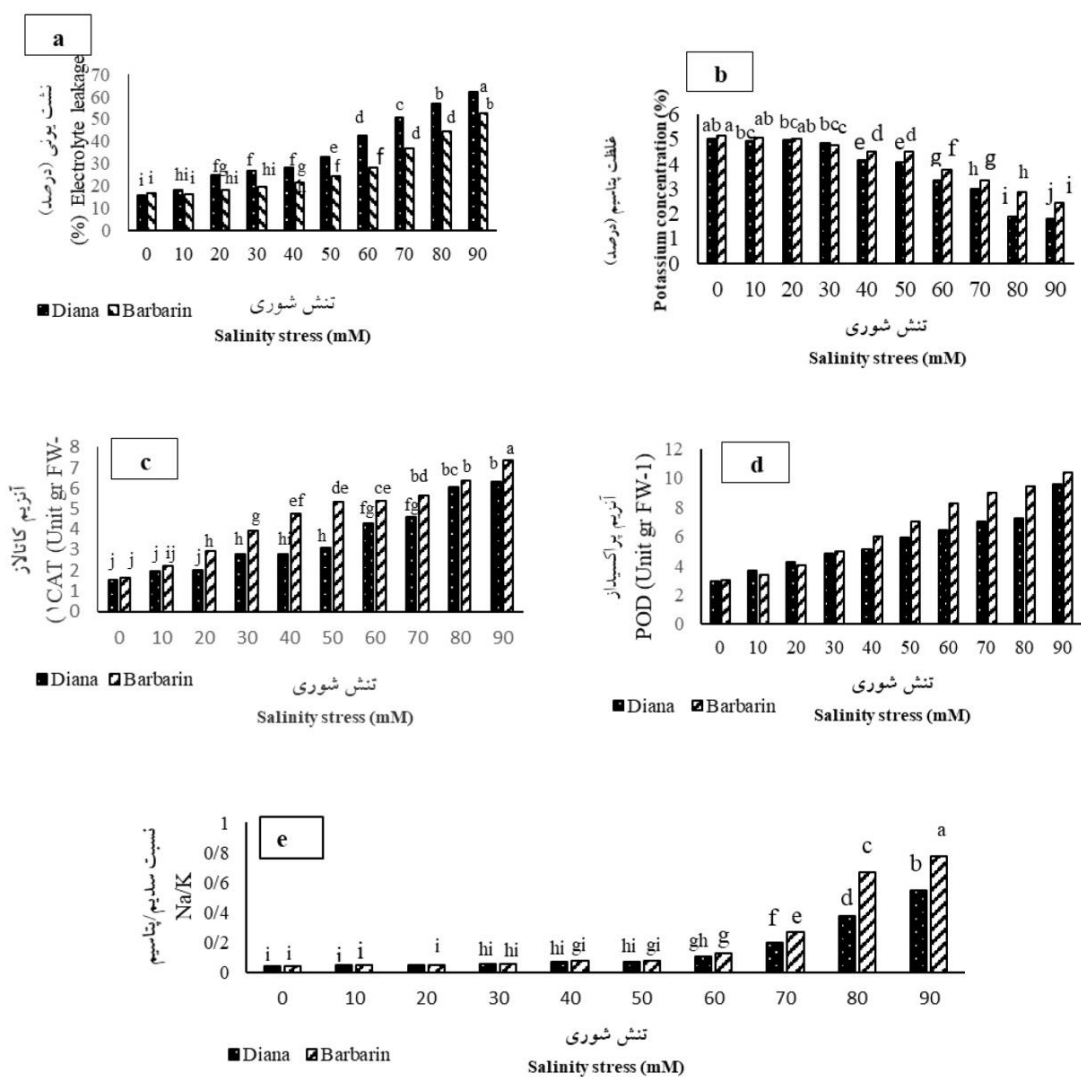
<sup>ns</sup>, \* and \*\* respectively, no significant difference at the 5 and 1% probability levels

ادامه جدول ۱-

**Continue Table 1.**

| پراکسیداز<br>POD | کاتالاز<br>CAT | نسبت سدیم/پتاسیم<br>Na/K | غلظت منیزیم<br>Mg      | غلظت کلسیم<br>Ca      | غلظت سدیم<br>Na       | غلظت پتاسیم<br>K | غلظت فسفر<br>P         | غلظت نیتروژن<br>N    | درجه آزادی<br>df | منابع تغییرات<br>S.O.V                   |
|------------------|----------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|------------------------|----------------------|------------------|--|
| 10.88**          | 18.098**       | 0.2999**                 | 0.03255**              | 0.433**               | 1.05410**             | 7.3073**         | 0.0530**               | 3.44**               | 9                | شوری<br>Salinity                         |
| 31.43**          | 15.61**        | 0.0610**                 | 0.00055 <sup>ns</sup>  | 0.06083**             | 0.02247*              | 1.9014**         | 0.00129 <sup>ns</sup>  | 0.7504**             | 1                | رقم<br>Cultivar                          |
| 1.23*            | 0.7141**       | 0.0172**                 | 0.000060 <sup>ns</sup> | 0.00488 <sup>ns</sup> | 0.00379 <sup>ns</sup> | 0.15775**        | 0.000682 <sup>ns</sup> | 0.0407 <sup>ns</sup> | 9                | شوری × رقم<br>Salinity × Cultivar        |
| 0.4591           | 0.1837         | 0.00131                  | 0.000374               | 0.00397               | 0.00482               | 0.01569          | 0.000805               | 0.02469              | 40               | خطا<br>Error                             |
| -                | -              | -                        | -                      | -                     | -                     | -                | -                      | -                    | 59               | کل<br>Total                              |
| 1.22             | 1.58           | 1.26                     | 5.58                   | 3.59                  | 2.85                  | 3.65             | 3.25                   | 1.78                 | -                | ضریب تغییرات<br>Coefficient of variation |

<sup>ns</sup>, \* and \*\* respectively, no significant difference at the 5 and 1% probability levels



شکل ۱- اثر متقابل شوری و رقم بر صفات زیست شیمیایی و عناصر غذایی گیاه قرنفل.

Fig. 1. Interaction of salinity and cultivar on biochemical and nutrients traits of Dianthus.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات اصلی شوری و رقم بر صفات زیست شیمیایی و غلظت عناصر غذایی قرفل.

**Table 2. Mean comparison of salinity and cultivar on biochemical and concentration of nutrients characteristics of Dianthus.**

| مقایسه میانگین ارقام<br>Mean comparison of cultivars |                    | ویژگی‌ها<br>Traits   | مقایسه میانگین تنش شوری (میلی مولار)<br>Mean comparison of salinity stress (mM) |                     |                     |                     |                    |                     |                     |                     |                     |                     |
|--|--------------------|--|---|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Diana  | Barbarin           |  | 0   | 10                  | 20                  | 30                  | 40                 | 50                  | 60                  | 70                  | 80                  | 90                  |
| 68.97 <sup>a</sup>                                   | 67.06 <sup>b</sup> | محتوای نسبی (درصد) RWC (%)   | 83.21 <sup>a</sup>  | 77.04 <sup>b</sup>  | 71.42 <sup>c</sup>  | 69.71 <sup>d</sup>  | 66.71 <sup>d</sup> | 65.48 <sup>de</sup> | 63.75 <sup>ef</sup> | 63.34 <sup>ef</sup> | 61.51 <sup>f</sup>  | 58.34 <sup>g</sup>  |
| 9.02 <sup>a</sup>                                    | 8.79 <sup>a</sup>  | مالون دی آلدئید (میکرومول در گرم وزن تر) MDA ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{FW}$ ) | 6.60 <sup>c</sup>   | 6.64 <sup>c</sup>   | 7.20 <sup>de</sup>  | 7.57 <sup>d</sup>   | 8.13 <sup>d</sup>  | 8.14 <sup>cd</sup>  | 9.51 <sup>cd</sup>  | 10.52 <sup>b</sup>  | 12.09 <sup>a</sup>  | 12.38 <sup>a</sup>  |
| 6.01 <sup>a</sup>                                    | 5.86 <sup>a</sup>  | پرویلین (میکرومول در گرم وزن تر) Proline ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{FW}$ )     | 4.40 <sup>e</sup>   | 4.42 <sup>e</sup>   | 4.80 <sup>e</sup>   | 5.05 <sup>de</sup>  | 5.42 <sup>d</sup>  | 5.60 <sup>cd</sup>  | 6.37 <sup>bc</sup>  | 7.01 <sup>b</sup>   | 8.06 <sup>a</sup>   | 8.25 <sup>a</sup>   |
| 4.78 <sup>b</sup>                                    | 5.49 <sup>a</sup>  | کلروفیل آ (میلی گرم در گرم وزن تر) Chl a ( $\text{mg g}^{-1}\text{FW}$ )         | 7.41 <sup>a</sup>   | 6.99 <sup>ac</sup>  | 6.30 <sup>ac</sup>  | 5.76 <sup>bd</sup>  | 5.14 <sup>cd</sup> | 4.72 <sup>d</sup>   | 4.65 <sup>d</sup>   | 4.64 <sup>d</sup>   | 3.08 <sup>e</sup>   | 2.67 <sup>e</sup>   |
| 1.13 <sup>a</sup>                                    | 2.33 <sup>a</sup>  | کلروفیل بی (میلی گرم در گرم وزن تر) Chl b ( $\text{mg g}^{-1}\text{FW}$ )        | 3.13 <sup>a</sup>   | 2.65 <sup>ab</sup>  | 2.42 <sup>ab</sup>  | 2.34 <sup>ac</sup>  | 2.26 <sup>bc</sup> | 2.04 <sup>bc</sup>  | 2.09 <sup>bc</sup>  | 1.93 <sup>bc</sup>  | 1.88 <sup>bc</sup>  | 1.58 <sup>c</sup>   |
| 6.92 <sup>b</sup>                                    | 7.82 <sup>a</sup>  | کلروفیل کل (میلی گرم در گرم وزن تر) Total Chl ( $\text{mg g}^{-1}\text{FW}$ )    | 10.55 <sup>a</sup>  | 9.65 <sup>ab</sup>  | 8.72 <sup>bc</sup>  | 8.11 <sup>bd</sup>  | 7.40 <sup>cd</sup> | 6.77 <sup>de</sup>  | 6.74 <sup>e</sup>   | 6.58 <sup>de</sup>  | 4.96 <sup>ef</sup>  | 4.25 <sup>f</sup>   |
| 1.406 <sup>b</sup>                                   | 1.55 <sup>a</sup>  | کاروتنوئید (میلی گرم در گرم وزن تر) Carotenoid ( $\text{mg g}^{-1}\text{FW}$ )   | 3.03 <sup>a</sup>   | 2.05 <sup>b</sup>   | 1.83 <sup>bc</sup>  | 1.66 <sup>cd</sup>  | 1.48 <sup>de</sup> | 1.37 <sup>e</sup>   | 1.089 <sup>f</sup>  | 0.901 <sup>fg</sup> | 0.745 <sup>gh</sup> | 0.5442 <sup>h</sup> |
| 0.445 <sup>a</sup>                                   | 0.439 <sup>a</sup> | غلظت منیزیم Mg (%)   | 0.526 <sup>a</sup>  | 0.517 <sup>ab</sup> | 0.517 <sup>ab</sup> | 0.499 <sup>bc</sup> | 0.478 <sup>c</sup> | 0.426 <sup>d</sup>  | 0.389 <sup>e</sup>  | 0.377 <sup>ef</sup> | 0.352 <sup>f</sup>  | 0.346 <sup>f</sup>  |
| 1.19 <sup>b</sup>                                    | 1.25 <sup>a</sup>  | غلظت کلسیم Ca (%)  | 1.50 <sup>a</sup>   | 1.46 <sup>a</sup>   | 1.43 <sup>ab</sup>  | 1.37 <sup>b</sup>   | 1.37 <sup>b</sup>  | 1.28 <sup>c</sup>   | 1.19 <sup>d</sup>   | 0.987 <sup>e</sup>  | 0.862 <sup>f</sup>  | 0.739 <sup>g</sup>  |
| 1.25 <sup>a</sup>                                    | 0.508 <sup>b</sup> | غلظت سدیم Na (%)   | 0.219 <sup>g</sup>  | 0.234 <sup>fg</sup> | 0.215 <sup>gg</sup> | 0.263 <sup>gg</sup> | 0.315 <sup>c</sup> | 0.307 <sup>ef</sup> | 0.420 <sup>d</sup>  | 0.754 <sup>c</sup>  | 1.15 <sup>b</sup>   | 1.36 <sup>a</sup>   |
| 0.357 <sup>a</sup>                                   | 0.367 <sup>a</sup> | غلظت فسفر P (%)  | 0.484 <sup>a</sup>  | 0.460 <sup>a</sup>  | 0.458 <sup>a</sup>  | 0.418 <sup>b</sup>  | 0.392 <sup>b</sup> | 0.356 <sup>c</sup>  | 0.299 <sup>d</sup>  | 0.272 <sup>de</sup> | 0.242 <sup>c</sup>  | 0.239 <sup>e</sup>  |
| 3.68 <sup>b</sup>                                    | 3.91 <sup>a</sup>  | غلظت نیتروژن N (%)   | 4.54 <sup>a</sup>   | 4.42 <sup>a</sup>   | 4.40 <sup>a</sup>   | 4.36 <sup>ab</sup>  | 4.19 <sup>bc</sup> | 4.09 <sup>c</sup>   | 3.57 <sup>d</sup>   | 3.17 <sup>e</sup>   | 2.74 <sup>f</sup>   | 2.48 <sup>g</sup>   |

\* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ردیف بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

\* Means with same letters in each row are not significantly different at 5% of probability level –using LSD test



### نتیجه گیری

متحمل و در شرایط شوری متوسط و شدید (۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ میلی مولار) تا حدودی حساس بودند؛ البته پیشنهاد می‌گردد، غلظت‌های بالاتر از ۹۰ میلی مولار هم برای این گیاه بررسی گردد. با توجه به نتایج جذب اتمی عناصر، صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی و فعالیت آنزیم‌های مورد بررسی، رقم باربارین نسبت به رقم دیانا متحمل‌تر به شرایط شوری خاک متوسط و شدید (۸۰ و ۹۰ میلی مولار)، بود. این رقم به راحتی در شرایط شوری ۹۰ میلی مولار، با کاهش جزئی در صفات مورد بررسی، برای مناطق با خاک شور قابل توصیه است.

با توجه نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر، با افزایش غلظت کلرید سدیم، شاخص‌های زیست شیمیایی مانند میزان مالون‌دی‌آلدئید، نشت الکترولیت و پرولین افزایش یافت و پارامترهای فیزیولوژیک کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید کاهش پیدا کردند. گیاه قرنفل در پاسخ به افزایش نشت الکترولیت و پراکسیداسیون لیپیدهای غشا در شرایط تنش شوری متوسط و شدید (۹۰ میلی مولار)، با افزایش محتوی پرولین و کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی، سبب القای مقاومت غیرآنزیمی گیاه در شرایط تنش گردید. نتایج این مطالعه مشخص نمود که ارقام مورد بررسی در این پژوهش نسبت به مقادیر کم شوری (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ میلی مولار)

### منابع

1. De Pascale, S., Dalla Costa, L., Vallone, S., Barbieri, G. and Maggio, A. 2011. Increasing water use efficiency in vegetable crop production: from plant to irrigation systems efficiency. Hort. Tech. 21: 3. 301-308.
2. Mattioli, R., Marchese, D.D., Angeli, S., Altamura, M.M., Costantino, P. and Trovato, M. 2008. Modulation of intracellular proline levels affects flowering time and inflorescence architecture in Arabidopsis. Plant Mol. Biol. 66: 277-288.
3. Cabot, C., Sibole, J.V., Barcelo, J. and Poschenrieder, C. 2014. Lessons from crop plants struggling with salinity. Plant Sci. 226: 2-13.
4. Numan, M., Bashir, S., Khan, Y., Mumtaz, R., Shinwari, Z.K., Khan, A.L., Khan, A. and Ahmed, A.H. 2018. Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: A review. Microbiol. Res. 209: 21-32.
5. Oliveira, V.P., Marques, E.C., Lacerda, C.F., Prisco, J.T. and Gomes Filho, E. 2013. Physiological and biochemical characteristics of Sorghum bicolor and Sorghum sudanense subjected to salt stress in two stages of development. African J. Agric. Res. 8: 660-670.
6. Salimi, F., Shekari, F., Azimi, M.R. and Zangani, E. 2012. Role of methyl jasmonate on improving salt resistance through some physiological characters in German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Iranian Plant Biol. J. 27: 700-711. (In Persian)
7. Kibria, M.G., Hossain, M., Murata, Y. and Hoque, M.A. 2017. Antioxidant defense mechanisms of salinity tolerance in rice genotypes. Rice Sci. 24: 155-166.
8. Zheng, J., Ma, X., Zhang, X., Hu, Q. and Qian, R. 2018. Salicylic acid promotes plant growth and salt-related gene expression in *Dianthus superbus* L. (Caryophyllaceae) grown under different salt stress conditions. Physiol. Mol. Biol. Plants. 24: 2. 231-238.
9. Hashemi Esfahani, A. 2000. Promotion of Modern Floriculture. Nasagh Publ. (In Persian)
10. Ahmadi, Y., Khosh-Khui, M., Salehi, H., Eshghi, S., Kamgar Haghighi, A.A. and Karami, A. 2019. Effect of Salinity Stress on Growth and Biochemical Characteristics of Three Population of Damask Rose of Iran. Iranian J. Hort. Sci. Tech. 20: 1. 89-98.

11. Aghaei Joubani, K., Taei, N., Kanani, M.R. and Yazdani, M. 2015. Effect of salt stress on some physiological and biochemical parameters of two *Salvia* species. *J. Plant Proc. Func.* 3: 9. 85-96.
12. Momenpour, A. and Imani, A. 2019. Effect of salinity stress on growth characteristics of selected almond (*Prunus dulcis*) genotypes. *J. Plant Prod. Res.* 26: 2. 29-46.
13. Roozbahani, F., Mousavi-Fard, S. and Rezaeinejad, A. 2020. Effect of proline on some physiological and biochemical characteristics of two cultivars of *Impatiens walleriana* under salt stress. *Iranian J. Hort. Sci.* 51: 3. 537-549.
14. Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoid pigments of photosynthetic biomembranes. *Meth. in Enzym.* 148: 350-382.
15. Buege, J.A. and Aust, S.D. 1978. Microsomal lipid peroxidation. *Meth. in Enzyme.* 52: 302-310.
16. Lutts, S., Kinet, J.M. and Bouharmont, J. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Ann. Botany.* 78: 3. 389-398.
17. Ritchie, S.W. and Hanson, A.D. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Sci.* 30: 105-111.
18. Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil J.* 39: 205-207.
19. Bremner, J.M., Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabaian, M.A., Johnston, C.T. and Sumner, M.E. 1996. Nitrogen-total. *Methods of Soil Analysis. Part 3-Chem. Meth.* pp. 1085-1121.
20. Chapman, H.D. and Pratt, P.F. 1962. *Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters.* *Soil Sci.* 93: 1. 60-62.
21. Chance, B. and Maehly, A.C. 1995. Assay of catalase and peroxidase. In: Colowick, S.P., and N.D. Kaplan (eds). *Meth. in Enzym.* Academic Press. New York. 2: 764-775.
22. MacAdam, J.W., Nelson, C.J. and Sharp, R.E. 1992. Peroxidase Activity in the leaf elongation zone of tall fescue I. Spatial distribution of ionically bound peroxidase activity in genotypes differing in length of the elongation zone. *Plant Physiol.* 99: 3. 872-878.
23. Siahmansour, S., Ehtesham-Nia, A. and Rezaeinejad, A. 2020. Effect of salicylic acid foliar application on Morpho-physiological and biochemical traits of Goldenberry (*Physalis peruviana* L.) under salinity stress condition. *J. Plant Prod. Res.* 27: 1. 165-178.
24. Taheri, S., Barzegar, T., Rabiee, V. and Angourani, H. 1393. Physiological responses of two basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars to salicylic acid spraying under salinity stress. *Agric. crop Manage. J.* 18: 1. 259-274. (In Persian)
25. Ashraf, M. and Foolad, M.D. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *J. Environ. Exp. Bot.* 59: 206-216.
26. Sairam, R.K., Rao, K.V. and Srivastava, G.C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long-term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Sci. J.* 163: 1037-1046.
27. Gill, S.S. and Tuteja, N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiol. Bioch.* 48: 909-930.
28. Yildiz, M. and Terzi, H. 2013. Effect of NaCl stress on chlorophyll biosynthesis, proline, lipid peroxidation and antioxidative enzymes in leaves of salt-tolerant and salt-sensitive barley cultivars. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi. J. Agric. Sci.* 19: 79-88.
29. Sairam, R.K. and Tyagi, A. 2004. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current Sci.* 86: 406-412.
30. Candan, N. and Tarhan, L. 2003. The correlation between antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation levels in *Mentha pulegium* organs grown in Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> and Mn<sup>2+</sup> stress conditions. *Plant Sci.* 163: 769-779.

31. Noctor, G. and Foyer, C.H. 1998. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49: 249-279.
32. Delavari Parizi, M., Baghizadeh, A., Enteshari, S. and Manouchehri Kalantari, K. 2012. The study of the interactive effects of salicylic acid and salinity stress on induction of oxidative stress and mechanisms of tolerance in *Ocimum basilicum* L. *Iranian J. Plant Biol.* 4: 12. 25-36.
33. Vafadar, Z., Rahimmalek, M., Sabzalian, M.R. and Nikbakht, A. 2018. Effect of salt stress and harvesting time on morphological and physiological characteristics of Myrtle (*Myrtus communis*) J. *Plant Proc. Func. Iranian Soc. Plant Physiol.* 23: 7. 34-46.
34. Awad, A.S., Edwards, D.G. and Campbell, L.C. 1990. Phosphorus enhancement of salt tolerance of tomato. *Crop Sci.* 30: 1. 123-128.
35. Papadopoulos, I. and Rendig, V.V. 1983. Interactive effects of salinity and nitrogen on growth and yield of tomato plants. *Plant and Soil.* 73: 1. 47-57.
36. Sato, S., Sakaguchi, S., Furukawa, H. and Ikeda, H. 2006. Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on fruit characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum* mill.). *Sci. Horticult.* 109: 248-253.
37. Greenway, H. and Munns, R. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31: 1. 149-190.
38. Shibli, R.A., Shatnawi, M.A. and Swaidat, I.Q. 2003. Growth, osmotic adjustment, and nutrient acquisition of bitter almond under induced sodium chloride salinity in vitro. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 34: 13-14. 1969-1979.
39. Mousavi, A., Lessani, H., Babalar, M., Talaei, A.R. and Fallahi, E. 2008. Influence of salinity on chlorophyll, leaf water potential, total soluble sugars, and mineral nutrients in two young olive cultivars. *J. Plant Nut.* 31: 11. 1906-1916.
40. Wi, S.G., Chung, B.Y., Kim, J.H., Lee, K.S. and Kim, J.S. 2006. Deposition pattern of hydrogen peroxide in the leaf sheaths of rice under salt stress. *Biol. Plant.* 50: 469-472.
41. Zheng, J., Ma, X., Zhang, X., Hu, Q. and Qian, R. 2018. Salicylic acid promotes plant growth and salt-related gene expression in *Dianthus superbus* L. (Caryophyllaceae) grown under different salt stress conditions. *Physiol. Mol. Biol. Plants.* 24: 2. 231-238.
42. Sharma, P., Jha, A.B., Dubey, R.S. and Pessarakli, M. 2012. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *J. Bot.* 2012: 1-26.
43. McDonald, M.B. 1999. Seed deterioration: physiology, repair, and assessment. *Seed Sci. Technol.* 27: 11. 177-237.
44. Appel, K. and Hirt, H. 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. *Ann. Rev. Plant Biol.* 55: 373-399.
45. Hagh, A.B., Kazemi, H., Valizadeh, M. and Javanshir, A. 2004. Resistance of spring wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) to salinity salt tolerance in vegetative and reproductive stages. *Iranian J. Agri. Sci.* 35: 1. 61-71.
46. Rezaei, M.A.M., Khavarinejad, R.F. and Fahimeh, H. 2004. Physiological response of cotton plant to different soil salinities. *Res. Construc.* 62: 81-89.
47. Talwar, H.S., Kumari, A., Surwenshi, A. and Seetharama, N. 2011. Sodium: potassium ratio in foliage as an indicator of tolerance to chloride-dominant soil salinity in oat (*Avena sativa*). *Indian J. Agric. Sci.* 81: 481-484.



## Parameterization and evaluation of SSM-iCrop2 model to simulate the growth and yield of rice in Iran

Saleh Keramat<sup>1</sup>, Benjamin Torabi<sup>\*2</sup>, Afshin Soltani<sup>3</sup>, Ebrahim Zeinali<sup>4</sup>

1. Ph.D. Graduate, Dept. of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: [salehkeramat@gmail.com](mailto:salehkeramat@gmail.com)
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: [ben\\_torabi@yahoo.com](mailto:ben_torabi@yahoo.com)
3. Professor, Dept. of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: [afshin.soltani@gau.ac.ir](mailto:afshin.soltani@gau.ac.ir)
4. Associate Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: [e.zeinali@gau.ac.ir](mailto:e.zeinali@gau.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Full Length Research Paper

#### Article history:

Received: 05.03.2021

Revised: 07.12.2021

Accepted: 08.05.2021

#### Keywords:

Grain yield,  
Leaf area,  
Phenology,  
Simulation,  
Soil water

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** In order to identify the possibility of supplying food to the world's population, given the need for continued production in sustainable agriculture, it is necessary to correctly predict the yield of crops. For this purpose, modeling of growth stages and yield of rice based on meteorological statistics of Iran, was studied in Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. The purpose of this study was to use the simple model SSM-iCrop2 to simulate rice growth and yield to investigate the effects of climatic factors, soil, agronomic management and to determine the genetic coefficients of rice in Iran. Due to the appropriate ability of the model in rice simulation, it can be used as a suitable tool for better planning and management of rice fields in the country.

**Materials and Methods:** In this study, the SSM-iCrop2 model was used to simulate the potential yield. In this model, the amount of potential yield is calculated based on meteorological data, soil conditions, management and plant parameters. The model needs a series of inputs to run, which is made to perform the simulation of the collected model. The most important processes to be simulated in the model are plant phenology, leaf area changes, dry matter production and distribution, and soil water balance. For parameterization and evaluation of the model, the values of performance and day to maturity of the simulated were compared with those observed. According to the statistics of the Ministry of Agriculture, 2001-2016, the main areas of rice cultivation and production in Iran were identified. In this study, to compare the deviation of the simulated values from the observed squared error mean (RMSE), coefficient of variation (CV), correlation coefficient (r) and the deviation of the simulated results from line 1:1 with a range of 20% difference. Between the simulated and observed values was used to test the model results.

**Results:** In parameterization of SSM-iCrop2 model for rice, the comparison of observed and simulated days to maturity with RMSE, CV and r values of respectively 12 days, 11 percent and 0.61, respectively, and for grain yield of 56 g m<sup>-2</sup>, 21 percent and 0.80 indicated the accuracy of the used parameters. Furthermore, in evaluation the model, RMSE, CV and r values for days to maturity were 9 days, 10 percent and 0.95 and for

---

grain yield were 43 g m<sup>-2</sup>, 14 percent and 0.77 and in simulation evapotranspiration were 44 mm, 9 percent and 0.79 respectively, which confirms the precision of the model simulation. Application of SSM-iCrop2 model is simple and acceptably precise simulation is possible with minimal parameters and inputs.

**Conclusion:** The results of parameterization and evaluation of SSM-iCrop2 model, which was (RMSE), (r) and (CV), showed that this model includes phenological stages and grain yield in the history of different plantings in the climatic conditions of Iran simulates with great accuracy, which indicates the appropriate structure of the model in the simulation. Therefore, considering the appropriate accuracy of SSM-iCrop2 model in simulating rice phenology and yield, it can be used as a suitable tool to study cropping systems and interpret the results in different environmental and management conditions to plan and improve the management of rice fields in the country.

---

Cite this article: Keramat, Saleh, Torabi, Benjamin, Soltani, Afshin, Zeinali, Ebrahim. 2023. Parameterization and evaluation of SSM-iCrop2 model to simulate the growth and yield of rice in Iran. *Journal of Plant Production*, 30 (1), 21-47.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2021.19090.2822

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## پارامتریابی و ارزیابی مدل SSM-iCrop2 برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه برنج در ایران

صالح کرامت<sup>۱</sup>، بنیامین ترابی<sup>۲\*</sup>، افشین سلطانی<sup>۳</sup>، ابراهیم زینلی<sup>۴</sup>

۱. دانش‌آموخته دکتری زراعت، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: [salehkeramat@gmail.com](mailto:salehkeramat@gmail.com)
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: [ben\\_torabi@yahoo.com](mailto:ben_torabi@yahoo.com)
۳. استاد گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: [afshin.soltani@gau.ac.ir](mailto:afshin.soltani@gau.ac.ir)
۴. دانشیار گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: [e.zainali@gau.ac.ir](mailto:e.zainali@gau.ac.ir)

| اطلاعات مقاله   | چکیده  |
|---|--|
| <p><b>نوع مقاله:</b> مقاله کامل علمی-پژوهشی</p> <p><b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۰/۰۲/۱۳</p> <p><b>تاریخ ویرایش:</b> ۱۴۰۰/۰۴/۲۱</p> <p><b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۰/۰۵/۱۴</p> | <p><b>سابقه و هدف:</b> برای شناسایی امکان تامین غذای جمعیت جهان، با توجه به لزوم تداوم تولید در کشاورزی پایدار، پیش‌بینی درست عملکرد گیاهان زراعی امری لازم و ضروری است. به‌منظور، مدل‌سازی مراحل رشد و عملکرد برنج بر اساس آمار هواشناسی کشور ایران، مطالعه‌ای در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان صورت گرفت. هدف از این مطالعه استفاده از مدل ساده SSM-iCrop2 برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد برنج به‌منظور بررسی اثرات عوامل آب و هوایی، خاک، مدیریت زراعی و تعیین ضرایب ژنتیکی برنج در شرایط کشور ایران بود. با توجه به توانایی مناسب مدل در شبیه‌سازی برنج، می‌توان از آن به عنوان ابزار مناسبی برای برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر مزارع برنج در کشور استفاده نمود.</p>   |
| <p><b>واژه‌های کلیدی:</b> آب خاک، سطح برگ، شبیه‌سازی، عملکرد دانه، فنولوژی</p>  | <p><b>مواد و روش‌ها:</b> در این مطالعه از مدل SSM-iCrop2 برای شبیه‌سازی پتانسیل عملکرد استفاده شد. در این مدل مقدار عملکرد پتانسیل بر مبنای داده‌های هواشناسی، شرایط خاک، نحوه مدیریت (مانند آبیاری) و پارامترهای گیاهی محاسبه می‌شود. مدل برای اجرا نیاز به یک سری پارامترهای ورودی شامل: روابط آب، اطلاعات هواشناسی، مکانی، خاک و مدیریت زراعی دارد که برای انجام شبیه‌سازی، ورودی‌های مورد نیاز مدل جمع‌آوری شدند. مهم‌ترین فرآیندهایی که در مدل باید شبیه‌سازی شوند عبارت است از: فنولوژی گیاه، تغییرات سطح برگ، تولید و توزیع ماده خشک و موازنه آب خاک. برای پارامتریابی و ارزیابی مدل، مقادیر عملکرد و روز تا رسیدگی شبیه‌سازی شده با مشاهده شده مقایسه شدند. براساس آمار وزارت کشاورزی ۱۳۸۰-۱۳۹۵، مناطق اصلی کشت و تولید برنج در ایران مشخص شد. در این مطالعه</p> |

برای مقایسه انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مشاهده شده از میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تغییرات (CV)، ضریب همبستگی (r) و میزان انحراف نتایج شبیه‌سازی شده از خط ۱:۱ با طیفی از اختلاف ۲۰ درصد بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده (به‌وسیله خطوط منقطع تعریف شده) برای آزمون نتایج مدل استفاده شد.

**یافته‌ها:** در پارامتریابی مدل SSM-iCrop2 برای برنج، مقایسه بین روز تا رسیدگی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده، با RMSE، cv و r به ترتیب برابر با ۱۲ روز، ۱۱ درصد و ۰/۶۱ و برای عملکرد دانه به ترتیب ۵۶ گرم در مترمربع، ۲۱ درصد و ۰/۸۰ درستی پارامترهای مورد استفاده را نشان داد. هم‌چنین، در ارزیابی مدل، مقادیر RMSE، cv و r برای روز تا رسیدگی به ترتیب برابر با ۹ روز، ۱۰ درصد و ۰/۹۵، برای عملکرد دانه به ترتیب ۴۳ گرم در مترمربع، ۱۴ درصد و ۰/۷۷ و در شبیه‌سازی تبخیر و تعرق به ترتیب ۴۴ میلی‌متر، ۹ درصد و ۰/۷۹، دقت شبیه‌سازی مدل را تأیید نمود. استفاده از مدل SSM-iCrop2 آسان بوده و شبیه‌سازی‌ها با تعداد پارامتر کم و داده‌های ورودی قابل دسترس با دقت قابل قبول امکان‌پذیر است.

**نتیجه‌گیری:** نتایج پارامتریابی و ارزیابی مدل SSM-iCrop2 با استفاده از شاخص‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب همبستگی (r) و ضریب تغییرات (CV)، نشان داد که این مدل مراحل فنولوژیکی (روز تا رسیدگی) و عملکرد دانه را در تاریخ کاشت‌های مختلف در شرایط اقلیمی ایران با دقت زیادی شبیه‌سازی می‌کند که نشان‌دهنده ساختار مناسب مدل در شبیه‌سازی است. بنابراین، با توجه به دقت مناسب مدل SSM-iCrop2 در شبیه‌سازی فنولوژی و عملکرد برنج، می‌توان از آن به عنوان ابزار مناسبی برای بررسی سامانه‌های زراعی و تفسیر نتایج در شرایط محیطی و مدیریتی متفاوت در جهت برنامه‌ریزی و بهبود مدیریت مزارع برنج در کشور استفاده نمود.

**استناد:** کرامت، صالح، ترابی، بنیامین، سلطانی، افشین، زینلی، ابراهیم (۱۴۰۲). پارامتریابی و ارزیابی مدل SSM-iCrop2 برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه برنج در ایران. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۰ (۱)، ۴۷-۲۱.

DOI: 10.22069/JOPP.2021.19090.2822



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان



## مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از مهم‌ترین غلات جهان است، یک سوم مواد غذایی مورد نیاز جمعیت جهان را تامین می‌کند و حدود ۷۰۰ کالری برای هر نفر، که عمدتاً در کشورهای در حال توسعه ساکن هستند، فراهم می‌کند (۱). سطح زیر کشت برنج در جهان در سال ۲۰۱۹، ۱۶۷/۲ میلیون هکتار و تولید آن، ۵۱۳ میلیون تن گزارش شده است (۲). در جهان، برنج بیش‌تر در قاره آسیا کشت و مصرف می‌شود (۳). در ایران استان‌های گیلان و مازندران از مناطق مهم تولید برنج هستند و استان‌های خوزستان، گلستان و فارس در رتبه‌های بعدی قرار دارند. طبق آمار وزارت جهاد کشاورزی، در سال ۱۳۹۵، در ایران، سطح زیر کشت برنج ۵۹۶۰۳۵ هکتار و تولید آن ۲/۹۲ میلیون تن بوده است (۴).

پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ جمعیت جهان به ۹ میلیارد نفر افزایش یابد. بنابراین، تقاضا برای دستیابی به غذا افزایش یافته و برای پاسخ‌گویی به این تقاضا باید تولید مواد غذایی تا سال ۲۰۵۰، ۱۰۰ تا ۱۱۰ درصد افزایش یابد (۵). در این خصوص، غلات با بالاترین میزان مصرف در درجه اول اهمیت قرار دارند. در سال‌های اخیر، با توجه به اهمیت برنج در ایجاد امنیت غذایی و توسعه پایدار، تلاش‌های زیادی در جهت افزایش تولید آن صورت گرفته است (۶). در عین حال، استفاده از آزمایش‌های مزرعه‌ای برای ارزیابی راه‌های افزایش عملکرد برنج می‌تواند بسیار زمان‌بر و پرهزینه باشد بنابراین، نیاز به پیش‌بینی عملکرد محصول در آینده برای مدیریت و آزمون فرضیه‌ها، همراه با پیشرفت در علوم زراعی و فناوری‌های رایانه‌ای، باعث به‌وجود آمدن مدل‌سازی گیاهان شد (۷).

امروزه مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی این امکان را فراهم ساخته‌اند که با استفاده از آن‌ها و

داده‌های هواشناسی بلندمدت، محدودیت‌های محیطی در عملکرد هر منطقه را بتوان ارزیابی کرد و به تحلیل عملکرد و تغییرات آن در رابطه با عوامل آب و هوایی (دما، تشعشع، بارندگی و دی‌اکسیدکربن) پرداخت (۸) و تیمارهای موردنظر را با صرفه‌جویی در مصرف زمان و هزینه اجرا کرد بدون این‌که به نتایج حاصله خدشه وارد گردد. هم‌چنین، از این مدل‌ها در ارزیابی صفات فیزیولوژیکی برای بهبود عملکرد و کمک به تصمیم‌گیری برای به حداکثر رساندن استفاده از منابع قابل‌دسترس استفاده می‌شود (۹). از مدل‌ها می‌توان در بهبود مدیریت تولید گیاهان زراعی برای پیش‌بینی تاریخ‌های احتمالی برداشت، عملکرد نهایی، زمان وقوع مراحل فنولوژی و ارزیابی صفات فیزیولوژیکی به نحوی که کود، تنظیم‌کننده‌های رشد، علف‌کش‌ها و کنترل بیماری‌ها در مناسب‌ترین زمان به‌کار گرفته شوند، استفاده نمود. از دیگر کاربردهای مدل‌های گیاهان زراعی علاوه بر تعیین پتانسیل عملکرد، می‌توان کمک به مدیریت آبیاری و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم نیز اشاره کرد (۷ و ۹).

در جهان مطالعات متعددی در رابطه با کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی بر روی گیاه زراعی برنج انجام شده است که می‌توان به مطالعه (۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳) اشاره نمود. در ایران نیز مطالعاتی در زمینه شبیه‌سازی رشد و عملکرد برنج در مقیاس کم با استفاده از مدل‌ها صورت گرفته است و نتایج این مطالعات کارایی قابل‌قبول این مدل‌ها در تخمین رشد و عملکرد برنج را نشان دادند (۱۴، ۱۵ و ۱۶).

استفاده از یک مدل شبیه‌سازی در پیش‌بینی رشد و عملکرد، به پارامترهای ورودی آن مدل در منطقه موردنظر بستگی دارد. هم‌چنین برخی از مدل‌ها ممکن است معادلات یا روابط بین فرآیندهای مختلف رشد و عملکرد گیاه و یا حتی مقدار یک پارامتر مربوط به خصوصیات گیاه را با توجه به اقلیم منطقه معینی

SSM-iCrop2 نسبت به سایر مدل‌های موجود، بومی بودن آن می‌باشد. در این مدل مقدار عملکرد پتانسیل بر مبنای داده‌های هواشناسی، شرایط خاک، نحوه مدیریت و پارامترهای گیاهی محاسبه می‌شود. این مدل توانایی شبیه‌سازی مراحل نمو فنولوژیک، گسترش و پیری برگ، توزیع ماده خشک، تشکیل عملکرد و موازنه آب خاک را دارد. مدل SSM-iCrop2، شبیه‌سازی را به صورت روزانه انجام می‌دهد. این مدل مراحل سبز شدن، شروع مؤثر پر شدن دانه، پایان مؤثر پر شدن دانه، شروع پیر شدن برگ و رسیدگی را نیز پیش‌بینی می‌کند (۲۵). بنابراین، پژوهش حاضر با هدف استفاده از مدلی ساده در بررسی اثر عوامل اقلیمی، مدیریت زراعی و ویژگی‌های رشدی گیاه در شبیه‌سازی رشد و عملکرد برنج در شرایط اقلیمی کشور انجام شد تا به‌عنوان ابزاری کارگشا برای مطالعه عوامل مؤثر بر عملکرد به‌کار گرفته شود. پارامتریابی و ارزیابی مدل در مقیاس ملی، امکان مقایسه و سنجش رشد محصول در شرایط محیطی مختلف و دسترسی ناهمگون به منابع و همچنین مدیریت زراعی متنوع در مناطق مختلف را فراهم می‌کند.

برای استفاده از مدل SSM-iCrop2 نیاز به تعیین ضرایب ژنتیکی (پارامتریابی) و ارزیابی مدل است و با توجه به این‌که پارامتریابی و ارزیابی گیاه زراعی برنج در سطح کشوری تاکنون انجام نگرفته است، هدف از این مطالعه، پارامتریابی ارقام برنج برای استفاده از مدل SSM-iCrop2 و ارزیابی این مدل در شرایط اقلیمی ایران بود.

### مواد و روش‌ها

**ساختار مدل:** مدل SSM-iCrop2 در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان توسط سلطانی و همکاران (۲۰) طراحی و ساخته شده است. در این

به‌دست آورده باشند که در مناطق دیگر قابل استفاده نباشد، یا کارایی قابل‌قبولی نداشته باشند، هر یک از مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان نقاط قوت و ضعف‌های خاصی دارد که شناخت آن برای دریافت نتیجه مطلوب از یک مدل شبیه‌سازی بسیار دارای اهمیت است (۱۷ و ۱۸).

در بین مدل‌ها، از مدل‌های ساده که استفاده از آن‌ها و تفسیر نتایج آن‌ها آسان می‌باشد به صورت موفقیت‌آمیزی برای بررسی پتانسیل عملکرد اقلیمی و محدودیت‌های آن استفاده شده است (۸). شبیه‌سازی فنولوژی و تولید ماده خشک در مدل SSM (Simple Simulation Models) به دلیل استفاده از روش‌ها و الگوریتم‌های متفاوت و جدید در ساختار مدل برای بیان گسترش و پیر شدن برگ‌ها و همچنین توزیع ماده خشک، نسبت به سایر مدل‌ها ساده‌تر بوده و نیاز به پارامترهای ورودی کم‌تری دارد (۱۹ و ۲۰). فنولوژی، مطالعه پیشرفت مراحل نمو در ارتباط با عوامل محیطی است و این‌که چگونه این مراحل تحت تاثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرند. پیش‌بینی دقیق فنولوژی گیاهان زراعی از ویژگی‌های ضروری مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی به شمار می‌رود. تولید و تسهیم ماده خشک در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی تا حد زیادی به‌وسیله زمان‌بندی مراحل نمو تنظیم می‌شود (۷). در ایران مطالعه‌های متعددی با استفاده از مدل ساده، به شبیه‌سازی رشد محصولات مختلف پرداخته شده و به نتایج قابل‌قبولی دست یافتند (۱۷، ۲۱ و ۲۲). همچنین مطالعه‌های متعددی بر روی گیاه برنج با استفاده از مدل ORYZA انجام شده که مدل عملکرد دانه را با دقت بالا و خطای پایین پیش‌بینی کرده است (۱۴، ۱۵، ۲۳ و ۲۴).

مدل SSM-iCrop2 برای شبیه‌سازی گیاهان زراعی مختلف تهیه شده است. وجه تمایز مدل

بهره‌وری آب و سطح برگ را پیش‌بینی و از اطلاعات قابل‌دسترس آب و هوا و خاک استفاده می‌کند. در این مدل فرض شده است که از لحاظ عناصر غذایی کمبودی وجود ندارد و آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز نیز به‌طور مؤثر کنترل می‌شوند. مهم‌ترین فرآیندهایی که در مدل باید شبیه‌سازی شوند عبارت است از، فنولوژی گیاه، تغییرات سطح برگ، تولید و توزیع ماده خشک و موازنه آب خاک.

مدل مقدار عملکرد پتانسیل بر مبنای داده‌های هواشناسی، شرایط خاک (عمق ۲۵۰ میلی‌متر)، نحوه مدیریت (مانند آبیاری) و پارامترهای گیاهی محاسبه می‌شود. این مدل با استفاده از ورودی‌های ارائه شده در جدول ۱ می‌تواند محاسبات را از کاشت تا رسیدگی به صورت روزانه انجام دهد و زمان وقوع مراحل مختلف نموی، سرعت رشد روزانه محصول، عملکرد دانه، شاخص برداشت، تبخیر و تعرق،

جدول ۱- پارامترهای ورودی مورد نیاز مدل SSM-iCrop2.

Table 1. Required parameters inputs for running the SSM-iCrop2 model.

| پارامتر   | واحد   |
|---|--|
| Parameter   | Unit   |
| واحد دمایی نرمالیزه شده که در آن رشد عمقی ریشه آغاز می‌گردد<br>Fraction of tuHAR for beginning root growth (frBRG)  | -  |
| واحد دمایی نرمالیزه شده که در آن رشد عمقی ریشه متوقف می‌شود<br>Fraction of tuHAR for termination root growth (frTRG)  | -  |
| عمق اولیه ریشه در هنگام نشاء یا شروع رشد<br>Initial depth of roots at transplanting or beginning of growth (iDTPORT)  | میلی‌متر<br>mm   |
| حداکثر عمق مؤثر استخراج آب از خاک<br>Maximum effective depth of water extraction from soil (MEED)   | میلی‌متر<br>mm   |
| روابط آب<br>Water relations   |  |
| ضریب کارایی تعرق<br>Transpiration efficiency coefficient (TEC)  | کیلو پاسکال<br>KPa   |
| آستانه FTSW برای رشد<br>FTSW threshold when biomass production starts to decline (WSSG)   | -  |
| آستانه FTSW برای نمو سطح برگ<br>FTSW threshold when leaf area development starts to decline (WSSL)  | -  |
| مقدار ضریب اصلاح تنش کمبود آب برای سرعت نمو فنولوژیک<br>A coefficient that specifies acceleration or retardation in development in response to water deficit (WSSD) | -  |
| حداکثر دمای روزانه<br>Maximum temperature (TMAX)  | درجه سانتی‌گراد<br>°C  |
| اطلاعات هواشناسی<br>Meteorology data  |  |
| حداقل دمای روزانه<br>Minimum temperature (TMIN)   | درجه سانتی‌گراد<br>°C  |
| تابش خورشیدی روزانه<br>Solar radiation (SRAD)   | مگاژول در مترمربع در روز<br>MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> |
| بارندگی روزانه<br>Daily precipitation (RAIN)  | میلی‌متر<br>mm   |
| عرض جغرافیایی<br>Latitude   | درجه<br>degree   |
| اطلاعات مکانی<br>Spatial data   |  |
| غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر<br>Atmosphere CO <sub>2</sub> concentration (CO <sub>2</sub> )   | میکرومول بر مول<br>μmol mol <sup>-1</sup>                      |
| ضریب محاسبه کمبود فشار بخار<br>Vapor pressure deficit calculation coefficient (VPDF)  | -  |
| مقدار تغییر دما<br>Temperature change (tchng)   | درجه سانتی‌گراد<br>°C  |

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

| پارامتر<br>Parameter   | واحد<br>Unit                         |
|--|--------------------------------------|
| شیب زمین<br>Land slope (SLOPE)   | متر در متر<br>$m m^{-1}$             |
| ضریب تغییر بارندگی<br>Precipitation coefficient of variation (pchnng)                                  | -                                    |
| عمق خاک<br>Soil depth (SOLDEP)   | میلی‌متر<br>mm                       |
| آلبیدوی خاک<br>Soil albedo (SALB)  | -                                    |
| عامل زهکشی خاک<br>Soil drainage factor (DRAINF)  | -                                    |
| اطلاعات خاک<br>Soil data   |                                      |
| عامل زهکشی سطحی<br>Surface drainage factor (SDRAINF)   | -                                    |
| مقدار آب در خاک پس از خروج آب ثقلی<br>Soil water after release of gravitational water (DUL)            | میلی‌متر در میلی‌متر<br>$mm mm^{-1}$ |
| حداقل مقدار آب در خاک<br>Lowest level of soil water (LL)   | میلی‌متر در میلی‌متر<br>$mm mm^{-1}$ |
| مقدار آب در خاک در زمان اشباع<br>Soil water at saturation (SAT)  | میلی‌متر در میلی‌متر<br>$mm mm^{-1}$ |
| مقدار آب قابل دسترس خاک<br>Volumetric soil water content available for extraction by crop roots (EXTR) | میلی‌متر در میلی‌متر<br>$mm mm^{-1}$ |
| شماره منحنی خاک<br>Curve number (CN)   | -                                    |
| تاریخ کاشت<br>Planting date (PDOY)   | روز<br>day                           |
| تاریخ شروع شبیه‌سازی آب خاک<br>Start of soil water simulation date (SimDoy)                            | روز<br>day                           |
| تاریخ شروع به جستجو برای تاریخ کاشت<br>Start of searching for planting date (FPDoy)                    | روز<br>day                           |
| اطلاعات<br>مدیریت زراعی<br>Management operations data  |                                      |
| طول مدت جستجو برای کاشت<br>Duration of searching for planting (SearchDur)                              | روز<br>day                           |
| سطح آستانه آبیاری<br>Irrigation threshold level (IRGLVL)   | -                                    |
| تاریخ خاتمه دوره رشد گیاه<br>Termination of plant growth date (StopDoy)                                | روز<br>day                           |
| حداکثر ارتفاع آب<br>Minimum water height (mnWH)  | میلی‌متر<br>mm                       |
| حداقل ارتفاع آب<br>Maximum water height (mxWH)   | میلی‌متر<br>mm                       |
| اولین آب خاک در شروع شبیه‌سازی<br>Initial soil water at start of simulation (ISW)                      | میلی‌متر<br>mm                       |

افزایش می‌یابد و در دمایی به نام دمای مطلوب تحتانی، به حداکثر (از صفر به یک) می‌رسد. با افزایش دما نسبت به دمای مطلوب تحتانی تا رسیدن به دمای مطلوب فوقانی، سرعت نمو در حداکثر مقدار خود باقی می‌ماند که به معنی عدم افزایش سرعت نمو با افزایش دما می‌باشد. با افزایش دما نسبت به دمای مطلوب فوقانی، سرعت نمو مجدداً کاهش می‌یابد تا این‌که در دمایی موسوم به دمای سقف و دمای بالاتر از آن، سرعت نمو به صفر می‌رسد (۹).

بر اساس توضیحات ارائه شده مقدار واحد دمایی روزانه با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

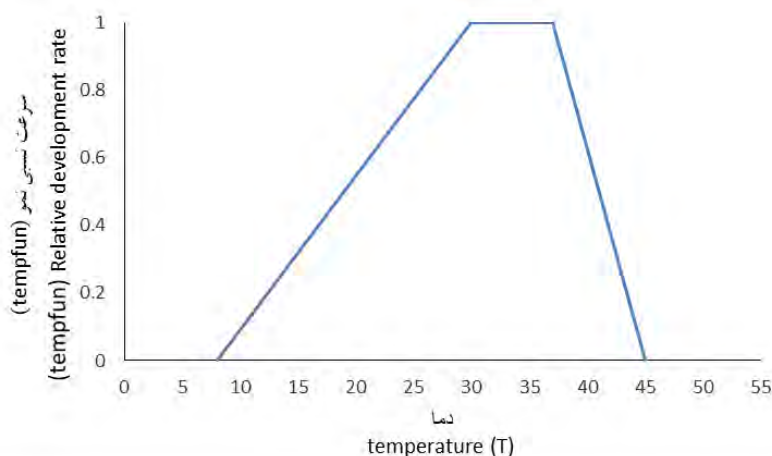
$$DTU = (TP1D - TBD) \times f(T) \quad (1)$$

$$TU = \sum DTU \quad (2)$$

برای گیاه،  $f(T)$  سرعت نمو نسبی با توجه به دمای روزانه،  $TU$  واحد دمایی تجمعی هستند.

**فنولوژی:** فنولوژی براساس مفهوم واحد دمایی که برای کمبود آب تعدیل می‌شود، صورت می‌گیرد (۲۶). مدل، مراحل سبزشدن، شروع گلدهی، شروع مؤثر پر شدن دانه‌ها، پایان مؤثر پر شدن دانه‌ها، شروع پیرشدن برگ‌ها و رسیدگی را پیش‌بینی می‌کند. مدل، واکنش سرعت نسبی نمو در گیاه به میانگین دمای روزانه را با استفاده از یک تابع دندان مانند<sup>۱</sup> توصیف می‌کند. بر اساس تابع دندان مانند در یک دمای معین و کم‌تر از آن، سرعت نمو صفر می‌باشد که این دما، دمای پایه نامیده می‌شود، بدین معنی است که گیاه هیچ دمایی که در نمو آن مؤثر باشد، تجربه نمی‌کند. با افزایش دما نسبت به دمای پایه، سرعت نمو نیز

در روابط ۱ و ۲،  $DTU$  واحد دمایی روزانه،  $TP1D$  دمای مطلوب تحتانی برای گیاه،  $TBD$  دمای پایه



شکل ۱- واکنش سرعت نسبی نمو (tempfun) به دما در برنج.

Fig. 1. Relative development rate response (tempfun) to temperature in rice.

محاسبه واحد دمایی روزانه از طریق رابطه ۱ و جمع این اعداد از زمان کاشت با استفاده از رابطه ۲، می‌توان زمان وقوع هر یک از مراحل فنولوژیک گیاه را پیش‌بینی کرد. سپس مرحله نمو نرمالیزه شده (NGS) که یک متغیر بدون بعد است و مقدار آن در کاشت صفر و در رسیدگی برداشت ۱ می‌باشد با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$NGS = CTU/TTU \quad (۳)$$

**تغییرات سطح برگ:** محاسبه‌های مربوط به سطح برگ با روشی مشابه با مدل EPIC (۲۷) که در مدل SBEET (۲۸) به کار گرفته شده بود، انجام گرفت. در این روش میزان شاخص سطح برگ در هر روز از کاشت تا برداشت از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$LAI = RLAI \times LAIMAX \quad (۴)$$

می‌باشد. مقدار RLAI از طریق رابطه‌های زیر به دست می‌آید:

$$RLAI = NGS / (NGS + EXP((a+b) \times NGS))$$

$$RLAI = BSLAI \times ((1-NGS) / (1-BLS))$$

دمایی از کاشت تا برداشت، LAI به ۵ درصد حداکثر خود می‌رسد و (X2, Y2) نشان می‌دهد که LAI با سپری شدن ۵۰ درصد واحد دمایی به ۹۵ درصد حداکثر خود می‌رسد (۹).

در برخی از گیاهان پیر شدن برگ به صورت خطی اتفاق نمی‌افتد. ممکن است پیر شدن بسیار سریع یا به کندی رخ دهد. در زیرمدل SSM-iCrop2 برای حل این مشکل از پارامتری به نام SRATE استفاده

گیاهان برای رسیدن به هر یک از مراحل (سبز شدن، شروع گلدهی، شروع مؤثر پر شدن دانه‌ها، پایان مؤثر پر شدن دانه‌ها، شروع پیر شدن برگ‌ها و رسیدگی) نیاز به مقادیر مشخصی از واحد دمایی تجمعی دارند که این مقادیر به عنوان پارامترهای ورودی زیرمدل SSM-iCrop2 جهت مدل‌سازی مراحل فنولوژیک گیاهان محسوب می‌شوند. با

که در آن، TTU واحد دمایی مورد نیاز از کاشت تا رسیدگی برداشت برای رقم‌های زودرس، متوسط‌رس و دیررس به ترتیب (۱۲۰۰، ۱۷۰۰ و ۲۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) و CTU<sup>۲</sup> واحد دمایی تجمعی برای مرحله نموی مورد نظر می‌باشد.

که در آن، LAI شاخص سطح برگ، LAIMAX حداکثر شاخص سطح برگ و RLAI نسبت LAI موجود به حداکثر LAI قابل حصول توسط محصول

$$\text{اگر } NGS < BLS \quad (۵)$$

$$\text{اگر } NGS \geq BLS$$

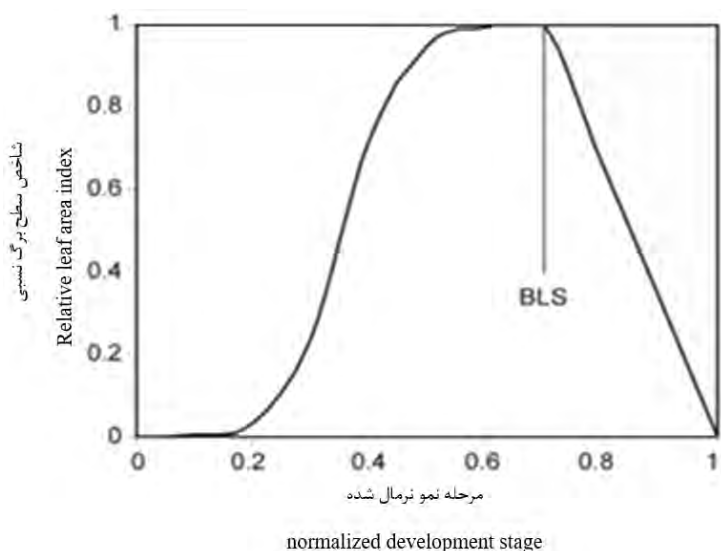
که در آن، BLS مرحله نموی نرمال شده در شروع پر شدن دانه است که در آن حداکثر شاخص سطح برگ (BSGLAI) به دست می‌آید و بعد از آن کاهش LAI شروع می‌شود (شکل ۲). در این مدل مقدار BLS برابر ۰/۹۵ در نظر گرفته شد. a و b ضرایب معادله هستند و با در دست بودن دو نقطه (X1, Y1) و (X2, Y2) و از طریق حل هم‌زمان معادله بالا برای آن دو نقطه به دست می‌آید. مقدار (X1, Y1) به این مفهوم است که پس از طی شدن ۱۵ درصد واحد

1- Total temperature unit

2- Cumulative temperature unit

شد. متغیرهای مربوط به سطح برگ و تخمین آن‌ها در (جدول ۴) نشان داده شده است.

می‌شود. با تغییر مقدار این پارامتر روند پیر شدن نیز تغییر می‌کند و به صورت شکل ۲ در می‌آید. در این مطالعه میزان SRATE برای برنج ۱ در نظر گرفته



شکل ۲- شاخص سطح برگ نسبی (RLAI) در مقابل واحد دمایی نرمالیزه شده یا مرحله نمو نسبی (NDS). BLS واحد حرارتی برای شروع پیر شدن برگ‌ها را نشان می‌دهد (۹).

Fig. 2. Relative leaf area index (RLAI) versus normalized thermal unit or relative development stage (NDS). BLS shows the thermal unit for the beginning of the leaf senescence (9).

سطح برگ و ضریب خاموشی نور (K برای PAR) براساس قانون بیر- بوگر- لامبرت در مدل محاسبه می‌شود (۲۹). مقدار ماده خشک تولید شده در هر روز (DBP) از حاصل ضرب PAR دریافت شده، کسری از تشعشع رسیده که به وسیله جامعه گیاهی دریافت می‌شود (FINT، بدون واحد) و RUE به دست می‌آید:

$$DBP = PAR \times FINT \times RUE \quad (6)$$

$$PAR = SRAD \times 0.5 \quad (7)$$

کسر تشعشع دریافت شده (FINT) به صورت تابع نمایی از LAI و ضریب استهلاک نور ( $K_{PAR}$ ) مطابق رابطه زیر به دست می‌آید:

تولید و توزیع ماده خشک: هسته اصلی مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی، محاسبه تولید ماده خشک است که در آن انرژی خورشیدی به انرژی نهفته در پیوندهای شیمیایی ماده خشک تولیدی، تبدیل می‌شود. در مدل تولید ماده خشک با روش ساده مبتنی بر کارایی استفاده از تشعشع<sup>۱</sup> (RUE) پیش‌بینی می‌شود. مقدار PAR دریافت شده در هر روز (FINT) از شاخص

مقدار ۰/۵ به عنوان ضریبی برای تبدیل کل تشعشع خورشیدی (SRAD) به تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) در معادله بالا منظور شده است.

$$FINT = 1 - \exp(-K_{PAR} \times LAI) \quad (8)$$

مدل مقدار RUE در هر روز را از RUE در شرایط مطلوب (IRUE) و فاکتور تصحیح RUE برای دما (TCFRUE) محاسبه می‌نماید:

در این مطالعه مقدار  $K_{PAR}$  برابر ۰/۶ تخمین زده شد (۲۵). مقدار LAI در معادله بالا توسط رابطه ۴ به دست می‌آید.

$$RUE = IRUE \times TCFRUE \quad (9)$$

مدل با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (۹):

عامل تصحیح RUE برای دما (TCFRUE) در

|                                      |     |                               |      |
|--------------------------------------|-----|-------------------------------|------|
| TCFRUE= 0                            | اگر | $TMP \leq TBRUE$              | (۱۰) |
| TCFRUE= (TMP-TBRUE) / (TP1RUE-TBRUE) | اگر | $TBRUE < TMP < TP1RUE$        |      |
| TCFRUE= 1                            | اگر | $TP1RUE \leq TMP \leq TP2RUE$ |      |
| TCFRUE= (TCRUE-TMP) / (TCRUE-TP2RUE) | اگر | $TP2RUE < TMP < TCRUE$        |      |
| TCFRUE= 0                            | اگر | $TMP \geq TCRUE$              |      |

دانه و تشکیل عملکرد بر مبنای مفهوم افزایش خطی شاخص برداشت شرح داده شده است (۲۵). سرعت رشد واقعی دانه به تولید ماده خشک روزانه و ماده خشک حاصل از انتقال مجدد<sup>۱</sup> (TRANSL) محدود می‌شود. در مدل کل ماده خشک فراهم برای انتقال مجدد (TRLDM) برای رشد دانه از حاصل ضرب کسر ماده خشک تاج پوشش در شروع رشد دانه که قابل انتقال مجدد<sup>۲</sup> می‌باشد (FRTRL) و مقدار ماده خشک تاج پوشش در شروع رشد دانه (BSGDM) به دست می‌آید.

مقدار TCFRUE بین صفر تا ۱ تغییر می‌کند و در واقع این فاکتور مقدار RUE در هر دمایی را نسبت به دمای مطلوب نشان می‌دهد. TBRUE، TP1RUE، TP2RUE و TCRUE دماهای کاردینال برای RUE هستند و به ترتیب دمای پایه، دمای مطلوب تحتانی، دمای مطلوب فوقانی و دمای سقف را نشان می‌دهند. مقادیر متغیرهای مربوط به RUE و  $K_{PAR}$  در جدول ۷ آورده شده است.

**تشکیل عملکرد:** رشد دانه با استفاده از یک روش، مشابه روشی که برای مدل سیریوس گندم استفاده شد، محاسبه می‌شود (۳۰). مدل سازی سرعت رشد

$$TRLDM = BSGDM \times FRTRL \quad (11)$$

خشک تولیدی روزانه (DDMP) به دست می‌آید که همان انتقال مجدد روزانه یعنی TRANSL است.

طی دوره پرشدن دانه، در هر روز که تولید ماده خشک روزانه کم‌تر از نیاز دانه‌ها (یعنی SGR) باشد، این مقدار کمبود، از تفاضل سرعت رشد دانه اصلاح شده برای ماده خشک (SGR/GCC) و مقدار ماده

1- Total Crop Mass at Beginning Seed Growth Which is Translocate able to Grains  
2- Fraction Crop Mass at Beginning Seed Growth Which is Translocate able to Grains



$$TRANSL = DTU / (tuTSG - tuBSG) \times TRLDM \quad (12)$$

(شکل ۳). در هر مورد برای انجام شبیه‌سازی، ورودی‌های مورد نیاز مدل جمع‌آوری شدند. به این ترتیب که آمار هواشناسی منطقه مورد نظر در سال‌های انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای به صورت یک فایل در اختیار مدل قرار گرفت. ورودی‌های مدیریت زراعی نیز مطابق گزارش آزمایش‌ها وارد گردید. در این مطالعه برای مقایسه انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مشاهده شده از میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تغییرات (CV)، ضریب همبستگی (r) و میزان انحراف نتایج شبیه‌سازی شده از خط ۱:۱ با طیفی از اختلاف ۲۰ درصد بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده (به وسیله خطوط منقطع تعریف شده) برای آزمون نتایج مدل استفاده شد (۳۱)، براساس رابطه‌های زیر:

$$RMSE(\%) = \sqrt{\left(\frac{\sum(Xi - Yi)^2}{n-1}\right)} \times \frac{100}{\bar{X}} \quad (13)$$

شبیه‌سازی شده است که برای محاسبه RMSE استفاده می‌شوند.

$$CV = \frac{\delta}{\mu} \times 100 \quad (14)$$

برای محاسبه ضریب همبستگی (r) از رابطه زیر استفاده شد:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})(Yi - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Yi - \bar{Y})^2}} \quad (15)$$

n تعداد مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده است.

مقادیر tuTSG و tuBSG برای این پژوهش در جدول فنولوژی نشان داده شده است. پارامتریایی و ارزیابی مدل: برای پارامتریایی و ارزیابی مدل، مقادیر ET، عملکرد و روز تا رسیدگی شبیه‌سازی شده با مشاهده شده مقایسه شدند. برای این منظور از مجموعه‌ای از داده‌های آزمایشی (داده‌های مربوط به رشد و تولید برنج از مقالات و گزارش‌های چاپ شده و چاپ نشده) در مناطق مهم تحت کشت برنج کشور استفاده شد (جدول ۲). براساس آمار وزارت کشاورزی ۱۳۸۰-۱۳۹۵ پنج استان مازندران، گیلان، خوزستان، گلستان و فارس به‌ترتیب با ۳۴، ۲۷، ۹، ۹ و ۸ درصد در مجموع ۸۷ درصد تولید برنج کشور را به خود اختصاص داده و مناطق اصلی کشت و تولید برنج در ایران هستند

که در آن، Xi مقدار اندازه‌گیری شده، Yi مقدار شبیه‌سازی شده و n تعداد مقادیر اندازه‌گیری شده و

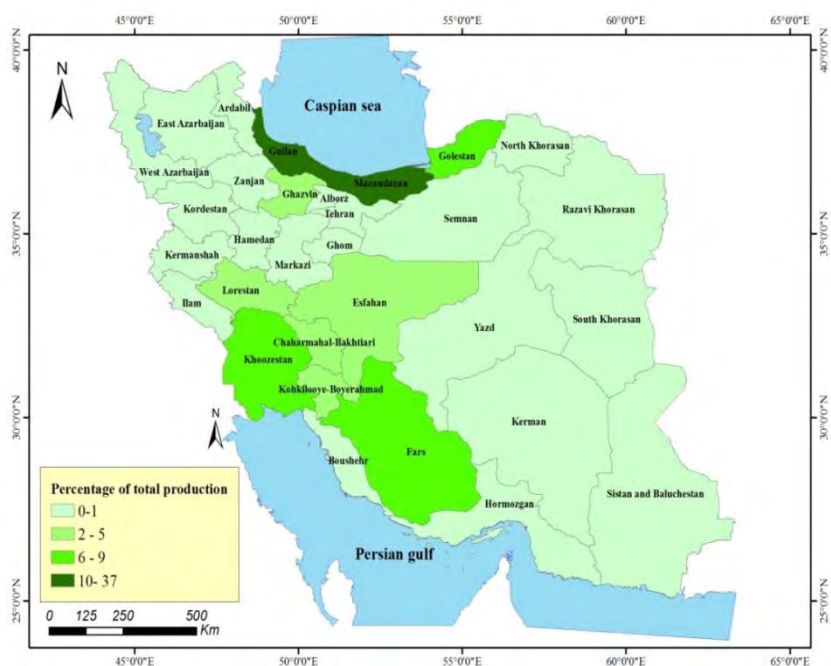
در رابطه ۱۴، CV ضریب تغییرات، δ انحراف معیار و μ میانگین صفت مورد بررسی می‌باشد.

که در آن، Xi مقدار اندازه‌گیری شده، Yi مقدار شبیه‌سازی شده،  $\bar{X}$  و  $\bar{Y}$  میانگین مقادیر Xi و Yi و

جدول ۲- آزمایش‌های مورد استفاده برای پارامتریابی و ارزیابی مدل SSM-iCrop2 برای برنج در ایران.

**Table 2. Experiments used for parameterization and evaluation of SSM-iCrop2 model for Rice.**

| استان، محل و سال<br>Province, Location and Year             | تیمارها<br>Treatments   | منابع<br>Reference                              |
|---|---|---|
| Experiments used for parameter estimation                   |   | آزمایش‌های مورد استفاده<br>برای پارامتریابی مدل |
| آمل، مازندران، ۱۳۸۹-۱۳۹۰<br>Amol, Mazandaran, 2010-2011     | علف هرز و علف‌کش<br>Weeding and herbicide   | (۳۲)<br>(32)                                    |
| نکا، مازندران، ۱۳۹۱-۱۳۹۲<br>Neka, Mazandaran, 2012-2013     | ژنوتیپ، سیستم کاشت<br>Genotype, Cropping Systems                                  | (۲۸)<br>(28)                                    |
| آمل، مازندران، ۱۳۹۱-۱۳۹۲<br>Amol, Mazandaran, 2012-2013     | تاریخ نشاءکاری، میزان کود نیتروژن<br>Transplanting date, nitrogen fertilizer rate | (۳۳)<br>(33)                                    |
| آمل، مازندران، ۱۳۹۲-۱۳۹۳<br>Amol, Mazandaran, 2013-2014     | تاریخ نشاءکاری<br>Transplanting Date  | (۳۴)<br>(34)                                    |
| شاوور، خوزستان، ۱۳۸۵-۱۳۸۶<br>Shavour, Khuzestan, 2006-2007  | ژنوتیپ، تاریخ کاشت<br>Genotype, planting date                                     | (۳۵)<br>(35)                                    |
| خوی، آذربایجان غربی<br>Khui, Azarbaijanganharbi, 2011-2012  | روش کاشت<br>Planting method   | (۳۶)<br>(36)                                    |
| Experiments used for model evaluation                       |   | آزمایش‌های مورد استفاده<br>برای ارزیابی مدل     |
| آمل، مازندران، ۱۳۸۴-۱۳۸۵<br>Amol, Mazandaran, 2005-2006     | ژنوتیپ<br>Genotype  | (۳۷)<br>(37)                                    |
| رشت، گیلان، ۱۳۸۲-۱۳۸۴<br>Rasht, Gilan, 2003-2005            | ژنوتیپ، آبیاری<br>Genotype, Irrigation  | (۳۸)<br>(38)                                    |
| رشت، گیلان، ۱۳۸۸-۱۳۸۹<br>Rasht, Gilan, 2009-2010            | ژنوتیپ، همزیستی باکتریایی<br>Genotype, Bacteria coexist                           | (۳۹)<br>(39)                                    |
| رشت، گیلان، ۱۳۸۷-۱۳۸۵<br>Rasht, Gilan, 2006-2008            | آبیاری، میزان کود نیتروژن<br>Irrigation, nitrogen fertilizer rate                 | (۴۰)<br>(40)                                    |
| رشت، گیلان، ۱۳۸۶-۱۳۸۵<br>Rasht, Gilan, 2006-2007            | ژنوتیپ، آبیاری<br>Genotype, Irrigation  | (۴۰)<br>(40)                                    |
| Experiments used for evapotranspiration                     |   | آزمایش‌های مورد استفاده<br>برای تبخیر و تعرق    |
| رشت، گیلان، ۱۳۷۳-۱۳۷۵<br>Rasht, Gilan, 1994-1996            | ژنوتیپ، ضرایب محصول<br>Genotype, crop coefficients                                | (۴۱)<br>(41)                                    |
| صومعه‌سرا، گیلان، ۱۳۸۹-۱۳۹۰<br>Soumeesara, Gilan, 2010-2011 | ژنوتیپ، ضرایب محصول<br>Genotype, crop coefficients                                | (۴۲)<br>(42)                                    |
| رشت، گیلان، ۱۳۹۰-۱۳۹۱<br>Rasht, Gilan, 2011-2012            | ژنوتیپ، ضرایب محصول<br>Genotype, crop coefficients                                | (۴۳)<br>(43)                                    |
| آمل، مازندران، ۱۳۹۰<br>Amol, Mazandaran, 2011               | روش‌های اندازه‌گیری تبخیر و تعرق<br>Evapotranspiration measurement methods        | (۴۴)<br>(44)                                    |



شکل ۳- مناطق اصلی تولید برنج کشور براساس آمار وزارت کشاورزی (۱۳۹۵-۱۳۸۰).

Fig. 3. Major rice production regions of Iran according to the ministry of Agriculture statistical data (2001-2016).

گرفته شده است. پس از مرحله سبز شدن به ازای هر واحد دمایی، به مقداری که جزء پارامترهای گیاهی محسوب می‌شود، بر عمق ریشه افزوده می‌شود. عمق نهایی قابل دسترس برای ریشه می‌تواند بر اساس مرحله فنولوژیک، عمق نفوذ ریشه، عمق خاک و یا موانع فیزیکی و شیمیایی موجود در خاک برای رشد ریشه تعیین شود (۲۶). در مدل SSM-iCrop2 مقدار آب قابل دسترس برای گیاه و کسر آب قابل تعرق روزانه برای گیاه از رابطه‌های ۱۶ تا ۱۹ به دست می‌آید:

موازنه آب خاک در مدل SSM-iCrop2: مقدار آب قابل دسترس برای گیاه تحت تأثیر عمق ریشه و به تبع آن حجم خاکی است که ریشه در طول فصل رشد به آن دسترسی دارد. در مدل SSM-iCrop2 برای انجام محاسبات موازنه آب خاک، خاک به صورت دو لایه در نظر گرفته شده است: یک لایه فوقانی با ضخامت ۲۰۰ میلی‌متر و یک لایه دوم که شامل لایه اول نیز می‌باشد و برابر با عمق مؤثر استخراج آب<sup>۱</sup> است. عمق لایه دوم با شروع رشد ریشه افزایش می‌یابد تا به حداکثر خود برسد. عمق خاک در زمان سبز شدن برابر ۲۰۰ میلی‌متر در نظر

$$ESW_i = ESW_{i-1} + I - ES - TR1 - D \quad (16)$$

$$ATSW_i = ATSW_i + I + EWAT - ES - TR - D \quad (17)$$

$$FTSW_i = ATSW_i / TTSW \quad (18)$$

$$TTSW = DEPORT \times EXTR \quad (19)$$

1- Effective extraction depth

خشک تأثیر گذارد. در زیر مدل iCrop2 اثر تنش کم‌آبی با محاسبه تعدادی ضریب اصلاحی لحاظ می‌شود. ضرایب اصلاحی به کسر آب قابل‌دسترس خاک (FTSW) ارتباط داده می‌شوند. آستانه FTSW برای نمو سطح برگ (WSSL) ۰/۶ و آستانه FTSW برای رشد (WSSG) ۰/۶ برای مدل در نظر گرفته شد (۴۵). در مدل فرض می‌شود که تنش آب تأثیری بر زمان تا مراحل مختلف نموی در برنج ندارد. اما این فاکتور در مدل گنجانده شده است تا بتوان در صورت نیاز در مطالعات از آن استفاده کرد. مقدار ضریب اصلاح تنش کمبود آب برای سرعت نمو فنولوژیک (WSSD) در مدل صفر در نظر گرفته شد. هم‌چنین حداکثر عمق مؤثر استخراج آب (MEED) ۲۵۰ میلی‌متر و ضریب کارایی تعرق (TEC) ۵/۸ پاسکال در مدل قرار داده شد (۲۵). این پارامترها در جدول ۳ نشان داده شده‌اند.

در رابطه‌های ۱۶ تا ۱۹، ESW مقدار آب قابل‌دسترس در لایه اول، ATSW مقدار آب قابل‌دسترس در لایه دوم، FTSW کسر آب قابل‌تعرق خاک، I مقدار آب نفوذ کرده به خاک در اثر بارندگی (پس از کسر رواناب) یا آبیاری، ES تبخیر از سطح خاک، TR1 مقدار آب تعرق یافته که از لایه اول جذب شده است، D مقدار زهکشی، EWAT مقدار آبی که در اثر افزایش عمق مؤثر استخراج آب یعنی نفوذ ریشه به لایه‌های زیرین، قابل‌دسترس شده است، TR مقدار آب تعرق یافته، TTSW کل آب قابل‌تعرق خاک (بالقوه)، DEPORT عمق مؤثر استخراج آب، EXTR کسر حجمی آب قابل استخراج خاک که برابر ۰/۱۲۷ و ۰/۱۷۲ متر بر متر می‌باشد (۲۵). به جز FTSW که فاقد واحد است، سایر اجزای معادلات دارای واحد میلی‌متر هستند.

تنش کم‌آبی یکی از عواملی است که می‌تواند بر سرعت نمو و به دنبال آن تولید برگ و تجمع ماده

جدول ۳- پارامترهای مربوط به روابط آب خاک در مدل SSM-iCrop2 برای برنج (۹ و ۳۲).

Table 3. Water-Soil relationships Parameters in SSM-iCrop2 model for rice (9 and 32).

| پارامتر<br>Parameter  | مقدار<br>Value |
|---|----------------|
| عمق اولیه ریشه در مرحله سبز شدن<br>Initial depth of roots at emergence (iDEPORT, mm)  | 200            |
| واحد دمایی برای شروع رشد ریشه<br>Temperature unit for growth of roots start (tuBRG, °C)   | 0.001          |
| واحد دمایی برای شروع توقف ریشه<br>Temperature unit for growth of roots stop (tuTRG, °C)   | 0.65           |
| حداکثر عمق مؤثر استخراج آب<br>Effective depth of water extraction from soil (MEED, mm)  | 250            |
| ضریب کارایی تعرق<br>Transpiration efficiency coefficient (TEC, Pa)  | 5.8            |
| آستانه FTSW برای رشد<br>FTSW threshold when dry matter production starts to decline (WSSG)  | 0.6            |
| آستانه FTSW برای نمو سطح برگ<br>FTSW threshold when leaf area development starts to decline (WSSL)  | 0.6            |
| مقدار ضریب اصلاح تنش کمبود آب برای سرعت نمو فنولوژیک<br>A coefficient that specifies acceleration or retardation in development in response to water deficit (WSSD) | 0              |

FTSW: Fraction transportable soil water

## نتایج و بحث

**پارامتریابی:** با توجه به تنوع ارقام برنج در کشور، نیاز به تعریف ارقام مختلف با پارامترهای متفاوت وجود داشت. در این مطالعه، برای مدل ۶ رقم برنج تعریف گردید که شامل ارقام پرمحصول (دیررس، میان‌رس و زودرس) و کم‌محصول (دیررس، میان‌رس و زودرس) بود. بنابراین، پارامترهای متغیر در این ارقام به صورت محدوده کمینه و بیشینه گزارش می‌شوند.

بر اساس نتایج پارامتریابی، دمای کاردینال برنج شامل دمای پایه برای نمو (TBD)، دمای مطلوب تحتانی برای نمو (TP1D)، دمای مطلوب فوقانی برای نمو (TP2D) و دمای سقف برای نمو (TCD) به ترتیب ۸، ۳۰، ۳۷ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۵). هم‌چنین واحد دمایی تجمعی برای مراحل مختلف فنولوژیکی از جمله واحد دمایی برای نشاءکاری (tuEMR)، شروع مؤثر پیر شدن دانه (tuBSG)، پایان مؤثر پیر شدن دانه (tuTSG)، شروع پیر شدن برگ‌ها (tuBLS) و رسیدگی برداشت (tuHAR) برای رقم زودرس ۱/۲، ۷۸۳، ۱۱۴۳، ۷۸۳ و ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و برای رقم دیررس ۲/۲، ۱۴۳۵، ۲۰۹۵، ۱۴۳۵ و ۲۲۰۰ درجه سانتی‌گراد تخمین زده شد (جدول ۵). نتایج نشان داد مدل، روز تا رسیدگی را برای پارامتریابی با مقادیر RMSE، CV و r به ترتیب ۱۲ روز، ۱۱ درصد و ۰/۶۱ پیش‌بینی کرد (شکل ۴). پژوهش‌گران در مطالعات انجام شده بر روی مدل‌های شبیه‌سازی رشد محصول غالباً به نتایج مثبت و قابل‌قبولی دست یافته‌اند. برای مثال، در شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی برنج در منطقه شمال‌غربی ازبکستان، مدل ORYZA، روز تا رسیدگی برنج را در مرحله پارامتریابی با RMSE و R<sup>2</sup> به ترتیب برابر با ۳/۳۸ روز و ۰/۹۷ پیش‌بینی کرد (۴۶). در مطالعه دیگری، مراحل فنولوژیکی برنج با استفاده از مدل ORYZA با دقت قابل‌قبولی تخمین زده شد. نتایج این مطالعه نشان داد در مقایسه داده‌های پیش‌بینی شده و مشاهده

شده برای مرحله رسیدگی فنولوژیکی، میزان RMSE و R<sup>2</sup> به ترتیب ۴ روز و ۰/۹۷ بود (۲۳). در مطالعه‌ای چهار مدل SSM، CropSyst، APSIM و DSSAT را بر روی گندم مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که SSM در پیش‌بینی رشد، نمو و عملکرد گندم نیرومندتر از مدل‌های دیگر بود. هم‌چنین، تعداد پارامترهای ورودی در مدل SSM (۵۵ پارامتر) در مقایسه با مدل APSIM (۲۹۲ پارامتر) و مدل DSSAT (۲۱۱ پارامتر) بسیار کم‌تر بود. در مدل SSM، برای صفت روز تا رسیدگی گندم، RMSE، CV و r به ترتیب برابر با ۸/۲ روز، ۵/۶ درصد و ۰/۹۶ بود، که نشان‌دهنده دقت قابل‌قبول مدل است.

برای مشخص کردن دقت میزان پراکندگی داده‌های مدل و میزان دقت برآورد داده‌ها از دامنه تغییرات استفاده شد. دامنه تغییرات روز تا رسیدگی برنج در پارامتریابی برای داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده به ترتیب بین ۷۴ تا ۱۳۴ و ۶۸ تا ۱۱۸ روز با میانگین ۱۰۵ و ۹۹ روز بود.

در هر منطقه، یک نوع خاک غالب انتخاب شد. واحدهای خاک از واحدهای نقشه انتخابی تا رسیدن به پوشش ۵۰ درصد مساحت برای هر واحد نقشه، پس از حذف آن دسته از خاک‌هایی که احتمالاً برای دوره طولانی مدت تولید سالانه برنج مناسب نیستند یا خاک‌هایی که بخش کوچکی از منطقه برداشت محصول را تشکیل می‌دهند، انتخاب شدند. متغیرهای مورد نیاز خاک برای شبیه‌سازی Yp، شامل عمق مؤثر ریشه خاک و ظرفیت نگهداری آب قابل دسترس گیاه (PASW; in cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) است. از این‌رو، داده‌های مشخصات خاک باید خصوصیات "کارکردی" خاک (به عنوان مثال، حد نگهداری آب خاک) یا حداقل داده‌هایی را که می‌توان استخراج کرد (به عنوان مثال، کلاس بافت خاک) داشته باشد. سایر خصوصیات خاک و زمین مانند شیب و زهکشی نیز برای تعیین

وجود ندارد، بنابراین از پایگاه داده HC27 (۳۵) استفاده شد. پایگاه داده خاک HC27 که در مطالعه حاضر استفاده شده دارای وضوح ۱۰ کیلومتری است. جزئیات مربوط به خاک‌های غالب در مناطق تولید برنج ایران در جدول ۴ آورده شده است.

میزان رواناب سطحی مورد نیاز است (۴۷). اطلاعات مورد نیاز خاک شامل شاخص آلدوی خاک، ضریب زهکشی، حجم آب خاک در ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی و شرایط اشباع بود. در ایران هیچ پایگاه داده محلی دیجیتالی شده برای مدل‌سازی محصولات

جدول ۴- خاک‌های غالب در مناطق تولید برنج در ایران بر اساس انتخاب سطح برداشت IFPRI (۴۸).

**Table 4. Dominant soils in rice production area in Iran based on harvest selection IFPRI (48).**

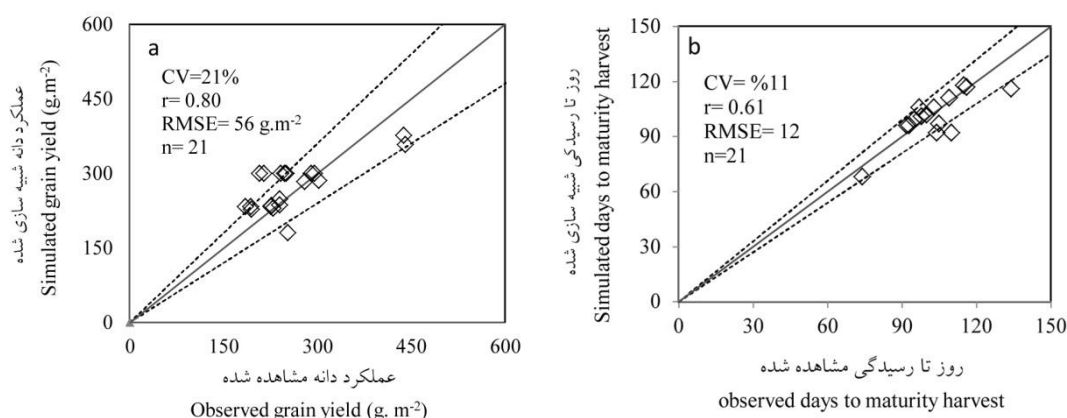
| Soil code       | Soc     | SOLDEP | SALB | CN | DRAINF | SAT   | DUL   | LL    |
|-----------------|---------|--------|------|----|--------|-------|-------|-------|
| Silt clay MF 25 | 0.7-1.2 | 250    | 0.11 | 78 | 0.03   | 0.756 | 0.677 | 0.517 |
| Silt loam MF 25 | 0.7-1.2 | 250    | 0.12 | 79 | 0.03   | 0.361 | 0.261 | 0.110 |
| HC12-Clay HF 25 | >1.2    | 250    | 0.05 | 85 | 0.035  | 0.458 | 0.405 | 0.233 |
| HC15-Clay MF 25 | 0.7-1.2 | 250    | 0.05 | 85 | 0.035  | 0.458 | 0.405 | 0.233 |
| HC18-Clay LF 25 | 0-0.7   | 250    | 0.5  | 85 | 0.038  | 0.458 | 0.405 | 0.233 |
| HC24-Loam MF 25 | 0.7-1.2 | 250    | 0.1  | 75 | 0.035  | 0.41  | 0.307 | 0.180 |
| HC27-Loam LF 25 | 0-0.7   | 250    | 0.1  | 75 | 0.035  | 0.41  | 0.307 | 0.180 |

Soc کربن آلی خاک، SOLDEP عمق خاک، SALB آلدوی خاک، CN شماره خمیدگی، DRAINF فاکتور زهکشی، SAT حجم آب حجمی خاک در اشباع، DUL محتوای حجمی آب خاک در حد بالایی زهکشی، LL محتوای حجمی آب خاک در حد پایین کدهای خاک (انتخاب سطح برداشت IFPRI): ۱۲ = رس، باروری زیاد، عمق ۲۵۰ میلی‌متر؛ ۱۵ = رس، باروری متوسط، عمق ۲۵۰ میلی‌متر؛ ۱۸ = رس، باروری کم، عمق ۲۵۰ میلی‌متر؛ ۲۴ = لوم، باروری متوسط، عمق ۲۵۰ میلی‌متر؛ ۲۷ = لوم، باروری کم، عمق ۲۵۰ میلی‌متر.

جدول ۵- پارامترهای مربوط به فتولوژی در مدل SSM-iCrop2 برای برنج در ایران.

**Table 5. Phenology parameters in SSM-iCrop2 model for rice in Iran.**

| پارامتر<br>Parameter  | مقدار<br>Value | منابع<br>References |
|---|----------------|---------------------|
| دمای پایه برای نمو<br>Base temperature for development (TBD, °C)  | 8              | (۲۵)<br>(25)        |
| دمای مطلوب اول برای نمو<br>Lower optimum temperature for development (TP1D, °C)                               | 30             | (۲۵)<br>(25)        |
| دمای مطلوب دوم برای نمو<br>Upper optimum temperature for development (TP2D, °C)                               | 37             | (۲۵)<br>(25)        |
| دمای سقف برای نمو<br>Ceiling temperature for development (TCD, °C)  | 45             | (۲۵)<br>(25)        |
| واحد دمایی برای برداشت<br>Temperature unit for harvest index (tuHAR, °C)                                      | 1200-2200      | جدول ۲<br>Table 2   |
| واحد دمایی برای سبز شدن<br>Temperature unit for emergence (tuEMR, °C)   | 1.2-2.2        | جدول ۲<br>Table 2   |
| واحد دمایی برای شروع رشد دانه<br>Temperature unit for beginning seed growth occurs (tuBSG, °C)                | 783-1435       | جدول ۲<br>Table 2   |
| واحد دمایی برای پایان رشد دانه<br>Temperature unit for termination seed growth occurs (tuTSG, °C)             | 1143-2095      | جدول ۲<br>Table 2   |
| واحد دمایی برای شروع پیر شدن برگ‌ها<br>Temperature unit for maturity that leaves start senescence (tuBLS, °C) | 783-1435       | جدول ۲<br>Table 2   |



شکل ۴- عملکرد دانه (a) و روز تا رسیدگی (b) شبیه‌سازی شده در برابر مشاهده شده برنج با استفاده از مدل SSM-iCrop2 بر اساس داده‌های مورد استفاده در پارامتریابی. خطوط اختلاف  $\pm 20\%$  درصد برای عملکرد و  $\pm 10\%$  درصد برای روز تا رسیدگی با خطوط منقطع نشان داده شده است. خط ممتد خط ۱:۱ است.

Fig. 4. Grain yield (a) and days to maturity (b) Simulated versus measured rice by SSM-iCrop2 model based on data used in model parameterization. The  $\pm 20\%$  for yield and  $\pm 10\%$  for days to maturity discrepancy lines are indicated by dashed lines. Solid line is 1:1 line.

دمایی که در کم‌تر از آن برگ‌ها از بین می‌روند (FrzTh) و مقدار سطح برگ مرده به ازای هر درجه سانتی‌گراد کم‌تر از FrzTh (FrzLDR) به ترتیب ۸ درجه سانتی‌گراد و  $0.1$  سانتی‌متر مربع بر درجه سانتی‌گراد برآورد شد. آستانه دمایی که در بالاتر از آن تنش گرما باعث تسریع پیر شدن برگ‌ها می‌شود (HeatTh) و میزان تسریع در پیر شدن برگ‌ها در هر درجه سانتی‌گراد بالاتر از HeatTh (HtLDR) به ترتیب  $37$  درجه سانتی‌گراد و  $0.1$  سانتی‌متر مربع بر درجه سانتی‌گراد به دست آمد (جدول ۶).

پارامترهای مورد نیاز برای گسترش سطح برگ در این زیرمدل شامل واحد دمایی از نشاء تا  $5$  درصد حداکثر شاخص سطح برگ ( $X_1$ )، شاخص سطح برگ نسبی در مرحله سبز شدن ( $y_1$ )، واحد دمایی از نشاء تا  $95$  درصد حداکثر شاخص سطح برگ ( $X_2$ )، شاخص سطح برگ نسبی در مرحله شروع مؤثر پیر شدن دانه ( $y_2$ ) به ترتیب  $0.1$ ،  $0.15$ ،  $0.70$  و  $0.95$  برآورد شدند. همچنین حد کمینه و بیشینه پارامتر حداکثر شاخص سطح برگ (LAIMX) برابر با  $2-3$  و ضریب پیر شدن برگ (SRATE)  $1$  محاسبه گردید. پارامترهای شبیه‌سازی پیری برگ برای آستانه

جدول ۶- پارامترهای مربوط به تغییرات شاخص سطح برگ در مدل SSM-iCrop2 برای برنج در ایران.

**Table 6. Parameters related to the changes in leaf area in SSM-iCrop2 model for rice in Iran.**

| پارامتر<br>Parameter   | مقدار<br>Value | منابع<br>References |
|--|----------------|---------------------|
| واحد دمایی از کاشت تا ۵ درصد حداکثر شاخص سطح برگ<br>Temperature unit from sowing to 5% of maximum LAI (x1)                       | 0.01           | جدول ۲<br>Table 2   |
| شاخص سطح برگ نسبی در زمان سبز شدن<br>Relative LAI at emergence (y1)  | 0.15           | جدول ۲<br>Table 2   |
| واحد دمایی از کاشت تا ۹۵ درصد حداکثر شاخص سطح برگ<br>Temperature unit from sowing to 95% of maximum LAI (x2)                     | 0.70           | جدول ۲<br>Table 2   |
| شاخص سطح برگ نسبی در شروع رشد دانه<br>Relative LAI at beginning seed growth occurs (y2)  | 0.95           | جدول ۲<br>Table 2   |
| حداکثر شاخص سطح برگ<br>Maximum leaf area index (LAIMX)   | 2-3            | جدول ۲<br>Table 2   |
| ضریب سرعت پیری برگ<br>Leaf senescence rate coefficient (SRATE)   | 1              | جدول ۲<br>Table 2   |
| دمای پایین / آستانه انجماد برای مرگ برگ<br>Low temperature/freezing threshold for leaf death (°C) FrzTh                          | 8              | (۹)<br>(۹)          |
| میزان مرگ برگ در هر درجه سانتی‌گراد زیر FrzTh<br>Leaf death rate per °C below FrzTh (cm <sup>2</sup> °C <sup>-1</sup> ) FrzLDR   | 0.01           | (۹)<br>(۹)          |
| آستانه دمایی گرما برای مرگ برگ<br>Heat threshold temperature for leaf death (°C) HeatTh  | 37             | (۹)<br>(۹)          |
| میزان مرگ برگ در هر درجه سانتی‌گراد بالاتر از HeatTh<br>death rate per °C above HeatTh (cm <sup>2</sup> °C <sup>-1</sup> ) HtLDR | 0.1            | (۹)<br>(۹)          |

(شکل ۴). مقایسه مقادیر عملکرد دانه پیش‌بینی شده با استفاده از مدل SSM-iCrop2 با مقادیر مشاهده شده در مزارع آزمایشی در مرحله پارامتریابی و ارزیابی، صحت داده‌ها و پارامترها و دقت و کارایی قابل قبول مدل در تخمین عملکرد برنج در مقیاس ملی را نشان می‌دهد که با توجه به شکل ۴، همه داده‌های عملکرد در دامنه ۲۰ درصد بالا و پایین خط ۱:۱ قرار گرفته‌اند. دامنه تغییرات عملکرد دانه برنج در پارامتریابی برای داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده به ترتیب بین ۱۸۴ تا ۴۸۶ و ۱۸۱ تا ۶۰۸ گرم در مترمربع، به ترتیب با میانگین ۲۶۹ و ۲۸۹ گرم در مترمربع بود (شکل ۴). هم‌چنین، نزدیک بودن دامنه تغییرات و پراکندگی داده‌های عملکرد پیش‌بینی شده

پارامترهای مربوط به دمای کاردینال برای تولید ماده خشک شامل دمای پایه برای تولید ماده خشک (TBRUE)، دمای مطلوب تحتانی برای تولید ماده خشک (TP1RUE)، دمای مطلوب فوقانی برای تولید ماده خشک (TP2RUE) و دمای سقف برای تولید ماده خشک (TCRUE) به ترتیب ۵، ۱۵، ۳۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد حاصل شد. هم‌چنین مقدار ضریب خاموشی (KPAR) ۰/۶ و مقدار کارایی استفاده از تشعشع در شرایط مطلوب رشد (IRUE) ۲/۲ گرم در مگاژول به دست آمد (جدول ۵). نتایج نشان داد مدل، صفت عملکرد دانه را به‌طور قابل‌قبولی برای پارامتریابی با مقادیر RMSE، CV و r به ترتیب ۵۶ گرم در مترمربع، ۲۱ درصد و ۰/۸۰ پیش‌بینی کرد



مربعات خطا و ضریب تبیین وزن خشک کل در شرایط پارامتریابی، نشان‌دهنده صحت پارامترهای شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل ORYZA است. RMSE وزن خشک کل ۵۸۰ کیلوگرم بر هکتار و  $R^2$  ۰/۹۷ محاسبه گردید (۳۷).

ارقام برنج در ایران از نظر عملکرد تنوع بالایی دارند، با این وجود شبیه‌سازی رشد و عملکرد ارقام مختلف برنج با استفاده از مدل SSM-iCrop2 با پارامتر واحد دما از کاشت تا برداشت (جدول ۵)، پارامتر LAIMX (جدول ۶) و پارامتر HImax (جدول ۷) انجام شد و ارقام کم‌محصول و پرمحصول از یکدیگر تفکیک شدند. بنابراین مدل توانست با تعداد پارامترهای ورودی محدود، عملکرد و روز تا رسیدگی برنج در ایران را با دقت بالایی شبیه‌سازی کند.

و مشاهده شده برنج به یکدیگر نیز این موضوع را تأیید می‌کند.

کارایی قابل‌قبول مدل‌های شبیه‌سازی رشد و عملکرد محصول در سایر مطالعات نیز مشهود است. در یک مطالعه، در مرحله پارامتریابی گیاه برنج با استفاده از مدل ORYZA، مقادیر  $R^2$ ، RMSE و CV به ترتیب ۱۷۵ کیلوگرم در هکتار، ۰/۸۳ و ۳ درصد بود (۴۹). در پیش‌بینی عملکرد برنج در مؤسسه تحقیقات برنج کشور در رشت، در پارامتریابی مدل ORYZA، مقادیر  $R^2$  و RMSE به ترتیب ۰/۶۷ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و گزارش شد (۱۴). در مقایسه بین مقادیر عملکرد دانه پیش‌بینی شده به مشاهده شده برنج در مرحله پارامتریابی در مؤسسه تحقیقات برنج کشور با استفاده از مدل ORYZA، RMSE برابر با ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و  $R^2$  برابر با ۰/۷۱ به دست آمد (۱۵). مقادیر ریشه میانگین

جدول ۷- پارامترهای تولید ماده خشک و تشکیل عملکرد در مدل SSM-iCrop2 برای برنج در ایران.

Table 7. parameters of dry matter production and yield formation in SSM-iCrop2 model for rice in Iran.

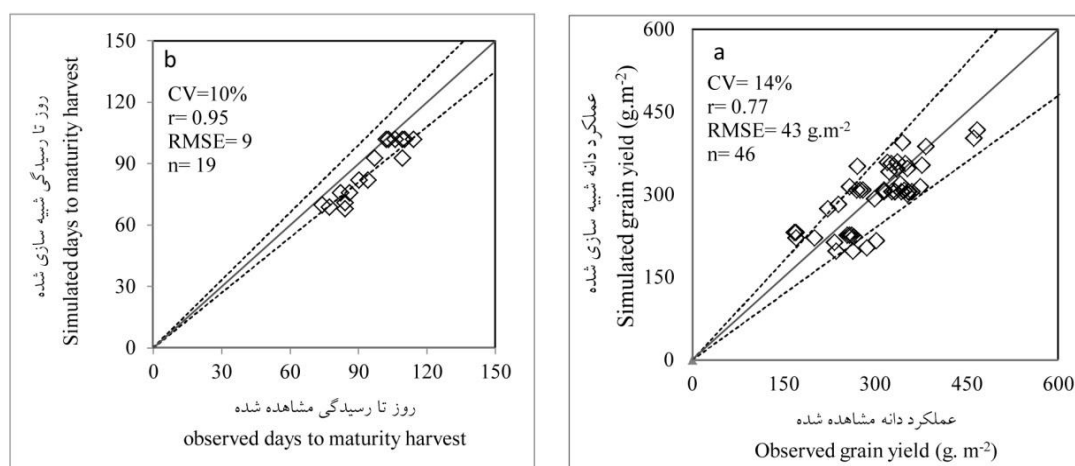
| پارامتر<br>Parameter  | مقدار<br>Value | منابع<br>References |
|---|----------------|---------------------|
| دمای پایه برای تولید ماده خشک<br>Base temperature for dry matter production (TBRUE, °C)   | 5              | (۲۵)<br>(25)        |
| حداقل دمای مطلوب برای تولید ماده خشک<br>Lower optimum temperature for dry matter production (TP1RUE, °C)  | 15             | (۲۵)<br>(25)        |
| حداکثر دمای مطلوب برای تولید ماده خشک<br>Upper optimum temperature for dry matter production (TP2RUE, °C)   | 35             | (۲۵)<br>(25)        |
| دمای سقف برای تولید ماده خشک<br>Ceiling temperature for dry matter production (TCRUE, °C)   | 50             | (۲۵)<br>(25)        |
| ضریب خاموشی برای PAR<br>Extinction coefficient for PAR (KPAR)   | 0.60           | (۲۵)<br>(25)        |
| کارایی استفاده از تشعشع تحت شرایط مطلوب رشد<br>Radiation use efficiency under optimal growth conditions (IRUE, g MJ <sup>-1</sup> )                               | 2.2            | (۲۵)<br>(25)        |
| حداکثر شاخص برداشت/ شیب افزایش خطی شاخص برداشت<br>The slope of linear increase in harvest index/maximum harvest index (HImax, g g <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> ) | 0.25-0.50      | جدول ۲<br>Table 3   |

گیاهان گرمادوست غیرحساس به طول روز، مراحل نمو به‌طور عمده به وسیله دما کنترل می‌شوند (۹). برنج یک گیاه زراعی گرمادوست و حساس به طول روز است، بنابراین، مراحل نمو آن عمدتاً تحت تأثیر فتوپریود و دما است. علاوه بر نقش مهم مراحل نمو در مدیریت مزرعه، تعیین زمان دقیق این مراحل برای شبیه‌سازی رشد اندام‌های گیاهی و در نهایت عملکرد دانه نیز دارای اهمیت است، چون میزان تسهیم مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی و زایشی گیاه متناسب با مراحل نمو گیاه انجام می‌گیرد (۹). مقادیر  $CV$ ،  $RMSE$  و  $r$  در ارزیابی مدل برای عملکرد دانه به ترتیب ۴۳ گرم در مترمربع، ۱۴ درصد و ۰/۷۷ پیش‌بینی شد (شکل ۵). هم‌چنین دامنه تغییرات عملکرد دانه در ارزیابی برای داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده به ترتیب بین ۱۶۷ تا ۶۷ و ۱۹۷ تا ۴۱۸ گرم در مترمربع، به ترتیب با میانگین ۳۰۵ و ۲۹۸ گرم در مترمربع بود. نتایج ارزیابی مدل  $ORYZA$  برای عملکرد دانه برنج، با مقادیر  $RMSE$ ،  $R^2$  و  $CV$  به ترتیب ۱۶۷ کیلوگرم در هکتار، ۰/۹۸ و ۲ درصد رضایت‌بخش گزارش شده است (۳۶). پیش‌بینی عملکرد دانه برنج در مؤسسه تحقیقات برنج کشور در ارزیابی مدل  $ORYZA$  با مقادیر  $RMSE$  و  $R^2$  به ترتیب ۱۵۵ کیلوگرم در هکتار و ۰/۹۶ قابل قبول گزارش و کارایی مدل تأیید شد (۱۴). نسبت بین مقادیر عملکرد دانه پیش‌بینی شده با استفاده از مدل  $ORYZA$  به مقادیر مشاهده شده عملکرد برنج در مرحله ارزیابی، با  $RMSE$  برابر با ۱۸۲ کیلوگرم در هکتار و  $R^2$  برابر با ۰/۶۳ برآورد شد (۱۵). در یک مطالعه، مقادیر  $RMSE$  و  $R^2$  به ترتیب ۵۳۲-۸۷۱ کیلوگرم بر هکتار و ۰/۹۴-۰/۹۸ در ارزیابی مدل  $ORYZA$ ، دقت و کارایی مطلوب مدل در شبیه‌سازی وزن خشک کل برنج را تأیید نمود (۵۰). با توجه به

ارزیابی مدل: با توجه به نتایج ارزیابی با استفاده از داده‌های مستقل از آزمایش‌های مورد استفاده در پارامتریابی، مقادیر  $RMSE$ ،  $CV$  و  $r$  برای روز تا رسیدگی به ترتیب ۹ روز، ۱۰ درصد و ۰/۹۵ برآورد شد (شکل ۵). هم‌چنین، دامنه تغییرات روز تا رسیدگی در ارزیابی برای داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده به ترتیب بین ۷۴ تا ۱۱۴ و ۶۸ تا ۱۰۲ روز با میانگین ۹۶ و ۸۸ روز بود. در منطقه شمال غربی ازبکستان نسبت بین مقادیر روز تا رسیدگی پیش‌بینی شده به مقادیر مشاهده شده برنج در ارزیابی مدل  $ORYZA$ ، مقادیر  $RMSE$  برابر با ۲/۵۳ روز و  $R^2$  برابر با ۰/۹۷، دقت بالای مدل را نشان داد (۳۳). با توجه به شکل‌های ۴ و ۵، بیش‌تر داده‌های روز تا رسیدگی در دامنه ۱۰ درصد بالا و پایین خط ۱:۱ قرار گرفته‌اند که این نشان‌دهنده کارایی خوب مدل  $SSM-iCrop2$  و برآورد صحیح و دقیق پارامترهای مدل برنج می‌باشد. در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی پیش‌بینی دقیق مراحل نمو فنولوژیک گیاه از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا در این مدل‌ها تولید و تخصیص ماده خشک به طور عمده از طریق مراحل فنولوژیک تنظیم می‌شوند به همین دلیل، پیش‌بینی آن نسبت به پیش‌بینی تغییرات سایر فرآیندها نسبتاً مشکل‌تر است، زیرا تفاوت بین گونه‌ها و ارقام زیاد است، انواع واکنش‌های متفاوت وجود دارد و اطلاعات کمی زیادی وجود ندارد (۸). به‌علاوه، پیش‌بینی دقیق رشد گیاه نیاز به پیش‌بینی دقیق نمو فنولوژیک دارد. مراحل نمو فنولوژیک در گیاهان زراعی تحت تأثیر دما، فتوپریود و بهاره‌سازی قرار می‌گیرند (۵۰). در گیاهان زراعی سرمادوست مانند گندم و کلزا مراحل نمو گیاه تحت تأثیر هر سه عامل قرار می‌گیرند و در گیاهان گرمادوست مراحل نمو به‌طور عمده تحت تأثیر دما و فتوپریود می‌باشند. اما در

مراحل رشد و نمو و عملکرد برنج و سایر گیاهان زراعی در مقیاس‌های وسیع نشان می‌دهد، استفاده از مدل‌ها به دلیل عملکرد مطلوب و قابل اعتماد، در آینده نزدیک در جهت توسعه کشاورزی پایدار و بهبود تولید و تامین امنیت غذایی، گامی مؤثر و مهم است (۵۱).

شکل‌های ۴ و ۵، بیش‌تر نقاط در دامنه ۲۰ درصد بالا و پایین خط ۱:۱ قرار گرفته‌اند که این نشان‌دهنده کارایی خوب مدل در پیش‌بینی عملکرد برنج می‌باشد. بر این اساس، نتایج حاصل از شبیه‌سازی عملکرد با استفاده از مدل SSM-iCrop2 رضایت‌بخش بود. مطالعات متعدد بر روی کاربرد مدل‌ها در بررسی

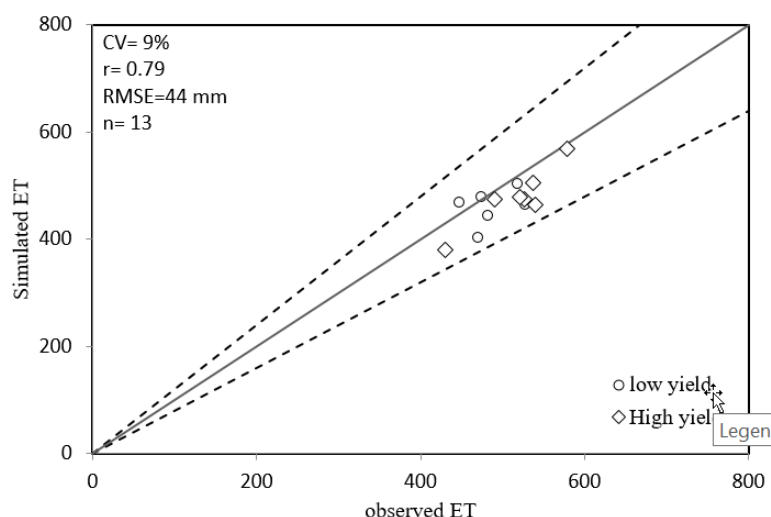


شکل ۵- عملکرد دانه (a) و روز تا رسیدگی (b) شبیه‌سازی شده در برابر مشاهده شده برنج با استفاده از مدل SSM-iCrop2 بر اساس داده‌های مورد استفاده در ارزیابی مدل. خطوط اختلاف  $\pm 20\%$  درصد برای عملکرد و  $\pm 10\%$  درصد برای روز تا رسیدگی با خطوط منقطع نشان داده شده است. خط ممتد خط ۱:۱ است.

**Fig. 5. Grain yield (a) and days to maturity (b) Simulated versus measured rice by SSM-iCrop2 model based on data used in model evaluation. The  $\pm 20\%$  for yield and  $\pm 10\%$  for days to maturity discrepancy lines are indicated by dashed lines. Solid line is 1:1 line.**

SSM-iCrop2 تبخیر و تعرق گیاه زراعی برنج را برای مناطق مهم تولیدکننده این گیاه در ایران با دقت بالایی پیش‌بینی می‌کند. این مدل مقدار ET گیاهان زراعی دانه‌ای و غیردانه‌ای مهم ایران را به‌خوبی شبیه‌سازی کرد (۵۲).

مقدار RMSE, r و CV برای مقایسه بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده ET به‌ترتیب برابر با ۴۴ میلی‌متر، ۰/۷۹ و ۹ درصد بود. بر اساس نتایج، بیش‌تر نقاط در دامنه ۲۰ درصد بالا و پایین خط ۱:۱ قرار دارند (شکل ۶). این نتایج نشان داد مدل



شکل ۶- تبخیر و تعرق مشاهده شده در برابر شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل SSM-iCrop2 در مناطق مهم تولیدکننده برنج در ایران. خطوط اختلاف  $\pm 20\%$  درصد با خطوط منقطع نشان داده شده است. خط ممتد خط ۱:۱ است.

**Fig. 6. Observed VS simulated evapotranspiration (ET) using SSM-iCrop2 model in major rice production regions in Iran. The  $\pm 20\%$  discrepancy lines are indicated by dashed lines. Solid line is 1:1 line.**

### نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی مدل SSM-iCrop2 که با استفاده از شاخص‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب همبستگی (r) و ضریب تغییرات (CV) انجام گرفت، نشان داد که این مدل ET، مراحل فنولوژیکی (روز تا رسیدگی) و عملکرد دانه را در تاریخ کاشت‌های مختلف در شرایط اقلیمی ایران با دقت زیادی شبیه‌سازی می‌کند که نشان‌دهنده ساختار مناسب مدل در شبیه‌سازی است. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان از مدل SSM-iCrop2 در پیش‌بینی رشد و عملکرد برنج در شرایط پتانسیل بهره برد. این مدل می‌تواند در مطالعات شبیه‌سازی عملکرد برنج و محدودیت‌های آن در واکنش به شرایط محیط زیستی، ورودی‌های مدیریتی و عوامل ژنتیکی در شرایط کشور ایران استفاده شود.

نتایج پارامتریابی و ارزیابی مدل نشان داد مدل SSM-iCrop2 پارامترهای گیاه زراعی برنج را برای کل کشور با دقت بالایی برآورد نمود. کم‌تر بودن مقدار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تغییرات (CV) و نیز بالاتر بودن مقدار ضریب همبستگی ( $R^2$ ) نشان‌دهنده بالاتر بودن کارایی مدل می‌باشد. بنابراین، مقایسه مقادیر روز تا رسیدگی و عملکرد دانه پیش‌بینی شده با استفاده از مدل با مقادیر مشاهده شده در مزارع آزمایشی در مرحله پارامتریابی و ارزیابی در شکل‌های ۴ و ۵، صحت داده‌ها و پارامترها و دقت و کارایی قابل قبول مدل در تخمین مراحل فنولوژیک و عملکرد دانه برنج در مقیاس ملی را نشان می‌دهد. هم‌چنین، نزدیک بودن دامنه تغییرات و پراکندگی داده‌های روز تا رسیدگی و عملکرد دانه پیش‌بینی شده و مشاهده شده برنج به یکدیگر نیز تأییدکننده این امر است (۵۳).

## منابع

- Barari Tari, D., Gazanchian, A., Pirdashti, H.A. and Nasiri, M. 2009. Flag leaf morphophysiological response to different agronomic treatments in promising line of rice (*Oryza sativa* L.), American-Eurasian J. Agric. Env. Sci. 5: 3. 403-408.
- FAO. 2019. <http://statistics.amis-outlook.org/data/index.html>.
- Chakravarthi, B. and Naravaneni, R. 2006. SSR marker-based DNA fingerprinting and diversity study in rice (*Oryza sativa* L.). Afr. J. Biotechnol. 5: 684-688.
- Ministry of Agriculture Statistics. 2016. Agricultural Statistics Bulletin Volume I. Ministry of Agriculture Jihad, Deputy of Planning and Economics, Bureau of Statistics and Information Technology.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J. and Befort, B.L. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 108: 50. 20260-20264.
- Liu, S.L., Pu, C., Ren, Y.X., Zhao, X.L., Zhao, X. and Chen, F. 2016. Yield variation of double-rice in response to climate change in Southern China. Eur. J. Agron. 81: 161-168.
- Sinclair, T.R. and Seligman, G. 1996. Crop modeling: from infancy to maturity. J. Agron. 88: 5. 698-704.
- Soltani, A., Hammer, G.L., Torabi, B., Robertson, M.J. and Zeinali, E. 2006. Modeling chickpea growth and development: Phenological development. Field Crop Res. 99: 1-13.
- Soltani, A. 2009. Mathematical modelling in crops. JDM Press. 175p. (In Persian)
- Bouman, B.A.M. and van Laar, H.H. 2006. Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited conditions. Agric. Syst. 87: 249-273.
- Chen, Y., Wang, P., Zhang, Z., Tao, F. and Wei, X. 2017. Rice yield development and the shrinking yield gaps in China, 1981-2008. Reg. Environ. Change. 17: 2397-2408.
- Feng, L.P., Bouman, B.A.M., Tuong, T.P., Cabangon, R.J., Li, Y.L., Lu, G.A. and Feng, Y.H. 2007. Exploring options to grow rice using less water in northern China using a modelling approach. I. Field experiments and model evaluation. Agric. Water Manage. 88: 1-13.
- Timsina, J. and Humphreys, E. 2006. Performance of CERES-rice and CERES-wheat models in rice-wheat systems: a review. Agric. Syst. 90: 5-31.
- Amiri, E., Razavipour, T. and Bannayan Awal, M. 2011. Evaluation of yield and water productivity in rice under irrigation management and plant density with use ORYZA2000 model. J. Crop Prod. 4: 3. 1-19.
- Amiri, E., Rezaei, M. and Bannayan Aval, M. 2011. Evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen and water limited conditions (Calibration and Validation). J. Water Soil. 5: 4. 757-769.
- Rezaei, M., Amiri, E. and Motamed, M.K. 2011. Effects of irrigation interval and nitrogen fertilizer on yield and water productivity of rice (Hashemi cultivar) in Guilan. J. Agron. 93: 57-67.
- Bagheri, V. and Torabi, B. 2015. A simple model for simulation of growth, development and yield of faba bean in Golestan province. Hajizadeh, H. 2005. SBEET: A simple model to simulate growth and yield of sugar beet. J. Agric. Sci. Technol. 19: 11-26.
- Sinclair, T., Farias, J., Neumaier, N. and Nepomuceno, A. 2003. Modeling nitrogen accumulation and use by soybean. Field Crop Res. 81: 149-158.
- Soltani, A., Maddah, V. and Sinclair, T.R. 2013. SSM-Wheat: a simulation model for wheat development, growth and yield. Int. J. Plant Prod. 7: 711-740.
- Soltani, A. and Sinclair, T.R. 2015. A comparison of four wheat models with respect to robustness and transparency: Simulation in a temperate, sub-humid environment. Field Crop Res. J. Crop Prod. 8: 2. 133-152.
- Dadrasi, A., Torabi, B. and Ghasemi Maham, S. 2018. Modeling growth and yield of safflower in Isfahan. J. Plant Ecophysiol. 10: 32. 161-176.

22. Dadrasi, A., Torabi, B., Rahimi, A., Soltani, A. and Zeinali, E. 2020. Parameterization and evaluation of a simple simulation model (SSM-iCrop2) for potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and yield in Iran. *Potato Res.* pp. 1-19.
23. Torabi, B. and Soltani, A. 2013. A simple model for predicting grain yield of maize single cross 704 hybrid. *J. Crop Prod. Proc.* 3: 7. 47-59.
24. Amiri Larijani, B., Tahmasebi Sarvetani, Z., Nematzadeh, G., Amiri, E. and Esfahani, M. 2011. Simulation of phenological development and growth duration of three rice cultivars at different seedling ages using ORYZA2000 model. *Iranian J. Crop Sci.* 13: 3. 466-480.
25. Amiri, E. and Rezaei, R. 2009. Testing the modelling capability of ORYZA2000 under water-nitrogen limit conditions in northern Iran. *World Appl. Sci. J.* 6: 8. 1113-1122. (In Persian)
26. Soltani, A. and Sinclair, T.R. 2012. Modeling physiology of crop development, growth and yield. CABI Publishing, Wallingford, UK.
27. Soltani, A. and Sinclair, T.R. 2011. A simple model for chickpea development, growth and yield. *Field Crops Res.* 124: 252-260.
28. Williams, J.R., Jones, C.A., Kiniry, J.R. and Spanel, D.A. 1989. The EPIC crop growth model. *Trans ASAE.* 32: 497-510.
29. Dastan, S., Noormohamadi, Gh., Madani, H., Ebrahimi, M. and Yasari, E. 2016. Investigation of growth and phenology of main crop and ratoon of rice cultivars in different cropping systems. *Plant Prod. Technol.* 16: 1. 81-101. (In Persian)
30. Sinclair, T.R. 2006. A reminder of the limitations in using Beer's law to estimate daily radiation interception by vegetation. *Crop Sci.* 46: 2343-2347.
31. Jamieson, P.D., Semenov, M.A., Brooking, I.R. and Francis, G.S. 1998. Sirius: a mechanistic model of wheat response to environmental variation. *Eur. J. Agron.* 8: 161-179.
32. Soltani, A. and Hoogenboom, G. 2007. Assessing crop management options with crop simulation models based on generated weather data. *Field Crop Res.* 103: 198-207.
33. Mahzari, S., Baghestani, M.A., Shirani Rad, A.H., Nasiri, M. and Omrani, M. 2012. Investigation of mechanical and chemical weeds management on rice agronomical traits. *J. Agroecol.* 2: 2. 100-116. (In Persian)
34. Akbari, R. and Moumeni, A. 2015. Study of optimum transplanting date and nitrogen application in a double-cropping system of rice (*Oryza sativa* L.) for 'Kuhsaar' Cultivar in Mazandaran. *J. Crop Prod.* 8: 2. 195-207. (In Persian)
35. Esmaeilzadeh, M., Niknejad, Y., Fallah Amoli, H. and Kheyri, N. 2016. Determination of Optimum Transplanting Date for Double Cropping of Rice (*Oryza sativa* L. CV. Tarom Mahalli) in Mazandaran. *J. Crop Ecophysiol.* 4: 40. 991-1006. (In Persian)
36. Limochi, K., Siadat, S.A. and Gilani, A. 2013. Effect of planting time on the flag leaf anatomy and grain yield of rice genotypes in Khuzestan province. *Iran J. Crop Sci.* 15: 2. 136-151. (In Persian)
37. Akbarlou, R. 2013. Effect of potassium and planting method on yield and some agronomical traits of local variety of round-grain rice in Khoy. *J. Res. Crop Sci.* 5: 19. 1-14. (In Persian)
38. Bakhshipour, S., Gazanchian, A., Mohaddesi, A., Rahimsouroush, H. and Nasiri, M. 2012. Genotypic and phenotypic correlations between grain yield and some agronomic traits in promising rice lines. *J. Agron.* 97: 82-90.
39. Saadati, Z., Pirmoradian, N., Amiri, E. and Rezaei, M. 2012. Assessment of WOFOST model in simulating yields of two rice varieties under different irrigation regimes. *J. Water Res. Agric.* 26: 3. 323-338.
40. Amin Deldar, Z. and Ehteshami, M.R. 2012. The effects of different strains of *Pseudomonas* on uptake efficiency, yield and yield components of rice. *Plant Proc. Func.* 1: 2. 73-88.

41. Modaberi, H. 2010. Determination of evapotranspiration and vegetative factor of two common varieties of rice in the dashtemordab (gilan). Master's thesis for irrigation-drainage. School of Agriculture. University of Tarbiat Modares.
42. Pirmoradian, N., Zekri, F., Rezaei, M. and Abdollahi, V. 2013. Derivation of crop coefficients of three rice varieties based on ET estimation method in Rasht region. *J. Cereal Res.* 3: 2. 95-106. (In Persian)
43. Zare Abianeh, H., Nouri, H., Liaghat, A.M., Nouri, H. and Karimi, V.A. 2011. Comparison of Penman-Monteith FAO Method and a Class Pan Evaporation with Lysimeter Measurements in Estimation of Rice Evapotranspiration in Amol Region. *J. Phys. Geogr. Res. Q.* 43: 76. 71-83. (In Persian)
44. Poor Yazdankhah, H., Razavipoor, T., Khaledian, M.R. and Rezaie, M. 2014. Determining crop coefficient of Binam and Khazar cultivars of rice by lysimeter and controlled basins in Rasht region. *J. Agroecol.* 6: 2. 238-249. (In Persian)
45. Rezaei, M., Motamed, M.K., Yousefi, A. and Amiri, E. 2010. Evaluation of Different Irrigation Management on Rice Yield. *J. Water Soil.* 24: 3. 565-573.
46. Amir, J. and Sinclair, T.R. 1991. A model of water limitation on spring wheat growth and yield. *Field Crops Res.* 28: 1-2. 59-69.
47. Devkota, K.P., Manschadi, A.M., Devkota, M., Lamers, J.P.A., Ruzibaev, E., Egamberdiev, O., Amiri, E. and Vlek, P.L.G. 2013. Simulating the impact of climate change on rice phenology and grain yield in irrigated drylands of central Asia. *J. Appl. Meteor. Climatol.* 52: 2033-2050.
48. Grassini, P., van Bussel, L.G.J., Van Wart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yanga, H., et al. 2015. How good is good enough? Data requirements for reliable crop yield simulations and yield-gap analysis. *Field Crops Res.* 177: 49-63.
49. Koo, J. and Dimes, J. 2013. HC27 Generic Soil Profile Database. <http://hdl.handle.net/1902.1/20299>, Harvard Data verse, V4.
50. Yuan, Sh., Peng, Sh. and Tao, Li. 2017. Evaluation and application of the ORYZA rice model under different crop. Managements with high-yielding rice cultivars in central China. *Field Crop Res.* 212: 115-125.
51. Amiri, E. 2009. Simulation of rice growth and development under irrigation constraint conditions. *J. Biol. Sci.* 1: 4. 1-13. (In Persian)
52. Streck, N.A., Weiss, A., Xue, Q. and Baenziger, P.S. 2003. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: a modified Wang and Engel model. *Agric. Meteorol.* 115: 139-150.
53. Soltani, A., Alimagham, S., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Dadrasi, A., et al. 2020. SSM-iCrop2: A simple model for diverse crop species over large areas. *Agric. Syst.* 182: 102855.





## The Effect of Drought Stress on Morphological and Biochemical Characteristics of Some Lily Species Under *in-vitro* Condition

Rezvan Ahadi Rad<sup>1</sup>, Younes Pournbeyrami Hir<sup>\*2</sup>, Esmail Chamani<sup>3</sup>,  
Hassan Maleki Lajayer<sup>4</sup>, Nouraddin Izadi<sup>5</sup>

1. M.Sc. Graduate in Breeding and Physiology of Ornamental Plants, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran. E-mail: rezvan69ahadi@gmail.com
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Horticulture and Landscaping, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran. E-mail: younes\_ph62@uma.ac.ir
3. Professor, Dept. of Horticulture and Landscaping, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran. E-mail: echamani@uma.ac.ir
4. Assistant Prof., Dept. of Horticulture and Landscaping, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran. E-mail: malekih@uma.ac.ir
5. Ph.D. Graduate in Breeding and Physiology of Ornamental Plants, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran. E-mail: izadi3n@gmail.com

### Article Info

**Article type:**  
Full Length Research Paper

**Article history:**  
Received: 12.23.2021  
Revised: 02.02.2022  
Accepted: 02.21.2022

**Keywords:**  
Drought Stress,  
Lily,  
Polyethyleneglycol,  
Proline

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Drought stress is one of the most important factors limiting the growth of plants in the world, which threatens most of the world's lands and causes a decrease in agricultural products. In this research, the effects of drought stress on some morphological and physiological behaviors of the medicinal and ornamental lily have been investigated in order to achieve the maximum yield by managing drought stress.

**Material and Methods:** This study was performed as a factorial experiment in a completely randomized design in the tissue culture and biotechnology laboratory of university of mohaghegh ardabili for screening *in-vitro* of three species of lilies for drought stress. *In-vitro* bulblet scales of *L. tsingtauense*, *L. regale* and *L. ledebourii* in MS medium containing different concentrations of polyethyleneglycol 6000 (0, 5, 10, 20 and 40 g/l) was cultured. After two months, morphological characteristics of regenerated plantlets such as plantlets height, leaf length and number, number of bulblets, number of roots and fresh weight, as well as biochemical parameters such as proline, soluble carbohydrates, phenol, flavonoid, anthocyanin, chlorophyll and carotenoid were measured and evaluated separately in each of the treatments.

**Results:** In the present study, among the three species of lily, only *L. regale* regenerated leaves. The results showed that the plantlet height, number and length of leaf, number of bulblet and number of root and fresh weight of plantlet decreased with increasing drought stress. The highest number of bulblet was obtained from *L. ledebourii*, the highest number of root was obtained from *L. regale* and the highest fresh weight was obtained from *L. tsingtauense* explants. The highest amount of phenol and carotenoid was obtained from *L. regale* and the highest amount of proline was obtained from *L. ledebourii*, while *L. tsingtauense* had more flavonoid, anthocyanin and chlorophyll than other species. According to the results, the levels of proline, flavonoids and anthocyanin had a positive correlation with drought stress, but the highest amount of soluble carbohydrates and

---

phenol from the treatment of 10 g/l PEG and the highest amount of carotenoid from the concentration of 5 g/l PEG was obtained.

**Conclusion:** In this study, drought stress reduced the growth indices of lily by affecting different physiological, biochemical and hormonal processes, while the amount of biochemical indices increased compared to the control under drought stress conditions. The increase of proline, soluble carbohydrates and some secondary metabolites, in addition to increasing the yield of the product, was a mechanism of tolerance to drought stress and was considered as an indicator to evaluate the plant's resistance to drought stress.

---

Cite this article: Ahadi Rad, Rezvan, Pourbeyrami Hir, Younes, Chamani, Esmaeil, Maleki Lajayer, Hassan, Izadi, Nouraddin. 2023. The Effect of Drought Stress on Morphological and Biochemical Characteristics of Some Lily Species Under *in-vitro* Condition. *Journal of Plant Production*, 30 (1), 49-65.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2022.19771.2899

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## تأثیر تنش خشکی بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و زیست‌شیمیایی برخی گونه‌های گل‌سوسن در شرایط درون‌شیشه‌ای

رضوان احدی راد<sup>۱</sup>، یونس پور بیرامی هیر<sup>۲\*</sup>، اسماعیل چمنی<sup>۳</sup>، حسن ملکی لجایر<sup>۴</sup>، نورالدین ایزدی<sup>۵</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اصلاح و فیزیولوژی گل‌ها و گیاهان زینتی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: rezvan69ahadi@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: younes\_ph62@uma.ac.ir
۳. استادیار گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: echamani@uma.ac.ir
۴. استادیار گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: malekih@uma.ac.ir
۵. دانش‌آموخته دکتری اصلاح و فیزیولوژی گل‌ها و گیاهان زینتی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: izadi3n@gmail.com

| اطلاعات مقاله   | چکیده  |
|---|--|
| نوع مقاله:<br>مقاله کامل علمی-پژوهشی  | سابقه و هدف: تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در جهان می‌باشد که بخش بیش‌تری از اراضی جهان را تهدید کرده و باعث کاهش محصولات کشاورزی می‌شود. در این پژوهش اثرات تنش خشکی بر برخی رفتارهای ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی و زینتی گل‌سوسن مورد بررسی قرار گرفته است تا با مدیریت تنش خشکی بتوان به حداکثر محصول دست یافت.   |
| تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۲<br>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۳<br>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۲ | مواد و روش‌ها: این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی در آزمایشگاه کشت بافت و بیوتکنولوژی دانشگاه محقق اردبیلی به منظور غربال‌گری درون‌شیشه‌ای سه گونه گل‌سوسن نسبت به تنش خشکی انجام گردید. فلس‌های سوخک درون‌شیشه‌ای <i>L. tsingtauense</i> ، <i>L. regale</i> و <i>L. ledebourii</i> در محیط کشت پایه MS حاوی غلظت‌های مختلف پلی‌اتیلن گلیکول (۰، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ گرم در لیتر) کشت گردید پس از دو ماه شاخص‌های ریخت‌شناسی گیاهچه‌های باززایی شده مانند ارتفاع گیاهچه، طول و تعداد برگ، تعداد سوخک، تعداد ریشه و وزن تر و هم‌چنین شاخص‌های بیوشیمیایی مانند میزان پرولین، کربوهیدرات‌های محلول، فنل، فلاونوئید، آنتوسیانین، کلروفیل و کاروتنوئید در هر یک از تیمارها به صورت جداگانه اندازه‌گیری و مورد ارزیابی قرار گرفت. |
| واژه‌های کلیدی:<br>پرولین،<br>پلی‌اتیلن‌گلیکول،<br>تنش خشکی،<br>گل‌سوسن         |  |

---

**یافته‌ها:** در پژوهش حاضر از بین سه گونه گل سوسن فقط *L. regale* برگ تولید کرد نتایج نشان داد که ارتفاع گیاهچه، تعداد و طول برگ، تعداد سوخک و تعداد ریشه و وزن تر گیاهچه‌ها با افزایش تنش خشکی کاهش یافت. بیش‌ترین تعداد سوخک از *L. ledebourii* بیش‌ترین تعداد ریشه از *L. regale* و بیش‌ترین وزن تر از نمونه‌های *L. tsingtauense* به‌دست آمد. بالاترین مقدار فنل و کاروتنوئید از *L. regale* و بیش‌ترین مقدار پرولین از *L. ledebourii* حاصل شد در حالی‌که *L. tsingtauense* نسبت به گونه‌های دیگر از فلاونوئید، آنتوسیانین و کلروفیل بیش‌تری برخوردار بود. طبق نتایج به‌دست آمده میزان پرولین، فلاونوئید و آنتوسیانین همبستگی مثبتی با میزان تنش خشکی داشت ولی بالاترین میزان کربوهیدرات‌های محلول و فنل از تیمار ۱۰ گرم در لیتر پلی‌اتیلن‌گلیکول و بیش‌ترین مقدار کاروتنوئید نیز از غلظت ۵ گرم در لیتر پلی‌اتیلن‌گلیکول به‌دست آمد.

**نتیجه‌گیری:** در این پژوهش تنش خشکی با تأثیر بر روی فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و هورمونی شاخص‌های رشدی گیاهچه‌های گونه‌های گل سوسن را کاهش داد در حالی‌که میزان شاخص‌های بیوشیمیایی نسبت به شاهد در شرایط تنش خشکی تجمع پیدا کردند. افزایش پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و برخی متابولیت‌های ثانویه علاوه بر افزایش عملکرد محصول، نوعی سازوکار تحمل به تنش خشکی بوده و شاخصی جهت ارزیابی مقاومت گیاه به تنش خشکی محسوب می‌شود.

---

استناد: احدی راد، رضوان، پور بیرامی هیر، یونس، چمنی، اسماعیل، ملکی لجایر، حسن، ایزدی، نورالدین (۱۴۰۲). تأثیر تنش خشکی بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و زیست‌شیمیایی برخی گونه‌های گل سوسن در شرایط درون‌شیشه‌ای. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۰ (۱)، ۴۹-۶۵.

DOI: 10.22069/JOPP.2022.19771.2899



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

جنس سوسن‌ها مربوط به تیره سوسن‌سانان، تقریباً شامل صد گونه بوده که زیرگونه‌ها و واریته‌های آن عمدتاً در مناطقی از نواحی معتدل و سرد آسیای میانه گسترش یافته است. این گیاه علفی و دائمی جز گیاهان پیازی بدون پوشش دارای عمر طولانی، گل‌های قیفی شکل هستند و دارای متابولیت‌های ثانویه با ارزشی بوده که در صنعت دارویی، بهداشتی و غذایی قابل استفاده می‌باشد (۱). تنش‌های محیطی به مقدار قابل توجهی میزان متابولیت‌های ثانویه در گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در مقابل متابولیت‌های ثانویه نیز نقش محافظتی گیاهان در شرایط تنش را بر عهده می‌گیرند. این ترکیبات گیاهان را در مقابل عوامل مزاحم خارجی مانند آفات و عوامل بیماری‌زای مختلف و شرایط نامساعد محیطی مانند خشکی و یا شرایط نامساعد خاک حفاظت می‌کند تا گیاهان بتوانند به حیات خود ادامه دهند. شواهد زیادی وجود دارد که نشان‌دهنده افزایش چند برابری متابولیت‌های ثانویه در برخی گیاهان تحت تنش‌های محیطی است در مواردی نیز کاهش میزان متابولیت‌های ثانویه تحت شرایط تنش‌های محیطی دیده می‌شود (۲).

تنش خشکی مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در جهان بوده که تقریباً ۲۵ درصد از اراضی جهان را محدود کرده و باعث کاهش عملکرد محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود (۳). کاهش مقدار آب در دسترس گیاه منجر به تنش خشکی و بروز تغییرات نامناسب ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی در گیاه می‌شود. کاهش درصد جوانه‌زنی بذرها، تغییر در میزان و کیفیت متابولیت‌های ثانویه گیاه مانند فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها، آلکالوئیدها، گلیکوزیدها، استروئیدها و

روغن‌های فرار و هم‌چنین تغییر در جذب و انتقال عناصر از اثرات تنش خشکی در گیاهان می‌باشد (۴). عملکرد یک گیاه دارویی نیز وقتی مقرون به صرفه است که مقدار متابولیت‌های اولیه و ثانویه آن به حد مطلوب رسیده باشد بنابراین با مدیریت عوامل محیطی مانند تنش خشکی می‌توان به حداکثر محصول دست یافت (۵).

پلی‌اتیلن‌گلیکول (PEG) نوعی پلی‌مر با وزن ملکولی بالا، جذب‌کننده آب و قابل انعطاف بوده که به دلیل کاهش پتانسیل آب محیط کشت باعث ایجاد فشار اسمزی منفی شده و از ورود آب به داخل سلول گیاه جلوگیری می‌کند و از این طریق برای تحمیل تنش آبی به گیاهان در شرایط درون‌شیشه‌ای کاربرد فراوان دارد. عدم جذب پلی‌اتیلن‌گلیکول و عدم ایجاد سمیت آن در شرایط درون‌شیشه‌ای و ثابت ماندن آن در تمام مدت تنش از مزایای آن به شمار می‌رود (۶) و برای تنش‌های اسمزی در مقایسه با دیگر محلول‌های سازگار مانند مانیتول و نمک بهترین تیمار شناخته شده است (۷).

تنش‌های محیطی و به ویژه تنش خشکی یکی از موانع اصلی در کاهش تولید محصولات گیاهان دارویی در بسیاری از نقاط دنیا به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران محسوب می‌شود و ممکن است ترکیبات تولید شده در گیاهان دارویی تحت تأثیر تنش‌های محیطی افزایش یابد.

تاکنون پژوهش‌های فراوانی در مورد استفاده از پلی‌اتیلن‌گلیکول در شرایط درون‌شیشه‌ای مانند گوجه‌فرنگی (۸)، ذرت (۹)، گندم (۱۰) و غیره گزارش شده است اثرات تنش خشکی بر رفتارهای مورفولوژیکی و متابولیت‌های ثانویه *Lilium davidii* هم توسط لی و همکاران (۲۰۲۰) مورد مطالعه قرار گرفته است (۱۱). بررسی برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی و ریخت‌شناسی در شرایط تنش خشکی درون‌شیشه‌ای می‌تواند به گزینش گونه‌های گیاهی

مختلف پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ (شرکت سیگما) (۰، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ گرم در لیتر) با ۳ تکرار و هر تکرار دارای ۵ ریزنمونه کشت گردید و تمامی کشت‌ها به مدت دو ماه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، ۱۶ ساعت دوره نوری در روز و زیر تابش مداوم لامپ فلوروسنت سفید نگهداری شدند. پس از این مدت، ویژگی‌های ریخت‌شناسی گیاهچه‌های باززایی شده از فلس‌ها از لحاظ ارتفاع گیاهچه، تعداد و طول برگ، تعداد سوخک، تعداد ریشه و وزن تر اندازه‌گیری شدند.

**اندازه‌گیری شاخص‌های زیست شیمیایی:** برای اندازه‌گیری پرولین، نمونه‌های گیاهی در هاون چینی حاوی ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد ساییده شد و با استفاده از کاغذ صافی واتمن صاف گردید، ۲ میلی‌لیتر از هر کدام از محلول صاف شده، معرف ناین‌هیدرین و اسید استیک باهم مخلوط شد و به مدت ۱ ساعت در حمام آب گرم ۱۰۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد و اکنش با گذاشتن داخل یخ متوقف شد. پس از افزودن ۴ میلی‌لیتر تولوئن، به مدت ۲۰-۱۵ ثانیه ورتکس شد. جذب نوری محلول قرمز رنگ فاز رویی در طول موج ۵۲۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر (نانودراپ) قرائت شد و از تولوئن نیز به عنوان شاهد استفاده شد (۱۳).

برای اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول، نمونه گیاهی حاوی برگ و سوخک داخل هاون چینی که در داخل ظرف حاوی یخ بود قرار داده شد سپس با افزودن تدریجی ۲ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد کاملاً له گردید. سپس به ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره به دست آمده ۳ میلی‌لیتر آنترون اضافه و به مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب گرم در حال جوش قرار گرفت میزان جذب رنگ آن در طول موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (نانودراپ) قرائت و ثبت گردید. منحنی استاندارد نیز با استفاده از گلوکز تهیه شد. به منظور اندازه‌گیری میزان فنل پس از تهیه عصاره با متانول ۸۰ درصد،

متحمل کمک کند و هم‌چنین به عنوان روشی ارزشمند برای ارزیابی پاسخ‌های گیاهان به تنش خشکی باشد (۱۲). در پژوهش حاضر سعی شده است علاوه بر غربال کردن سه گونه از گل سوسن نسبت به تنش خشکی درون‌شیشه‌ای، مناسب‌ترین تیمارهای تنش خشکی برای حصول بیش‌ترین میزان ترکیبات دارویی در گیاه زیتنی و داروئی گل سوسن مشخص گردد.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب آزمایش فاکتوریل و به صورت طرح کاملاً تصادفی (CRD) در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در آزمایشگاه کشت بافت و بیوتکنولوژی دانشگاه محقق اردبیلی انجام گردید. در این آزمایش از سه گونه گل سوسن *L. regale*، *L. tsingtauense* و *L. ledebourii* (سوسن چلچراغ) استفاده شد سوخک سوسن چلچراغ اواخر فصل تابستان از رویشگاه طبیعی آن در منطقه حیران استان اردبیل جمع‌آوری گردید ولی ریزنمونه‌های درون‌شیشه‌ای استریل دو گونه دیگر از دانشگاه بیجینگ کشور چین تهیه گردید. فلس‌های سالم و بیرونی سوخک سوسن چلچراغ به دقت از صفحه پایگاهی جدا و یک ساعت زیر آب جاری جهت شستشوی سطحی قرار گرفت. جهت استریل سطحی به مدت ۳۰ ثانیه در اتانول ۷۰ درصد و سپس ۱۰ دقیقه در هیپوکلریت سدیم ۲ درصد قرار گرفت محیط کشت پایه MS جامد بدون تنظیم‌کننده‌های رشدی با pH=۵/۷ و حاوی ۳۰ گرم در لیتر ساکارز پس از تهیه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد در فشار ۱/۲ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع ضدعفونی گردید و در نهایت ریزنمونه‌ها بعد از سه بار شستشو با آب مقطر دو بار استریل کشت گردید پس از باززایی و واکشت ریزنمونه‌ها در محیط کشت جدید، فلس سوخک‌های با وزن تقریبی ۱/۵ تا ۲ گرم جمع‌آوری و در محیط کشت پایه MS جامد حاوی غلظت‌های

۰/۱ گرم از بافت تازه برگ و سوخک گیاه با ۱ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد سائیده و له شد. مخلوط به‌دست آمده پس از سانتریفیوژ به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی نگهداری شده و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (نانودراپ) در سه طول موج مختلف ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر قرائت و ثبت گردید. داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل شد و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام گرفت.

### نتایج و بحث

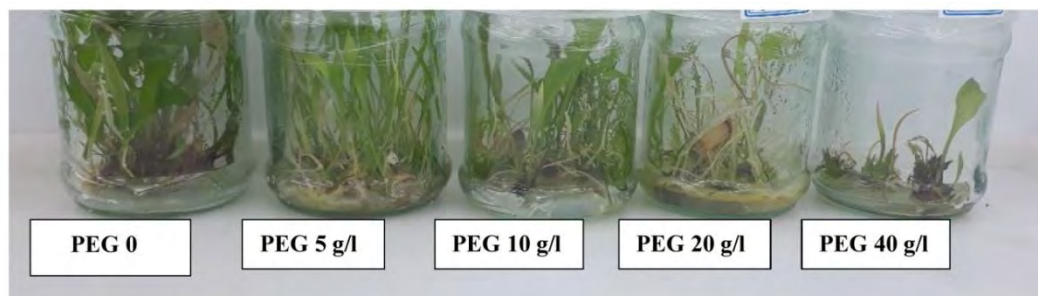
**ارتفاع و برگ گیاهچه:** در پژوهش حاضر از بین سه گونه مورد مطالعه گل سوسن در *L. regale* برگ باززایی شد در حالی که در گونه‌های *L. ledebourii* (Baker) Boiss و *L. tsingtauense* سوخک بدون برگ تولید شد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر گونه و اثر غلظت‌های پلی‌اتیلن گلیکول و هم‌چنین اثر متقابل آن‌ها بر ارتفاع گیاهچه، طول و تعداد برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج جدول مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان داد که با افزایش غلظت پلی‌اتیلن گلیکول ارتفاع گیاهچه، طول و تعداد برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت طوری که تیمار شاهد دارای بیش‌ترین و تیمار پلی‌اتیلن گلیکول (۴۰ میلی‌گرم در لیتر) نیز دارای کم‌ترین ارتفاع گیاهچه، طول و تعداد برگ بود (جدول ۲) (شکل ۱). گزارش‌های فراوانی مبنی بر کاهش طویل شدن و تقسیم سلولی در اثر تنش خشکی وجود دارد پدیده تنش خشکی با تأثیر بر فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی مانند فتوسنتز، تنفس، کربوهیدرات‌ها، انتقال و جذب یون‌ها، متابولیسم مواد و هورمون‌های مختلف رشد گیاه را کاهش می‌دهد (۱۵ و ۱۶). پژوهش‌های زیادی روی گیاهان دارویی مختلف از جمله خانواده نعناعیان و گل محمدی تحت تنش خشکی انجام شده که در

میزان ترکیبات فنلی موجود در آن را بر اساس روش اسلینکرد و سینگلتون (۱۹۹۷) به‌دست آمد به ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره گیاهی سانتریفیوژ شده ۱/۵ میلی‌لیتر فولین‌سیوکالتیو ۱۰ برابر رقیق شده اضافه شد. بعد از گذشت ۵ دقیقه در دمای اتاق، مقدار ۱/۴ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۷ درصد به آن افزوده و پس از مخلوط کردن به‌مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی نگهداری شده و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (نانودراپ) میزان جذب رنگ در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت و ثبت گردید. منحنی استاندارد نیز با استفاده از ماده اسیدگالیک رسم گردید (۱۴).

جهت اندازه‌گیری میزان فلاونوئید کل، ۰/۵ گرم از نمونه گیاهی داخل هاون چینی با افزودن تدریجی ۲ میلی‌لیتر اتانول اسیدی (اتانول/اسید کلریدریک: ۱/۹۹) سائیده و له گردید. بعد از تهیه محلول یکنواخت، فاز جامد و فاز مایع آن با سانتریفیوژ جدا کرده و به یک میلی‌لیتر از عصاره آماده شده ۰/۱ میلی‌لیتر آلومینوم کلراید، ۰/۱ میلی‌لیتر استات پتاسیم یک مولار و ۱/۸ میلی‌لیتر آب اضافه شد و پس از مخلوط شدن به‌مدت ۲۴ ساعت در شرایط تاریکی در دمای اتاق نگهداری شد در مرحله بعد میزان جذب رنگ در طول موج ۴۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. برای رسم منحنی استاندارد نیز از کوئرتستین استفاده شد. برای به‌دست آوردن مقدار آنتوسیانین ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه گیاهی در هاون چینی سائیده شد و کم‌کم ۲ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول/اسید کلریدریک: ۱/۹۹) به عنوان حلال به آن افزوده شد بعد از سائیدن نمونه گیاهی و تهیه محلول یکنواخت، عصاره سانتریفیوژ شده به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و در دمای معمولی اتاق قرار گرفت. میزان جذب رنگ در طول موج ۵۵۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. برای محاسبه غلظت آنتوسیانین از فرمول ضریب خاموشی استفاده شد. برای اندازه‌گیری مقدار کلروفیل و کاروتنوئید مقدار

مریم‌گلی و همیشه بهار با افزایش سطح خشکی در شرایط محیطی طول گیاهچه‌ها به‌طور معنی‌دار کاهش می‌یابد (۱۸).

تمامی آن‌ها تنش خشکی در شرایط محیطی سبب کاهش تعداد و مساحت برگ شده است (۱۷). بارنت و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که در گیاهان



شکل ۱- رشد گیاهچه‌های گل سوسن (*Lilium regale*) در سطوح مختلف تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن‌گلیکول به ترتیب از چپ به راست: (۰، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ گرم در لیتر).

Fig. 1. Growth of lily seedlings (*Lilium regale*) at different levels of drought stress caused by polyethylene glycol from left to right respectively: (0, 5, 10, 20 and 40 g/l).

تولید کرد (۱۹) در همین راستا عبدالرحمان و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که در شرایط درون‌شیشه‌ای طول و تعداد برگ گیاه شاهی با افزایش سطح تنش خشکی به‌صورت معنی‌دار کاهش یافت (۲۰) که این نتایج با نتایج پژوهش حاضر همسو بود.

رانی‌روی و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش کردند که بیش‌ترین ارتفاع شاخساره در ژنوتیپ‌های مختلف گوجه‌فرنگی در شرایط درون‌شیشه‌ای از تیمار شاهد به‌دست آمد در حالی که محیط‌کشت حاوی بیش‌ترین مقدار پلی‌اتیلن‌گلیکول، کم‌ترین ارتفاع شاخساره را

جدول ۱- جدول تجزیه واریانس اثر گونه و پلی‌اتیلن‌گلیکول بر صفات ریخت‌شناسی گل سوسن.

Table 1. Analyses of variance of the effect of specie and PEG on morphological traits on lily.

| میانگین مربعات<br>Mean squares |                           |                          |                             |                              |                                       | درجه<br>آزادی<br>df | منابع تغییر<br>S.O.V                    |
|--------------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------------|---------------------|---|
| وزن تر<br>Fresh weight         | تعداد ریشه<br>Root number | تعداد برگ<br>Leaf number | طول برگ<br>Leaf Length (cm) | تعداد سوخک<br>Bulblet number | ارتفاع گیاهچه<br>Plantlet Height (cm) |                     |   |
| 0.33**                         | 0.81**                    | 4.58**                   | 2.71**                      | 8.13**                       | 1.21**                                | 2                   | گونه<br>Specie                          |
| 0.55**                         | 0.25**                    | 0.30**                   | 0.34**                      | 0.38**                       | 0.08**                                | 4                   | پلی‌اتیلن‌گلیکول<br>PEG                 |
| 0.02**                         | 0.25**                    | 0.30**                   | 0.34**                      | 0.05 <sup>ns</sup>           | 0.08**                                | 8                   | گونه × پلی‌اتیلن‌گلیکول<br>Specie × PEG |
| 0.003                          | 0.016                     | 0.02                     | 0.006                       | 0.06                         | 0.005                                 | 20                  | اشتباه آزمایشی<br>Error                 |
| 6.57                           | 4.96                      | 15.65                    | 8.67                        | 14.66                        | 8.64                                  | -                   | ضریب تغییرات (درصد)<br>CV%              |

\*\* و <sup>ns</sup> به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشد

\*\* and <sup>ns</sup> Significant at 1% and nonsignificant probability levels



احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بررسی جدول مقایسه میانگین داده نشان داد که واکنش گونه‌های مختلف گل سوسن از لحاظ شاخص‌های ریشه‌زایی کمی متفاوت بود. بیش‌ترین تعداد ریشه در گیاهچه‌های *L. tsingtauense* به‌دست آمد و کم‌ترین تعداد ریشه نیز از *L. ledebourii* نسبت به دو گونه دیگر به‌دست آمد هم‌چنین نتایج نشان داد که در *L. ledebourii* و *L. tsingtauense* محیط کشت دارای ۵ گرم در لیتر پلی‌اتیلن‌گلیکول تعداد ریشه بیش‌تری داشت در حالی‌که *L. regale* تیمار شاهد نسبت به تیمارهای دیگر از تعداد ریشه بیش‌تری برخوردار بود (جدول ۲). فاروق و همکاران (۲۰۰۹) گزارش دادند که تنش خشکی شاخص‌های رشدی گیاه را محدود و کاهش می‌دهد (۱۵). هرناندزپرز و همکاران (۲۰۲۱) ارقام مختلف نیشکر را در شرایط درون‌شیشه‌ای نسبت به تنش خشکی حاصل از غلظت‌های پلی‌اتیلن‌گلیکول غربال‌گری نمود در ارقام مورد مطالعه شاخص‌های رشدی از جمله تعداد و طول ریشه با افزایش سطوح تنش کاهش یافت (۲۱) که این نتایج با نتایج پژوهش حاضر هم‌راستا می‌باشد.

**تعداد سوخک:** بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر گونه و اثر غلظت‌های پلی‌اتیلن‌گلیکول بر تعداد سوخک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ولی اثر متقابل گونه و غلظت‌های پلی‌اتیلن‌گلیکول بر تعداد سوخک معنی‌دار نبود (جدول ۱). بررسی حاصل از نتایج جدول مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان داد که گونه *L. ledebourii* نسبت به گونه‌های دیگر از تعداد سوخک بیش‌تری برخوردار است هم‌چنین با افزایش غلظت‌های پلی‌اتیلن‌گلیکول تعداد سوخک در هر یک از گونه‌ها کاهش یافت (جدول ۵). لی و همکاران (۲۰۲۰) نیز در پژوهشی مشابه گزارش کردند که در *Lilium davidii* var. *unicolor* با افزایش سطوح خشکی در شرایط مزرعه به‌طور معنی‌داری سوخک‌های باززایی شده کاهش یافت بنابراین گل سوسن مواد مغذی مورد نیاز برای تولید سوخک را صرف تکمیل چرخه زندگی در شرایط خشکی می‌کند و بدین طریق مقاومت به خشکی را تا حدودی بهبود می‌بخشد (۱۱).

**تعداد ریشه:** طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها اثر گونه و اثر غلظت‌های پلی‌اتیلن‌گلیکول و هم‌چنین اثر متقابل آن‌ها بر تعداد ریشه در سطح

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر گونه و پلی‌اتیلن‌گلیکول بر صفات ریخت‌شناسی گل سوسن.

Table 2. Comparison of the mean effect of specie and PEG on morphological traits of lily.

| وزن تر             | تعداد ریشه          | تعداد برگ          | طول برگ           | ارتفاع گیاهچه        | پلی‌اتیلن‌گلیکول | گونه                   |
|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------|----------------------|------------------|------------------------|
| Fresh weight       | Root number         | Leaf number        | Leaf length (cm)  | Plantlet Height (cm) | PEG              | Specie                 |
| 1.49 <sup>a</sup>  | 1.88 <sup>bc</sup>  | 0 <sup>d</sup>     | 0 <sup>e</sup>    | 0 <sup>e</sup>       | 0                | <i>L. tsingtauense</i> |
| 1.43 <sup>a</sup>  | 2.21 <sup>b</sup>   | 0 <sup>d</sup>     | 0 <sup>e</sup>    | 0 <sup>e</sup>       | 5                |                        |
| 1.16 <sup>b</sup>  | 2.02 <sup>bc</sup>  | 0 <sup>d</sup>     | 0 <sup>e</sup>    | 0 <sup>e</sup>       | 10               |                        |
| 1.09 <sup>bc</sup> | 2.08 <sup>b</sup>   | 0 <sup>d</sup>     | 0 <sup>e</sup>    | 0 <sup>e</sup>       | 20               |                        |
| 1.07 <sup>bc</sup> | 1.87 <sup>bcd</sup> | 0 <sup>d</sup>     | 0 <sup>e</sup>    | 0 <sup>e</sup>       | 40               |                        |
| 1.05 <sup>cd</sup> | 0.76 <sup>ef</sup>  | 0 <sup>d</sup>     | 0 <sup>e</sup>    | 0 <sup>e</sup>       | 0                | <i>L. ledebourii</i>   |
| 0.98 <sup>cd</sup> | 1.13 <sup>def</sup> | 0 <sup>d</sup>     | 0 <sup>e</sup>    | 0 <sup>e</sup>       | 5                |                        |
| 0.94 <sup>d</sup>  | 0.55 <sup>f</sup>   | 0 <sup>d</sup>     | 0 <sup>e</sup>    | 0 <sup>e</sup>       | 10               |                        |
| 0.83 <sup>c</sup>  | 0.79 <sup>ef</sup>  | 0 <sup>d</sup>     | 0 <sup>e</sup>    | 0 <sup>e</sup>       | 20               |                        |
| 0.77 <sup>c</sup>  | 0.61 <sup>f</sup>   | 0 <sup>d</sup>     | 0 <sup>e</sup>    | 0 <sup>e</sup>       | 40               |                        |
| 0.75 <sup>c</sup>  | 6.78 <sup>a</sup>   | 3.71 <sup>a</sup>  | 3.71 <sup>a</sup> | 1.65 <sup>a</sup>    | 0                | <i>L. regale</i>       |
| 0.75 <sup>c</sup>  | 2.14 <sup>b</sup>   | 2.11 <sup>b</sup>  | 1.29 <sup>b</sup> | 0.76 <sup>b</sup>    | 5                |                        |
| 0.71 <sup>ef</sup> | 1.96 <sup>bc</sup>  | 1.63 <sup>cb</sup> | 0.72 <sup>c</sup> | 0.54 <sup>c</sup>    | 10               |                        |
| 0.61 <sup>f</sup>  | 2.13 <sup>b</sup>   | 1.33 <sup>c</sup>  | 0.65 <sup>c</sup> | 0.54 <sup>c</sup>    | 20               |                        |
| 0.60 <sup>f</sup>  | 1.58 <sup>bcd</sup> | 0.23 <sup>d</sup>  | 0.26 <sup>d</sup> | 0.23 <sup>d</sup>    | 40               |                        |

حروف مشترک در هر ستون نمایان‌گر عدم تفاوت معنی‌داری می‌باشد

The common letters in each column indicate a nonsignificant difference

وزن تر: طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها اثر گونه و اثر غلظت‌های پلی‌اتیلن‌گلیکول و هم‌چنین اثر متقابل آن بر وزن تر گیاهچه‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بر اساس نتایج به‌دست آمده *L. regale* در مقایسه با دو گونه دیگر از وزن تر بیش‌تری برخوردار بود. بررسی جدول مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش سطوح خشکی وزن تر نیز روند کاهشی پیدا کرد (جدول ۲) بنابراین روشن می‌شود یکی از واکنش‌های گونه‌های گل سوسن در مقابل تنش خشکی کاهش وزن تر می‌باشد. در این آزمایش *L. regale* دارای برگ بود ولی دو گونه دیگر فاقد برگ بودند با توجه این‌که برگ‌ها آب بیش‌تری در بافت خود دارند کاهش بیش‌تر وزن تر در این گونه نسبت به دو گونه دیگر دور از انتظار نبود. میزان آب بافت‌ها در گل سوسن تحت تنش خشکی از طریق برخی سازوکارهای فیزیولوژیکی برای افزایش جذب آب تنظیم می‌شود و با افزایش شدت تنش مقدار میزان انبساط سلولی در نتیجه از دست دادن تورگور کاهش و به دنبال آن وزن تر کاهش می‌یابد (۲۲) که این نتایج با نتایج پژوهش کولوم و همکاران (۲۰۰۳) و جانگپروما و همکاران (۲۰۱۰) نیز مطابقت دارد (۲۳ و ۲۴). لی و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان دادند که در گونه‌ای از گل سوسن وزن تر و وزن خشک گیاهچه‌ها همبستگی منفی با سطوح تنش خشکی دارند (۱۱). رانی‌روی و همکاران (۲۰۱۷) نیز در ژنوتیپ‌های مختلف گوجه‌فرنگی نتایج مشابهی را گزارش کرده بودند (۱۹) که این نتایج با یافته‌های این پژوهش همسو می‌باشد.

**پرولین:** نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر گونه‌های گل سوسن و غلظت‌های پلی‌اتیلن‌گلیکول و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بررسی نتایج به‌دست آمده از جدول مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در بین سه گونه گل سوسن

*L. ledebourii* نسبت به دو گونه دیگر از میزان پرولین بیش‌تری برخوردار است در هر یک از گونه‌های گل سوسن با افزایش غلظت پلی‌اتیلن‌گلیکول در محیط کشت مقدار پرولین افزایش یافت طوری‌که حداکثر غلظت پرولین در تیمارهای ۴۰ گرم در لیتر پلی‌اتیلن‌گلیکول و حداقل غلظت پرولین در تیمارهای شاهد به‌دست آمد (جدول ۴). افزایش پرولین گیاهان در زمان بروز تنش می‌تواند ناشی از تغییر در سرعت اکسیداسیون پرولین به گلوتامات یا عدم دخالت آن در سنتز پروتئین باشد (۲۵). تجمع اسید آمینه پرولین در شرایط تنش‌های اسمزی نه تنها فعالیت‌های شیمیایی گیاه را متوقف نمی‌کند بلکه به‌عنوان یک محافظ اسمزی ایفای نقش می‌کند تا از بروز آسیب به گیاه ممانعت شود، این نتایج توسط قربانلی و همکاران (۲۰۱۰) نیز در گیاه سیاهدانه گزارش شده بود (۲۶). پرولین در تنظیم فشار اسمزی، حفاظت از مولکول‌های پروتئینی و یکپارچگی غشای سلولی، ذخیره کربن و نیتروژن و عمل آنتی‌اکسیدانی نقش دارد (۲۷) و جاروب کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن را به عهده می‌گیرد (۴). رضوی‌زاده و همکاران (۲۰۱۴) تجمع میزان پرولین در اثر تنش کمبود آب در گیاه زنیان را گزارش نمود (۲۸). ممنوعی و همکاران (۲۰۱۰) در گیاه جو (۲۹)، علی‌آبادی و همکاران (۲۰۰۸) در گیاه گشنیز نیز به نتایج مشابهی دست یافت (۳۰) که تمامی این یافته‌ها در راستای تأیید نتایج پژوهش حاضر می‌باشد. در پژوهش حاضر با توجه به این‌که افزایش مقدار پرولین با افزایش سطح خشکی همبستگی مثبت دارد بنابراین مشخص می‌شود که افزایش پرولین از طریق تنظیم پتانسیل اسمزی نوعی سازوکار حفاظتی و تحمل به تنش خشکی بوده و یکی از واکنش‌های فیزیولوژیکی سوخک گل سوسن در مقابل تنش خشکی می‌باشد (۲۷) بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سوسن چلچراغ نسبت به دو گونه دیگر در مقابل تنش خشکی متحمل‌تر است.

وزن تر: طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها اثر گونه و اثر غلظت‌های پلی‌اتیلن‌گلیکول و هم‌چنین اثر متقابل آن بر وزن تر گیاهچه‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بر اساس نتایج به‌دست آمده *L. regale* در مقایسه با دو گونه دیگر از وزن تر بیش‌تری برخوردار بود. بررسی جدول مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش سطوح خشکی وزن تر نیز روند کاهشی پیدا کرد (جدول ۲) بنابراین روشن می‌شود یکی از واکنش‌های گونه‌های گل سوسن در مقابل تنش خشکی کاهش وزن تر می‌باشد. در این آزمایش *L. regale* دارای برگ بود ولی دو گونه دیگر فاقد برگ بودند با توجه این‌که برگ‌ها آب بیش‌تری در بافت خود دارند کاهش بیش‌تر وزن تر در این گونه نسبت به دو گونه دیگر دور از انتظار نبود. میزان آب بافت‌ها در گل سوسن تحت تنش خشکی از طریق برخی سازوکارهای فیزیولوژیکی برای افزایش جذب آب تنظیم می‌شود و با افزایش شدت تنش مقدار میزان انبساط سلولی در نتیجه از دست دادن تورگور کاهش و به دنبال آن وزن تر کاهش می‌یابد (۲۲) که این نتایج با نتایج پژوهش کولوم و همکاران (۲۰۰۳) و جانگپروما و همکاران (۲۰۱۰) نیز مطابقت دارد (۲۳ و ۲۴). لی و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان دادند که در گونه‌ای از گل سوسن وزن تر و وزن خشک گیاهچه‌ها همبستگی منفی با سطوح تنش خشکی دارند (۱۱). رانی‌روی و همکاران (۲۰۱۷) نیز در ژنوتیپ‌های مختلف گوجه‌فرنگی نتایج مشابهی را گزارش کرده بودند (۱۹) که این نتایج با یافته‌های این پژوهش همسو می‌باشد.

**پرولین:** نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر گونه‌های گل سوسن و غلظت‌های پلی‌اتیلن‌گلیکول و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بررسی نتایج به‌دست آمده از جدول مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در بین سه گونه گل سوسن

هم‌چنین تجمع کربوهیدرات‌های محلول در سلول‌های گیاهی کاهش پتانسیل اسمزی سلول‌ها را سبب شده و بدین طریق سبب ادامه و حفظ جذب آب و فشار تورگر می‌شود (۳۲). آران و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی اثر تنش خشکی در انگور گزارش کردند که میزان کربوهیدرات‌های محلول کل با افزایش شدت تنش در شرایط محیطی افزایش می‌یابد (۳۳). لی و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی اثر تنش خشکی بر *Lilium davidii* به این نتیجه رسیدند که با افزایش سطوح خشکی قندهای محلول، پلی‌ساکاریدها و فروکتوز کاهش پیدا کرد و در مقابل گلوکز و تری‌هالوز افزایش پیدا کرد (۱۱) بنابراین گونه‌های مختلف گل سوسن پاسخ‌های فیزیولوژیکی متفاوتی به سطوح خشکی نشان می‌دهند و در پژوهش حاضر تجمع کربوهیدرات محلول به موازات تجمع پرولین در جهت تنظیم اسمزی گل سوسن با افزایش میزان پلی‌اتیلن‌گلیکول در محیط کشت نیز نوعی سازوکار حفاظتی محسوب می‌شود.

کربوهیدرات‌های محلول: بررسی نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که گونه‌های گل سوسن و غلظت‌های مختلف پلی‌اتیلن‌گلیکول و اثر متقابل آن‌ها از لحاظ مقدار کربوهیدرات‌های محلول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در بین گونه‌های مورد مطالعه *L. tsingtauense* نسبت به دو گونه دیگر از لحاظ کربوهیدرات‌های محلول غنی‌تر بود مقایسه میانگین داده‌ها هم نشان داد که در این گونه تیمارهای ۵ و ۱۰ گرم در لیتر در مقایسه با تیمارهای دیگر از کربوهیدرات‌های محلول بیش‌تری برخوردار بود در حالی‌که در گونه‌های دیگر گل سوسن با افزایش تنش خشکی به‌طور منظم کربوهیدرات‌های محلول افزایش پیدا کرد (جدول ۴). علت این پدیده می‌تواند به دلیل افزایش تجزیه کربوهیدرات‌های نامحلول و بالا رفتن سطح کربوهیدرات‌های محلول، سنتز مواد اسمزی از مسیرهای غیرفتوسنتزی، توقف رشد، کاهش سرعت انتقال مواد و افزایش میزان سنتز ساکارز باشد (۳۱)

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر گونه و پلی‌اتیلن‌گلیکول بر صفات زیست شیمیایی گل سوسن.

Table 3. Analysis of variance of the effect of specie and PEG on biochemical traits on lily.

| میانگین مربعات<br>Mean of squares |                        |                           |                        |                |                            |                   | درجه<br>آزادی<br>df | منابع تغییر<br>S.O.V                    |
|-----------------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|----------------|----------------------------|-------------------|---------------------|---|
| کاروتنوئید<br>Carotenoid          | کلروفیل<br>Chlorophyll | آنتوسیانین<br>Anthocyanin | فلاونوئید<br>Flavonoid | فنول<br>Phenol | کربوهیدرات<br>Carbohydrate | پرولین<br>Proline |                     |   |
| 76.44**                           | 0.21**                 | 5.00**                    | 400**                  | 3.02**         | 0.11**                     | 10.96**           | 2                   | گونه<br>Specie                          |
| 3.88**                            | 0.02**                 | 0.34**                    | 250**                  | 1.7*           | 0.04**                     | 14.59**           | 4                   | پلی‌اتیلن‌گلیکول<br>PEG                 |
| 36.02**                           | 0.001 <sup>ns</sup>    | 0.10*                     | 101**                  | 0.82**         | 0.03**                     | 1.73**            | 8                   | گونه × پلی‌اتیلن‌گلیکول<br>Specie × PEG |
| 0.33                              | 0.0025                 | 0.04                      | 6.86                   | 0.09           | 0.001                      | 0.25              | 28                  | اشتباه آزمایشی<br>Error                 |
| 9.79                              | 14.44                  | 19.79                     | 12.10                  | 25.19          | 9.50                       | 13.88             | -                   | ضریب تغییرات (درصد)<br>CV%              |

\*، \*\* و <sup>ns</sup> به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشد

\*، \*\* and <sup>ns</sup> Significant at 5%, 1% and nonsignificant probability levels

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و پلی‌اتیلن گلیکول بر صفات زیست شیمیایی گل سوسن.

**Table 4. Comparison of the mean effect of specie and PEG on biochemical traits of lily.**

| کاروتنوئید<br>Carotenoid | آنتوسیانین<br>Anthocyanin | فلاونوئید<br>Flavonoid | فنل<br>Phenol      | کربوهیدرات<br>Carbohydrate | پرولین<br>Proline  | پلی‌اتیلن گلیکول<br>PEG | گونه<br>Specie         |
|--------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|-------------------------|------------------------|
| 8.23 <sup>e</sup>        | 0.98 <sup>d</sup>         | 19.09 <sup>efg</sup>   | 0.75 <sup>cd</sup> | 0.37 <sup>ef</sup>         | 2.74 <sup>e</sup>  | 0                       | <i>L. tsingtauense</i> |
| 9.22 <sup>e</sup>        | 1.57 <sup>ab</sup>        | 27.63 <sup>bc</sup>    | 1.18 <sup>dc</sup> | 0.69 <sup>a</sup>          | 2.67 <sup>e</sup>  | 5                       |                        |
| 8.40 <sup>e</sup>        | 1.60 <sup>ab</sup>        | 28.68 <sup>bc</sup>    | 1.66 <sup>bc</sup> | 0.70 <sup>a</sup>          | 2.65 <sup>e</sup>  | 10                      |                        |
| 4.10 <sup>f</sup>        | 1.74 <sup>ab</sup>        | 30.70 <sup>b</sup>     | 1.24 <sup>cd</sup> | 0.59 <sup>b</sup>          | 3.08 <sup>de</sup> | 20                      |                        |
| 3.59 <sup>fgh</sup>      | 1.89 <sup>a</sup>         | 21.49 <sup>def</sup>   | 0.42 <sup>e</sup>  | 0.43 <sup>de</sup>         | 4.41 <sup>bc</sup> | 40                      |                        |
| 4.08 <sup>f</sup>        | 0.31 <sup>f</sup>         | 8.63 <sup>h</sup>      | 0.42 <sup>e</sup>  | 0.31 <sup>f</sup>          | 3.11 <sup>de</sup> | 0                       | <i>L. ledebourii</i>   |
| 3.91 <sup>fg</sup>       | 0.34 <sup>f</sup>         | 10.18 <sup>h</sup>     | 0.59 <sup>e</sup>  | 0.39 <sup>ef</sup>         | 3.83 <sup>cd</sup> | 5                       |                        |
| 2.95 <sup>ghi</sup>      | 0.37 <sup>f</sup>         | 17.22 <sup>fg</sup>    | 0.56 <sup>e</sup>  | 0.38 <sup>ef</sup>         | 4.94 <sup>b</sup>  | 10                      |                        |
| 2.90 <sup>ghi</sup>      | 0.50 <sup>ef</sup>        | 17.97 <sup>efg</sup>   | 0.53 <sup>e</sup>  | 0.41 <sup>ed</sup>         | 5.03 <sup>b</sup>  | 20                      |                        |
| 2.72 <sup>hi</sup>       | 0.53 <sup>ef</sup>        | 23.68 <sup>cd</sup>    | 0.30 <sup>e</sup>  | 0.52 <sup>bc</sup>         | 6.34 <sup>a</sup>  | 40                      |                        |
| 1.92 <sup>i</sup>        | 0.84 <sup>de</sup>        | 15.42 <sup>g</sup>     | 1.30 <sup>cd</sup> | 0.32 <sup>f</sup>          | 1.56 <sup>f</sup>  | 0                       | <i>L. regale</i>       |
| 5.72 <sup>e</sup>        | 0.89 <sup>de</sup>        | 19.39 <sup>efg</sup>   | 1.60 <sup>c</sup>  | 0.35 <sup>ef</sup>         | 1.66 <sup>f</sup>  | 5                       |                        |
| 6.95 <sup>d</sup>        | 1.41 <sup>bc</sup>        | 21.71 <sup>def</sup>   | 1.75 <sup>bc</sup> | 0.40 <sup>ef</sup>         | 2.33 <sup>ef</sup> | 10                      |                        |
| 10.57 <sup>b</sup>       | 1.21 <sup>cd</sup>        | 22.39 <sup>de</sup>    | 1.72 <sup>bc</sup> | 0.47 <sup>ed</sup>         | 4.55 <sup>bc</sup> | 20                      |                        |
| 12.75 <sup>a</sup>       | 1.10 <sup>cd</sup>        | 39.24 <sup>a</sup>     | 2.19 <sup>ab</sup> | 0.51 <sup>bc</sup>         | 6.05 <sup>a</sup>  | 40                      |                        |

حروف مشترک در هر ستون نمایانگر عدم تفاوت معنی داری می‌باشد

The common letters in each column indicate a nonsignificant difference

خشکی به علت افزایش رادیکال‌های آزاد ترکیبات فنلی را افزایش داده تا بتواند واکنش دفاعی مناسبی را در پیش گیرد.

**فلاونوئید:** نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری فلاونوئید نشان داد که اثر گونه و غلظت‌های مختلف پلی‌اتیلن گلیکول و اثر متقابل آن‌ها از لحاظ مقدار فلاونوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج به دست آمده از جدول مقایسه میانگین نشان داد که از بین سه گونه *L. tsingtauense* نسبت به دو گونه دیگر بیش‌ترین غلظت فلاونوئید را داشت و بیش‌ترین مقدار آن در بین تیمارها از غلظت ۲۰ گرم در لیتر پلی‌اتیلن گلیکول به دست آمد و ولی در گونه‌های دیگر غلظت فلاونوئید همبستگی مثبتی با مقدار پلی‌اتیلن گلیکول در محیط کشت داشت (جدول ۴). فلاونوئیدها در برابر رادیکال‌های فعال اکسیژن نقش حفاظتی دارند و قادرند تولید رادیکال‌های آزاد را مهار کنند (۳۶). فابریکی اورنگ و داودنیا (۲۰۱۹)

**فنل:** نتایج نشان داد که اثر گونه و اثر متقابل آن با غلظت‌های مختلف پلی‌اتیلن گلیکول در سطح احتمال یک درصد و اثر غلظت‌های مختلف پلی‌اتیلن گلیکول از لحاظ مقدار فنل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج به دست آمده از جدول مقایسه میانگین در *L. tsingtauense* محیط کشت دارای پلی‌اتیلن گلیکول ۱۰ گرم در لیتر و در *L. ledebourii* پلی‌اتیلن گلیکول ۵ گرم در لیتر مقدار فنل بیش‌تری داشت در حالی که در *L. regale* با افزایش پلی‌اتیلن گلیکول تا ۴۰ گرم در لیتر میزان فنل افزایش یافت (جدول ۴). گیاهان با تولید مانند فنل از ساختارهای سلولی خود در برابر رادیکال‌های فعال تولید شده در شرایط تنش محافظت می‌کنند (۳۴). دهقانی بیدگلی (۲۰۱۸) هم نشان دادند که استفاده از تنش‌های محیطی با تأثیر بر روی متابولیت‌های ثانویه و محتوای فنل باعث افزایش عملکرد گیاه شده و راهکار مناسبی برای افزایش راندمان و عملکرد گیاهی هست (۳۵) بنابراین گل سوسن در شرایط تنش

هر یک از گونه‌ها با افزایش میزان پلی‌اتیلن‌گلیکول در محیط کشت از میزان کلروفیل کاسته شد (جدول ۵). لی و همکاران (۲۰۲۰) با مطالعه اثر تنش خشکی بر میزان کلروفیل *Lilium davidii* var. *unicolor* اثبات کردند که همبستگی منفی بین تنش خشکی و میزان کلروفیل وجود دارد (۱۱). با کاهش سطح برگ، انسداد روزنه‌ها، کاهش فعالیت‌های پروتوپلاسمی و تثبیت گاز کربنیک، باعث کاهش میزان کلروفیل می‌شود. پتانسیل آب در برگ‌ها میزان فتوسنتز را مستقیم تحت‌تأثیر قرار داده و به‌طور مستقیم بر فرآیندهای زیست‌شیمیایی مربوط به فتوسنتز اثر گذاشته و به‌طور غیرمستقیم ورود گاز کربنیک به داخل روزنه‌ها را کاهش می‌دهد و جذب گاز کربنیک، انتقال مواد فتوسنتزی و انتقال مواد خام در آوندهای چوبی کاهش پیدا می‌کند (۴۱) بنابراین با افزایش میزان پلی‌اتیلن‌گلیکول در محیط‌کشت از فتوسنتز ممانعت شده و به دنبال آن باعث تغییر در میزان کلروفیل و صدمه به ساختارهای فتوسنتزی می‌شود که علت آن اختلال در تعادل میان تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سازوکارهای دفاعی برطرف‌کننده این رادیکال‌هاست که به تجمع گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو و به دنبال آن خسارت به پروتئین‌ها، لیپیدهای غشا و سایر اجزای سلولی منجر می‌شود (۴۱). کاهش محتوای کلروفیل در گیاهان تحت تنش ممکن است افزایش محتوای پرولین آزاد باشد. گلوتامات پیش‌ماده مشترک سنتز کلروفیل و پرولین بوده و در شرایط تنش خشکی با توجه به این‌که پرولین افزایش می‌یابد از میزان کلروفیل کاسته می‌شود. از دلایل دیگر کاهش کلروفیل طی تنش خشکی تولید گونه‌های فعال اکسیژن، تجزیه و در نتیجه کاهش رنگدانه‌ها می‌باشد. تنش خشکی باعث اختلال در سیستم‌های آنزیمی جاروب‌کننده گونه‌های اکسیژن فعال و در نتیجه افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و خسارت به غشای سلولی و تخریب رنگیزه‌ها می‌شود (۳۶).

نشان دادند که میزان متابولیت‌های ثانویه از جمله میزان فلاونوئید کل برگ تحت شرایط تنش خشکی در آویشن باغی افزایش می‌یابد (۳۷) که این نتایج با نتایج پژوهش حاضر هم‌راستا است.

**آنتوسیانین:** بر اساس نتایج به‌دست آمده گونه‌های مختلف گل سوسن و غلظت‌های پلی‌اتیلن‌گلیکول در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد بر مقدار آنتوسیانین اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲). بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها بیش‌ترین غلظت آنتوسیانین در *L. tsingtauense* بود هم‌چنین نتایج نشان داد که حداکثر غلظت آنتوسیانین در *L. regale* / از تیمار ۲۰ گرم در لیتر پلی‌اتیلن‌گلیکول حاصل شد و در گونه‌های دیگر با افزایش غلظت‌های پلی‌اتیلن‌گلیکول به‌طور منظم بر مقدار آنتوسیانین نیز افزوده شد (جدول ۴). نقش آنتی‌اکسیدانی آنتوسیانین‌ها می‌تواند از طریق تابش و گونه‌های اکسیژن فعال رخ دهد (۳۸). با توجه به نقش آنتی‌اکسیدانی آنتوسیانین‌ها افزایش معنی‌دار مقدار آنتوسیانین‌ها در طی تنش خشکی گیاهان و افزایش بیش‌تر آن‌ها در زمان تنش قابل توجه است بنابراین گل سوسن برای کاهش خسارت حاصل از تنش اکسیداتیو، مقدار آنتوسیانین را افزایش داده تا بتواند در برابر تنش آبی مقاومت کند. افزایش مقدار آنتوسیانین در گیاهان در پاسخ به تنش خشکی توسط پژوهشگران زیادی به اثبات رسیده که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (۳۹). آنتوسیانین‌ها ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را متأثر کرده (۲۸) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را تحریک می‌کنند (۴۰).

**کلروفیل:** بررسی نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر گونه‌ها و غلظت‌های مختلف پلی‌اتیلن‌گلیکول بر کلروفیل در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری است ولی اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نیست (جدول ۲). در این آزمایش بیش‌ترین میزان کلروفیل از *L. tsingtauense* به‌دست آمد در

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر گونه و پلی اتیلن گلیکول بر تعداد سوخک و کلروفیل گل سوسن.

**Table 5. Comparison of the mean effect of specie and PEG on bulblet number and chlorophyll of lily.**

| کلروفیل<br>Chlorophyll | تعداد سوخک<br>Bulblet number | تیمار<br>Treatment           |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 0.39 <sup>b</sup>      | 1.25 <sup>b</sup>            | <i>L. regale</i>             |
| 0.21 <sup>c</sup>      | 5.18 <sup>a</sup>            | <i>L. ledebourii</i>         |
| 0.44 <sup>a</sup>      | 1.67 <sup>b</sup>            | <i>L. tsingtauense</i>       |
| 0.41 <sup>a</sup>      | 3.59 <sup>a</sup>            | PEG 0                        |
| 0.37 <sup>ab</sup>     | 2.73 <sup>b</sup>            | PEG 5 (mg L <sup>-1</sup> )  |
| 0.33 <sup>b</sup>      | 2.69 <sup>b</sup>            | PEG 10 (mg L <sup>-1</sup> ) |
| 0.34 <sup>b</sup>      | 2.42 <sup>b</sup>            | PEG 20 (mg L <sup>-1</sup> ) |
| 0.28 <sup>c</sup>      | 2.05 <sup>b</sup>            | PEG 40 (mg L <sup>-1</sup> ) |

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌داری می‌باشد

The common letters in each column indicate a nonsignificant difference

سطح خشکی و میزان کاروتنوئید وجود داشت در این پژوهش رنگیزه‌های کاروتنوئیدی در کلروپلاست برگ‌های تحت تنش خشکی *L. regale* تجمع پیدا کردند تا غشاءهای کلروپلاستی را در مقابل تنش اکسیداتیو محافظت کند و در واقع سازوکار دیگری است که قادر است در برگ انرژی زیاد طول موج‌های کوتاه را با گرفتن رادیکال‌های اکسیژن آزاد شده نقش آنتی‌اکسیدانی ایفا کنند (۴۲). توحیدی (۲۰۱۵) گزارش کرد که تغییرات رنگیزه‌های فتوسنتزی علاوه بر برداشت نوری و حفاظت از آسیب اکسیداتیوی ناشی از اثر خشکی، نقش‌های متنوعی دارند و افزایش محتوای کاروتنوئیدها برای تحمل تنش خشکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۴۳). کاهش کاروتنوئید با افزایش تنش خشکی در گیاه زوفا توسط قربانلی و همکاران (۲۰۱۰) (۲۶) هم‌چنین در گیاه شوید توسط ستایش مهر (۲۰۱۲) گزارش شده است (۴۴) که این یافته‌ها با نتایج مربوط به *L. regale* مطابقت و با نتایج مربوط به دو گونه دیگر پژوهش حاضر مغایرت دارد بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نوع گونه گیاهی در واکنش به مقدار تولید کاروتنوئید

کاروتنوئید: بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس گونه‌های مختلف گل سوسن و غلظت‌های پلی اتیلن گلیکول و اثر متقابل آن‌ها بر مقدار تولید کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین غلظت کاروتنوئید در *L. regale* و کم‌ترین غلظت کاروتنوئید در *L. ledebourii* بود. بررسی نتایج حاصل از جدول مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش تنش خشکی میزان کاروتنوئید در *L. tsingtauense* و *L. ledebourii* که فاقد برگ بودند به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و تیمارهای شاهد از لحاظ مقدار کاروتنوئید غنی‌تر بود ولی در *L. regale* که دارای برگ بودند با افزایش تنش خشکی غلظت کاروتنوئید به‌طور معنی‌دار افزایش یافت طوری که بیش‌ترین غلظت در تیمار ۴۰ میلی‌گرم در لیتر پلی اتیلن گلیکول و کم‌ترین غلظت در تیمار شاهد بود (جدول ۴). با توجه به این‌که در این پژوهش گونه *L. regale* علاوه بر سوخک دارای برگ فراوانی بود که با افزایش سطح خشکی کاروتنوئید نیز روند صعودی داشت در حالی‌که در دو گونه دیگر که فاقد برگ بودند رابطه معکوسی بین

مانند ارتفاع گیاهچه، طول و تعداد برگ، تعداد سوخک، تعداد ریشه و وزن تر را کاهش داد. تجمع پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و برخی متابولیت‌های ثانویه مانند ترکیبات فنلی و فلاونوئید و آنتوسیانین در زمان وقوع تنش حاصل از خشکی نوعی سازوکار تحمل به تنش خشکی بوده و شاخصی جهت ارزیابی مقاومت گیاهچه‌ها به تنش محسوب می‌شود. استفاده از تنش خشکی با تأثیر بر متابولیت‌های ثانویه علاوه بر بالا بردن واکنش دفاعی گل سوسن راهکار مناسبی برای افزایش راندمان و عملکرد دارویی می‌باشد. به‌طور کلی در این پژوهش تنش خشکی باعث افزایش ترکیبات پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و برخی متابولیت‌های ثانویه شد با وجود این، تأیید چنین نتایج امیدبخشی به پژوهش‌های تکمیلی در شرایط مزرعه‌ای نیازمند است.

در شرایط تنش خشکی می‌تواند متفاوت باشد که اشرف و فاروق (۲۰۰۵) نیز در پژوهش خود به چنین نتیجه‌ای دست یافته بود (۴۵).

### نتیجه‌گیری

مسیر سیگنال‌دهی هر تنش غیرزیستی شامل مراحل کلیدی خاصی مانند درک سیگنال، انتقال، پاسخگویی، همراه با فعال شدن واکنش‌های فیزیولوژیکی و متابولیکی می‌باشد (۲۱). در شرایط کمبود آب، گیاهان یک سری تغییرات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی را به‌عنوان بخشی از استراتژی برای کاهش اثرات مضر تنش خشکی بروز می‌دهد که در نتیجه آن سازوکارهای تحمل به خشکی ایجاد می‌شود (۴۶). در پژوهش حاضر نیز تنش خشکی با کاهش طولی شدن و تقسیم سلولی و با تأثیر بر فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی و هورمونی شاخص‌های رشد گیاهچه‌ها

### منابع

1. Azad, P. and Khosh-Khui, M. 2007. Micropropagation of *Lilium Ledebourii* bioss. as affected by plant growth regulator, sucrose concentration, harvesting season and cold treatments. *J. Biotech.* 10: 4. 583-591.
2. Walpola, B.C. and Arunakumara, K.K. 2017. Effect of salt stress on decomposition of organic matter and nitrogen mineralization in animal manure amended soils. *Agric. Sci. J.* 5: 1. 9-18.
3. Khan, A.S., Ul-Allah, S. and Sadique, S. 2010. Genetic variability and correlation among seedling traits of wheat (*Triticum sativum*) under water stress. *Agric. Biol. J.* 12: 2. 247-250.
4. Amobeigi, M. and Razavizadeh, R. 2013. Effects of drought stress and PBA on flavonoid accumulation and minerals in *Brassica napus*. *J. Plant Echophysiol.* 8: 31. 12-22. (In Persian)
5. Kusano, T., Berberich, T., Tateda, C. and Takahashi, Y. 2008. Polyamines: essential localizations of anthocyanin in arabidopsis. *Plant Signal Behavior J.* 10: e1027850.
6. Dami, I. and Hughes, H. 1995. Leaf anatomy and water loss of *In-vitro* Polyethylene Glycol treated of 'Valiant' Grape. *Plant Cell. Tiss. Org. Cult. J.* 42: 2. 179-184.
7. Georgieva, M.D., Djilianov, D., Konstantinova T. and Parvanova, D. 2004. Screening of bulgarian raspberry cultivars and elites for osmotic tolerance *in-vitro*. *Biotech. Equip. J.* 18: 2. 95-98.
8. Naveed, M.S., Manzoor, A., Javed, A. and Tariq, M.A. 2019. *In-vitro* screening of different tomato genotypes against peg induced water stress. *World J. Biol. Biotech.* 4: 15-19.
9. Raj, R.N., Gokulakrishnan, J. and Prakash, M. 2020. Assessing drought tolerance using PEG-6000 and molecular screening by SSR markers in maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Maydica.* 64: 7.
10. Kaur, A. and Sarlach, R.S. 2020. Leaf area, relative water content and stay-

- green habit of iranian landraces (*Triticum aestivum* L.) under water stress in field conditions. *Adv. Res.* 21: 1-13.
11. Li, W., Wang, Y. and Zhang, Y. 2020. Impacts of drought stress on the morphology, physiology, and sugar content of Lanzhou lily (*Lilium davidii* var. unicolor). *Acta. Physiol. Plant.* 42: 127p.
  12. Turan, T.O. and Ekmekci, Y. 2009. Effect of water deficit induced by PEG and NaCl on chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars and lines at early seedling stages. *GaziUniv. J. Sci.* 22: 1. 5-14.
  13. Bates, L., Waldren, P.P. and Teare, J.D. 1973. Rapid determination of the free proline of water stress studies. *Plant Soil J.* 39: 201-205.
  14. Slinkard, K. and Singleton, V.L. 1997. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Soc. Enology Viticult. J.* 28: 49-55.
  15. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Argon. Sustain J. Dev.* 29: 185-212.
  16. Jaleel, C.A., Manivannan, P., Lakshmanan, G.M.A., Gomathinayagam, M. and Panneerselvam, R. 2008. Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. *Colloids surfaces B. Biointerfaces J.* 61: 298-303.
  17. Irrigoyen, J.H., Emerich, D.W. and Sanchez Diaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentration of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa plant. *Phys. Plantarum J.* 84: 55-66.
  18. Burnett, S., Thomas, P. and Van Iersel, M. 2005. Post germination drenches with Polyethylene Glycol 8000 reduce growth of salvia and marigolds. *Hort. Sci. J.* 40: 675-679.
  19. Rani Roy, M., Rais Uddin Rashed, M.D. and Sharmin Mitu, A. 2017. Screening and diversity of drought tolerance genotypes *in-vitro* in tomato. *Agric. Res. Tech. J.* 4: 2.1-6.
  20. Abdolrahman, R.A., Gaber, Hanan, A.M.M., AL-Sayed, M.A. and Smetanska, I. 2012. Effect of drought and salinity stress on total phenolic, flavonoids and flavanols contents and antioxidant activity *in-vitro* sprout cultures of garden cress (*Lepidium sativum*). *Applied Sci. Res. J.* 8: 8. 3934-3942.
  21. Hernandez-Perez, C.A., Gomez-Merino, F.C., Spinoso-Castillo, J.L. and Bello-Bello, J.J. 2021. *In-vitro* Screening of Sugarcane Cultivars (*Saccharum* spp. Hybrids) for Tolerance to Polyethylene Glycol-Induced Water Stress. *Agronomy.* 11: 598.
  22. Bhatt, R.M. and Srinivasa Rao, N.K. 2005. Influence of pod load on response of okra to water stress. *Indian J. Plant Phys.* 10: 1. 54-59.
  23. Colom, M.R. and Vazzana, C. 2003. Photosynthesis and PSII functionality of drought resistant and drought sensitive weeping love grass plants. *Environ. Exp. Bot.* 49: 135-144.
  24. Jangpromma, N., Kitthaisong, S., Lomthaisong, K., Daduang, S., Jaisil, P. and Thammasirirak, S. 2010. A proteomics analysis of drought stress responsive proteins as biomarker for drought tolerant sugarcane cultivars. *American J. Biochem. Biotech.* 6: 2.89-102.
  25. Nasir Khan, M., Siddiqui, M.H., Mohammad, F., Masroor, M., Khan, A. and Naeem, M. 2007. Salinity induced changes in growth, enzyme activities, photosynthesis. Proline accumulation and yield in linseed genotype. *Agric. Sci. J.* 3: 685-695.
  26. Ghorbanli, M., Bakhshi Khaniki, G.R., Salimi Elizei, S. and Hedayati, M. 2010. Effect of water deficit and its interaction with ascorbate on proline, soluble sugars, catalase and glutathione peroxidase amounts in (*Nigella sativa* L.). *Med. Aromatic Plants J.* 26: 465-476.
  27. Heidari-Sharifabad, H. 2001. Plants, aridity and drought research. *Inst. Forest. Rang. Press J.* 200p.
  28. Razavizadeh, R., Shafghat, M. and Najafi, Sh. 2014. The effect of water



- shortage stress on morphological and physiological characteristics of *Carum copticum*. J. Plant Bio. Iran. 6: 22. 25-38. (In Persian)
29. Mamnoei, E. and Seyyed Sharifi, R. 2010. Study the effects of deficit on chlorophyll fluorescence indices and the amount of proline in six barely genotypes and its relation with canopy temperature and yield. Plant Biol. J. 2: 5. 51-62.
30. Aliabadi, F.H., Lebaschi, M.H., Shiranirad, A.H., Valadabadi, A.R. and Daneshian, J. 2008. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, different levels of phosphorus and drought stress on water use efficiency, relative water content and proline accumulation rate of coriander (*Coriandrum sativum* L.). Med. Plant Res. J. 2: 6. 125-131.
31. Arndt, S.K.K., Clifford, S.C., Wanek, W., Jones, H.G. and Popp, M. 2001. Physiological and morphological adaptations of the fruit tree *Ziziphus rotundifolia* in response to progressive drought stress. Tree Phys. J. 21: 705-715.
32. Serraj, R. and Sinclair, T.R. 2002. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions. Plant Cell Environ. J. 25: 333-341.
33. Aran, M., Abedi, B., Tehranifar, A. and Parsa, M. 2017. Effect of drought stress on morphological and physiological traits of grape. Hort. Sci. J. 31: 2. 315-326.
34. Bano, A., Ullah, F. and Nosheen, A. 2012. Role of abscisic acid and drought stress on the activities of antioxidant enzymes in wheat. Plant Soil Environ. J. 58: 4. 181-185.
35. Dehghani Bidgoli, R. 2018. The effect of drought and salinity stresses on some secondary metabolites of *Rosmarinus officinalis*. J. Plant Ecophys. App. Res. 5: 1. 27-51. (In Persian)
36. Anjum, N.A., Arena, C. and Singhgill, S. 2014. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS scavengers during environmental stress in plant. Frontiers in Environ. Sci. 2: 1-13.
37. Fabriki Orang, S. and Davudnia, B. 2019. Investigation of changes in growth traits and secondary metabolites in medicinal plant of *Thymus vulgaris* L. under mild salinity and drought stress. J. Med. Plant Ecophys. 22: 2. 27-40. (In Persian)
38. Farah, S., Hosseinian, A., Wende Li, A. and Trust, B. 2008. Measurement of anthocyanin's and other phytochemicals in purple wheat. Food Chem. 109: 916-924.
39. Bolat, I., Dikilitas, M., Ercisli, S., Ikinci, A. and Tonkaz, A.T. 2014. The effect of water stress on some morphological physiological, and biochemical characteristics and bud success on apple and quince rootstocks. The Scientific World J. pp. 1-9.
40. Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. Proceedings of the National Academy Sci. 91: 11-17.
41. Fu, J. and Huang, B. 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. Environ. Exp. Bot. J. 45: 2. 105-114.
42. Ilektra, S. and Michael, M. 2012. Interaction of proline, sugars and anthocyanin's during photosynthetic acclimation of *Arabidopsis thaliana* to drought stress. Plant Phys. 169: 577-585.
43. Tohidi, Z. 2015. The effect of drought stress on physiological characteristics of plants. Malaysia international conference on research in science and technology. pp. 1-7.
44. Setayeshmehr, Z. 2012. Effect of drought stress on growth rate, proline content and photosynthetic pigments of *Anthem graveolens*. The first national conference of biotechnology students of Golestan Univ. Gorgan, Iran.
45. Ashraf, M. and Farooq, M. 2005. Pre-Sowing seed treatment a shotgun approach to improve germination, plant growth and crop yield under saline and non-saline conditions. Advance Agronomy. J. 88: 223-271.
46. Kramer, P.J. 1980. Drought stress, and the origins of adaptations. Adaptation of plants to water and high temperature stress. New York, Wiley. pp. 7-22.



## Evaluation of yield stability of promising winter rapeseed lines in cold and semi-cold climate of Iran

Mehrzad Ahmadi<sup>\*1</sup>, Mansoor Omidi<sup>2</sup>, Ali Akbar Shah Nejat Bushehri<sup>3</sup>,  
Nazanin Amirbakhtiar<sup>4</sup>

1. Corresponding Author, Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: [ahmadimehrzad@ymail.com](mailto:ahmadimehrzad@ymail.com)
2. Professor, University of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: [momidi@ut.ac.ir](mailto:momidi@ut.ac.ir)
3. Professor, University of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: [ashah@ut.ac.ir](mailto:ashah@ut.ac.ir)
4. Researcher, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: [nafash.2017@gmail.com](mailto:nafash.2017@gmail.com)

### Article Info

#### Article type:

Full Length Research Paper

#### Article history:

Received: 04.17.2021

Revised: 06.21.2021

Accepted: 07.09.2021

#### Keywords:

Mutant,  
Stability,  
Three-dimensional diagram,  
Winter rapeseed

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Rapeseed (*B. napus*. L) is the most important and most cultivated area among other oil crops in Iran. Two types of it, spring and winter, are cultivated in the country. More than 70% of rapeseed is cultivated in semi-hot and tropical regions and only 30% in cold and semi-cold areas of Iran. Considering the dependence of more than 90% of the country on oil imports and the importance of producing oilseeds, it seems necessary to pay attention to the appropriate cultivars in semi cold and cold regions and use the existing potential to develop its oilseed cultivation. Therefore, in this study, the stability of rapeseed winter mutant lines was investigated.

**Materials and Methods:** In this study, three Rapeseed cultivars named Zarfam, Talaieh and Express, along with 16 mutant lines, were obtained from irradiating the above cultivars with intensities of 800-900-1200 g of gamma-ray and, after seven generations, were salvaged. Along with three commercial cultivars, Okapi, Ahmadi and ES Neptune, they were planted in a randomized complete block design with three replications. This experiment was carried out in four research stations (Karaj, Zarghan, Kermanshah and Isfahan) during the two crop years of 2015-2016 and 2016-2017. In the combined analysis, the effect of environment (year composition on location) was considered random, and the effect of genotype was fixed. The stability of the lines was performed by AMMI method, Stability value (ASV) statistics and other stability methods include  $S^{(1-6)}$ ,  $NP^{(1-4)}$ , etc.

**Results:** The Combined analysis of data showed that the effect of genotype, environment and genotype  $\times$  environment interaction were significant at the 1% level probability and explained 7.5, 55.3 and 37.0% of the total variance of the data, respectively. In this study, genotype  $\times$  environment interaction was divided into four components, which accounted for 36.7, 23.6, 16.5, and 9.7% of the total interaction squares, respectively. This study's results showed a high genetic diversity between mutant lines evaluated in terms of grain yield. G13 (T-900-4) lines, followed by G6 (Z-900-7), and G3 (Z-800-6) were superior to other lines in

---

grain yield, averaging 3840, 3757 and 3665 kg/ha, respectively. In the biplot diagram of grain yield and ASV index, lines G3, G6, G2, G18 and G7 had the highest yield and the lowest number for ASV, which were identified as stable lines.

**Conclusion:** The results of the Three-dimensional graph of the mean rank of stability statistics ( $A_r$ ) and standard deviation of rankings (SD), and mean yield showed that lines G6 (Z-900-7), G2 (Z-800-3), G12 (T-800-6) and G15 (T-1200-1) were stable line with higher-than-average yield and control cultivars of the region and were identified as stable lines.

---

Cite this article: Ahmadi, Mehrzad, Omid, Mansoor, Shah Nejat Bushehri, Ali Akbar, Amirbakhtiar, Nazanin. 2023. Evaluation of yield stability of promising winter rapeseed lines in cold and semi-cold climate of Iran. *Journal of Plant Production*, 30 (1), 67-84.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2022.20114.2927

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## بررسی پایداری عملکرد لاین‌های امیدبخش زمستانه کلزا در اقلیم سرد و معتدل سرد ایران

مهرزاد احمدی<sup>۱\*</sup>، منصور امیدی<sup>۲</sup>، علی‌اکبر شاه نجات بوشهری<sup>۳</sup>، نازنین امیربختیار<sup>۴</sup>

۱. نویسنده مسئول، استادیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: [ahmadimehrzad@ymail.com](mailto:ahmadimehrzad@ymail.com)
۲. استاد پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: [momidi@ut.ac.ir](mailto:momidi@ut.ac.ir)
۳. استاد پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: [ashah@ut.ac.ir](mailto:ashah@ut.ac.ir)
۴. محقق مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: [nafash.2017@gmail.com](mailto:nafash.2017@gmail.com)

| اطلاعات مقاله  | چکیده   |
|--|---|
| <p>نوع مقاله:</p> <p>مقاله کامل علمی-پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۸</p> <p>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۳/۳۱</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۸</p> | <p>سابقه و هدف: کلزا (<i>B. napus</i>. L) مهم‌ترین و بیش‌ترین سطح زیر کشت را در بین سایر گیاهان روغنی در ایران به خود اختصاص داده است. این گیاه به صورت بهاره و زمستانه در کشور کشت می‌شود. بیش از ۷۰ درصد کشت کلزا در ایران در مناطق گرم و معتدله گرم بوده و تنها ۳۰ درصد در مناطق معتدل سرد و سرد کشت می‌شود. با توجه به وابستگی بیش از ۹۰ درصدی کشور به واردات روغن و اهمیت تولید دانه‌های روغنی، توجه به ارقام مناسب مناطق معتدل سرد و سرد و استفاده از پتانسیل موجود به منظور توسعه کشت آن ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش به بررسی پایداری لاین‌های موتانت زمستانه کلزا پرداخته شد.</p>   |
| <p>واژه‌های کلیدی:</p> <p>پایداری،<br/>کلزای زمستانه،<br/>موتانت،<br/>نمودار سه‌بعدی</p>   | <p>مواد و روش‌ها: در این پژوهش، سه رقم کلزا به اسامی زرفام، طلایه و اکسپرس همراه با ۱۶ لاین جهش‌یافته که از پرتوتابی ارقام فوق با شدت‌های ۸۰۰-۹۰۰-۱۲۰۰ گری پرتو گاما و پس از هفت نسل خویش‌آمیزی به‌دست آمده‌اند. همراه با سه رقم تجاری اوکاپی، احمدی و ES Neptune در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کشت و مورد بررسی قرار گرفت. این آزمایش در چهار ایستگاه تحقیقاتی (کرج، زرقان، کرمانشاه و اصفهان) طی دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. در تجزیه مرکب اثر محیط (ترکیب سال در مکان) تصادفی و اثر ژنوتیپ ثابت در نظر گرفته شد. پایداری لاین‌ها با استفاده از روش AMMI و آماره ارزش پایداری (ASV) و سایر روش‌های پایداری از جمله <math>S^{(1-6)}</math>، <math>NP^{(1-4)}</math> و غیره انجام شد.</p> |

---

**یافته‌ها:** تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده و به ترتیب ۷/۵، ۳/۵۵ و ۰/۳۷ درصد از کل تغییرات واریانس داده‌ها را توجیه کردند. در این بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به چهار مؤلفه تجزیه شد که به ترتیب ۳۶/۷، ۲۳/۶، ۱۶/۵، ۹/۷ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را به خود اختصاص دادند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بین لاین‌های موتانت ارزیابی شده از نظر عملکرد دانه، تنوع ژنتیکی بالایی وجود دارد. از نظر عملکرد دانه، لاین‌های G13 (T-900-4) و به دنبال آن G6 (Z-900-7) و G3 (Z-800-6) با میانگین ۳۸۴۰، ۳۷۵۷ و ۳۶۶۵ کیلوگرم در هکتار نسبت به سایر لاین‌ها برتر بودند. در نمودار بای‌پلات عملکرد دانه با شاخص ASV، لاین‌های G3، G6، G2، G18 و G7 بیش‌ترین میزان عملکرد و کم‌ترین میزان آماره (ASV) را داشته که به عنوان لاین‌های پایدار شناسایی شد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج به‌دست آمده از نمودار سه‌بعدی میانگین رتبه آماره‌های پایداری (Ar) و انحراف معیار رتبه‌ها (SD) و میانگین عملکرد نشان داد که لاین‌های G6 (Z-900-7)، G2 (Z-800-3)، G12 (T-800-6) و G15 (T-1200-1) عملکرد بالاتر از متوسط میانگین و ارقام شاهد منطقه داشته و به عنوان لاین‌های پایدار شناسایی شدند.

---

**استناد:** احمدی، مهرزاد، امیدی، منصور، شاه نجات بوشهری، علی‌اکبر، امیربختیار، نازنین (۱۴۰۲). بررسی پایداری عملکرد لاین‌های

امیدبخش زمستانه کلزا در اقلیم سرد و معتدل سرد ایران. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۰ (۱)، ۶۷-۸۴.

DOI: 10.22069/JOPP.2022.20114.2927



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

کلزا یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی و صنعتی در جهان به شمار می‌رود، که بیش‌ترین سطح کشت را در بین سایر گیاهان روغنی در ایران به خود اختصاص داده است. دانه کلزا حاوی ۴۸-۴۰ درصد روغن و ۳۴-۴۰ درصد پروتئین است. روغن آن به دلیل ترکیب مناسب اسیدهای چرب غیراشباع اولئیک (امگا ۹)، لینولئیک (امگا ۶) و آلفا لینولئیک (امگا ۳) و داشتن پایین‌ترین میزان اسیدهای چرب اشباع (حدود ۷ درصد) با کیفیت‌ترین روغن خوراکی است (۱). با توجه به اهمیتی که کلزا در صنعت و تغذیه دارد، تولید و اصلاح ارقام جدید و پرمحصول با ویژگی‌های مهمی مانند پایداری عملکرد ضروری است (۲).

عملکرد فنوتیپی یک ژنوتیپ ممکن است در شرایط مختلف کشاورزی-اقلیمی یکسان نباشد (۲). اگرچه می‌توان ویژگی‌های ژنوتیپی و کاربردهای زراعی را کنترل کرد، اما کنترل سایر عوامل محیطی مانند بارش، دما و رطوبت متناسب امکان‌پذیر نیست. بنابراین، ژنوتیپ‌ها باید در برابر تغییر شرایط محیطی پایدار باشند و ارقام جدید باید عملکرد دانه بالا در شرایط اقلیمی متفاوت برخوردار باشند (۳ و ۴). برهمکنش ژنوتیپ و محیط (GEI<sup>1</sup>) یک موضوع مهم در اصلاح و تولید محصول است (۵). از این‌رو، ارزیابی ارقام جدید در محیط‌های مختلف ضروری می‌باشد. روش‌های مختلفی برای مطالعه برهمکنش ژنوتیپ محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و معرفی آن‌ها به‌کار برده شده است که شامل روش‌های پارامتری تک‌متغیره، ناپارامتری و چندمتغیره می‌باشند. در این میان، روش‌های آماری ناپارامتری به دلیل عدم نیاز به نرمال بودن داده‌ها یا یکنواختی واریانس خط‌های آزمایشی و همچنین حساس نبودن به خطا و داده‌های پرت، اطلاعات مفیدی را در مورد

تغییرپذیری فنوتیپی و برهمکنش ژنوتیپ و محیط در اختیار پژوهش‌گران اصلاح نباتات قرار می‌دهند (۶ و ۷).

روش‌های آماری چندمتغیره نیز برای توضیح اثر متقابل ژنوتیپ در محیط ارائه (E×G) شده است. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه مختصات اصلی، تجزیه به عامل‌ها، تجزیه خوشه‌ای و روش اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (AMMI) از جمله این روش‌ها می‌باشند. در روش امی از تجزیه واریانس و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده می‌شود. پرچیس و همکاران پارامتر ارزش پایداری AMMI یا ASV را ارائه نمودند که یکی از پارامترهای جدید امی است. این پارامتر بر اساس نمره دو مؤلفه نخست محاسبه می‌گردد (۳، ۸، ۹، ۱۰، ۱۶ و ۲۴). از روش‌های امی و ناپارامتری در گیاهان مختلفی از جمله در گندم (۱۱)، کلزا (۱۲ و ۱۳)، جو (۱۴)، برنج (۱۵)، کنجد (۱۶) برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ در محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده شده است. در پژوهشی که اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (G×E) در ۲۵ ژنوتیپ کلزا زمستانه با استفاده از روش امی در لهستان ارزیابی شد، درصد روغن و پروتئین دانه، مقدار گلوکوزینولات در کنجاله دانه و ترکیب اسیدهای چرب غیراشباع C18 (اولئیک، لینولئیک و لینولنیک) در روغن دانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثرات ژنوتیپ (G) و محیط (E) و هم‌چنین برهمکنش G×E در مورد صفات دانه معنی‌دار بوده و دو هیبرید، یک لاین CMS و یک لاین جهش‌یافته با اولئیک و پایداری بالا شناسایی شد (۱۷).

در بررسی که بر روی یازده ژنوتیپ کلزا در سه مکان در سه سال زراعی در ترکیه با استفاده از روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک مختلفی انجام شد، تجزیه واریانس عملکرد دانه نشان داد که اثر متقابل

1- Genotype by environment interaction

گاما و پس از هفت نسل خویش‌آمیزی به‌دست آمده‌اند (۱۸)، همراه با سه رقم شاهد تجاری اوکاپی، احمدی و ES Neptune در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کشت و مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). در پایان سال زراعی محصول هر کرت آزمایشی به‌طور جداگانه برداشت، ضمن ثبت مشخصات توزین شده عملکرد دانه هر یک از نمونه‌ها، میزان روغن تیمارهای منطقه کرج با استفاده از دستگاه<sup>۱</sup> NMR در آزمایشگاه تجزیه روغن بخش تحقیقات دانه‌های روغنی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تعیین گردید. در تجزیه مرکب، اثر محیط (ترکیب سال در مکان) تصادفی و اثر ژنوتیپ ثابت در نظر گرفته شد. پس از جمع‌آوری اطلاعات، آزمون نرمال بودن داده‌ها و آزمون بارتلت برای بررسی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. پایداری لاین‌ها از روش AMMI توسط نرم‌افزار GenStat 12.0 و روش PBTtools ورژن ۲۰۱۳ انجام شد. آماره ارزش پایداری (ASV) و میانگین و انحراف معیار رتبه برای هر یک از لاین‌ها با استفاده از نرم‌افزار EXCEL انجام شد. سایر روش‌های پایداری از جمله  $S^{(1-6)}$ : آماره‌های پایداری نصار و هان (۱۹ و ۲۰)،  $NP^{(1-4)}$ : آماره‌های پایداری تنازرو (۲۱)،  $W_i^2$ : اکووالانس ریک (۲۲)،  $\sigma_i^2$ : واریانس پایداری شوکلا (۲۳)،  $bi$ : ضریب رگرسیون (۲۴)،  $S^2d_i$ : انحراف از خط رگرسیون (۲۵)،  $CV$ : ضریب تغییرات (۲۶)،  $\theta_{(i)}$ : واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط (۲۷)،  $\theta_i$ : میانگین واریانس‌ها پلستید (۲۸)،  $KR$ : مجموع رتبه کانگ، توسط نرم‌افزار STABILITYSOFT محاسبه شد (۲۹). هم‌چنین روابط بین آماره‌های پایداری، بر اساس ضریب همبستگی پیرسون و با استفاده از نرم‌افزار xlstat انجام شد.

ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها و ژنوتیپ در محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. با توجه به تجزیه و تحلیل پایداری، ژنوتیپ Wosry 142 به عنوان یک ژنوتیپ مناسب برای کشت در محیط‌های مختلف آزمایش شده توصیه شد (۱۳).

هدف از این مطالعه الف- بررسی تأثیر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل آن‌ها از نظر عملکرد دانه برای کلزای زمستانه، ب- تعیین سازگاری و پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های امیدبخش کلزای زمستانه با استفاده از روش‌های پایداری پارامتریک و ناپارامتریک، ج- شناسایی ژنوتیپ‌های کلزای زمستانه که هم عملکرد دانه بالا و پایدار در محیط‌های مختلف در منطقه ایران دارند.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در چهار ایستگاه تحقیقاتی (کرج، زرقان، کرمانشاه و اصفهان) طی دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد (جدول ۱). در این بررسی هر تیمار در یک کرت چهار خطی به طول چهار متر با فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر بوده و مساحت هر کرت  $\frac{4}{8}$  مترمربع در نظر گرفته شد. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و لولر در تابستان انجام شد و کودهای شیمیایی شامل کود کامل NPK (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، سوپرفسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) در زمان تهیه زمین استفاده شد. کشت در مهرماه هر سال انجام گردید. مبارزه با شته مومی کلم با سم سیستمیک متاسیتوکس در غلظت دو در هزار در مرحله گلدهی صورت گرفت. مبارزه با علف‌های هرز به صورت وجین دستی در سه نوبت (دو نوبت در آبان و بهمن و یک نوبت فروردین) صورت گرفت. سه رقم کلزا به اسامی زرفام، طلایه و اکسپرس همراه با ۱۶ لاین جهش‌یافته که از پرتوتابی ارقام فوق با شدت‌های ۸۰۰-۹۰۰-۱۲۰۰ گری پرتو



$$ASV_i = \sqrt{\left[ \frac{SS_{IPCA1}}{SS_{IPCA2}} (IPCA_1 score) \right]^2 + (IPCA_2 score)^2} \quad \text{منبع: (۱۵)}$$

جدول ۱- خصوصیات اقلیمی محیط‌های مورد مطالعه.

**Table 1. Agro-climatic of studied environments.**

| عرض جغرافیایی<br>(درجه دقیقه) | طول جغرافیایی<br>(درجه دقیقه) | ارتفاع<br>Altitude<br>(m) | بارندگی<br>(میلی‌متر)<br>Annual<br>rainfall (mm) | دمای<br>کمینه<br>Min<br>temp (C) | دمای<br>بیشینه<br>Max<br>temp (C) | مکان<br>Location  | کد<br>Code |
|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--|----------------------------------|-----------------------------------|---|------------|
| Latitude                      | Longitude                     |                           |  |                                  |                                   |   |            |
| 35 49° N                      | 50 58° E                      | 1300                      | 300  | -5                               | 43                                | کرج (محمدشهر)<br>Karaj (Mohamad Shahr)                        | E1         |
| 32 39° N                      | 51.40° E                      | 1540                      | 138  | -6                               | 44                                | اصفهان (کبوترآباد)<br>Esfahan (Kabota Abad)                   | E2         |
| 34.12° N                      | 46.52° E                      | 1346                      | 468  | -9                               | 40                                | کرمانشاه (اسلام‌آباد غرب)<br>Kermanshah<br>(Eslam Abad Gharb) | E3         |
| 29.76° N                      | 52.71° E                      | 1590                      | 305  | -7                               | 41                                | زرقان<br>Zarghan  | E4         |

جدول ۲- اسامی لاین‌ها و ارقام مورد بررسی در پژوهش.

**Table 2. Characteristics of studied cultivars and lines.**

| درصد روغن<br>Seed oil (%) | نام لاین‌ها<br>Names of lines | شماره<br>Number | درصد روغن<br>Seed oil (%) | نام لاین‌ها<br>Names of lines | شماره<br>Number |
|---------------------------|-------------------------------|-----------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------|
| 43.5                      | T-800-6                       | G12             | 42.8                      | Zarfam                        | G1              |
| 42.1                      | T-900-4                       | G13             | 42.4                      | Z-800-3                       | G2              |
| 41.3                      | T-900-5                       | G14             | 42.7                      | Z-800-6                       | G3              |
| 42                        | T-1200-1                      | G15             | 42                        | Z-900-3                       | G4              |
| 42                        | Express                       | G16             | 43.1                      | Z-900-6                       | G5              |
| 44.1                      | Exp-800-1                     | G17             | 43.9                      | Z-900-7                       | G6              |
| 43.5                      | Exp-800-3                     | G18             | 43.3                      | Z-900-8                       | G7              |
| 39.7                      | Exp-900-1                     | G19             | 43.3                      | Z-900-9                       | G8              |
| 40.3                      | Okapi                         | C1              | 41.1                      | Z-900-10                      | G9              |
| 40                        | Ahmadi                        | C2              | 42.5                      | Talayeh                       | G10             |
| 40.6                      | ES Neptune                    | C3              | 42.8                      | T-800-1                       | G11             |

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس براساس عملکرد دانه نشان داد اثر اصلی ژنوتیپ، محیط، اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند.

ژنوتیپ و محیط و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط به ترتیب ۷/۵، ۳/۵۵ و ۳۷/۰ درصد از کل تغییرات واریانس داده‌ها را تبیین کردند. در این بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به چهار مؤلفه تجزیه شدند

که در سطح یک درصد معنی‌دار بودند. سهم مؤلفه‌ها از اولین تا چهارمین به ترتیب ۳۶/۷، ۲۳/۶، ۱۶/۵، ۹/۷ از مجموع مربعات اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط را توجیه نمود. دو مؤلفه اول در مجموع ۶۱ درصد از کل تغییرات واریانس اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را توجیه نمود (جدول ۳). معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ در محیط نشان‌دهنده واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متفاوت بوده و انتخاب

ژنوتیپ‌ها با پایداری عملکرد مناسب را به‌منظور معرفی لاین جدید برای مناطق کشت مختلف را مشکل می‌سازد.

هم‌چنین سایر پژوهش‌گران در آزمایش‌های چند سال چند منطقه در محصولات دیگر نشان دادند که اثر محیط درصد قابل‌توجه‌ای از تغییرات موجود را به خود اختصاص داده است (۱۲، ۱۶ و ۳۰).

جدول ۳- تجزیه واریانس مدل امی برای عملکرد دانه لاین‌های زمستانه کلزا در چهار مکان و دو سال زراعی.

**Table 3. Analysis of variance of AMMI model for seed yield of winter rapeseed lines in four locations and two crop years.**

| عملکرد دانه                    |   |                                |                  |   |
|--------------------------------|---|--------------------------------|------------------|---|
| میانگین مربعات<br>Mean squares | مجموع مربعات (درصد)<br>Sum of Squares (%) | مجموع مربعات<br>Sum of Squares | درجه آزادی<br>df | منابع تغییرات<br>S.O.V                  |
| 3038462                        |   | 531730813                      | 175              | تیمار<br>Treatment                      |
| 1920616**                      | 7.58                                      | 40332938                       | 21               | ژنوتیپ<br>Genotype                      |
| 42024719**                     | 55.32                                     | 294173034                      | 7                | محیط<br>Environment                     |
| 1341666**                      | 37.09                                     | 197224842                      | 147              | ژنوتیپ × محیط<br>Genotype × Environment |
| 2680202**                      | 36.69                                     | 72365453                       | 27               | مؤلفه اول<br>IPCA1                      |
| 1865414**                      | 23.64                                     | 46635352                       | 25               | مؤلفه دوم<br>IPCA2                      |
| 1419148**                      | 16.55                                     | 32640412                       | 23               | مؤلفه سوم<br>IPCA3                      |
| 907968**                       | 9.67                                      | 19067328                       | 21               | مؤلفه چهارم<br>IPCA4                    |
| 519927                         | 13.44                                     | 26516296                       | 51               | باقی‌مانده (نویز)<br>Residual (Noise)   |
| 421293                         |   | 141554504                      | 336              | خطای ادغام شده<br>Pooled error          |
| 1312675                        |   | 691779741                      | 527              | کل<br>Total                             |

\* و \*\* به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

\* and \*\* Significant at the 0.05 and 0.01 levels, respectively

دانه لاین‌های موتانت کلزا با آماره ارزش پایداری (ASV) آورده شده است. لاین‌های G2، G6، G3 و G18 و G7 بیش‌ترین میزان عملکرد و کم‌ترین میزان آماره (ASV) را به خود اختصاص داده است که به‌عنوان لاین‌های پایدار شناسایی شدند.

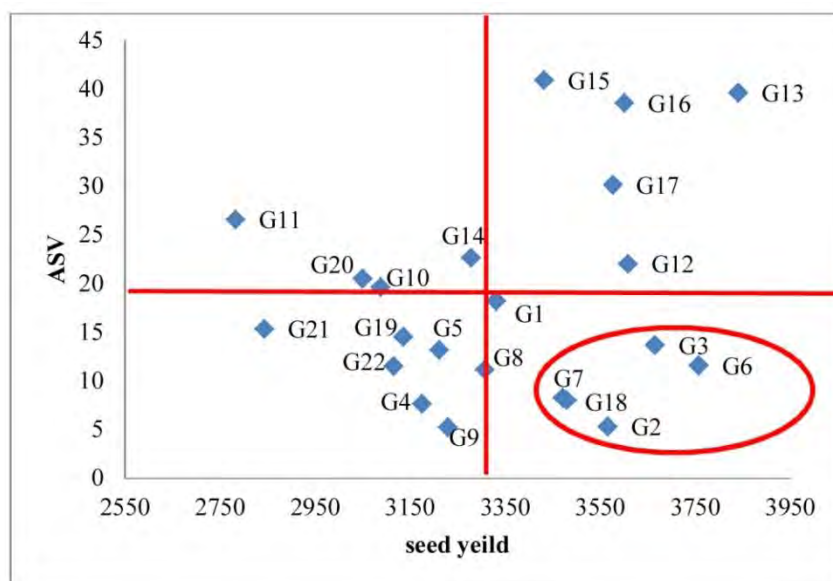
در آزمایشی ۱۳ لاین و رقم زمستانه کلزا به منظور بررسی سازگاری و مقایسه عملکرد در شرایط محیطی سرد و معتدل سرد کشور در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شش منطقه طی دو سال زراعی مورد مقایسه قرار گرفتند. در نهایت ژنوتیپ G13 با کم‌ترین میزان اثر متقابل و میانگین عملکردی بالاتر از میانگین متوسط به عنوان ژنوتیپ با پایداری عمومی به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها جهت کشت در مناطق مورد مطالعه معرفی شد (۱۲).

هم‌چنین برای ارزیابی پایداری ارقام از آماره ارزش پایداری (ASV) AMMI استفاده شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. کم‌ترین IPCA1 مربوط به ژنوتیپ‌های G14، G7، G22 و کم‌ترین IPCA2 مربوط به ژنوتیپ‌های G9، G2 و G4 می‌باشند. در روش ارزش پایداری AMMI ژنوتیپی پایدار است که ASV کم‌تری داشته باشد (۱۷). در این روش ژنوتیپ‌های G9، G2، G4 و G18 کم‌ترین ASV را به خود اختصاص دادند و G2 و G18 عملکرد آن‌ها از میانگین کل بیش‌تر بود. بنابراین، به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا شناخته شدند. از سوی دیگر ژنوتیپ‌های شماره G15، G13 و G16 با داشتن بالاترین ASV، دارای کم‌ترین پایداری بودند. در شکل ۱ نمودار بای پلات عملکرد

جدول ۴- ارزش پایداری (ASV) روش AMMI و مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم لاین‌های کلزا.

Table 4. ASV of AMMI method and the values of first and second main components in rapeseed lines.

| رتبه‌بندی ASV<br>Rank of ASV | ارزش پایداری<br>ASV | مؤلفه دوم<br>IPCA2 | مؤلفه اول<br>IPCA1 | میانگین عملکرد دانه<br>Mean grain yield (Kg/ha) | شماره ژنوتیپ<br>Genotype Number |
|------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---|---------------------------------|
| 13                           | 18.21               | 16.79              | -4.54              | 3330.8  | G1                              |
| 2                            | 5.32                | -1.83              | 3.22               | 3565.3  | G2                              |
| 10                           | 13.67               | -12.86             | -2.98              | 3665.5  | G3                              |
| 3                            | 7.68                | 4.79               | 3.87               | 3174.5  | G4                              |
| 9                            | 13.21               | 6.47               | 7.42               | 3211.5  | G5                              |
| 8                            | 11.62               | 11.54              | 0.88               | 3757.0  | G6                              |
| 5                            | 8.28                | -0.35              | -5.33              | 3471.0  | G7                              |
| 6                            | 11.19               | -3.98              | 6.74               | 3307.0  | G8                              |
| 1                            | 5.27                | -0.95              | 3.34               | 3228.8  | G9                              |
| 14                           | 19.64               | -14.77             | 8.34               | 3087.3  | G10                             |
| 18                           | 26.61               | -21.38             | -10.21             | 2782.3  | G11                             |
| 16                           | 22.04               | 22.03              | 0.47               | 3608.5  | G12                             |
| 21                           | 39.64               | -2.45              | 25.50              | 3840.3  | G13                             |
| 17                           | 22.67               | -0.24              | 14.61              | 3277.5  | G14                             |
| 22                           | 40.89               | -1.92              | 26.32              | 3432.0  | G15                             |
| 20                           | 38.57               | 8.88               | -24.19             | 3600.8  | G16                             |
| 19                           | 30.14               | -3.10              | -19.32             | 3576.8  | G17                             |
| 4                            | 8.03                | 7.60               | 1.68               | 3479.5  | G18                             |
| 11                           | 14.52               | 5.3                | -8.71              | 3135.5  | G19                             |
| 15                           | 20.49               | -10.47             | -11.35             | 3049.8  | G20                             |
| 12                           | 15.37               | -8.26              | -8.35              | 2843.3  | G21                             |
| 7                            | 11.51               | -0.85              | -7.40              | 3116.0  | G22                             |
|                              | 18.4                |                    |                    | 3342.8  | میانگین کل<br>Total average     |



شکل ۱- نمودار دوبعدی میانگین عملکرد دانه لاین‌های کلزا، محیط‌ها و مقادیر ASV آن‌ها (AMMI1).

Fig. 1. Biplot of mean grain yield of rapeseed lines, environments and values of their ASV (AMMI1).

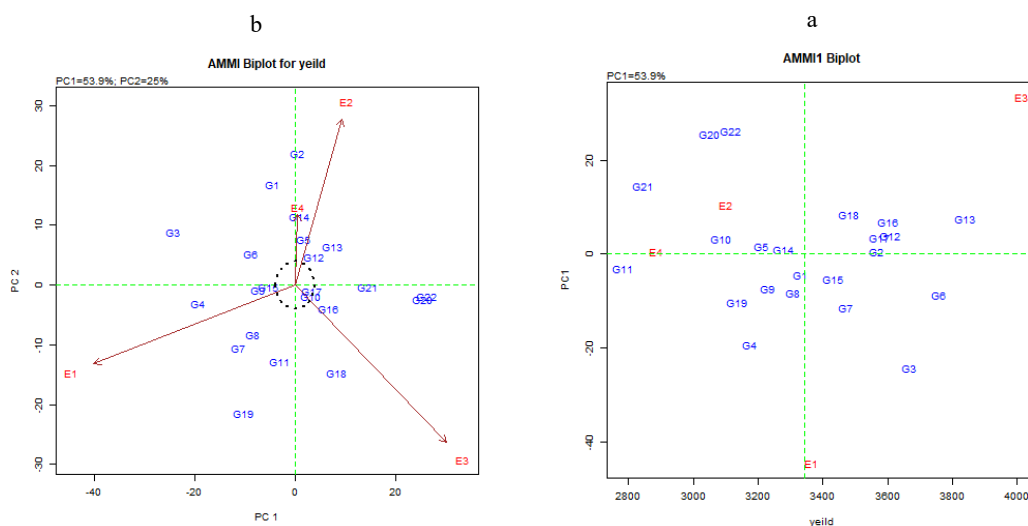
همبستگی دو محیط را نشان می‌دهد. هرچه زاویه بین دو محیط کم‌تر باشد، دو محیط همبستگی بالاتری داشته و نقش مشابهی در گزینش ژنوتیپ‌ها خواهد داشت. محیط‌های E2 (اصفهان) و E4 (زرقان فارس) همبستگی مثبت و بسیار بالایی با یکدیگر داشتند. از طرفی طول بردار محیط بلندتر، نشان‌دهنده انحراف معیار بیشتر و در نتیجه قابلیت تمایز بیشتری است (۳۱). بر این اساس، کرج و کرمانشاه بلندترین طول بردار محیطی نسبت به سایر مناطق داشته و از قابلیت تمایز بالایی برخوردار است و محیط‌های اصفهان و زرگان به ترتیب با کم‌ترین طول بردار محیطی نشان از قابلیت تمایز پایینی این محیط‌ها می‌باشد. با توجه به بای پلات شکل 2b، لاین G3 به عنوان لاین برتر و سازگاری خصوصی در منطقه کرج داشته و در سایر مناطق نیز لاین G2 در زرگان فارس، لاین G22 در اصفهان و لاین G19 در کرمانشاه مشخص شد. همچنین ژنوتیپ‌های G12، G15، G17، G10، کم‌ترین فاصله را نسبت به مبداء مختصات داشته و بنابراین واکنش زیادی به محیط‌های مختلف نشان

براساس شکل 2a، بای پلات متوسط عملکرد لاین‌های کلزا و مقادیر IPCA1، ژنوتیپ‌های G2، G1، G10، G17، G5، G14 دارای مقادیر IPCA1 نزدیک به صفر بوده و از پایداری عملکرد دانه و سازگاری عمومی خوبی برخوردار بودند. در حالی‌که ژنوتیپ‌های G4، G3، G20، G22 دارای بیش‌ترین مقدار مثبت و منفی IPCA1 بوده و به عنوان ژنوتیپ‌های ناپایدار شناسایی شدند. براساس نتایج بای پلات متوسط عملکرد محیط‌های آزمایشی و IPCA1، محیط E4 (زرقان فارس) و E2 (اصفهان) دارای کم‌ترین مقدار IPCA1 بوده و بنابراین از پایداری عملکرد بیش‌تری برای ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند. در حالی‌که دو محیط دیگر E1 و E3 (کرج و کرمانشاه) دارای مقادیر بالای IPCA1 بوده و به عنوان محیط‌های ناپایدار برای ژنوتیپ‌ها تلقی شدند. پراکندگی محیط‌ها در این نمودار نیز نشان‌دهنده تفاوت محیط‌ها از لحاظ پایداری و یا ثبات عملکرد آن‌ها بوده است.

در شکل 2b، محیط‌ها به صورت بردار و پراکندگی ژنوتیپ‌ها نشان داده شده است. زاویه بین دو بردار

محیط در گندم دوروم در مناطق گرم و خشک کشور، دو محیط بزرگ شناسایی و در هر محیط، مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها را معرفی نمودند (۳۱).

نداده و دارای اثر متقابل هستند و بنابراین به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته می‌شوند. نجفی میرک و همکاران در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در



شکل ۲- a. نمودار دوبعدی میانگین عملکرد دانه لاین‌های کلزا، محیط‌ها و مقادیر اولین مؤلفه اصلی آن‌ها (AMMI1).

Fig. 2a. Biplot of mean grain yield of rapeseed lines, environments and values of their first main principal component (AMMI1).

شکل ۲- b. نمودار دوبعدی مدل امی برای ۲۲ ژنوتیپ کلزا در ۴ محیط.

Fig. 2b. Biplot of Ammi model for 22 rapeseed genotypes in four environments.

مطالعات برای گزینش ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار استفاده شده‌اند (۱۲ و ۳۱). اگر شیب خط رگرسیون ژنوتیپی، با عدد یک اختلاف معنی‌داری نداشته و کم‌ترین میزان انحراف ( $s^2d_i$ ) را داشته باشد، آن ژنوتیپ به عنوان ژنوتیپ پایدار شناخته می‌شود. بر این اساس، لاین‌های G15, G9, G19, G21 و G6 دارای شیب خط رگرسیون برابر و نزدیک به یک بوده و آماره  $s^2d_i$  ژنوتیپ‌های G16, G14, G17, G9, G10, G8 و G7 دارای کم‌ترین مقدار بود. بر اساس دو آماره شیب خط رگرسیون (b) و انحراف از خط رگرسیون ( $s^2d_i$ ) G9 و G21 به عنوان لاین‌های پایدار شناسایی شدند.

در آماره  $S^{(1)}$  و  $S^{(2)}$  لاین‌های G11, G10, G14, G13 به عنوان لاین پایدار شناسایی شدند و در آماره

میانگین عملکرد دانه و سایر مقادیر مربوط به هر یک از آماره‌های پایداری، به همراه رتبه آن‌ها برای لاین‌های موتانت کلزا در جدول‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. از نظر عملکرد دانه، لاین‌های G13 (Z-900-4) و به دنبال آن G6 (Z-900-7) و G3 (Z-800-6) با میانگین ۳۷۵۷، ۳۸۴۰ و ۳۶۶۵ کیلوگرم در هکتار نسبت به سایر لاین‌ها برتر بودند. همچنین این لاین‌ها از رقم مادری خود نیز برتر بودند. بر اساس آماره پایداری شوکلا ( $\sigma^2_i$ ) و اکووالانس ریک ( $W_i^2$ ) لاین‌های G17 (Exp-800-1)، G9 (Z-900-10)، G14 (T-900-5) و G16 (Express) نسبت به سایر لاین‌ها پایدارتر بودند.

دو آماره پایداری شیب خط رگرسیون (b) و انحراف از خط رگرسیون ( $s^2d_i$ )، در بسیاری از

$W_1^2, \sigma_i^2, S^2d_i$  همبستگی مثبت و معنی‌دار به‌دست آمد و بین آماره‌های  $S^{(3)}, NP^{(2)}, S^{(6)}, NP^{(3)}$  همبستگی منفی و معنی‌داری بود (۱۱).

همان‌طور که نتایج در جدول‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهد هر یک از آماره‌های پایداری نتایج متفاوتی را نشان داده‌اند از این رو برای گزینش لاین برتر از نظر همه پارامترها و عملکرد مناسب از میانگین رتبه و انحراف معیار رتبه آماره‌ها استفاده شد. در شکل ۴، ژنوتیپ‌هایی که کم‌ترین مقدار میانگین رتبه آماره‌های پایداری (Ar) و انحراف معیار رتبه‌ها (SD) و بالاترین میزان میانگین عملکرد را در طی دو سال و در مکان‌های مختلف داشته باشند به عنوان پایدارترین لاین در نظر گرفته می‌شود. در بررسی هر یک از موتانت‌ها با والد خود، در رقم زرفام، لاین‌های موتانت  $G2 (Z-800-3)$ ،  $G6 (Z-900-7)$  و  $G8 (Z-900-9)$  به عنوان لاین پایدار شناسایی شده و عملکرد بالاتری نسبت به رقم والد زرفام نشان دادند. در رقم طلایه نیز لاین‌های  $G12 (T-800-6)$  و  $G13 (T-900-4)$  پایداری و عملکرد بهتری نسبت به رقم والد طلایه نشان دادند. در رقم اکسپرس لاین‌های موتانت عملکرد بالاتر از رقم شاهد نشان ندادند و تنها لاین  $G17 (Exp-800-1)$  از لحاظ عملکرد و پایداری شبیه والد مادر خود بود. به طور کلی در بررسی همه لاین‌ها با شاهد منطقه نیز لاین‌های  $G2, G6, G12$ ،  $G8$  و  $G15$  به‌عنوان لاین‌های برتر شناسایی شدند (جدول ۶). با توجه به نمودار سه‌بعدی (شکل ۴) نتایج نشان داد لاین‌های  $G6 (Z-900-7)$ ،  $G2 (Z-800-3)$ ،  $G12 (T-800-6)$  و  $G15 (T-1200-1)$  کم‌ترین مقدار میانگین رتبه آماره‌های پایداری (Ar) و انحراف معیار رتبه‌ها (SD) و عملکرد بالاتر از متوسط میانگین و شاهد منطقه اکاپی، احمدی و نپتون داشته و به عنوان لاین‌های پایدار شناسایی شدند (۶).

$S^{(3)}$  به ترتیب لاین‌های  $G13, G13, G14, G15$  و در  $S^{(6)}$  لاین‌های  $G6, G13, G17, G16$  از پایداری بالایی برخوردار بودند. در آماره ناپارامتری (NP) نیز در دو آماره اول  $NP^{(1)}$  و  $NP^{(2)}$  لاین‌های  $G14, G17, G10, G9$  به عنوان لاین‌های پایدار معرفی شدند و لاین‌های  $G3, G6, G17, G16$  در آماره  $NP^{(3)}$  و لاین‌های  $G13, G16, G6, G17$  در آماره  $NP^{(4)}$  شناسایی شدند. در این آماره (NP) لاین‌های  $G17$  و  $G16$  مشترک بودند. آماره‌های کانگ (KR) لاین‌های  $G13, G16, G17, G6$  و در آماره  $\theta_{(i)}$  لاین‌های  $G17, G9, G14, G16$  به عنوان لاین‌های پایدار شناسایی شدند و در آماره پلستید و پترسون ( $\theta_i$ )، ژنوتیپ‌های  $G3, G22, G19, G4$  و  $G19, G22, G3$  به‌عنوان لاین‌های پایدار معرفی شد. پژوهش‌گران از روش‌های پایداری در محصولات زراعی مختلف استفاده کرده و رقم‌های پایدار و مناسب در مناطق مختلف را معرفی کردند (۱۱، ۱۳، ۱۶ و ۳۱).

از ضریب همبستگی پیرسون به منظور بررسی روابط بین آماره‌های پایداری مورد بررسی استفاده شد که نتایج آن در شکل ۳ نشان داده شده است. در این شکل، ضرایب همبستگی با رنگ‌های مختلف نشان داده شده است. رنگ قرمز تا سفید و آبی تا سفید به ترتیب نشان‌دهنده همبستگی مثبت و منفی می‌باشد. در این بررسی آماره‌های KR،  $NP^{(2-4)}$  و  $S^{(1-6)}$  با عملکرد همبستگی مثبت و معنی‌دار مشاهده شد. همبستگی بین آماره‌های  $S^{(1-6)}$ ،  $NP^{(1-4)}$ ،  $W_1^2$ ،  $\sigma_i^2$ ،  $CV_i$ ،  $S^2d_i$ ،  $bi$ ،  $KR$ ،  $\theta_{(i)}$  مثبت و معنی‌دار بود و رابطه منفی و معنی‌دار بین  $ASV$  و  $\theta_i$  با سایر آماره‌ها مشاهده شد.

بررسی انجام شده بر روی پایداری عملکرد ۱۷ ژنوتیپ و سه شاهد گندم در مناطق شور کشور نشان داد که بین آماره‌های  $S^{(1-6)}$  و  $NP^{(4)}$  همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. همچنین بین آماره‌های

جدول ۵- میانگین عملکرد دانه (تن در هکتار) و آماره‌های پارامتری و ناپارامتری پایداری ۲۲ ژنوتیپ کلزای موتانت زمستانه.

Table 5. Mean grain yield and parametric and non-parametric stability statistics of the 22 winter mutant rapeseed genotypes.

| KR | $\theta_i$ | $\theta_{(i)}$ | CVi   | $b_i$ | $S^2 d_i$ | $\sigma^2_i$ | $W_i^2$    | NP <sup>(1)</sup> | NP <sup>(2)</sup> | NP <sup>(3)</sup> | NP <sup>(4)</sup> | NP <sup>(5)</sup> | S <sup>(6)</sup> | S <sup>(7)</sup> | S <sup>(8)</sup> | S <sup>(9)</sup> | S <sup>(10)</sup> | Mean | شماره ژنوتیپ |
|----|------------|----------------|-------|-------|-----------|--------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------|--------------|
| 25 | 481491.29  | 444912.98      | 21.92 | 0.55  | 341349.88 | 495708.51    | 3296806.53 | 0.71              | 0.55              | 0.45              | 5.38              | 3.79              | 28.03            | 47.55            | 8.39             | 3330.9           | G1                |      |              |
| 20 | 467585.46  | 446303.56      | 22.69 | 0.66  | 372946.90 | 466506.26    | 3110974.07 | 0.57              | 0.48              | 0.43              | 5.13              | 3.41              | 20.43            | 36.84            | 7.25             | 3565.3           | G2                |      |              |
| 25 | 774500.98  | 415612.01      | 26.00 | 0.40  | 804092.38 | 1111028.85   | 7212481.47 | 0.66              | 0.59              | 0.45              | 7.75              | 3.85              | 28.30            | 54.57            | 8.86             | 3665.5           | G3                |      |              |
| 35 | 597600.70  | 433302.03      | 26.45 | 0.51  | 539696.44 | 739538.28    | 4848450.54 | 0.79              | 0.64              | 0.43              | 5.50              | 4.76              | 36.76            | 59.07            | 8.93             | 3174.5           | G4                |      |              |
| 31 | 526917.28  | 440370.38      | 22.48 | 0.47  | 379672.21 | 591103.09    | 3903863.01 | 0.77              | 0.61              | 0.67              | 6.38              | 4.36              | 32.36            | 50.86            | 8.43             | 3211.8           | G5                |      |              |
| 12 | 400618.80  | 453000.22      | 26.79 | 1.05  | 315178.61 | 325876.28    | 2216056.01 | 0.47              | 0.38              | 0.42              | 4.63              | 2.45              | 18.70            | 40.41            | 7.18             | 3757.2           | G6                |      |              |
| 26 | 535105.76  | 439551.53      | 35.05 | 1.21  | 544696.19 | 608298.90    | 4013290.89 | 0.83              | 0.65              | 0.49              | 7.13              | 4.71              | 41.85            | 73.98            | 10.25            | 3471.2           | G7                |      |              |
| 17 | 342761.70  | 458785.93      | 25.38 | 0.89  | 198600.09 | 204376.37    | 1442874.78 | 0.58              | 0.50              | 0.45              | 5.13              | 3.38              | 19.51            | 31.36            | 6.50             | 3306.9           | G8                |      |              |
| 16 | 321074.96  | 460954.61      | 28.46 | 1.03  | 163993.34 | 158834.23    | 1153061.12 | 0.65              | 0.55              | 0.38              | 4.38              | 3.23              | 21.81            | 31.55            | 6.61             | 3228.7           | G9                |      |              |
| 26 | 356176.75  | 457444.43      | 35.08 | 1.24  | 195340.11 | 232547.97    | 1622148.61 | 0.66              | 0.64              | 0.62              | 4.00              | 3.57              | 17.83            | 20.70            | 5.39             | 3087.3           | G10               |      |              |
| 33 | 405024.50  | 452559.65      | 33.09 | 0.91  | 319893.15 | 335128.26    | 2274932.22 | 0.80              | 0.98              | 1.00              | 5.50              | 4.87              | 22.62            | 21.41            | 5.32             | 2782.5           | G11               |      |              |
| 16 | 443293.15  | 448732.79      | 30.22 | 1.12  | 388680.07 | 415492.41    | 2786340.47 | 0.54              | 0.48              | 0.42              | 5.88              | 3.11              | 18.96            | 36.57            | 7.29             | 3608.6           | G12               |      |              |
| 10 | 378473.17  | 455214.79      | 29.09 | 1.26  | 229700.24 | 279370.46    | 1920109.88 | 0.34              | 0.40              | 0.40              | 6.00              | 1.85              | 9.45             | 21.93            | 5.57             | 3840.0           | G13               |      |              |
| 16 | 321888.43  | 460873.26      | 19.93 | 0.70  | 110712.59 | 160542.51    | 1163932.03 | 0.49              | 0.41              | 0.28              | 3.63              | 2.91              | 13.82            | 21.71            | 5.43             | 3277.8           | G14               |      |              |
| 18 | 366964.51  | 456365.65      | 26.90 | 0.97  | 251806.47 | 255202.27    | 1766312.32 | 0.52              | 0.43              | 0.39              | 4.88              | 2.99              | 16.15            | 28.55            | 6.39             | 3432.3           | G15               |      |              |
| 9  | 338541.83  | 459207.92      | 32.43 | 1.42  | 88316.49  | 195514.64    | 1386481.95 | 0.42              | 0.40              | 0.34              | 4.75              | 2.52              | 12.75            | 25.27            | 5.89             | 3600.6           | G16               |      |              |
| 7  | 305822.18  | 462479.89      | 26.76 | 1.11  | 127457.13 | 126803.39    | 949228.52  | 0.49              | 0.38              | 0.34              | 3.88              | 2.51              | 16.98            | 33.36            | 6.79             | 3576.7           | G17               |      |              |
| 23 | 482081.32  | 444853.97      | 38.91 | 1.57  | 266244.47 | 496947.57    | 3304691.49 | 0.78              | 0.59              | 0.56              | 6.13              | 4.13              | 34.09            | 57.84            | 9.25             | 3479.5           | G18               |      |              |
| 37 | 617889.23  | 431273.18      | 37.30 | 1.00  | 731368.37 | 782144.18    | 5119579.01 | 0.92              | 0.69              | 0.77              | 4.63              | 4.89              | 39.11            | 50.29            | 8.29             | 3135.6           | G19               |      |              |
| 38 | 570331.90  | 436028.91      | 42.12 | 1.29  | 586005.76 | 682273.79    | 4484040.14 | 0.93              | 0.73              | 0.74              | 6.00              | 5.00              | 41.60            | 59.43            | 9.29             | 3050.0           | G20               |      |              |
| 27 | 349486.98  | 458113.41      | 33.63 | 1.05  | 217616.93 | 218499.46    | 1532748.98 | 0.81              | 0.84              | 0.77              | 4.88              | 4.29              | 22.29            | 22.29            | 5.64             | 2843.3           | G21               |      |              |
| 39 | 701222.15  | 422939.89      | 48.18 | 1.57  | 683373.38 | 957143.31    | 6233209.84 | 0.77              | 0.64              | 0.51              | 5.50              | 3.95              | 29.29            | 43.41            | 7.96             | 3116.0           | G22               |      |              |

عملکرد دانه: Y; آماره‌های پایداری: S<sup>(1-6)</sup>; آماره‌های پایداری تناژ: NP<sup>(1-4)</sup>; آماره‌های پایداری تناژ: W<sup>2</sup>; اگروالاس ریگ:  $\theta_i$ ; واریانس پایداری شوکال:  $\theta_{(i)}$ ; انحراف از خط رگرسیون: CVi; ضریب تغییرات:  $\theta(i)$  واریانس اثر متقابل

ژنوتیپ و محیط:  $\theta_i$ ; میانگین واریانس‌ها: ASV; آماره ارزش پایداری: KR; مجموع رتبه‌ها: SR; جمع رتبه‌ها: ASR; میانگین رتبه‌ها و SD: واریانس رتبه‌ها  
 Y, grain yield; S (1-6), Nassar and Huehn's stability statistics; NP<sup>(1-4)</sup>, Themararu's stability statistics; W<sup>2</sup>, Wricke's ecovariance;  $\sigma^2_i$ , Shukla's stability variance; bi, regression coefficient; S<sup>2</sup>d<sub>i</sub>, deviation from regression; CVi, coefficient of variance;  $\theta_{(i)}$ , GE variance component;  $\theta_i$ , mean variance component; ASV, AMMI's stability values; KR Kang's sum of ranks; SR, sum of ranks ASR, average of sum of ranks; SD, standard deviation

جدول ۶- رتبه ۲۲ ژنوتیپ کلزا موتانت زمستانه براساس میانگین عملکرد دانه و آماره‌های پارامتری و ناپارامتری پایداری.

Table 6. The ranks of the 22 mutant rapeseed genotypes based on the grain yield and parametric and nonparametric stability statistics.

| شماره ژنوتیپ | SD   | AR   | SR  | ASV | $\theta_1$ | $\theta_{(0)}$ | KR | CVi | $b_i$ | $s^2 d_i$ | $\sigma^2_i$ | $W_i^2$ | $Np^{(4)}$ | $Np^{(3)}$ | $Np^{(2)}$ | $Np^{(1)}$ | $S^{(6)}$ | $S^{(5)}$ | $S^{(2)}$ | $S^{(1)}$ | Y  | شماره ژنوتیپ |
|--------------|------|------|-----|-----|------------|----------------|----|-----|-------|-----------|--------------|---------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----|--------------|
| G1           | 3.22 | 12.4 | 224 | 13  | 9          | 14             | 12 | 2   | 17    | 13        | 14           | 14      | 13         | 11         | 12         | 12         | 12        | 14        | 15        | 16        | 11 | G1           |
| G2           | 3.38 | 10.0 | 180 | 2   | 10         | 13             | 10 | 4   | 15    | 14        | 13           | 13      | 8          | 8          | 9          | 10         | 10        | 10        | 12        | 12        | 7  | G2           |
| G3           | 6.88 | 14.6 | 263 | 10  | 1          | 22             | 12 | 6   | 22    | 22        | 22           | 22      | 11         | 13         | 11         | 22         | 13        | 15        | 18        | 18        | 3  | G3           |
| G4           | 5.57 | 15.3 | 276 | 3   | 4          | 19             | 19 | 7   | 20    | 17        | 19           | 19      | 17         | 16         | 10         | 13         | 19        | 19        | 20        | 19        | 16 | G4           |
| G5           | 4.47 | 14.9 | 269 | 9   | 7          | 16             | 17 | 3   | 21    | 15        | 16           | 16      | 14         | 14         | 18         | 20         | 17        | 17        | 17        | 17        | 15 | G5           |
| G6           | 3.82 | 7.3  | 131 | 8   | 13         | 10             | 4  | 9   | 4     | 11        | 10           | 10      | 3          | 2          | 7          | 5          | 2         | 7         | 13        | 11        | 2  | G6           |
| G7           | 5.31 | 15.9 | 287 | 5   | 6          | 17             | 14 | 17  | 10    | 18        | 17           | 17      | 20         | 18         | 14         | 21         | 18        | 22        | 22        | 22        | 9  | G7           |
| G8           | 3.33 | 8.6  | 154 | 6   | 18         | 5              | 8  | 5   | 9     | 6         | 5            | 5       | 9          | 9          | 13         | 10         | 9         | 9         | 8         | 8         | 12 | G8           |
| G9           | 5.26 | 7.2  | 129 | 1   | 21         | 2              | 5  | 11  | 2     | 4         | 2            | 2       | 10         | 10         | 4          | 4          | 8         | 11        | 9         | 9         | 14 | G9           |
| G10          | 5.71 | 10.3 | 185 | 14  | 16         | 7              | 14 | 18  | 11    | 5         | 7            | 7       | 12         | 15         | 17         | 3          | 11        | 6         | 1         | 2         | 19 | G10          |
| G11          | 6.30 | 13.8 | 248 | 18  | 12         | 11             | 18 | 15  | 7     | 12        | 11           | 11      | 18         | 22         | 22         | 13         | 20        | 13        | 2         | 1         | 22 | G11          |
| G12          | 3.74 | 10.3 | 186 | 16  | 11         | 12             | 5  | 13  | 8     | 16        | 12           | 12      | 7          | 7          | 8          | 16         | 7         | 8         | 11        | 13        | 4  | G12          |
| G13          | 5.93 | 7.5  | 135 | 21  | 14         | 9              | 3  | 12  | 12    | 8         | 9            | 9       | 1          | 3          | 6          | 17         | 1         | 1         | 4         | 4         | 1  | G13          |
| G14          | 5.85 | 5.9  | 106 | 17  | 20         | 3              | 5  | 1   | 14    | 2         | 3            | 3       | 4          | 5          | 1          | 1          | 5         | 3         | 3         | 3         | 13 | G14          |
| G15          | 4.31 | 8.4  | 151 | 22  | 15         | 8              | 9  | 10  | 3     | 9         | 8            | 8       | 6          | 6          | 5          | 8          | 6         | 4         | 7         | 7         | 10 | G15          |
| G16          | 6.04 | 6.8  | 123 | 20  | 19         | 4              | 2  | 14  | 16    | 1         | 4            | 4       | 2          | 4          | 3          | 7          | 4         | 2         | 6         | 6         | 5  | G16          |
| G17          | 6.14 | 5.8  | 105 | 19  | 22         | 1              | 1  | 8   | 6     | 3         | 1            | 1       | 4          | 1          | 2          | 2          | 3         | 5         | 10        | 10        | 6  | G17          |
| G18          | 4.68 | 14.4 | 260 | 4   | 8          | 15             | 11 | 20  | 19    | 10        | 15           | 15      | 16         | 12         | 16         | 19         | 15        | 18        | 19        | 20        | 8  | G18          |
| G19          | 6.56 | 16.1 | 289 | 11  | 3          | 20             | 20 | 19  | 1     | 21        | 20           | 20      | 21         | 19         | 20         | 5          | 21        | 20        | 16        | 15        | 17 | G19          |
| G20          | 4.12 | 18.4 | 331 | 15  | 5          | 18             | 21 | 21  | 13    | 19        | 18           | 18      | 22         | 20         | 19         | 17         | 22        | 21        | 21        | 21        | 20 | G20          |
| G21          | 6.23 | 12.2 | 219 | 12  | 17         | 6              | 16 | 16  | 5     | 7         | 6            | 6       | 19         | 21         | 21         | 8          | 16        | 12        | 5         | 5         | 21 | G21          |
| G22          | 5.27 | 16.1 | 290 | 7   | 2          | 21             | 22 | 22  | 18    | 20        | 21           | 21      | 15         | 17         | 15         | 13         | 14        | 16        | 14        | 14        | 18 | G22          |

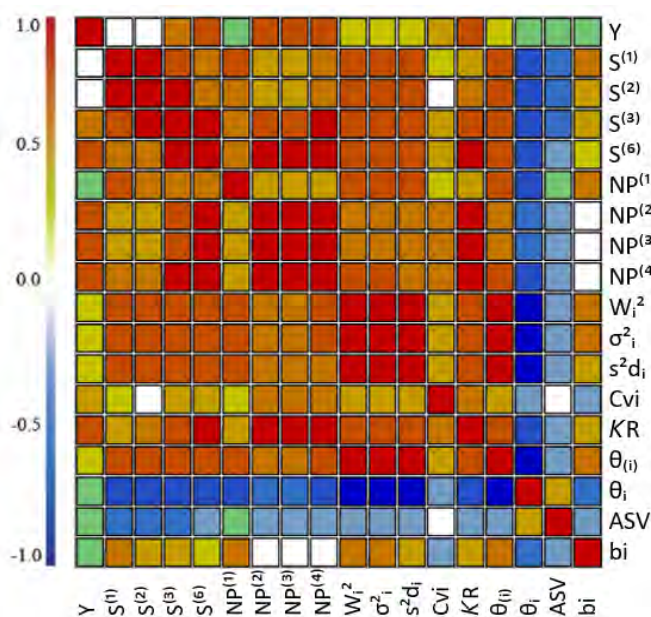
Y: عملکرد دانه،  $S^{(1-6)}$ : آماره‌های پایداری نصار و هان،  $NP^{(1-4)}$ : آماره‌های پایداری تنازرو،  $W^2$ : آکولاس ریک،  $\sigma^2_i$ : جمع رتبه‌ها،  $ASV$ : میانگین رتبه‌ها و  $SD$ : واریانس رتبه‌ها  
 ژنوتیپ و محیط،  $\theta_1$ : میانگین واریانس هاپلوسیت،  $ASV$ : آماره ارزش پایداری امی،  $KR$ : مجموع رتبه کانگ،  $SR$ : جمع رتبه‌ها،  $ASV$ : میانگین رتبه‌ها و  $SD$ : واریانس رتبه‌ها  
 Y, grain yield; S (1–6), Nassar and Huehn's stability statistics; NP (1–4), Themmarasu's stability statistics;  $W^2$ , Wricke's ecovalence;  $\sigma^2_i$ , Shukla's stability variance; bi, regression coefficient;  $S^2 d_i$ , deviation from regression; CVi, coefficient of variance;  $\theta_{(0)}$ , GE variance component;  $\theta_1$ , mean variance component; ASV, AMMI's stability values; KR, Kang's sum of ranks; SR, sum of ranks ASR, average of sum of ranks; SD, standard deviation



### نتیجه‌گیری نهایی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بین لاین‌های موتانت ارزیابی شده از نظر عملکرد دانه، تنوع ژنتیکی بالایی وجود دارد. از نظر عملکرد دانه، لاین‌های G13 (T-900-4) و به دنبال آن G6 (Z-900-7) و G3 (Z-800-6) با میانگین ۳۸۴۰، ۳۷۵۷ و ۳۶۶۵ کیلوگرم در هکتار نسبت به سایر لاین‌ها برتر بودند (جدول ۴). در نمودار دویبعدی عملکرد دانه لاین‌های موتانت کلزا با آماره ارزش پایداری (ASV) لاین‌های G3، G6، G2 و G18 و بیش‌ترین میزان عملکرد و کم‌ترین میزان آماره (ASV) را به خود اختصاص داده است که به عنوان لاین‌های پایدار مشخص شده است (شکل ۱). در

نمودار امی (شکل b2) هم‌چنین ژنوتیپ‌های G15، کم‌ترین فاصله را نسبت به مبدا مختصات داشته و بنابراین واکنش زیادی به محیط‌های مختلف نشان نمی‌دهند و بنابراین به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته می‌شود. در پایان نتایج به دست آمده از نمودار سه‌بعدی میانگین رتبه آماره‌های پایداری (Ar) و انحراف معیار رتبه‌ها (SD) و میانگین عملکرد طی دو سال و در مکان‌های مختلف نشان داد که لاین‌های G6 (Z-900-7)، G2 (Z-800-3)، G12 (T-800-6) و G15 (T-1200-1) عملکرد بالاتر از متوسط میانگین و شاهد منطقه اکاپی، احمدی و نپتون داشته و به عنوان لاین‌های پایدار شناسایی شدند (شکل ۴).



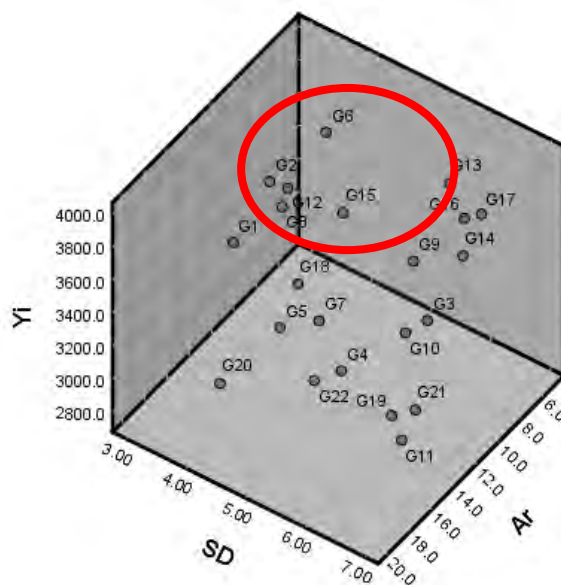
شکل ۳- نمایش گرافیکی ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و آماره‌های پایداری پارامتری و ناپارامتری پایداری در ۲۲ لاین زمستانه کلزا در ۴ منطقه طی دو سال. Y: عملکرد دانه، S<sup>(1-6)</sup>: آماره‌های پایداری نصار و هان، NP<sup>(1-4)</sup>: آماره‌های پایداری تنازرو، W<sub>1</sub><sup>2</sup>: اکووالانس ریک، σ<sub>i</sub><sup>2</sup>: واریانس پایداری شوکلا، bi: ضریب رگرسیون، S<sup>2</sup>d<sub>i</sub>: انحراف از خط رگرسیون، CV: ضریب تغییرات، θ<sub>(i)</sub> واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، θ<sub>i</sub>: میانگین واریانس‌هاپلستید، ASV: آماره ارزش پایداری امی، KR: مجموع رتبه کانگ، SR: جمع رتبه‌ها، ASR: میانگین رتبه‌ها و SD: واریانس رتبه‌ها.

**Fig. 3. Graphical view of correlation coefficients between grain yield and parametric and non-parametric stability statistics in the 22 winter rapeseed lines.** Y, grain yield; S<sup>(1-6)</sup>, Nassar and Huehn's and Huehn's stability statistics; NP<sup>(1-4)</sup>, Thennarasu's stability statistics; W<sub>1</sub><sup>2</sup>, Wricke's ecovalence; σ<sub>i</sub><sup>2</sup>, Shukla's stability variance; bi, regression coefficient; S<sup>2</sup>d<sub>i</sub>, deviation from regression; CV, coefficient of variance; θ<sub>(i)</sub>, GE variance component; θ<sub>i</sub>, mean variance component; ASV, AMMI's stability values; KR Kang's sum of ranks; SR, sum of ranks ASR, average of sum of ranks; SD, standard deviation.

### سپاسگزاری

این پژوهش با مساعدت دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران و مؤسسه تحقیقات اصلاح

و تهیه نهال و بذر کرج انجام شده است که بدین وسیله نویسندگان کمال تشکر را دارند.



شکل ۴- نمودار سه بعدی عملکرد (Yi) و میانگین رتبه آماره‌های پایداری (Ar) در مقابل انحراف معیار رتبه‌ها (SD) لاین‌های موتانت زمستانه کلزا مورد بررسی.

Fig. 4. Three-dimensional diagrams of yield (Yi) and average rank of stability statistics (Ar) versus standard deviation of rankings (SD) studied rapeseed winter mutant lines.

### منابع

1. Rouhi, M., Banayan Aval, M. and Shirani Rad, A.H. 2021. Study of ecophysiology of reaction of wintering rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars to end of season drought stress in delayed culture. environmental. Env. Stresses Crop Sci. 14: 1. 13-26. (In Persian)
2. Ahmadi, M., Omidi, M., Alizadeh, B. and Shah Nejat Bushehri, A.A. 2019. Study of advanced mutant rapeseed lines in cold regions of Iran. J. Agric. Sci. Technol. 29: 4. 175-184. (In Persian)
3. Akcura, M., Kaya, Y., Taner, S. and Ayranci, R. 2006. Parametric stability analyses for grain yield of durum wheat. Plant Soil Environ. 52: 254-261.
4. Becker, H.C. and Leon, J. 1988. Stability analysis in plant breeding. Plant Breed. 101: 1-23.
5. Kang, M.S. and Gauch, H.G. 1996. Genotype-by-Environment Interaction. CRC press, Boca Raton, FL. Ali, N., F. Javidfar and A.A. Attary. 2002. Stability analysis of seed yield in winter type rapeseed (*Brassica napus*) varieties. Pak. J. Bot. 34: 151-155.
6. Alizadeh, B., Rezaizad, A., Yazdandoost Hamedani, M., Shiresmaeli, G.h., Nasserghadimi, F., Khademhamzeh, H.R. and Gholizadeh, A. 2020. Evaluation of Seed Yield Stability of Winter Rapeseed (*Brassica napus* L.) Genotypes using Non-Parametric Methods. J. Crop. Breed. 12: 35. 202-212. (In Persian)
7. Moghaddaszadeh, M., Asghari Zakaria, R., Hassanpanah, D. and Zare, N. 2019. Nonparametric stability analysis of tuber yield in potato (*Solanum tuberosum* L.) genotype. J. Crop. Breed. 28: 50-63. (In Persian)
8. Albert, J.A. 2004. A comparison of statistical methods to describe

- genotype×environment interaction and yield stability in multi-location maize trials. Free State University, Bloemfontein, M.Sc. Dissertation.
9. Mokhtarifar, Kh., Abdolshahi, R. and Pour Seyyedy, S. 2016. Yield Stability Analysis of Eight Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars in Kerman Province Condition. J. Crop. Breed. 8: 17. 96-103. (In Persian)
  10. Purchase, J.L., Hatting, H. and Vandeventer. C.S. 2000. Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. S. Afr. J. Plant Soil, 17: 101-107.
  11. Amini, A., Tabatabaee, M.T., Akbari Mogadam, H., Ravari, Z., Amin Azarm, D. and Tajali, H. 2021. Evaluation of grain yield and its stability in bread wheat genotypes in saline regions of Iran. Int. J. Fron. Crop. Sci. 51: 4. 191-202.
  12. Alizadeh, B., Rezaizad, A., Yazdandoost Hamedani, M., Shiresmaeili, Gh., Nasserghadimi, F., Khademhamzeh, H.R. and Gholizadeh, A. 2021. Analysis of Genotype × Environment Interaction for Seed Yield in Winter Rapeseed Cultivars and Lines Using Multivariate Method of Additive Main Effects and Multiplicative Interaction. J. Crop. Proc. Prot. 11: 1. 95-108. (In Persian)
  13. Erdogdu, Y. and Esendal, E. 2019. Multi-Environment Trial Analysis by Parametric and Non-Parametric Stability Parameters for Seed Yield in Winter Rapeseed (*Brassica napus* L.) Genotypes. Turk. J. Field Crops. 26: 1. 71-78.
  14. Taherian, M., Bihamta, M.R., Peyghambari, S.A., Alizadeh, H. and Rasoulnia, A. 2019. Stability Analysis and Selection of Salinity Tolerant barley Genotypes. J. Crop. Breed. 11: 29. 93-103. (In Persian)
  15. Sharifi, P., Erfani, R., Mohaddesi, A., Abbasian, A., Aminpanah, H., Mohammad Yousefi, M. and Saeeidi, M. 2021. Stability Analysis of Grain Yield of Some of Rice Genotypes by Parametric and Non-parametric Univariate Methods. Crop Prod. 13: 3. 85-106. (In Persian).
  16. Zeinalzadeh-Tabrizi, H., Mansouri, S. and Fallah-Toosi, A. 2022. Evaluation of Seed Yield Stability of Promising Sesame Lines using Different Parametric and Nonparametric Methods. Plant Genet. Res. 8: 1. 43-60. (In Persian)
  17. Liersch, A., Bocianowski, J., Nowosad, K., Mikołajczyk, K., Spasibionek, S., Wielebski, F., Matuszczak, M., Szała, L., Cegielska-Taras, T., Sosnowska, K. and Bartkowiak-Broda, I. 2020. Effect of Genotype × Environment Interaction for Seed Traits in Winter Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). J. Agric. 10: 607. 1-19.
  18. Mozaffari, K. and Ahmadi, M.R. 2010. Breeding rapeseed varieties for early maturity by inducing gamma rays. J. Nucl. Sci. Technol. Project Code: 5/1/1/26. pp. 1-66. (In Persian)
  19. Huhn, M. 1990. Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. Euphytica. 47: 189-1990.
  20. Nassar, R. and Huhn, M. 1987. Studies on estimation of phenotypic stability: tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. Biometrics. 43: 45-53.
  21. Thennarasu, K. 1995. On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. PhD thesis, PJ School, IARI, New Delhi, India.
  22. Wricke, G. 1962. Übereine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. Zeitschrift für Pflanzenzüchtung. 47: 92-96.
  23. Shukla, G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. Heredity. 29: 237-245.
  24. Finlay, K.W. and Wilkinson, G.N. 1963. Adaptation in a plant breeding programme. Aust. J. Agric. Res. 14: 742-754.
  25. Eberhart, S.A.T. and Russell, W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci. 6: 36-40.

26. Francis, T.R. and Kannenberg, L.W. 1978. Yield stability studies in short-season maize: I. A descriptive method for grouping genotypes. *Can. J. Plant Sci.* 58: 1029-1034.
27. Plaisted, R.L. 1960. A shorter method for evaluating the ability of selections to yield consistently over locations. *A. Potato J.* 37: 166-172.
28. Plaisted, R.I. and Peterson, L.C. 1959. A technique for evaluating the ability of selection to yield consistently in different locations or seasons. *A. Potato J.* 36: 381-385.
29. Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Poczai, P. and Siddique, K.H.M. 2019. STABILITYSOFT: a new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits. *Appl. Plant Sci.* 7: 1, e1211.
30. Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M. and Zali, H. 2019. Evaluation of Durum Wheat Cultivars and Promising Lines for Yield and Yield Stability in Warm and Dry Areas using AMMI Model and GGE Biplot. *J. Crop. Breed.* 10: 28. 1-12. (In Persian)
31. Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M. and Zali, H. 2018. Stability Analysis of Grain Yield of Durum Wheat Promising Lines in Warm and Dry Areas Using Parametric and Non-Parametric Methods. *J. Crop. Proc. Prot.* 8: 2. 79-96.

## Effect of sodium nitroprusside (SNP) on morphophysiological characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress

Kolsoum Arshan<sup>1</sup>, Davood Samsampour<sup>\*2</sup>, Hossein Pasalari<sup>3</sup>

1. M.Sc., Dept. of Horticulture Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resource, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. E-mail: [kolsoum.arshan93@gmail.com](mailto:kolsoum.arshan93@gmail.com)
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Horticulture Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resource, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. E-mail: [samsampour@hormozgan.ac.ir](mailto:samsampour@hormozgan.ac.ir)
3. Assistant Prof., Dept. of Agriculture, Production Engineering and Plant Breeding Group, Minab Higher Education Center, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. E-mail: [hpsalary@yahoo.com](mailto:hpsalary@yahoo.com)

### Article Info

**Article type:**  
Full Length Research Paper

**Article history:**  
Received: 05.22.2021  
Revised: 06.19.2021  
Accepted: 09.14.2021

**Keywords:**

Antioxidant,  
Carotenoid,  
Chlorophyll,  
Proline

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Due to the extent of salinity in Iranian soils, the high salinity of water and soil can limit crop quality and productivity. On the other hand, due to the increasing global demand for the use of medicinal plants such as peppermint, today the use of sodium nitroprusside is one of the new strategies to improve and increase the yield of plants in adverse environmental conditions such as water and soil salinity. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effect of sodium nitroprusside (SNP) on the morphophysiological characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress.

**Materials and Methods:** This experiment was performed in the greenhouse of Hormozgan University as a factorial in a completely randomized design with three replications in 1400. In this study, two factors of sodium nitroprusside (0, 0.1, and 0.2 mmol) and salinity levels (0, 25, 50, 75, and 100 mmol) were studied. Rhizomes 4 cm long were selected and planted in pots with a diameter of 20 cm and a height of 18 cm. After plant growth, the leaves were sprayed with 200 ml of sodium nitroprusside solution. Control plants were sprayed using distilled water. Foliar application was performed with an interval of three days at a rate of 10 ml per pot and once every three days. 24 hours after the last foliar application and two months after planting, the plants were treated with salinity. Twenty days after application of stress, plants were harvested and traits were evaluated.

**Results:** The results showed that the presence of 0.2 mM sodium nitroprusside compared to its absence caused a significant increase in leaf length, leaf width, chlorophyll a, b, carotenoid and proline to the extent of (80.60, 65.38, 150.70, 38, 120 and 101.13 percent) in 100 mM salt stress. While it was observed that the use of 0.1 mM sodium nitroprusside decreased ion leakage by 365.90% at 100 mM salinity stress compared to the control.

**Conclusion:** Therefore, according to the results of the present research, it is possible to recommend foliar spraying of sodium nitroprusside to reduce the negative effects of salinity stress in peppermint plants.

Cite this article: Arshan, Kolsoum, Samsampour, Davood, Pasalari, Hossein. 2023. Effect of sodium nitroprusside (SNP) on morphophysiological characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Production*, 30 (1), 85-102.



## اثر سدیم نیتروپروساید (SNP) بر خصوصیات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تنش شوری

کلثوم ارشان<sup>۱</sup>، داود صمصام‌پور\*<sup>۲</sup>، حسین پاسالاری<sup>۳</sup>

۱. کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. رایانامه: [kolsoum.arshan93@gmail.com](mailto:kolsoum.arshan93@gmail.com)
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. رایانامه: [samsampoor@hormozgan.ac.ir](mailto:samsampoor@hormozgan.ac.ir)
۳. استادیار گروه کشاورزی، گروه مهندسی تولید و اصلاح نباتات، مرکز آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. رایانامه: [hpasalary@yahoo.com](mailto:hpasalary@yahoo.com)

| اطلاعات مقاله  | چکیده   |
|--|---|
| <b>نوع مقاله:</b><br>مقاله کامل علمی- پژوهشی                                 | <b>سابقه و هدف:</b> با توجه به میزان گسترده شوری در خاک‌های ایران، میزان بالای شوری آب و خاک می‌تواند کیفیت محصول و بهره‌وری را محدود کند. از سوی دیگر با توجه به افزایش تقاضای جهانی برای استفاده از گیاهان دارویی از جمله نعناع فلفلی، امروزه استفاده از سدیم نیتروپروساید یکی از راهبردهای نوین برای بهبود و افزایش عملکرد گیاهان در شرایط نامطلوب محیطی مانند شوری آب و خاک است. بنابراین، این مطالعه با هدف بررسی اثر سدیم نیتروپروساید (SNP) بر خصوصیات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی نعناع فلفلی ( <i>Mentha piperita</i> L.) تحت تنش شوری اجرا شد.   |
| <b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۰/۰۳/۰۱  | <b>مواد و روش‌ها:</b> این آزمایش در گلخانه دانشگاه هرمزگان به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۰ انجام شد. در این پژوهش دو عامل سدیم نیتروپروساید (۰، ۰/۱، ۰/۲ میلی‌مولار) و سطوح شوری (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار) مورد مطالعه قرار گرفت. ریزوم‌هایی به طول ۴ سانتی‌متر انتخاب شده و در گلدان‌هایی به قطر ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر کاشته شدند. در هر گلدان ۴ ریزوم کاشته شد. پس از رشد گیاه (۸ برگگی)، برگ‌های گیاه با ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول سدیم نیتروپروساید محلول‌پاشی شدند. گیاهان شاهد با استفاده از آب مقطر محلول‌پاشی شدند. عمل محلول‌پاشی ۳ بار در اوایل صبح به میزان ۱۰ میلی‌لیتر به هر گلدان و با فاصله زمانی سه روز انجام شد. ۲۴ ساعت پس از آخرین محلول‌پاشی و دو ماه پس از کاشت، گیاهان تحت تیمار شوری قرار گرفتند. ۲۰ روز پس از اعمال تنش، بوته‌ها برداشت شده و ارزیابی صفات انجام گرفت. |
| <b>واژه‌های کلیدی:</b><br>آنتی‌اکسیدان،<br>پرولین،<br>کاروتنوئید،<br>کلروفیل |   |

---

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که حضور سدیم نیتروپروساید ۰/۲ میلی‌مولار در مقابل عدم حضور آن سبب افزایش معنی‌دار طول برگ، عرض برگ، کلروفیل a، b، کاروتنوئید و پرولین به میزان (۸۰/۶۰، ۶۵/۳۸، ۱۵۰، ۳۸/۷۰ و ۱۲۰ و ۱۰۱/۱۳ درصد) در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار شده است. در حالی که مشاهده شد کاربرد سدیم نیتروپروساید ۰/۱ میلی‌مولار سبب کاهش نشت یونی به میزان ۳۶۵/۹۰ درصد در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در مقایسه با شاهد شده است.

**نتیجه‌گیری:** بنابراین با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر می‌توان محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید را جهت کاهش اثرات منفی تنش شوری در گیاه نعناع فلفلی توصیه نمود.

---

**استناد:** ارشان، کلثوم، صمصام‌پور، داود، پاسالاری، حسین (۱۴۰۲). اثر سدیم نیتروپروساید (SNP) بر خصوصیات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تنش شوری. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۰ (۱)، ۸۵-۱۰۲.

DOI: 10.22069/JOPP.2022.20194.2931



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

گیاهان دارویی و معطر در صنایع غذایی، عطرسازی و داروسازی کاربرد فراوان دارند. مواد مؤثره گیاهان دارویی اگرچه اساساً با هدایت فرآیندهای ژنتیکی ساخته می‌شوند اما سنتز آن‌ها به‌طور بارزی تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد به‌طوری که فاکتورهای مختلف زیستی و غیرزیستی از جمله عوامل مهم تأثیرگذار روی رشد، کمیت و کیفیت متابولیت‌های ثانوی گیاهان دارویی می‌باشند (۱ و ۲).

شوری یکی از تنش‌های محیطی است که موجب بروز اختلالاتی در فرآیندهای حیاتی گیاه مثل جذب و انتقال مواد غذایی، تعرق و فتوسنتز شده و نیز فرآیندهای بیوشیمیایی (بیوسنتز متابولیت‌های اولیه و ثانویه) و فیزیولوژیک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۳). تولید اسانس در گیاهان دارویی و معطر علاوه بر کنترل ژنتیکی، تحت تأثیر عوامل محیطی قرار دارد (۴). همواره رشد و عملکرد گیاهان توسط تنش‌های محیطی زنده و غیرزنده متعدد محدود می‌شود. در بین تنش‌های غیرزنده، تنش شوری در سطح جهان خسارات فراوانی به گیاهان وارد نموده است. مهم‌ترین واکنش گیاه به تنش شوری، کاهش رشد است. تنش شوری مانند بسیاری از تنش‌های دیگر رشد گیاهان را محدود می‌کند. کاهش رشد یک نوع سازگاری برای زنده ماندن گیاه در شرایط تنش است (۵). تأثیر تنش شوری بر رشد گیاه شامل ایجاد تنش اسمزی، سمیت یون‌ها و کمبود مواد مغذی در گیاه است (۶ و ۷). تنش شوری، رشد رویشی و زایشی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و بنابراین موجب کاهش وزن خشک و عملکرد گیاه می‌شود (۸).

ترکیبات طبیعی و مصنوعی متعددی برای تنظیم ویژگی‌های فیزیولوژیک و زیست شیمیایی گیاهان تحت تنش‌های محیطی مختلف وجود دارند. سدیم

نیتروپروساید (SNP) با کاهش تنش شوری از طریق تنظیم ویژگی‌های فیزیولوژیک (محتوای کلروفیل محتوای نسبی آب برگ و نشت الکترولیت) (۹) و بیوشیمیایی (مالون دی‌آلدئید، پرولین، فنول‌ها و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی) گیاهان (۱۰) نقش مهمی در مقابله با تنش شوری ایفا می‌کند. از آنجایی که تاکنون هیچ گزارشی مبنی بر به‌کارگیری سدیم نیتروپروساید در گیاه نعناع فلفلی در شرایط تنشی وجود ندارد بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی تیمار سدیم نیتروپروساید بر رشد، خصوصیات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی بیوشیمیایی گیاه نعناع فلفلی تحت تنش شوری می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار و سه تکرار در گلخانه دانشگاه هرمزگان در سال ۱۴۰۰ انجام شد. به‌منظور کشت، ابتدا ریزوم‌های نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) از مزرعه تحقیقاتی پاکان گیاه در شیراز تهیه شدند.

**عملیات کاشت:** ریزوم‌هایی به‌طول ۴ سانتی‌متر انتخاب شده و در گلدان‌هایی به‌قطر ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر کاشته شدند. بستر کشت هر گلدان مخلوطی از خاک زراعی، ماسه و کود دامی پوسیده به نسبت ۶:۳:۱ بود. برای هر تیمار ۳ گلدان به‌عنوان ۳ تکرار در نظر گرفته شد. در هر گلدان ۴ ریزوم کاشته شد (۱۱).

**روش اندازه‌گیری ظرفیت مزرعه:** مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری با آب شور بر اساس مقدار اختلاف وزن خاک گلدان از وزن مرجع در ۷۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک انجام شد. برای تعیین مقدار آب مورد نیاز آبیاری ابتدا گلدان‌ها وزن شد و سپس از طریق اختلاف وزن اندازه‌گیری شده با وزن گلدان در ظرفیت زراعی و در نظر گرفتن تیمارها، میزان آب لازم برای آزمایش به‌دست آمد (۱۲).



به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور سانتیفریور شد. میزان جذب نور محلول رویی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل UV1100 در طول موج‌های ۴۸۰، ۵۱۰، ۶۴۵، ۶۵۲ و ۶۶۳ نانومتر قرائت گردید (۱۳).

**نشت یونی:** برای تعیین درصد نشت الکترولیت، نیم گرم برگ با آب مقطر شسته شده و در لوله‌های حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شد. لوله‌ها به مدت ۲۴ ساعت در محیط تاریک روی شیکر قرار گرفتند و میزان هدایت الکتریکی اولیه ( $EC_1$ ) با استفاده از دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد (۱۴). نمونه‌ها سپس به مدت ۱۵ دقیقه در اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه و فشار ۱/۵ اتمسفر قرار داده شدند و بعد از خنک شدن در دمای اتاق، هدایت الکتریکی بیشینه ( $EC_2$ ) اندازه‌گیری و درصد نشت الکترولیت با استفاده از معادله زیر با روش (۱۴) محاسبه شد:

$$EL = (EC_1/EC_2) \times 100 \quad (2)$$

**پرویلین:** نیم گرم بافت تازه برگ همراه با ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳ درصد، دو میلی‌لیتر استیک اسید و ۲ میلی‌لیتر ناین‌هیدرین ترکیب و در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفت. سپس به منظور خنک شدن نمونه‌ها، به داخل آب و یخ منتقل شدند. میزان جذب نوری مخلوط واکنش در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر ثبت گردید (۱۵).

**کاتالاز:** آنزیم کاتالاز  $H_2O_2$  را بدون نیاز به فاکتور احیاکننده، به اکسیژن و آب تبدیل می‌کند. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از روش حسنی‌زامن و همکاران (۱۶) انجام شد. بدین‌منظور، ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات  $pH=7$  ۵۰ میلی‌مولار، ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، ۵ میکرولیتر پراکسید هیدروژن  $H_2O_2$  ۳۰ درصد به آن اضافه شد و میزان جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر به مدت دو دقیقه با فواصل زمانی ۲۰ ثانیه‌ای ثبت گردید.

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

که در آن، FW وزن تر، DW وزن خشک. **اعمال تیمار سدیم نیتروپروساید و شوری به گیاه نعنای فلفلی:** تیمار شوری در ۵ سطح (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و سدیم نیتروپروساید در ۳ سطح (۰، ۱/۰ و ۲/۰ میلی‌مولار) در نظر گرفته شد. پس از رشد گیاه، برگ‌های گیاه با ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول سدیم نیتروپروساید محلول‌پاشی شدند. گیاهان شاهد با استفاده از آب مقطر محلول‌پاشی شدند. عمل محلول‌پاشی با فاصله زمانی سه روز در اوایل صبح به میزان ۱۰ میلی‌لیتر به هر گلدان انجام شد. دو ماه پس از کاشت، به‌طوری‌که ۲۴ ساعت از آخرین محلول‌پاشی گذشته بود، گیاهان تحت تیمار شوری قرار گرفتند. ۲۰ روز پس از اعمال تنش، بوته‌ها برداشت شده و ارزیابی صفات انجام گرفت.

#### اندازه‌گیری صفات

**طول و عرض برگ و قطر ساقه:** برای اندازه‌گیری ارتفاع ساقه، طول و عرض برگ گیاه از خط‌کش میلی‌متری استفاده شد. برای اندازه‌گیری قطر ساقه از کولیس استفاده شد.

**وزن تر و خشک برگ و ریشه:** برگ‌ها و ریشه‌ها هر گیاه به‌طور جداگانه برداشت و با آب مقطر استریل شستشو گردید. برای اندازه‌گیری وزن تر گیاه از ترازو دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ استفاده شد. به منظور اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد آون قرار گرفته و وزن خشک آن‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد.

**کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید:** برای اندازه‌گیری کلروفیل a، b، کلروفیل کل و محتوای کاروتنوئیدها ابتدا ۰/۲۵ گرم برگ تازه را خرد و آن را در یک هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد سائیده تا به‌صورت توده یکنواخت گردد، سپس مخلوط حاصل

**ظرفیت ضداکسایشی:** جهت اندازه‌گیری ظرفیت ضداکسایشی، سه میلی‌لیتر متانول ۸۵ درصد به ۰/۵ گرم بافت تازه برگ کوبیده در نیتروژن مایع اضافه کرده، سپس به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۰ هزار دور در دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند. ابتدا ۲۰۰ میکرولیتر عصاره تهیه شده از بافت برگ را با ۵۰۰ میکرولیتر آب مخلوط کرده و به مدت ۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق و تاریکی قرار گرفت و جذب عصاره در طول موج ۵۱۷ نانومتر با اسپکتروفوتومتر قرائت شد (۱۷).

**تجزیه آماری:** داده‌های حاصل با استفاده نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و مقایسه میانگین صفات با آزمون LSD در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام شد.

### نتایج

**طول و عرض برگ و قطر ساقه:** اثر متقابل شوری و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید بر طول و عرض برگ و قطر ساقه گیاه نعنای فلفلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین طول برگ به‌ترتیب در حضور سدیم نیتروپروساید ۰/۲ میلی‌مولار و عدم حضور (تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار) به میزان ۵/۱۷ و ۳/۲۷ سانتی‌متر مشاهده شد. هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین عرض برگ به‌ترتیب در حضور سدیم نیتروپروساید ۰/۲ میلی‌مولار و عدم حضور (تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار) به میزان ۴/۳۰ و ۳ سانتی‌متر مشاهده شد. در مجموع کاربرد سدیم نیتروپروساید ۰/۲ میلی‌مولار سبب افزایش طول و عرض برگ به‌ترتیب به میزان ۵۵/۹۶ و ۱۶/۶۶ درصد در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در مقایسه با شاهد شد. بیش‌ترین و کم‌ترین قطر ساقه به‌ترتیب به میزان ۰/۵۰ و ۰/۲۶ سانتی‌متر در حضور سدیم نیتروپروساید

۰/۲ درصد در مقایسه با عدم حضور (سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار) مشاهده شد. کاربرد سدیم نیتروپروساید ۰/۲ میلی‌مولار باعث افزایش قطر ساقه به میزان ۶۵/۳۸ درصد در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در مقایسه با شاهد شد (جدول ۲). زهی (۱۸) بیان کردند که شوری منجر به بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش جذب دی‌اکسید کربن می‌شود و این کاهش موجب تأمین ناکافی کربن برای رشد می‌شود. شوری با کاهش سنتز تحریک‌کننده‌های رشد گیاه مانند سیتوکینین و افزایش بازدارنده‌های رشد مانند آبسزیک اسید باعث کاهش رشد گیاه می‌شود (۱۹). به‌نظر می‌رسد سدیم نیتروپروساید به علت نقش اساسی در کاهش مقدار پراکسیداسیون لیپیدی و خسارت به رنگیزه‌ها در مقابل تنش اکسیدانی و هم‌چنین تقویت فعالیت‌های بیولوژیک مانند رشد و نمو، فتوسنتز، جذب و انتقال یون‌ها و تغییر فعالیت برخی آنزیم‌های مهم (۲۰) موجب بهبود تجمع ماده خشک گیاه نعنای فلفلی در بستر شور شده باشد. در پژوهشی گزارش شده است که کاربرد سدیم نیتروپروساید ۰/۲ میلی‌مولار می‌تواند باعث افزایش میزان وزن خشک برگ و ریشه در گیاه سرخارگل تحت تنش شوری شود (۲۱). در گزارش دیگری نقش مثبت سدیم نیتروپروساید روی فلفل (*Capsicum annuum*) عبدالطیف و چاوکینک (۲۲) و برنج (*Oryza sativa*) مصطفی و همکاران (۲۳) مشاهده شد که همسو با پژوهش حاضر است.

**وزن تر و خشک برگ و ریشه:** با توجه به جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید بر وزن تر و خشک برگ و ریشه نعنای فلفلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین وزن تر برگ در حضور سدیم نیتروپروساید ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌مولار و عدم حضور (تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار) به‌ترتیب

سلول است که منجر به کاهش جوانه زنی و رشد گیاهچه می شود. پژوهش های زیادی بر کاهش وزن تر و خشک ریشه چه انجام شده است که با نتایج آزمایش ما مطابقت دارد (۲۴، ۲۵ و ۲۶). پژوهش رضاپور و همکاران (۲۷) روی کلزا (*Brassica napus*) اثرات منفی تنش شوری بر وزن تر و خشک گیاهچه و تعدیل آن با کاربرد اکسید نیتریک را نشان داده اند. سدیم نیتروپروساید سبب توسعه برگ و ریشه می شود و پیری را به تاخیر می اندازد و در شرایط تنش های مختلف به عنوان یک آنتی اکسیدانت عمل می کند (۲۸). اثر سدیم نیتروپروساید روی گیاه آفتابگردان توسط اسدی - صنم و همکاران (۲۹) ثابت کرد که وزن تر و خشک ریشه و برگ نسبت به گیاهان تحت تنش شوری افزایش یافته است. کاربرد خارجی سدیم نیتروپروساید از گیاهان در برابر آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش نمک از طریق ترویج بیوستر آنزیم های آنتی اکسیدان و در نتیجه بهبود رشد گیاه در شرایط تنش شوری محافظت می کند.

به میزان ۰/۰۹۵، ۰/۰۸۸ و ۰/۰۲۳ گرم مشاهده شد. همچنین بیشترین و کمترین وزن خشک برگ به ترتیب در حضور سدیم نیتروپروساید ۰/۱ میلی مولار و عدم حضور (تنش شوری ۱۰۰ میلی مولار) به میزان ۰/۰۱۵۰ و ۰/۰۰۲۰ گرم مشاهده شد. در مجموع کاربرد سدیم نیتروپروساید ۰/۲ و ۰/۱ میلی مولار به ترتیب سبب افزایش وزن تر و خشک برگ به میزان یک و دو برابر در سطح شوری ۱۰۰ میلی مولار نسبت به شاهد شد. بیشترین و کمترین وزن تر ریشه به ترتیب به میزان ۷۳/۴۰ و ۵۲/۶۷ گرم در حضور سدیم نیتروپروساید ۰/۲ درصد در مقایسه با شاهد مشاهده شد. بیشترین و کمترین وزن خشک ریشه به ترتیب در حضور سدیم نیتروپروساید ۰/۱ و ۰/۲ میلی مولار به میزان ۵/۱۲ و ۲/۴۶ گرم مشاهده شد. کاربرد سدیم نیتروپروساید ۰/۲ میلی مولار باعث افزایش وزن تر ریشه به میزان ۴/۱۵ درصد و کاهش وزن خشک به میزان ۴۰/۵۷ درصد در سطح شوری ۱۰۰ میلی مولار در مقایسه با شاهد شد (جدول ۲). کلرید سدیم اثر مخرب سدیم در غشا سیتوپلاسمی

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر شوری، سدیم نیتروپروساید و اثر متقابل آنها بر خصوصیات ریخت شناسی نعنای فلفلی.

Table 1. Analysis of variance of the effect of salinity, sodium nitroprusside, and their interaction on morphological characteristics of peppermint.

| میانگین مربعات<br>Mean squares        |  |                                      |                                    |                              |                             |                              | درجه<br>آزادی<br>df | منابع تغییرات<br>S.O.V                          |
|---------------------------------------|--|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------|---|
| وزن خشک<br>ریشه<br>Root dry<br>weight | وزن تر<br>ریشه<br>Root fresh<br>weight | وزن خشک<br>برگ<br>Leaf dry<br>weight | وزن تر برگ<br>Leaf fresh<br>weight | قطر ساقه<br>Stem<br>diameter | عرض<br>برگ<br>Leaf<br>width | طول<br>برگ<br>Leaf<br>length |                     |   |
| 3.40*                                 | 2662.70**                              | 0.000021**                           | 0.000068**                         | 0.10**                       | 2.06**                      | 4.88**                       | 2                   | نیتروپروساید<br>Nitroprusside                   |
| 4.53**                                | 2423.70**                              | 0.000028**                           | 0.0021**                           | 0.024**                      | 2.02**                      | 3.50**                       | 4                   | شوری<br>Salinity                                |
| 5.13                                  | 549.29**                               | 0.00012**                            | 0.0033**                           | 0.008**                      | 0.79**                      | 0.36**                       | 8                   | نیتروپروساید × شوری<br>Nitroprusside × Salinity |
| 0.79                                  | 196.34                                 | 0.0000011                            | 0.00013                            | 0.0017                       | 0.073                       | 0.055                        | 30                  | خطای آزمایش<br>Error                            |
| 23.65                                 | 24.33                                  | 11.84                                | 19.88                              | 10.96                        | 7.21                        | 5.46                         | -                   | ضریب تغییرات (درصد)<br>CV (%)                   |

\*\* بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

\*\* Indicates a significant difference at the 1% probability level

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات ریخت‌شناسی نمناع فلفلی تحت تأثیر سطح مختلف سدیم نیتروپروساید و شوری.

**Table 2. Comparison of average morphological characteristics of peppermint under the influence of different levels of sodium nitroprusside and salinity.**

| وزن خشک ریشه (گرم)         | وزن تر ریشه (گرم)           | وزن خشک برگ (گرم)           | وزن تر برگ (گرم)            | قطر ساقه (سانتی‌متر)      | عرض برگ (سانتی‌متر)       | طول برگ (سانتی‌متر)     | تنش شوری (میلی‌مولار) | نیتروپروساید (میلی‌مولار) |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Root dry weight (g)        | Root fresh weight (g)       | Dry weight of leaves (g)    | Dry weight of leaves (g)    | Stem diameter (cm)        | Leaf width (cm)           | Leaf length (cm)        | Salinity stress (mM)  | Nitroprusside (mM)        |
| 5.08±0.29 <sup>a</sup>     | 52.67±7.21 <sup>a-d</sup>   | 0.012±0.0005 <sup>bc</sup>  | 0.082±0.001 <sup>ab</sup>   | 0.40±0.027 <sup>bcd</sup> | 4.13±0.072 <sup>ab</sup>  | 4.30±0.12 <sup>cd</sup> | 0                     |                           |
| 4.99±0.33 <sup>ab</sup>    | 39.17±1.93 <sup>cde</sup>   | 0.011±0.0001 <sup>cd</sup>  | 0.063±0.0019 <sup>bcd</sup> | 0.37±0.027 <sup>bcd</sup> | 4.07±0.054 <sup>abc</sup> | 3.77±0.11 <sup>ef</sup> | 25                    |                           |
| 2.77±1.07 <sup>de</sup>    | 32.80±5.28 <sup>de</sup>    | 0.0057±0.0004 <sup>fg</sup> | 0.043±0.0033 <sup>def</sup> | 0.33±0.027 <sup>def</sup> | 3.07±0.027 <sup>ef</sup>  | 4.33±0.13 <sup>cd</sup> | 50                    | شاهد                      |
| 3.37±0.29 <sup>b-c</sup>   | 59.03±13.37 <sup>abc</sup>  | 0.0047±0.0002 <sup>gh</sup> | 0.035±0.015 <sup>ef</sup>   | 0.30±0.00 <sup>ef</sup>   | 3.03±0.027 <sup>f</sup>   | 3.77±0.11 <sup>ef</sup> | 75                    | Control                   |
| 4.14±0.76 <sup>b-c-d</sup> | 70.47±11.40 <sup>a</sup>    | 0.0020±0.000 <sup>i</sup>   | 0.023±0.002 <sup>f</sup>    | 0.26±0.81 <sup>f</sup>    | 3.00±0.094 <sup>f</sup>   | 3.27±0.11 <sup>g</sup>  | 100                   |                           |
| 5.12±0.81 <sup>a</sup>     | 35.57±2.39 <sup>cde</sup>   | 0.0150±0.0004 <sup>a</sup>  | 0.095±0.000 <sup>a</sup>    | 0.40±0.027 <sup>bcd</sup> | 4.23±0.11 <sup>ab</sup>   | 4.83±0.13 <sup>ab</sup> | 0                     |                           |
| 2.91±0.31 <sup>cde</sup>   | 26.37±2.83 <sup>e</sup>     | 0.0123±0.0002 <sup>bc</sup> | 0.078±0.002 <sup>abc</sup>  | 0.37±0.027 <sup>cde</sup> | 4.17±0.13 <sup>ab</sup>   | 4.23±0.11 <sup>cd</sup> | 25                    |                           |
| 2.92±0.21 <sup>cde</sup>   | 41.83±7.75 <sup>abc-e</sup> | 0.0097±0.0005 <sup>de</sup> | 0.044±0.006 <sup>bef</sup>  | 0.33±0.027 <sup>def</sup> | 3.57±0.19 <sup>cde</sup>  | 3.57±0.09 <sup>fg</sup> | 50                    | نیتروپروساید ۰/۱          |
| 3.99±0.34 <sup>a-c</sup>   | 28.57±2.90 <sup>de</sup>    | 0.0087±0.0007 <sup>e</sup>  | 0.048±0.007 <sup>de</sup>   | 0.30±0.00 <sup>ef</sup>   | 3.60±0.24 <sup>cd</sup>   | 4.17±0.13 <sup>de</sup> | 75                    |                           |
| 4.52±0.26 <sup>abc</sup>   | 42.27±1.71 <sup>b-e</sup>   | 0.0067±0.0007 <sup>f</sup>  | 0.044±0.006 <sup>def</sup>  | 0.27±0.027 <sup>f</sup>   | 3.43±0.23 <sup>def</sup>  | 4.67±0.13 <sup>bc</sup> | 100                   |                           |
| 3.06±0.36 <sup>cde</sup>   | 47.50±2.07 <sup>a-e</sup>   | 0.0103±0.0002 <sup>de</sup> | 0.088±0.0012 <sup>a</sup>   | 0.50±0.00 <sup>a</sup>    | 4.30±0.12 <sup>a</sup>    | 5.17±0.1 <sup>3a</sup>  | 0                     |                           |
| 4.30±0.38 <sup>b-c-d</sup> | 31.17±7.27 <sup>de</sup>    | 0.0103±0.0004 <sup>de</sup> | 0.064±0.0024 <sup>bcd</sup> | 0.47±0.027 <sup>ab</sup>  | 4.20±0.12 <sup>ab</sup>   | 4.97±0.07 <sup>ab</sup> | 25                    |                           |
| 3.50±0.17 <sup>a-c</sup>   | 43.97±4.44 <sup>b-c</sup>   | 0.0093±0.000 <sup>de</sup>  | 0.059±0.0021 <sup>cd</sup>  | 0.43±0.027 <sup>abc</sup> | 4.17±0.13 <sup>ab</sup>   | 4.27±0.11 <sup>cd</sup> | 50                    | نیتروپروساید ۰/۲          |
| 3.58±0.18 <sup>a-c</sup>   | 62.17±9.50 <sup>ab</sup>    | 0.0087±0.0007 <sup>e</sup>  | 0.059±0.0029 <sup>cd</sup>  | 0.43±0.027 <sup>abc</sup> | 3.77±0.11 <sup>bcd</sup>  | 4.37±0.19 <sup>cd</sup> | 75                    | Nitroprusside 0.2         |
| 2.46±0.33 <sup>e</sup>     | 73.40±1.88 <sup>a</sup>     | 0.0033±0.0005 <sup>hi</sup> | 0.046±0.001 <sup>de</sup>   | 0.43±0.027 <sup>abc</sup> | 3.50±0.19 <sup>def</sup>  | 5.10±0.04 <sup>ab</sup> | 100                   |                           |

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Averages with the same letters do not have a significant difference at the five percent probability level

نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر را می توان با نقش قوی اکسید نیتریک در مهار گونه های اکسیژن فعال و در نتیجه کاهش آسیب اکسیداتیو در دستگاه فتوسنتزی و افزایش محتوای کلروفیل توضیح داد. هم چنین لی و همکاران (۳۱) با کاربرد غلظت ۰/۲ میلی مولار سدیم نیتروپروساید، جلوگیری از تخریب کلروفیل و تاخیر در پیری برگ های گندم را گزارش کردند. در آزمایش محمدی و همکاران (۳۲) تیمار ۰/۴ میلی مولار سدیم نیتروپروساید توانست اثر خسارت زای شوری را بهبود بخشد و بیشترین محتوای کاروتنوئید را در بین تیمارهای تنش دیده در مقایسه از شاهد (سطح صفر سدیم نیتروپروساید) نشان دهد. کاربرد سدیم نیتروپروساید تحت شرایط شور در مطالعه بویاتشینو و آسافوا (۳۳)، توانست مقدار کلروفیل برگ گندم را افزایش دهد. در بین رنگیزه های فتوسنتز، کاروتنوئیدها نقش حفاظتی مهمی در مقابل تنش اکسیداتیو القا شده دارند؛ کاهش این رنگیزه ها در تنش شوری و نیز عملکرد صحیح روزنه ها با افزایش سدیم در محیط رشد گیاه می تواند در نهایت منجر به کاهش فتوسنتز و رشد گیاهچه ها شود (۳۴).

کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید: نتایج داده های به دست آمده بر اساس تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سطوح شوری و محلول پاشی نیتروپروساید بر کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئید (۰/۵۵، ۰/۸۰ و ۰/۴۴ میلی گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار سدیم نیتروپروساید ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۱ میلی مولار و شوری صفر بود. کمترین کلروفیل a، b و کاروتنوئید به ترتیب به میزان ۰/۳۱، ۰/۰۸۶، ۰/۱۵ میلی گرم بر گرم وزن تر در عدم حضور سدیم نیتروپروساید و شوری ۱۰۰ میلی مولار مشاهده شد. هم چنین نتایج نشان داد در سطح شوری ۱۰۰ میلی مولار کاربرد سدیم نیتروپروساید با غلظت های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۱ میلی مولار به میزان ۳۸/۷۰، ۱۵۰ و ۱۲۰ درصد افزایش کلروفیل a، b و کاروتنوئید نسبت به شرایط عدم حضور آن در همان سطح شوری شد (شکل ۱). در پژوهشی گیرانی و همکاران (۳۰) بیان کرد که کاروتنوئیدهای درگیر در مکانیسم های تنظیم کننده محافظت نوری در برابر اکسیداسیون خودکار نقش کلیدی در مرکز واکنش فتوسنتزی دارند.

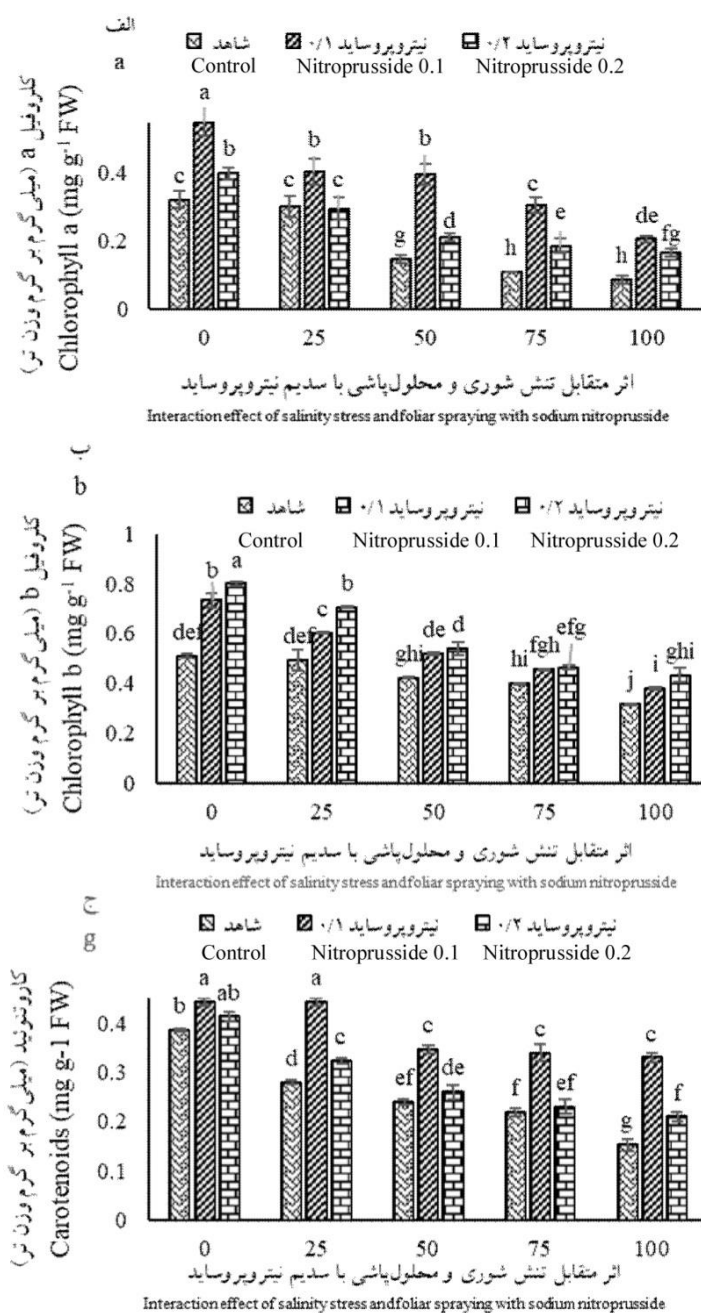
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر شوری و سدیم نیتروپروساید بر خصوصیات فیزیولوژیک و زیست شیمیایی نعنای فلفلی.

Table 3. Variance analysis of the effect of salinity and sodium nitroprusside on the physiological and biochemical characteristics of peppermint.

| میانگین مربعات<br>Mean squares                 |                     |                   |                             |                           |                                  |                                  | درجه<br>آزادی<br>Df | منابع تغییرات<br>S.O.V                          |
|--|---------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|---|
| ظرفیت<br>ضد اکسایشی<br>Antioxidant<br>capacity | کاتالاز<br>Catalase | پرولین<br>Proline | نشست<br>یونی<br>Carotenoids | کاروتنوئید<br>Carotenoids | کلروفیل<br>b<br>Chlorophyll<br>b | کلروفیل<br>a<br>Chlorophyll<br>a |                     |   |
| 349.37**                                       | 0.20**              | 19.51**           | 194.52**                    | 0.055**                   | 0.075**                          | 0.12**                           | 2                   | نیتروپروساید<br>Nitroprusside                   |
| 166.63**                                       | 0.26**              | 14.40**           | 194.52**                    | 0.015**                   | 0.037**                          | 0.021**                          | 4                   | شوری<br>Salinity                                |
| 182.65**                                       | 0.66**              | 10.85**           | 117.9**                     | 0.020**                   | 0.062**                          | 0.046**                          | 8                   | نیتروپروساید × شوری<br>Nitroprusside × Salinity |
| 1.67   | 0.011               | 0.029             | 2.73                        | 0.00040                   | 0.0011                           | 0.00015                          | 30                  | خطای آزمایش<br>Error                            |
| 2.76   | 5.59                | 4.22              | 20.87                       | 6.43                      | 6.56                             | 4.57                             | -                   | ضریب تغییرات (درصد)<br>C.V. (%)                 |

\*\* بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

\*\* Indicates a significant difference at the 1% probability level



شکل ۱- مقایسه میانگین صفات (الف) کلروفیل a، (ب) کلروفیل b و (د) کاروتنوئید نعنای فلفلی در تیمارهای مختلف اعمال شده (میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند).

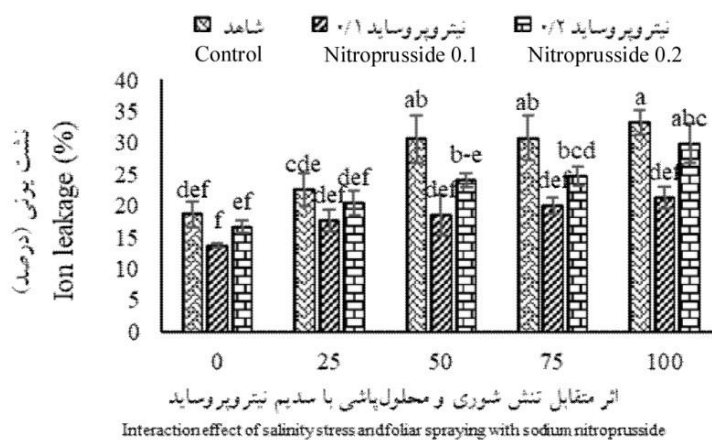
**Fig. 1. Comparison of the average traits of (a) chlorophyll a, (b) chlorophyll b and (d) carotenoids of peppermint in different treatments. (Means with similar letters do not differ significantly at the 5% probability level).**

فلفلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین نشت یونی در گیاه نعنای فلفلی در شاهد و شوری ۱۰۰

نشت یونی: با توجه به جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید بر نشت یونی نعنای

سدیم نیتروپروساید نرخ نشت الکترولیت و در نتیجه آسیب تنش در موز (*Musa*) را کاهش داد. استفاده از سدیم نیتروپروساید باعث افزایش پایداری غشای سلولی و در نتیجه افزایش مقاومت در برابر تنش می‌شود که احتمالاً به دلیل افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی است (۴۰). هم‌چنین مطالعه فان و همکاران (۴۱) نشان داد که اکسید نیتریک دارای توانایی بازیابی و دفاع از غشای سلولی برای کاهش آسیب در سیستم غشای سلولی با کاهش نفوذپذیری غشاء و پراکسیداسیون لیپیدی غشا است و در نتیجه از نشت الکترولیت جلوگیری می‌کند. اکسید نیتریک یک مولکول سیگنال‌دهی مهم است که در بهبود رشد و نمو گیاهان تحت تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی نقش دارد (۴۲، ۴۳ و ۴۴).

میلی‌مولار به میزان (۳۳/۲۸ درصد) و کم‌ترین میزان (۲۱/۳۳ درصد) مربوط به حضور سدیم نیتروپروساید ۰/۱ میلی‌مولار در سطوح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بود. نتایج نشان داد کاربرد سدیم نیتروپروساید ۰/۱ میلی‌مولار به میزان ۳۵/۹۰ درصد نشت یونی گیاه نعنای فلفلی را نسبت به شاهد کاهش داد (شکل ۲). در گیاهان حساس به نمک، تنش شوری باعث کاهش تولید محصول می‌شود. کاهش عملکرد در تیمارهای شوری عمدتاً به دلیل اختلالات شدید در جوانه‌زنی، رشد گیاه، فتوسنتز، تعادل یونی است (۳۵، ۳۶ و ۳۷). شوری با تغییر ساختار و ترکیب لیپیدها و پروتئین‌ها بر یکپارچگی غشای سلولی تأثیر می‌گذارد. غلظت بالای کلرید سدیم باعث کمبود کلسیم در گیاهان و کاهش پایداری غشا می‌شود (۳۸). نتایج مطالعات وانگ و همکاران (۳۹) نشان دادند که استفاده از



شکل ۲- مقایسه میانگین نشت یونی نعنای فلفلی در تیمارهای مختلف اعمال شده

(میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند).

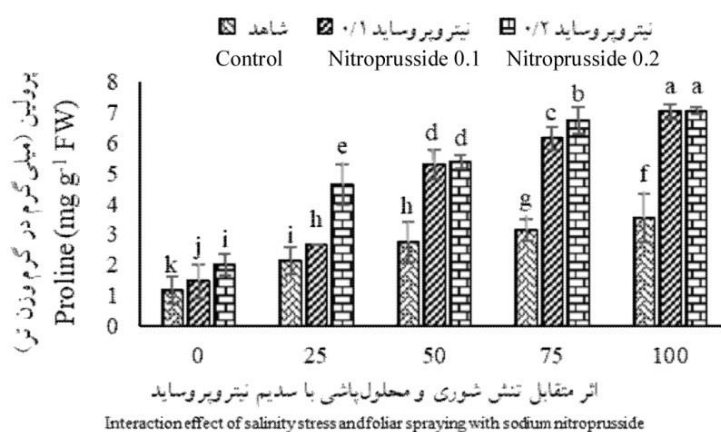
Fig. 2. Comparison of the average traits of Ion leakage of pepper mint in different treatments (Means with similar letters do not differ significantly at the 5% probability level).

داد که بیش‌ترین پرولین به ترتیب (۷/۰ و ۷/۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در حضور سدیم نیتروپروساید ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌مولار در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. هم‌چنین کم‌ترین میزان پرولین در شاهد

پرولین: براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید بر پرولین نعنای فلفلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان

فتوستتزی می‌شود (۴۹). سدیم نیتروپروساید یک ترکیب آزادکننده نیتریک اکسید در گیاهان است. نشت یونی میزان نیتریک اکسید را افزایش داده، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تجمع تنظیم‌کننده‌های اسمزی مانند پرولین را بیش‌تر می‌کند و در نتیجه محتوای نسبی آب برگ را حفظ و افزایش می‌دهد. در سلول‌های گیاهی، پرولین به‌عنوان متعادل‌کننده اسمزی بین سیتوپلاسم و واکوئل‌ها عمل می‌کند. فعالیت آنزیم گلوتامات لیگاز در شرایط تنش افزایش می‌یابد و گلوتامات پیش‌ساز کلروفیل و پرولین است. به‌طوری‌که مقدار بیش‌تری برای تولید محتوای پرولین صرف می‌شود (۵۰). سدیم نیتروپروساید خارجی باعث افزایش محتوای پرولین در شرایط تنش شوری می‌شود. منطبق با مطالعه حاضر، نشان داده شده است که استفاده از سدیم نیتروپروساید سطوح املاح سازگار مانند پرولین را افزایش می‌دهد (۵۱). در پژوهشی دیگر نشان داده شد که محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید به گیاه *Abelmoschus esculentus* L. باعث افزایش پرولین در سطح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار شد (۵۲).

به میزان ۱/۱۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تحت تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، پرولین گیاه نعنای فلفلی در حضور سدیم نیتروپروساید ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌مولار به میزان ۹۸/۳۰ و ۱۰۱/۱۳ درصد افزایش معنی‌دار نسبت به عدم حضور آن نشان داد (شکل ۳). میسرا و ساکسینا (۴۵) پیشنهاد کردند که افزایش محتوای پرولین می‌تواند به دلیل کاهش فعالیت پرولین اکسیداز باشد که منجر به تخریب پرولین در سیستم‌های گیاهی و تغییرات قابل‌توجهی در فعالیت آنزیم‌های سنتز و تجزیه پرولین می‌شود (۴۶ و ۴۷). مشابه نتایج ما، و همکاران (۴۸) گزارش کردند که کاربرد اکسید نیتریک باعث افزایش محتوای پرولین در گیاهان گوجه‌فرنگی در شرایط شوری شد. افزایش محتوای پرولین پس از محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید در طول تنش را می‌توان به افزایش فعالیت آنزیم‌های سنتزکننده پرولین و کاهش کاتابولیسم پرولین نسبت داد. اکسید نیتریک باعث تنظیم هموستازی و انتقال آهن داخلی می‌شود که همیشه منجر به تولید رنگدانه‌های فتوستتزی همراه با بهبود فعالیت



شکل ۳- مقایسه میانگین پرولین نعنای فلفلی در تیمارهای مختلف اعمال شده

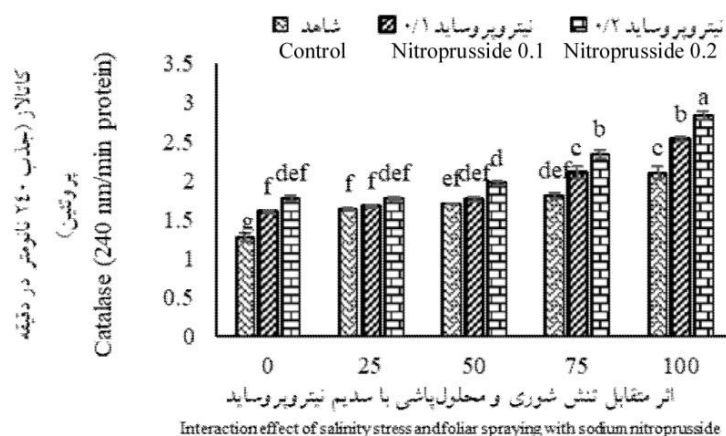
(میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند).

Fig. 3. Comparison of average peppermint proline in different applied treatments (Averages with similar letters do not have significant differences at the five percent probability level).



اکسیژن فعال بیش از حد تولید می‌شوند و در مرحله سازگاری باعث تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شوند و این با سیستم آنزیم آنتی‌اکسیدانی گیاهان مرتبط است (۵۴). نژادمرادی و همکاران (۵۵) دریافتند که پیش‌تیمار سدیم نیتروپروساید می‌تواند فعالیت آنزیم کاتالاز را در ریشه و برگ گیاهان آفتابگردان افزایش دهد. علاوه بر این، کایا و همکاران (۵۶) گزارش کردند که عمل اصلی اکسید نیتریک القای سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی گیاهی با بهبود فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز است. کایا و همکاران (۵۷) نشان دادند برای که کاهش سطوح گونه‌های اکسیژن فعال، با حذف  $O_2$  و رادیکال‌های آزاد (R)، اکسید نیتریک با تنظیم هموستاز ردوکس، از آسیب اکسیداتیو در گیاهان تحت تنش جلوگیری می‌کند و فعالیت آنزیمی آنزیم‌های مهارکننده  $H_2O_2$  را افزایش می‌دهد.

کاتالاز: یافته‌های حاصل از نتایج تجزیه واریانس جدول ۳ نشان داد که اثر متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید، بر کاتالاز نعنای فلفلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین کاتالاز در کاربرد سدیم نیتروپروساید ۰/۲ میلی‌مولار به میزان (۲/۸۳) نانومتر در دقیقه) در سطوح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و کم‌ترین میزان مربوط به شاهد (۱/۲۶) نانومتر در دقیقه) مشاهده شد. همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که حضور سدیم نیتروپروساید ۰/۲ میلی‌مولار نسبت به شاهد در سطوح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار به میزان ۳۴/۷۶ درصد افزایش یافت (شکل ۴). داده‌های ثبت شده توسط ژانگ و همکاران (۵۳) نشان داد که اکسید نیتریک (NO) با افزایش فعالیت کاتالاز در میتوکندری به‌عنوان سیگنالی عمل می‌کند که تحمل نمک را القا می‌کند. در شرایط تنش‌زا از کلرید سدیم، واسطه‌های سیگنال‌دهنده مانند گونه‌های



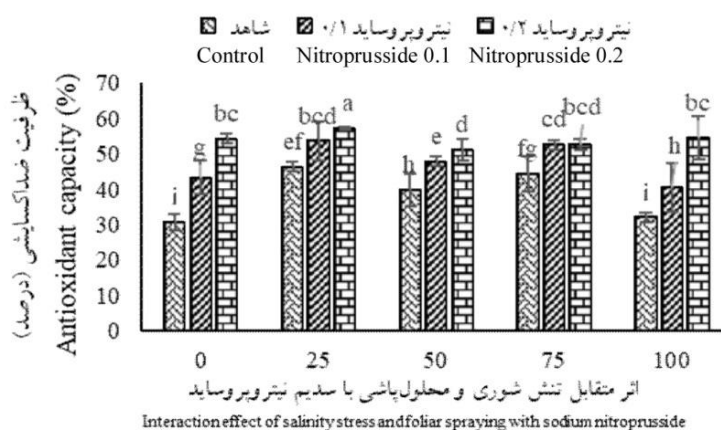
شکل ۴- مقایسه میانگین آنزیم کاتالاز نعنای فلفلی در تیمارهای مختلف اعمال شده

(میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند).

Fig. 4. Comparison of the average peppermint catalase enzyme in different applied treatments (Means with the same letters do not have a significant difference at the five percent probability level).

می‌باشد. خواص ضداکسایشی اکسید نیتریک به دلیل توانایی آن در مدیریت هموستاز ردوکس سلولی و سم‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن است (۵۹). اثر سدیم نیتروپروساید بر فعالیت ضداکسایشی گیاه به زمان تیمار، ژنوتیپ و نوع تیمار مورد استفاده بستگی دارد که این نشان‌دهنده اثر مثبت نیتریک اکسید بر ظرفیت ضداکسایشی، در نتیجه افزایش مقاومت به تنش است (۶۰). نتایج ما با نتایج ژانگ و همکاران (۶۱) در ذرت، شی و همکاران (۶۲) در خیار، پاکیش و طباطبائیانی (۶۳) در زردآلو و تان و همکاران (۶۴) در گندم مطابقت داشت.

ظرفیت ضد اکسایشی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تنش شوری و سدیم نیتروپروساید بر ظرفیت ضداکسایشی گیاه نعنای فلفلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین ظرفیت ضداکسایشی (۵۷/۲۶ درصد) در کاربرد سدیم نیتروپروساید ۰/۲ میلی‌مولار در سطح شوری ۲۵ میلی‌مولار و کم‌ترین میزان مربوط به عدم حضور سدیم نیتروپروساید (۱/۲۶ درصد) مشاهده شد (شکل ۵). در آزمایشی کانگ و سالتوی (۵۸) گزارش کردند که تنش شوری سبب کاهش ظرفیت اکسایشی در خیار شده است که مشابه یافته‌های پژوهش حاضر



شکل ۵- مقایسه میانگین ظرفیت ضداکسایشی نعنای فلفلی تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده میانگین‌های دارای حروف مشابه باختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند).

Fig. 5. Comparison of the mean interaction effect of sodium nitroprusside (0, 0.1 and 0.2 mM) and salinity stress (0, 25, 50, 75 and 100 mM) on peppermint antioxidants in greenhouse conditions (Means with similar letters do not differ significantly at the 5% probability level).

راه افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی موجب کاهش خسارت رادیکال‌های آزاد و در نتیجه افزایش تحمل گیاهچه نعنای فلفلی تحت به تنش شوری شود. بنابراین، استفاده از اکسید نیتریک خارجی یا دست‌کاری محتوای اکسید نیتریک درون‌زا ممکن است رویکرد امیدوارکننده‌ای برای مدیریت تنش نمک در عصر تغییرات اقلیمی باشد.

### نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های به‌دست آمده محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید ۰/۲ میلی‌مولار بر نعنای فلفلی موجب افزایش رشد رویشی و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش نشت یونی تحت تنش شوری در مقایسه با شاهد شد. در کل به‌نظر می‌رسد که نیتریک اکسید حاصل از محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید توانست از

### منابع

1. Clark, R.J. and Menary, R.C. 1980. Environmental effects on peppermint (*Mentha piperita* L.). II. Effects of temperature on photosynthesis, photorespiration and dark respiration in peppermint with reference to oil composition. *Funct. Plant Biol.* 7: 6. 693-69.
2. Russo, A., Formisano, C., Rigano, D., Senatore, F., Delfino, S., Cardile, V., Rosselli, S. and Bruno, M. 2013. Chemical composition and anticancer activity of essential oils of Mediterranean sage (*Salvia officinalis* L.) grown in different environmental conditions. *Food Chem. Tox.* 55: 5. 42-47.
3. Hendawy, S.F. and Khalid, K.A. 2005. Response of sage (*Salvia officinalis* L.) plants to zinc application under different salinity levels. *J. Appl. Sci. Res.* 1: 2. 147-155.
4. Farzaneh, A., Ghani, A. and Azizi, M. 2010. The effect of water stress on morphological characteristics and essential oil content of improved sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Int. J. Agron. Plant Prod.* 17: 1. 103-111. (In Persian)
5. Zhu, J.K. 2001. Plant salt tolerance. *Trends Plant Sci.* 6: 2. 66-71.
6. Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K. and Bohnert, H.J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Ann. Rev. Plant Biol.* 51: 1. 463-499.
7. Roy, P., Niyogi, K., Sengupta, D.N. and Ghosh, B. 2005. Spermidine treatment to rice seedlings recovers salinity stress-induced damage of plasma membrane and PM-bound H<sup>+</sup>-ATPase in salt-tolerant and salt-sensitive rice cultivars. *Plant Sci.* 168: 3. 583-591.
8. Kaya, C., Higgs, D. and Kirnak, H. 2001. The effects of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach. *Bulg. J. plant physiol.* 27: 4. 47-59.
9. Mohasseli, V. and Sadeghi, S. 2019. Exogenously applied sodium nitroprusside improves physiological attributes and essential oil yield of two drought susceptible and resistant specie of *Thymus* under reduced irrigation. *Ind. Crops Prod.* 130: 2. 130-136.
10. Ali, Q., Daud, M.K., Haider, M.Z., Ali, S., Rizwan, M., Aslam, N., Noman, A., Iqbal, N., Shahzad, F., Deeba, F. and Ali, I. 2017. Seed priming by sodium nitroprusside improves salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) by enhancing physiological and biochemical parameters. *Plant Physiol. Biol.* 119: 5. 50-58.
11. Mohammadi, Y. and Khorsandnia, Z. 2022. The effects of drought, salinity, and temperature stresses on the expression of menthone menthol reductase gene in Peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iran. J. of Range. and Fore. Plant Breed. Gene. Res.* 29: 2. 196-206. (In Persian)
12. Sepaskhah, A.R. and Bazrafshan-Jahromi, A.R. 2006. Controlling runoff and erosion in sloping land with polyacrylamide under a rainfall simulator. *Biosystems Engineering.* 93: 4. 469-474.
13. Arnon, D.I. and Whatley, F.R. 1949. Is chloride a coenzyme of photosynthesis. *Sci.* 110: 2865. 554-556.
14. Sairam, R.K., Rao, K.V. and Srivastava G.C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *J. Plant Sci.* 163: 5. 1037-1046.
15. Bates, I., Waldern, R.P. and Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant. Soil.* 39: 1. 205-207.
16. Hasanuzzaman, M., Hossain, M.A. and Fujita, M. 2011. Nitric oxide modulates antioxidant defense and the methylglyoxal detoxification system and reduces salinity-induced damage of wheat seedlings. *Plant Biotechnol. Rep.* 5: 4. 353-365.
17. Singleton, V.L. and Rossi, J.A. 1995. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *American J. Eno. Viti.* 16: 3. 144-158.
18. Zhu, J.K. 2001. Cell signaling under salt, water and cold stresses. *Curr. Opin. Plant Biol.* 4: 5. 401-406.

19. Ungar, I.A. 1991. Ecophysiology of vascular halophytes. CRC press. 57p.
20. El-Tayeb, M.A. 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Reg.* 45: 3. 215-224.
21. Yasir, T.A., Khan, A., Skalicky, M., Wasaya, A., Rehmani, M.I.A., Sarwar, N., Mubeen, K., Aziz, M., Hassan, M.M., Hassan, F.A. and Iqbal, M.A. 2021. Exogenous sodium nitroprusside mitigates salt stress in lentil (*Lens culinaris* medik.) by affecting the growth, yield, and biochemical properties. *Mole.* 26: 9. 1-13.
22. Ye, L., Zhao, X., Bao, E., Cao, K. and Zou, Z. 2019. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on watermelon growth, elemental uptake, antioxidant, and photosystem II activities and stress-response gene expressions under salinity-alkalinity stresses. *Front. Plant Sci.* 10: 2. 863-872.
23. Mostofa, M.G., Saegusa, D., Fujita, M. and Tran, L.S.P. 2015. Hydrogen sulfide regulates salt tolerance in rice by maintaining Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> balance, mineral homeostasis and oxidative metabolism under excessive salt stress. *Front. Recent Dev. Plant Sci.* 6: 3. 1055-1069.
24. Dadkhah, A. 2010. Salinity effect on germination and seedling growth of four medicinal plants. *Iran. J. Medic. Arom Plants.* 49: 3. 358-369. (In Persian)
25. Fathi, A., Baradaran, M. and Amerian, M. 2018. The effect of nitric oxide on seed germination and activities of some antioxidant enzymes in sesame under salt stress. *Iran. J. Seed Sci. Res.* 5: 3. 77-88. (In Persian)
26. Javadi, H., Seghatoleslami, M.J. and Mosavi, S. 2014. The effect of salinity on seed germination and seedling growth of four medicinal plant species. *Iran. J. Fie. Cro. Res.* 12: 3. 53-64. (In Persian)
27. Rezapour, R. and Abrishamchi, P. 2019. Study of sodium nitroprusside (SNP) and salt stress interaction on some traits of canola plant (*Brassica napus* L. cv. Modena). *Journal of Plant Research.* *Iran. J. Biol.* 32: 2. 341-352. (In Persian)
28. Fan, H.F., Du, C.X., Ding, L. and Xu, Y.L. 2013. Effects of nitric oxide on the germination of cucumber seeds and antioxidant enzymes under salinity stress. *Acta Physiol. Plant.* 35: 9. 2707-2719.
29. Asadi-Sanam, S., Mohammadi, S.M., Rameeh, V. and Gerami, M. 2018. Effect of sodium nitroprusside (SNP) on some of biochemical characteristics of purple coneflower [*Echinacea purpurea* (L.) Moench] under salinity stress. *J. Plant Proc. Fun.* 7: 23. 123-138. (In Persian)
30. Gururani, M.A., Venkatesh, J. and Tran, L.S.P. 2015. Regulation of photosynthesis during abiotic stress-induced photoinhibition. *Mole. Plant.* 8: 9. 1304-1320.
31. Lei, Y., Yin, C., Ren, J. and Li, C. 2007. Effect of osmotic stress and sodium nitroprusside pretreatment on proline metabolism of wheat seedlings. *Biol. Plant.* 51: 2. 386-390.
32. Mohammadi, S.M., Ramaseh, W.A., Gerami, M., Asadi Sanam, S. and Khosh Rooz, M. 2018. The effect of sodium nitroprusside (SNP) on some biochemical properties of *Echinaceae purpure* (L.) Moench under salinity stress. *J. Plant Proc. Fun.* 33: 23. 139-124. (In Persian)
33. Boyarshinov, A.V. and Asafova, E.V. 2011. Stress responses of wheat leaves to dehydration: participation of endogenous NO and effect of sodium nitroprusside. *Russ. J. Plant Physiol.* 58: 6. 1034-1039.
34. Netondo, G.W., Onyango, J.C. and Beck, E. 2004. Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. *Crop Sci.* 44: 3. 806-811.
35. Alencar, N.L., Gadelha, C.G., Gallão, M.I., Dolder, M.A., Prisco, J.T. and Gomes-Filho, E. 2015. Ultrastructural and biochemical changes induced by salt stress in *Jatropha curcas* seeds during germination and seedling development. *Func. Plant Biol.* 42: 9. 865-874.
36. Gondim, F.A., Miranda, R.D.S., Gomes-Filho, E. and Prisco, J.T. 2013. Enhanced salt tolerance in maize plants

- induced by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> leaf spraying is associated with improved gas exchange rather than with non-enzymatic antioxidant system. *Theor. Exp. Plant Physiol.* 25: 3. 251-260.
37. Mbarki, S., Skalicky, M., Vachova, P., Hajihashemi, S., Jouini, L., Zivcak, M., Tlustos, P., Brestic, M., Hejnak, V. and Zoghlami Khelil, A. 2020. Comparing salt tolerance at seedling and germination stages in local populations of *Medicago ciliaris* L. to *Medicago intertexta* L. and *Medicago scutellata* L. *Plants.* 9: 4. 526-549.
  38. Kaya, C., Ak, B.E., Higgs, D. and Murillo-Amador, B. 2002. Influence of foliar-applied calcium nitrate on strawberry plants grown under salt-stressed conditions. *Aust. J. Exp. Agric.* 42: 5. 631-636.
  39. Wang, Y., Loake, G.J. and Chu, C. 2013. Cross-talk of nitric oxide and reactive oxygen species in plant programmed cell death. *Front. Recent Dev. Plant Sci.* 4: 2. 314-403.
  40. Zhang, Y., Zhang, M. and Yang, H., 2015. Postharvest chitosan-g-salicylic acid application alleviates chilling injury and preserves cucumber fruit quality during cold storage. *Food Chem.* 174: 5. 558-563.
  41. Fan, H., Guo, S., Jiao, Y., Zhang, R. and Li, J. 2007. Effects of exogenous nitric oxide on growth, active oxygen species metabolism, and photosynthetic characteristics in cucumber seedlings under NaCl stress. *Front. Agri. Chi.* 1: 3. 308-314.
  42. Esim, N. and Atici, O. 2014. Nitric oxide improves chilling tolerance of maize by affecting apoplastic antioxidative enzymes in leaves. *Plant Gro. Reg.* 72: 1. 29-38.
  43. Manai, J., Kalai, T., Gouia, H. and Corpas, F.J. 2014. Exogenous nitric oxide (NO) ameliorates salinity-induced oxidative stress in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants. *J. Soil Sci. Plant Nutri.* 14: 2. 433-446.
  44. Savvides, A., Ali, S., Tester, M. and Fotopoulos, V. 2016. Chemical priming of plants against multiple abiotic stresses: mission possible? *Trends in plant Sci.* 21: 4. 329-340.
  45. Misra, N. and Saxena, P. 2009. Effect of salicylic acid on proline metabolism in lentil grown under salinity stress. *Plant Sci.* 177: 181-189.
  46. Ahmad, P., Jaleel, C.A., Salem, M.A., Nabi, G. and Sharma, S. 2010. Roles of enzymatic and nonenzymatic antioxidants in plants during abiotic stress. *Crit. Rev. Biotech.* 30: 3. 161-175.
  47. Fu, J.J., Sun, Y.F., Chu, X.T., Yang, L.Y., Xu, Y.F. and Hu, T.M. 2014. Exogenous nitric oxide alleviates shade-induced oxidative stress in tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). *J. Hort. Sci. Biotech.* 89: 2. 193-200.
  48. Yang, H., Wu, F. and Cheng, J. 2011. Reduced chilling injury in cucumber by nitric oxide and the antioxidant response. *Food Chem.* 127: 3. 1237-1242.
  49. Wu, X.X., Zhu, X.H., Chen, J.L., Yang, S.J., Ding, H.D. and Zha, D.S. 2013. Nitric oxide alleviates adverse salt-induced effects by improving the photosynthetic performance and increasing the anti-oxidant capacity of eggplant (*Solanum melongena* L.). *J. Hort. Sci. Biotech.* 88: 3. 352-360.
  50. Molazem, D., Qurbanov, E.M. and Dunyamaliyev, S.A. 2010. Role of proline, Na and chlorophyll content in salt tolerance of corn (*Zea mays* L.). *Am.-Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 9: 3. 319-324.
  51. Hasanuzzaman, M., Inafuku, M., Nahar, K., Fujita, M. and Oku, H. 2021. Nitric oxide regulates plant growth, physiology, antioxidant defense, and ion homeostasis to confer salt tolerance in the mangrove species, *Kandelia obovata*. *Anti.* 10: 4. 611-621.
  52. Sundararajan, S., Shanmugam, R., Sivakumar, H.P. and Ramalingam, S. 2022. Exogenous supplementation with sodium nitroprusside, a nitric oxide donor, mitigates the effects of salinity in *Abelmoschus esculentus* L. seedlings. *Hort. Environ. Biotechnol.* 2: 3. 1-11.
  53. Zheng, C., Jiang, D., Liu, F., Dai, T., Liu, W., Jing, Q. and Cao, W. 2009. Exogenous nitric oxide improves seed germination in wheat against

- mitochondrial oxidative damage induced by high salinity. *Environ. Exp. Bot.* 67: 1. 222-227.
54. Abdel Latef, A.A.H. and Chaoxing, H. 2014. Does inoculation with *Glomus mosseae* improve salt tolerance in pepper plants? *J. Plant Grow. Reg.* 33: 3. 644-653.
55. Nejadalmoradi, H.A.V.V.A., Nasibi, F.A.T.E.M.E.H., Kalantari, K.M. and Zanganeh, R.O.Y.A. 2014. Effect of seed priming with L-arginine and sodium nitroprusside on some physiological parameters and antioxidant enzymes of sunflower plants exposed to salt stress. *Agric. Comm.* 2: 1. 23-30.
56. Kaya, C., Ashraf, M., Alyemeni, M.N. Corpas, F.J. and Ahmad, P. 2020. Salicylic acid-induced nitric oxide enhances arsenic toxicity tolerance in maize plants by upregulating the ascorbate-glutathione cycle and glyoxalase system. *J. Haz. Mater.* 399: 1. 1-10.
57. Alamri, S.A., Siddiqui, M.H., Al-Khaishany, M.Y., Khan, M.N., Ali, H.M. and Alakeel, K.A. 2019. Nitric oxide-mediated cross-talk of proline and heat shock proteins induce thermotolerance in *Vicia faba* L. *Environ. Exp. Bot.* 161: 2. 290-302.
58. Kang, H.M. and Saltveit, M.E. 2002. Antioxidant enzymes and DPPH-radical scavenging activity in chilled and heat-shocked rice (*Oryza sativa* L.) seedlings radicles. *J. Agric. Food Chem.* 50: 3. 513-518.
59. Tanou, G., Molassiotis, A. and Diamantidis, G. 2009. Hydrogen peroxide-and nitric oxide-induced systemic antioxidant prime-like activity under NaCl-stress and stress-free conditions in citrus plants. *J. Plant Physiol.* 166: 17. 1904-1913.
60. Qiao, W., Li, C. and Fan, L.M. 2014. Cross-talk between nitric oxide and hydrogen peroxide in plant responses to abiotic stresses. *Environ. Exp. Bot.* 100: 3. 84-93.
61. Zhang, A., Jiang, M., Zhang, J., Ding, H., Xu, S., Hu, X. and Tan, M. 2007. Nitric oxide induced by hydrogen peroxide mediates abscisic acid-induced activation of the mitogen-activated protein kinase cascade involved in antioxidant defense in maize leaves. *New Phytol.* 175: 1. 36-50.
62. Shi, Q., Ding, F., Wang, X. and Wei, M. 2007. Exogenous nitric oxide protects cucumber roots against oxidative stress induced by salt stress. *Plant Physiol. Biochem.* 45: 8. 542-550.
63. Pakkish, Z. and Tabatabaenia, M.S. 2016. The use and mechanism of NO to prevent frost damage to flower of apricot. *Sci. Hort.* 198: 2. 318-325.
64. Tan, J., Zhao, H., Hong, J., Han, Y., Li, H. and Zhao, W. 2008. Effects of exogenous nitric oxide on photosynthesis, antioxidant capacity and proline accumulation in wheat seedlings subjected to osmotic stress. *World J. Agric. Sci.* 4: 3. 307-313.

## Simulation of Yield and Water Productivity in New Bread Wheat Cultivars Using DSSAT-Nwheat Model

Farasat Sajadi<sup>1</sup>, Hossein Sharifan<sup>\*2</sup>, Habiballah Soughi<sup>3</sup>,  
Mohammad Abdolhosseini<sup>4</sup>

1. Ph.D. Student, Dept. of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: [farasatsajadi@gmail.com](mailto:farasatsajadi@gmail.com)
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: [h\\_sharifan@gau.ac.ir](mailto:h_sharifan@gau.ac.ir)
3. Associate Prof., Horticulture Crops Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran. E-mail: [hab3asog@gmail.com](mailto:hab3asog@gmail.com)
4. Assistant Prof., Dept. of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: [abdolhosseini@gau.ac.ir](mailto:abdolhosseini@gau.ac.ir)

### Article Info

**Article type:**  
Full Length Research Paper

**Article history:**  
Received: 05.10.2022  
Revised: 06.16.2022  
Accepted: 07.01.2022

**Keywords:**  
Climate change,  
Golestan province,  
Modeling,  
Sowing date

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Crop simulation models are widely used in the analysis of cropping systems, climate change and crop management methods. It is a good tool for completing and developing the results of field trials to evaluate new cultivars and new management systems. The aim of this research was to simulate the phenological stages and yield of different bread wheat cultivars in climatic conditions of Gorgan city using DSSAT-Nwheat model.

**Materials and Methods:** In this study, in order to evaluate the performance of the DSSAT-Nwheat model, the data derived from a two-year experiment (Growing seasons 2019-2020 and 2021-2020), in which four new bread wheat cultivars were studied under seven sowing dates as split plot based on randomized complete block design (RCBD). Seven sowing dates (from 1 November to 31 December, 10-day intervals) were placed in main plots and four bread wheat genotypes (including Arman, Araz, Taktaz and N-93-9) were placed as subplots. The data derived from the first year and the second year were used for calibration and validation of the model, respectively. In addition to field data, daily meteorological data, management events, soil characteristics and geographical coordinates were provided to DSSAT 4.7 software. After determining the genetic coefficients of each genotype, the model was calibrated for different traits and subsequently the same coefficients were used to validate the model. Using statistical indices, the simulated values of the model were tested with the observed values.

**Results:** The results showed that the phenological stages including day to anthesis and day to maturity were simulated with root mean squared error (RMSE) equal to four days, and normalized root mean square error (nRMSE) less than 3%. RMSE for grain yield and biological yield were 416 kg ha<sup>-1</sup> and 1000 kg ha<sup>-1</sup>, respectively, and nRMSE values were between 7-8%. In water productivity based on grain yield and biological yield, nRMSE values were 6.21% and 7.53%, respectively, and RMSE values were 0.93 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> and 2.91 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, respectively. In all the simulated traits, the Willmott's agreement indices (d) and the coefficient of determination (R<sup>2</sup>) were in the acceptable range, which

---

showed the proper performance of the DSSAT-Nwheat model for simulating these traits in different bread wheat cultivars.

**Conclusion:** The results of this study showed that the DSSAT-Nwheat model had proper performance for simulating phenological stages, grain yield, biological yield and water productivity in four cultivars including Araz, Arman, Taktaz and N-93-9. The nRMSE values for all studied traits were between 6-8%. The cultivars studied in this study are the latest cultivars released for the northern warm and humid agro-climatic zone, Iran, in the next few years, they will occupy a large area of wheat cultivation in Golestan province. Therefore, it seems that the results of this study can be used in the decisions of wheat cultivation systems, different effects of agricultural management and current and future climate change in Golestan province.

---

Cite this article: Sajadi, Farasat, Sharifan, Hossein, Soughi, Habiballah, Abdolhosseini, Mohammad. 2023. Simulation of Yield and Water Productivity in New Bread Wheat Cultivars Using DSSAT-Nwheat Model. *Journal of Plant Production*, 30 (1), 103-124.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2022.20198.2932

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---



## شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در ارقام جدید گندم نان با استفاده از مدل DSSAT-Nwheat

فراست سجادی<sup>۱</sup>، حسین شریفان<sup>۲\*</sup>، حبیب‌اله سوقی<sup>۳</sup>، محمد عبدالحسینی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.  
رایانامه: [farasatsajadi@gmail.com](mailto:farasatsajadi@gmail.com)
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.  
رایانامه: [h\\_sharifan@gau.ac.ir](mailto:h_sharifan@gau.ac.ir)
۳. دانشیار بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران. رایانامه: [hab3asog@gmail.com](mailto:hab3asog@gmail.com)
۴. استادیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.  
رایانامه: [abdolhosseini@gau.ac.ir](mailto:abdolhosseini@gau.ac.ir)

| اطلاعات مقاله   | چکیده   |
|---|---|
| نوع مقاله:<br>مقاله کامل علمی- پژوهشی   | سابقه و هدف: مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی به‌طور گسترده‌ای در تجزیه و تحلیل نظام‌های کشت، تغییرات اقلیمی و روش‌های مدیریت محصول مورد استفاده قرار می‌گیرند و ابزار مناسبی برای تکمیل و توسعه نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای برای ارزیابی ارقام جدید و نظام‌های مدیریتی جدید است. هدف از این پژوهش شبیه‌سازی مراحل فنولوژی و عملکرد ارقام مختلف گندم نان در شرایط اقلیمی شهرستان گرگان با استفاده از مدل DSSAT-Nwheat بود.  |
| تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۰<br>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۶<br>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۰ | مواد و روش‌ها: در این پژوهش به‌منظور ارزیابی کارکرد مدل DSSAT-Nwheat، از داده‌های یک آزمایش دو ساله (سال‌های زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹) استفاده شد که چهار رقم جدید گندم نان در هفت تاریخ کاشت به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بررسی شده بودند. در این آزمایش هفت تاریخ کاشت (از ۱۰ آبان تا ۱۰ دی ماه به فواصل ۱۰ روزه) در کرت‌های اصلی و چهار ژنوتیپ گندم نان (آرمان، آراز، تکتاز و N-93-9) در کرت‌های فرعی قرار گرفته بودند. از داده‌های سال اول و سال دوم آزمایش به ترتیب جهت واسنجی و صحت‌سنجی مدل استفاده شد. علاوه بر داده‌های مزرعه، داده‌های هواشناسی روزانه، رویدادهای مدیریتی، خصوصیات خاک و مختصات جغرافیایی در اختیار نرم‌افزار DSSAT 4.7 قرار گرفت. پس از تعیین ضرایب ژنتیکی هر رقم، واسنجی مدل برای صفات مختلف انجام شد و از همان ضرایب برای صحت‌سنجی مدل استفاده شد. با استفاده از شاخص‌های آماری مقادیر شبیه‌سازی شده مدل با مقادیر مشاهده شده مورد آزمون قرار گرفت. |
| واژه‌های کلیدی:<br>استان گلستان،<br>تاریخ کاشت،<br>تغییر اقلیم،<br>مدل‌سازی     |   |

---

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که مراحل فنولوژی شامل صفات روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی با مقادیر جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) چهار روز، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE) کم‌تر از سه درصد شبیه‌سازی شده است. مقادیر RMSE برای عملکرد دانه و عملکرد زیستی به ترتیب ۴۱۶ و ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بود و مقادیر nRMSE نیز بین ۸-۷ درصد بود. در بهره‌وری آب مبتنی بر عملکرد دانه و عملکرد زیستی مقادیر nRMSE به ترتیب ۶/۲۱ و ۷/۵۳ درصد و مقادیر RMSE نیز در به ترتیب ۰/۹۳ و ۲/۹۱ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر بود. در تمامی صفات شبیه‌سازی شده آماره‌های شاخص توافق ویلموت (d) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) در محدوده قابل‌قبولی قرار داشتند که نشان از کارایی خوب مدل DSSAT-Nwheat در شبیه‌سازی این صفات در ارقام مختلف گندم نان داشت.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این پژوهش نشان داد که مدل DSSAT-Nwheat با کارایی مناسبی قادر به شبیه‌سازی مراحل فنولوژی، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و کارایی مصرف آب در چهار رقم آراز، آرمان، تکتاز و N-93-9 بود. به‌طوری‌که مقادیر nRMSE برای تمامی صفات مورد مطالعه بین ۶-۸ درصد بود. ارقام مورد مطالعه در این پژوهش، جدیدترین ارقام معرفی شده برای اقلیم گرم و مرطوب شمال کشور بودند و در چند سال آینده سطح قابل‌توجهی از کشت گندم را در استان گلستان به خود اختصاص خواهند داد. بنابراین به نظر می‌رسد نتایج این پژوهش می‌تواند در تصمیم‌گیری‌ها نظام‌های کشت گندم، تأثیرات مختلف مدیریت زراعی و تغییر شرایط اقلیمی جاری و آینده استان گلستان مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

---

**استناد:** سجادی، فراست، شریفان، حسین، سوقی، حبیب‌اله، عبدالحسینی، محمد (۱۴۰۲). شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در ارقام جدید گندم نان با استفاده از مدل DSSAT-Nwheat. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۰ (۱)، ۱۲۴-۱۰۳.  
DOI: 10.22069/JOPP.2022.20198.2932



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

گندم یکی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین محصولات کشاورزی جهان است که با بیش از ۲۱۹ میلیون هکتار بیش‌ترین سطح زیر کشت را در سراسر جهان به خود اختصاص داده است و در مجموع تولیدی در حدود ۷۶۰ میلیون تن دارا است (۱). در ایران نیز گندم از نظر تولید و سطح زیر کشت مهم‌ترین محصول کشاورزی است و افزایش محصول آن روز به روز مورد توجه قرار گرفته است و از نظر اقتصادی و امنیت غذایی مردم از اهمیت بسیاری برخوردار است (۲). بر اساس آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۹۸-۹۹ حدود ۳۵۶ هزار هکتار اراضی استان گلستان زیر کشت گندم رفته است (رتبه هشتم در کشور) که در آن بیش از ۱/۲۸ میلیون تن گندم برداشت شده است که از این نظر استان گلستان پس از استان‌های خوزستان و فارس در رتبه سوم کشور قرار گرفته است (۳).

تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های تحقیقاتی متخصصان علوم گیاهی است. افزایش گازهای گلخانه‌ای و اثرات دی‌اکسید کربن باعث تغییر دما و الگوی بارندگی تغییر در مراحل فنولوژی گیاهان و در نتیجه کاهش عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی از جمله گندم شده است (۴ و ۵). توانایی کنترل طول دوره مراحل فنولوژیک برای سازگاری با شرایط محیطی خاص و تعیین راهبردهای به‌نژادی بر اساس آن‌ها بسیار مهم است (۶). در بسیاری از مناطق جهان از جمله ایران وقوع تنش‌های گرما و خشکی انتهای فصل عامل اصلی کاهش عملکرد گندم بوده است (۷). گلدھی و دوره پر شدن دانه حساس‌ترین مراحل رشد گندم به تنش‌های محیطی انتهای فصل هستند؛ به‌طوری‌که وقوع تنش در مراحل مذکور باعث عدم باروری مناسب و کوتاه شدن دوره پر شدن دانه می‌شود. بنابراین توانایی گیاه برای تطبیق مراحل حساس نموی با شرایط عدم تنش در طی فصل رشد

می‌تواند سبب فرار گیاه از تنش‌های محیطی مانند خشکی و گرمای انتهای فصل شود (۸). تعیین تاریخ کاشت مناسب برای استفاده از شرایط بهینه ابزاری مهم در به حداقل رساندن عوارض تنش گرما و خشکی انتهای فصل است (۹). در مطالعه‌های مختلفی که در استان گلستان انجام شده است به تفاوت عملکرد ارقام مختلف گندم نان تحت تاریخ‌های مختلف کاشت در اثر تفاوت در شرایط رویشی و زایشی گندم تأکید شده است (۱۰ و ۱۱).

مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی به‌طور گسترده‌ای برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری در تجزیه و تحلیل نظام‌های کشت، ارزیابی اثرات اقلیمی و ارزیابی روش‌های مدیریت محصول مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۲). استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی به دلیل هزینه پایین، سرعت بالا و در اختیار قراردادن اطلاعات کامل گزینه مناسبی برای تکمیل و توسعه نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای محسوب می‌شوند (۱۳). به دلیل وابستگی انسان به تولید مواد غذایی پایدار، پژوهش‌ها در زمینه شبیه‌سازی محصولات کشاورزی از اهمیت فراوانی برخوردار است زیرا عملکرد گیاه حاصل از اثر متقابل بین ژنوتیپ، محیط و عوامل مدیریت مزرعه است (۱۴ و ۱۵). مدل‌های شبیه‌سازی می‌توانند برهمکنش‌های پیچیده خصوصیات خاک، شرایط اقلیمی، شیوه‌های مدیریت و ویژگی‌های ژنتیکی محصول را ادغام و باعث درک بهتر از برهمکنش‌های پیچیده بین عوامل مؤثر بر رشد و نمو گیاهان شوند. از جنبه‌های اصلی مدل‌های شبیه‌سازی محصول، امکان استفاده آن‌ها در شرایط مختلف اقلیمی و مدیریتی است، به شرطی که مدل موردنظر در دامنه وسیعی از شرایط مورد ارزیابی و صحت‌سنجی قرار گرفته باشد (۱۲). از عواملی که بر شفافیت یک مدل تأثیر می‌گذارد، مسأله واسنجی مدل برای شرایط جدید است. در اغلب موارد برای رسیدن به نتایج مطلوب در شرایط مختلف، باید چند پارامتر واسنجی

آبی محصول از طریق کارایی تعرق به جای تبخیر تعرق بالقوه و LAI، اضافه شدن یک فاکتور تنش نسبت به دمای بالا برای افزایش سرعت زوال برگ و اصلاح عملکرد کنترل تنش یخبندان، سطح ویژه برگ (SLA)، ضریب خاموشی نور (k) و شبیه‌سازی اثر تنش غرقابی بر رشد محصول می‌باشد. این تفاوت‌ها در مدل‌سازی منجر به تفاوت‌هایی در قابلیت شبیه‌سازی بین مدل‌های CERES-Wheat و Nwheat شده است (۱۶). هم‌چنین در مدل DSSAT-Nwheat نیاز به تعیین ضرایب ژنتیکی بیش‌تری نسبت به مدل CERES-Wheat برای ارقام مورد مطالعه در جهت واسنجی مدل است (۲۱).

مدل DSSAT تحت تاریخ کاشت‌های مختلف (۹ و ۲۱) و تیمارهای آبیاری و کودی متفاوت (۲۲ و ۲۳) برای شبیه‌سازی مراحل فنولوژی، عملکرد دانه و عملکرد دانه گندم مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی چهار رقم گندم با استفاده از مدل DSSAT-Nwheat نشان داده است که مراحل فنولوژیکی کاشت تا گل‌دهی و کاشت تا رسیدگی را به‌خوبی با مقادیر جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) کم‌تر از چهار روز، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE) کم‌تر از سه درصد و شاخص توافق ویلموت (d) نزدیک به یک شبیه‌سازی شده است. هم‌چنین نتایج شبیه‌سازی عملکرد دانه ارقام گندم نشان داد که مقدار RMSE برای ارقام مختلف متغیر بوده اما به‌طورکلی، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE) و شاخص توافق ویلموت (d) برای عملکرد دانه ارقام به‌ترتیب کم‌تر از ۲۰ درصد و بالاتر از ۰/۸ بوده که دقت واسنجی را به‌خوبی نشان می‌دهد (۲۴). مدل‌های شبیه‌سازی که اثرات مقادیر مختلف آب بر عملکرد محصول را به‌صورت کمی شبیه‌سازی می‌کنند، ابزارهای مفید در مدیریت آب در سطح مزرعه و بهینه‌سازی کارایی مصرف آب می‌باشند. سعادتی و

شوند. دقت روش واسنجی عمدتاً به نوع و کیفیت داده‌های اندازه‌گیری بستگی دارد. برای برآورد دقیق‌تر ضرایب ژنتیکی ارقام، توصیه می‌شود که آزمایش در چندین تاریخ کاشت در یک محل و یا با تاریخ کاشت یکسان در مکان‌های مختلف انجام شود (۱۷).

سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری برای انتقال فناوری کشاورزی<sup>۱</sup> (DSSAT) یک سیستم مدل‌سازی است که به‌طور گسترده در مناطق مختلف جهان به عنوان ابزاری برای تحقیق و آموزش از آن استفاده شده (۱۲) و به‌عنوان ابزاری بسیار مفید برای کاهش قابل‌ملاحظه زمان و هزینه در آزمایش‌های مزرعه‌ای برای ارزیابی مناسب ارقام جدید و نظام‌های مدیریتی جدید به‌کار می‌رود (۱۴). این بسته نرم‌افزاری مجموعه‌ای از برنامه‌های مستقل است که با یکدیگر به‌کار برده شده و برای ۲۸ محصول زراعی مهم استفاده شده است (۱۹). مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی رشد گندم توسعه داده شده‌اند، از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های CERES-Wheat، APSIM، WOFOST، EPIC، SOCRUS و Aqua Crop اشاره کرد. در یک مطالعه مروری با بررسی ۲۲۱ مطالعه انجام شده در بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ در زمینه مدل‌سازی در گیاهان، گزارش شده است که از بین تمام مدل مختلف مورد استفاده در این مطالعات، مدل CERES بیش‌ترین کاربرد را شبیه‌سازی رشد و نمو و عملکرد گندم در دنیا داشته است (۲۰).

اخیراً مدل DSSAT-Nwheat به دلیل کارایی بالای آن در نسخه جدید نرم‌افزار DSSAT v4.7 در دسترس قرار گرفته است (۱۸). مدل DSSAT-Nwheat یک مدل شبیه‌سازی گندم است که با تغییرات مختلف از مدل DSSAT-CERES مشتق شده است. مهم‌ترین تغییرات در مدل Nwheat جایگزینی روش معمول مصرف آب با یک رویکرد مبتنی بر یک بخش بحرانی آب خاک در دسترس، رابطه زیست‌توده با نیاز

1- Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT)

استفاده از مدل DSSAT-Nwheat در شرایط آب و هوایی شهرستان گرگان انجام گرفت.

### مواد و روش‌ها

**محل و زمان اجرای آزمایش:** این پژوهش در سال‌های زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی عراقی محله گرگان واقع در پنج کیلومتری شمال گرگان با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی به اجرا در آمد. آمار هواشناسی محل آزمایش شامل مجموع طول روز، بارش، مجموع ساعات آفتابی، میانگین رطوبت نسبی و میانگین و حداکثر دما در طی دو سال آزمایش به تفکیک ماه‌های آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

همکاران (۲۰۱۶) با ارزیابی مدل CERES-Wheat در شبیه‌سازی عملکرد ارقام گندم تحت تیمارهای مختلف آبیاری گزارش کردند که کارایی مدل CERES-Wheat در شبیه‌سازی فرآیند رشد را مطلوب است و تأثیر آب بر عملکرد گندم در منطقه مورد مطالعه را تأیید کردند (۲۵). در یک آزمایش دوساله روی سه رقم گندم نان تحت تاریخ کاشت‌های زودهنگام، مطلوب و دیرهنگام، کارایی مدل DSSAT-Nwheat در کنار سه مدل دیگر مورد ارزیابی قرار گرفته است و شبیه‌سازی صفات تعداد روز تا گلدهی، حداکثر شاخص سطح برگ، عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه تحت شرایط تنش انتهای فصل مورد تأیید قرار گرفت (۲۱). این مطالعه با هدف شبیه‌سازی رشد، عملکرد و بهره‌وری مصرف آب ارقام مختلف گندم نان با

جدول ۱- آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان در دو سال آزمایش (۱۳۹۸-۱۴۰۰).<sup>#</sup>

**Table 1. Meteorological statistics of Gorgan agricultural research station during two years of the experiment (2019-2021)<sup>#</sup>.**

| ماه<br>Month            | مجموع طول<br>روز (ساعت)<br>Accumulated<br>day length<br>(hour) | بارش (میلی‌متر)<br>Precipitation<br>(mm) |               | مجموع ساعات آفتابی<br>(ساعت)<br>Accumulated actual<br>sunshine (hour) |               | میانگین رطوبت<br>نسبی (درصد)<br>Mean relative<br>humidity (%) |               | میانگین دما (°C)<br>Mean<br>temperature<br>(°C) |               | میانگین حداکثر دما<br>(°C)<br>Mean maximum<br>temperature<br>(°C) |               |
|-------------------------|--|--|---------------|---|---------------|---|---------------|---|---------------|---|---------------|
|                         | ۹۸-۹۹، ۹۹-۰۰   | ۹۸-۹۹                                    | ۹۹-۰۰         | ۹۸-۹۹   | ۹۹-۰۰         | ۹۸-۹۹   | ۹۹-۰۰         | ۹۸-۹۹   | ۹۹-۰۰         | ۹۸-۹۹   | ۹۹-۰۰         |
|                         | 2019-2020<br>2020-2021   | 2017-<br>2018                            | 2019-<br>2020 | 2017-2018   | 2019-<br>2020 | 2017-<br>2018   | 2019-<br>2020 | 2017-<br>2018                                   | 2019-<br>2020 | 2017-<br>2018   | 2019-<br>2020 |
| آبان<br>Oct23-Nov21     | 312.7  | 106.1                                    | 24.4          | 156.6   | 174.5         | 76  | 71            | 14.4  | 15.9          | 19.8  | 22.4          |
| آذر<br>Nov22-Dec21      | 291.0  | 8.1                                      | 37.2          | 160.9   | 92.5          | 77  | 81            | 10.0  | 8.1           | 15.4  | 12.7          |
| دی<br>Dec22-Jan20       | 291.4  | 11.5                                     | 21.9          | 151.8   | 154.5         | 75  | 74            | 8.7   | 7.2           | 14.7  | 13.6          |
| بهمن<br>Jan21-Feb19     | 314.1  | 27.6                                     | 25.0          | 193.5   | 165.0         | 71  | 874           | 8.7   | 9.4           | 15.6  | 16.2          |
| اسفند<br>Feb20-Mar20    | 335.7  | 57.4                                     | 72.3          | 132.5   | 149.5         | 80  | 72            | 11.7  | 8.4           | 17.8  | 14.6          |
| فروردین<br>Mar21-Apr20  | 396.2  | 61.7                                     | 16.8          | 118.2   | 187.5         | 81  | 71            | 13.0  | 16.3          | 17.7  | 23.6          |
| اردیبهشت<br>Apr21-May21 | 431.2  | 39.8                                     | 13.8          | 184.2   | 209.2         | 76  | 70            | 19.3  | 21.3          | 25.6  | 28.1          |
| خرداد<br>May22-Jun21    | 455.0  | 0.4                                      | 9.4           | 299.8   | 247.4         | 64  | 66            | 26.5  | 27.1          | 34.5  | 34.3          |

<sup>#</sup> آمار هواشناسی از ایستگاه فرودگاه در یک کیلومتری ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان گرفته شد

<sup>#</sup> Meteorological information obtained from Gorgan airport station located one kilometer from Gorgan agricultural research station

آزمایشی انجام شده و عملکرد دانه و اجزای عملکرد هر کرت تعیین شده است.

**توصیف مدل DSSAT-Nwheat (اطلاعات ورودی):** اطلاعات ورودی به نرم‌افزار شامل داده‌های هواشناسی روزانه، خصوصیات ژنتیکی و رشد و نمو رقم، رویدادهای مدیریتی، خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش، مختصات محل آزمایش شامل عرض و طول جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا بود. فایل داده‌های هواشناسی محل اجرای آزمایش شامل دمای حداقل و حداکثر روزانه، بارندگی، رطوبت نسبی، تبخیر، ساعات آفتابی و میزان تشعشع محاسبه شده با استفاده از ابزار WeatherMan تهیه شده و در اختیار نرم‌افزار DSSAT 4.7 (۱۸) قرار گرفت.

خصوصیات ژنتیکی هر رقم با استفاده از ضرایب ژنتیکی تعیین شد. مدل DSSAT-Nwheat از نه ضریب ژنتیکی اصلی برای هر رقم استفاده می‌کند (۱۶). این ضرایب شامل نیاز به بهاره‌سازی (VSEN)، حساسیت فتوسنتز (PPSEN)، درجه روز مورد نیاز از جوانه‌زنی تا آغاز گل (P1)، درجه روز مورد نیاز از شروع پر شدن دانه تا رسیدگی (P5)، نسبت تعداد دانه بر وزن ساقه (GRNO)، پتانسیل سرعت رشد دانه (MXFIL)، حداکثر وزن خشک ساقه (STMMX) و فاصله بین ظهور نوک دو برگ متوالی (PHINT) بودند (جدول ۲).

ورودی‌های اصلی خاک شامل پارامترهای شیمیایی و فیزیکی خاک در لایه‌های مختلف خاک، اسیدیته خاک، محتوای آب خاک در نقطه اشباع، نقطه پژمردگی دائم و در ظرفیت زراعی طبق آزمون خاک مزرعه تعیین شدند (جدول ۳). اطلاعات مدیریت زراعی شامل تاریخ‌های کاشت مختلف، عمق کاشت، تراکم، میزان و تاریخ مصرف کودها، آب آبیاری و همچنین شرایط اولیه آب و محتوای نیتروژن خاک بود. ورودی‌های مربوط به خاک مزرعه و مدیریت زراعی توسط ابزار SBuild در نرم‌افزار

واسنجی مدل **DSSAT-Nwheat**: به‌طور کلی برای واسنجی مدل‌ها از داده‌های تیمارهای نرمال (در شرایط بدون تنش) آزمایش‌های مزرعه‌ای استفاده می‌گردد. در همین راستا واسنجی مدل DSSAT-Nwheat با استفاده از داده‌ها و اطلاعات آزمایشی انجام شد که در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد.

**شرایط آزمایش، مواد گیاهی و طرح آزمایشی جهت برداشت اطلاعات ورودی:** جهت واسنجی مدل، چهار رقم در هفت تاریخ کاشت به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار کشت شدند. هفت تاریخ کاشت ۱۰ آبان، ۲۰ آبان، ۳۰ آبان، ۱۰ آذر، ۲۰ آذر، ۳۰ آذر و ۱۰ دی ماه در کرت‌های اصلی و چهار ژنوتیپ گندم نان شامل آرمان، آراز، تکتاز و لاین N-93-9 (در دست معرفی) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. مواد گیاهی مورد استفاده در این پژوهش جدیدترین ارقام گندم اقلیم گرم و مرطوب شمال کشور هستند که توسط مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر معرفی شده یا کاندید معرفی است. این آزمایش در شرایط مطلوب رطوبتی انجام شد و با توجه به نیاز آبی گیاه، نسبت به آبیاری اقدام شد. مساحت هر کرت ۷/۲ مترمربع (عرض ۱/۲ متر و طول ۶ متر) و کاشت با استفاده از ماشین کاشت آزمایش‌های غلات انجام شده. میزان بذر در همه کرت‌ها بر اساس تراکم ۳۵۰ دانه در مترمربع بر مبنای وزن هزاردانه ارقام محاسبه گردید و میزان کودهای شیمیایی مصرفی بر اساس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه بود. در طول دوره رشد نسبت به اعمال توصیه‌های فنی زراعی به طور یکسان برای همه ترکیب‌های تیماری اقدام شده است. در طول دوره آزمایش از کاشت تا برداشت مراحل فنولوژی مانند تاریخ‌های سبز شدن، ظهور سنبله، گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک برای هر رقم یادداشت شده و در پایان هر سال زراعی و پس از رسیدن محصول، برداشت با استفاده از کمباین

DSSAT 4.7 ساخته شد. داده‌های اندازه‌گیری شده عملکرد دانه و اجزای آن در دو فایل مجزا (A-file و T-file) در ابزار ATCreate به نرم‌افزار معرفی شد. در مزرعه نیز شامل مراحل فنولوژی، عملکرد زیستی،

جدول ۲- ضرایب ژنتیکی مدل DSSAT-Nwheat برای گندم نان.

Table 2. Main genetic coefficients used in DSSAT-Nwheat model for wheat cultivars.

| شماره | پارامتر   | Parameter definition  | تعریف پارامتر                                    | واحد   |
|-------|-----------|---|--|--|
| No.   | Parameter |   |  | Unit   |
| 1     | VSEN      | Sensitivity to vernalization                                  | حساسیت به بهاره‌سازی                             |  |
| 2     | PPSEN     | Sensitivity to photoperiod                                    | حساسیت به طول روز                                |  |
| 3     | P1        | Thermal time from seedling emergence to end of juvenile phase | درجه روز مورد نیاز از جوانه زنی تا آغاز گل       | (°C)   |
| 4     | P5        | Thermal time (start of grain filling to maturity)             | درجه روز مورد نیاز از شروع پر شدن دانه تا رسیدگی | (°C)   |
| 5     | GRNO      | Kernel number per stem weight                                 | تعداد دانه بر وزن ساقه در زمان شروع پر شدن دانه  | kernel/<br>g-stem                            |
| 6     | MXFIL     | Potential kernel growth rate                                  | پتانسیل حداکثر سرعت رشد دانه                     | mg kernel <sup>-1</sup><br>day <sup>-1</sup> |
| 7     | STMMX     | Potential final dry weight of a single tiller                 | پتانسیل وزن خشک نهایی تک ساقه                    | g stem <sup>-1</sup>                         |
| 8     | PHINT     | Phyllochron interval (°C-days/leaf appearance)                | زمان حرارتی لازم بین ظهور نوک دو برگ متوالی      | °C-days/leaf<br>appearance                   |
| 9     | ADLAI     | Threshold aeration deficit (AF2) affecting                    | LAI کسری هوای آستانه (AF2) موثر بر شاخص سطح برگ  |  |

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

Table 3. Physical and chemical characteristics of soil of experimental site.

| Soil characteristic                | ویژگی‌های خاک                 | عمق (cm) Depth |        |        |       |
|------------------------------------|-------------------------------|----------------|--------|--------|-------|
|                                    |                               | 0-15           | 15-30  | 30-45  | 60-90 |
| pH                                 | اسیدیته                       | 7.20           | 7.30   | 7.30   | 7.30  |
| Ec (dSm <sup>-1</sup> )            | شوری                          | 1.35           | 1.27   | 1.42   | 1.41  |
| Organic carbon (%)                 | درصد کربن آلی                 | 1.50           | 1.10   | 0.60   | 0.40  |
| Total nitrogen (%)                 | درصد نیتروژن                  | 0.15           | 0.11   | 0.06   | 0.03  |
| Available phosphor (ppm)           | فسفر قابل دسترس               | 8.60           | 4.80   | 2.00   | 1.01  |
| Available potassium (ppm)          | پتاسیم قابل دسترس             | 333.00         | 220.00 | 108.00 | 70.00 |
| Bulk density (g cm <sup>-3</sup> ) | وزن مخصوص ظاهری               | 1.44           | 1.41   | 1.40   | 1.40  |
| Soil texture                       | بافت خاک                      |                |        |        |       |
| Clay (%)                           | درصد رس                       | 28             | 30     | 34     | 33    |
| Silt (%)                           | درصد سیلت                     | 54             | 52     | 52     | 52    |
| Sand (%)                           | درصد شن                       | 18             | 18     | 14     | 15    |
| Water content                      | محتوای آب خاک                 |                |        |        |       |
| Saturation point (%) (θm)          | نقطه اشباع (درصد حجمی)        | 49.9           | 52.2   | 51.90  | 60.00 |
| Field capacity (%) (θm)            | ظرفیت زراعی (درصد حجمی)       | 27.7           | 27.0   | 6.27   | 7.27  |
| Wilting point (%) (θm)             | نقطه پژمردگی دائم (درصد حجمی) | 13.1           | 12.3   | 9.80   | 9.80  |

آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE)، ضریب تبیین ( $R^2$ )، شاخص توافق ویلموت (d)، ضریب باقی‌مانده (CRM) و هم‌چنین انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مشاهده شده با استفاده از معادله خط رگرسیون استفاده شد (۲۷).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \times \frac{100}{\bar{O}} \quad (2)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (3)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (4)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n p_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (5)$$

باشد شبیه‌سازی ضعیف است (۲۸). مقدار RMSE هر چقدر به سمت صفر میل کند، عملکرد مدل بهبود می‌یابد. مقدار شاخص آماری توافق (d) نیز هر چقدر به عدد یک نزدیک‌تر باشد یعنی مقادیر مشاهده شده با مقادیر شبیه‌سازی شده تطابق بیشتری دارند و برعکس. مقدار ضریب تبیین ( $R^2$ ) هم بین صفر تا یک است یعنی هرچه مقدار آن، به عدد یک نزدیک‌تر شود، عملکرد مدل بهتر می‌شود. مقادیر منفی و مثبت CRM به ترتیب نشانگر تمایل مدل به برآورد بیش‌تر و کم‌تر از مقادیر مشاهداتی است (۲۹).

ارزیابی آماری مدل: کارایی مدل DSSAT-Nwheat برای صفات تاریخ گلدهی، تاریخ رسیدگی فیزیولوژیکی، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و بهره‌وری مصرف آب با مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده در برابر مقادیر اندازه‌گیری شده انجام شد. به این منظور از شاخص‌های آماری مختلف از جمله

در این روابط،  $P_i$ ،  $O_i$  و  $\bar{O}$  به ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده، مشاهده شده و میانگین مشاهدات برای متغیرهای مورد مطالعه و n تعداد مشاهدات است. NRMSE بر حسب درصد بیان می‌شود و بیانگر درصد اختلاف نسبی مقادیر اندازه‌گیری شده و مشاهده شده است. اگر NRMSE به دست آمده کم‌تر از ۱۰ درصد باشد شبیه‌سازی عالی، اگر بین ۱۰ درصد تا ۲۰ درصد باشد شبیه‌سازی خوب، اگر بین ۲۰ درصد تا ۳۰ درصد باشد شبیه‌سازی نسبتاً خوب و در صورتی که این شاخص آماری بزرگ‌تر از ۳۰ درصد



هواشناسی (شامل دمای حداقل و حداکثر روزانه، بارندگی، رطوبت نسبی، تبخیر، ساعات آفتابی، میزان تشعشع)، داده‌های خاک (شامل مشخصات شیمیایی و فیزیکی خاک در لایه‌های مختلف خاک، اسیدیته خاک و محتوای آب خاک در نقطه اشباع نقطه پژمردگی و در ظرفیت زراعی) و داده‌های مدیریت زراعی (شامل شرایط رطوبتی اجرای آزمایش، تاریخ‌های کاشت مختلف، عمق کاشت، تراکم و غیره) انجام شد. صفات اندازه‌گیری شده در مزرعه نیز در قالب دو فایل مجزا (A-file و T-file) به نرم‌افزار DSSAT 4.7 معرفی شدند.

شبیه‌سازی صفات با استفاده از ضرایب ژنتیکی به‌دست آمده در مدل واسنجی شده انجام شد. با استفاده از آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE)، ضریب تبیین ( $R^2$ )، شاخص توافق ویلموت (d)، ضریب باقی‌مانده (CRM) و ضریب رگرسیون (b)، اعتبار مدل DSSAT-Nwheat در شبیه‌سازی صفات مختلف آزمون شدند. بر اساس نتایج حاصل از مدل DSSAT-Nwheat مقادیر بهره‌وری آب (مجموع بارندگی و آبیاری) در تیمارهای مختلف بر اساس رابطه زیر محاسبه شد.

$$WP = \frac{Y}{I + R} \quad (6)$$

ارائه شده است. از آن‌جا که ارقام مذکور بهاره هستند، حساسیت به بهاره‌سازی (VSEN) ارقام بین ۱ تا ۲ بود مقدار این در ارقام زمستانه با توجه به لزوم بهاره‌سازی جهت ورود از مرحله رویشی به مرحله زایشی تا عدد ۴ می‌تواند باشد (۳۰).

ضرایب حساسیت ارقام به طول روز (PPSEN) نیز از ۳/۹ تا ۴ بود. در ارقام مختلف گندم اختلافات ژنتیکی از نظر حساسیت به طول روز وجود دارد و

صحت‌سنجی مدل DSSAT-Nwheat: جهت صحت‌سنجی مدل DSSAT-Nwheat آزمایشی دقیقاً مشابه به آزمایش سال قبل در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اجرا شد. در واقع آزمایش سال دوم نیز به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. در این آزمایش نیز هفت تاریخ کاشت ۱۰ آبان، ۲۰ آبان، ۳۰ آبان، ۱۰ آذر، ۲۰ آذر، ۳۰ آذر و ۱۰ دی ماه در کرت‌های اصلی و چهار ژنوتیپ گندم نان مطالعه (آرمان، آراز، تکتاز و لاین N-93-9) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

ابعاد کرت‌ها، تراکم، میزان بذر مصرفی، میزان کودهای شیمیایی مصرفی و عملیات فنی زراعی مطابق آزمایش سال قبل در نظر گرفته شدند. در طول دوره آزمایش از کاشت تا برداشت مراحل فنولوژی مانند تاریخ‌های سبز شدن، ظهور سنبله، گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک برای هر کرت یادداشت شده و در پایان سال زراعی و پس از رسیدن محصول، برداشت با استفاده از کمباین آزمایشی انجام شده و عملکرد دانه و اجزای عملکرد هر کرت تعیین شدند. جهت صحت‌سنجی مدل مشابه حالت واسنجی، توصیف مدل DSSAT-Nwheat شامل داده‌های

در این رابطه، WP بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر)، Y عملکرد دانه یا زیستی (کیلوگرم در هکتار)، I مقدار آبیاری و R مقدار بارندگی بر حسب میلی‌متر هستند.

### نتایج و بحث

واسنجی مدل: نتایج برآورد ضرایب ژنتیکی چهار رقم گندم آراز، آرمان، تکتاز و لاین N-93-9 در جدول ۴

ارقام مورد مطالعه رقم تکتاز زودرس‌ترین رقم بود. در مدل Nwheat پارامترهای PHINT و ADLAI تأثیر مستقیم بر پارامترهای رشدی به ویژه شاخص سطح برگ دارد. پارامترهای GRNO و STMMX که اثر مستقیم بر تعداد دانه در سنبله دارند و همچنین MXFIL که سرعت پر شدن دانه را تعیین می‌کند، پارامترهای تعیین‌کننده عملکرد هستند که مقادیر آنها برای هر رقم برآورد شده است (جدول ۴). درک برهمکنش بین این پارامترها در مدیریت‌ها و اقلیم‌های متفاوت باعث برآورد دقیق پارامترها و شبیه‌سازی دقیق عملکرد دانه در مدل می‌شود.

میزان تاخیر در نمو گندم در صورت عدم تامین طول روز مطلوب، بستگی به حساسیت رقم به فتوپریود خواهد داشت. سرعت تغییر نمو با طول روز به صورت ضریبی خاص برای ارقام زراعی در DSSAT بیان می‌شود (۳۱).

ضرایب مقادیر درجه روز رشد مورد نیاز از جوانه‌زنی تا آغاز گل (P1) بین ۳۴۰ تا ۳۸۵ بود همچنین ضرایب مقادیر درجه روز رشد شروع پر شدن دانه تا رسیدگی این ارقام بین ۶۰۰ تا ۷۰۰ برآورد شد. هرچه مقادیر ضرایب P1 و P5 کم‌تر باشد، آن رقم زودرس‌تر است به همین دلیل از میان

جدول ۴- ضرایب ژنتیکی مدل DSSAT-Nwheat برای چهار ژنوتیپ گندم نان.

Table 4. Genetic coefficients of DSSAT-Nwheat model for four bread wheat genotypes.

| شماره<br>No. | پارامتر<br>Parameter | تعریف پارامتر<br>Parameter definition   | آراز<br>Araz | آرمان<br>Arman | N-93-9 | تکتاز<br>Taktaz |
|--------------|----------------------|---|--------------|----------------|--------|-----------------|
| 1            | VSEN                 | حساسیت به بهاره‌سازی<br>Sensitivity to vernalization  | 2            | 1.5            | 1.9    | 1               |
| 2            | PPSEN                | حساسیت به طول روز<br>Sensitivity to photoperiod   | 4            | 4              | 3.9    | 3.9             |
| 3            | P1                   | درجه روز مورد نیاز از جوانه‌زنی تا آغاز گل<br>Thermal time from seedling emergence to end of juvenile phase | 370          | 380            | 385    | 340             |
| 4            | P5                   | درجه روز مورد نیاز از شروع پر شدن دانه تا رسیدگی<br>Thermal time (start of grain filling to maturity)       | 610          | 660            | 700    | 600             |
| 5            | GRNO                 | تعداد دانه بر وزن ساقه در زمان شروع پر شدن دانه<br>Kernel number per stem weight                            | 80           | 82             | 90     | 80              |
| 6            | MXFIL                | پتانسیل حداکثر سرعت رشد دانه<br>Potential kernel growth rate  | 28           | 30             | 29     | 28              |
| 7            | STMMX                | پتانسیل وزن خشک نهایی تک ساقه<br>Potential final dry weight of a single tiller                              | 1.9          | 2.9            | 2      | 1.4             |
| 8            | PHINT                | زمان حرارتی لازم بین ظهور نوک دو برگ متوالی<br>Phyllochron interval (°C-days/leaf appearance)               | 3            | 3              | 1      | 3               |
| 9            | ADLAI                | کسری هوای آستانه (AF2) مؤثر بر شاخص سطح برگ<br>Threshold aeration deficit (AF2) affecting LAI               | 0.8          | 0.8            | 0.7    | 0.7             |

شبیه‌سازی صفات عملکرد زیستی و عملکرد دانه را به ترتیب با حداکثر RMSE ۱۱۲۵ و ۵۱۷ کیلوگرم در هکتار انجام داد (جدول ۶). آماره‌های ضریب توافق (d) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) برای همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه قابل قبول بود (جدول ۶).

**صحت‌سنجی مدل:** به منظور صحت‌سنجی مدل از مجموعه‌ای از داده‌های آزمایش سال دوم آزمایش که در برآورد ضرایب ژنتیکی مدل در مرحله واسنجی به کار نرفته بودند، استفاده شد. نتایج صحت‌سنجی صفات روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، عملکرد زیستی و عملکرد دانه در شکل ۱ نشان داده شده است. مقادیر RMSE چهار روز، nRMSE سه درصد، d و  $R^2$  نزدیک به یک نشان از صحت بالای مدل واسنجی شده برای صفت روز تا گلدهی دارد (شکل ۱، الف). این دقت بالا در صفت روز تا رسیدگی ارقام گندم نیز مشاهده شد به طوری که مقادیر RMSE، nRMSE، d و  $R^2$  به ترتیب چهار روز، ۲/۴ درصد، ۰/۹۹ و ۰/۹۶ بود (شکل ۱، ب). این معیارهای آماری نشان از کارایی بالای مدل در شبیه‌سازی صفات فنولوژیکی ارقام مختلف گندم سال‌های مختلف و در تاریخ کاشت‌های مختلف می‌باشد. هم‌چنین نتایج صحت‌سنجی عملکرد دانه نشان داد که مقدار RMSE ۴۱۶ کیلوگرم در هکتار و nRMSE ۸ درصد بود که نشان‌دهنده دقت مدل Nwheat در شبیه‌سازی عملکرد ارقام بود. مقادیر d و  $R^2$  نیز برای عملکرد دانه ارقام به ترتیب ۰/۹۰ و ۰/۶۹ مشاهده شد (شکل ۱، ج). در صفت عملکرد زیستی نیز صحت‌سنجی مدل با دقت بالایی تأیید شد به طوری که مقادیر nRMSE ۷/۳۸ درصد و RMSE هزار کیلوگرم در هکتار بود. هم‌چنین مقادیر d و  $R^2$  برای عملکرد زیستی به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۹۶ بود (شکل ۱، د) که نشان از نزدیکی مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و تأیید کارایی بالای مدل Nwheat داشت.

مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی، عملکرد زیستی و عملکرد دانه پس از مرحله واسنجی مدل به تفکیک هر رقم در جدول ۵ به نمایش در آمده است. صفات روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی در ارقام مختلف با دقت عالی شبیه‌سازی شدند به طوری که حداکثر مقدار nRMSE برای صفات مذکور به ترتیب با ۴/۲۴ و ۳/۴۰ درصد مربوط به لاین N-93-9 بود. در واقع به طور کلی مدل Nwheat صفات روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی را حداکثر با ۶/۶۹ روز اختلاف شبیه‌سازی کرد (جدول ۶). آماره‌های ضریب توافق (d) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) برای همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نیز نزدیک به یک بود که نشان‌دهنده این است که واسنجی مدل برای مراحل نموی با دقت بالایی انجام شده است. مقادیر آماره CRM در همه ژنوتیپ‌ها منفی بود که نشان می‌دهد که مدل واسنجی شده N-Wheat مراحل فنولوژی را بیش‌تر از مقادیر مشاهده شده شبیه‌سازی کرده است (جدول ۶). واسنجی دقیق مراحل فنولوژی از آن جهت اهمیت دارد که این مراحل تأثیر مستقیمی بر شبیه‌سازی رشد و عملکرد دارند و به عبارتی، پیش‌نیاز واسنجی تولید ماده خشک و عملکرد می‌باشد (۳۲ و ۳۳). در صفات عملکرد زیستی و عملکرد دانه نتایج مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در مرحله واسنجی مدل نشان داد که میانگین عملکرد شبیه‌سازی شده هر چهار ژنوتیپ به مقادیر مشاهده شده بسیار نزدیک بوده است (جدول ۵) و مدل به صورت عالی شبیه‌سازی عملکرد ارقام را در تاریخ‌های مختلف کاشت انجام داده است مقدار nRMSE برای هر چهار ژنوتیپ کم‌تر از ۱۰ درصد بود.

حداکثر مقدار nRMSE برای صفات عملکرد زیستی و عملکرد دانه به ترتیب با ۸/۲۴ و ۹/۸۲ درصد مربوط به رقم آراز بود. به طور کلی مدل Nwheat

جدول ۵- مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای صفات روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی، عملکرد زیستی و عملکرد دانه چهار ژنوتیپ گندم

نان توسط مدل DSSAT-Nwheat.

**Table 5. Simulated and observed values of day to anthesis, day to maturity, biological yield and grain yield of four bread wheat genotypes using DSSAT-Nwheat model.**

| رقم/لاین<br>Cultivar/<br>Line | تاریخ کاشت <sup>§</sup><br>Sowing<br>Date <sup>§</sup> | روز از کاشت تا گلدهی   |                               | روز از کاشت تا رسیدگی  |                               | عملکرد زیستی (Kg ha <sup>-1</sup> )     |                               | عملکرد دانه (Kg ha <sup>-1</sup> ) |                               |
|-------------------------------|--|------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
|                               |  | Day to anthesis        |                               | Day to maturity        |                               | Biological yield (Kg ha <sup>-1</sup> ) |                               | Grain yield (Kg ha <sup>-1</sup> ) |                               |
|                               |  | مشاهده‌شده<br>Observed | شبیه‌سازی<br>شده<br>Simulated | مشاهده‌شده<br>Observed | شبیه‌سازی<br>شده<br>Simulated | مشاهده‌شده<br>Observed                  | شبیه‌سازی<br>شده<br>Simulated | مشاهده‌شده<br>Observed             | شبیه‌سازی<br>شده<br>Simulated |
| آراز<br>Araz                  | اول (SD1)  | 150                    | 155                           | 188                    | 193                           | 16089                                   | 16985                         | 5840                               | 5807                          |
|                               | دوم (SD2)  | 145                    | 152                           | 183                    | 190                           | 15833                                   | 16912                         | 5993                               | 5672                          |
|                               | سوم (SD3)  | 144                    | 145                           | 180                    | 181                           | 15194                                   | 16023                         | 6154                               | 5349                          |
|                               | چهارم (SD4)  | 140                    | 138                           | 173                    | 171                           | 14125                                   | 14116                         | 5993                               | 5207                          |
|                               | پنجم (SD5)   | 132                    | 130                           | 161                    | 159                           | 12278                                   | 13465                         | 4897                               | 5042                          |
|                               | ششم (SD6)  | 120                    | 121                           | 149                    | 150                           | 11789                                   | 13158                         | 4387                               | 4872                          |
|                               | هفتم (SD7)   | 109                    | 113                           | 137                    | 141                           | 10250                                   | 11961                         | 3577                               | 4070                          |
|                               | میانگین Mean   | 134                    | 136                           | 167                    | 169                           | 13651                                   | 14660                         | 5263                               | 5146                          |
| آرمان<br>Arman                | اول (SD1)  | 153                    | 156                           | 192                    | 195                           | 15917                                   | 17231                         | 5780                               | 6176                          |
|                               | دوم (SD2)  | 147                    | 153                           | 186                    | 192                           | 15517                                   | 16800                         | 6417                               | 5687                          |
|                               | سوم (SD3)  | 146                    | 146                           | 183                    | 183                           | 15394                                   | 16183                         | 5561                               | 5559                          |
|                               | چهارم (SD4)  | 141                    | 139                           | 175                    | 173                           | 13406                                   | 14407                         | 5477                               | 5445                          |
|                               | پنجم (SD5)   | 135                    | 131                           | 165                    | 161                           | 12923                                   | 13834                         | 4870                               | 5299                          |
|                               | ششم (SD6)  | 122                    | 122                           | 151                    | 151                           | 12350                                   | 13397                         | 4473                               | 5046                          |
|                               | هفتم (SD7)   | 111                    | 114                           | 139                    | 142                           | 11147                                   | 12193                         | 4490                               | 4592                          |
|                               | میانگین Mean   | 136                    | 137                           | 170                    | 171                           | 13808                                   | 14864                         | 5295                               | 5401                          |
| N-93-9                        | اول (SD1)  | 150                    | 158                           | 188                    | 196                           | 15658                                   | 16618                         | 5933                               | 5727                          |
|                               | دوم (SD2)  | 145                    | 154                           | 184                    | 193                           | 15500                                   | 16287                         | 6043                               | 5456                          |
|                               | سوم (SD3)  | 144                    | 148                           | 181                    | 185                           | 15111                                   | 15438                         | 6073                               | 5439                          |
|                               | چهارم (SD4)  | 140                    | 141                           | 173                    | 174                           | 12452                                   | 13880                         | 5380                               | 5150                          |
|                               | پنجم (SD5)   | 132                    | 132                           | 162                    | 162                           | 12319                                   | 13363                         | 4807                               | 5044                          |
|                               | ششم (SD6)  | 120                    | 124                           | 149                    | 153                           | 11688                                   | 12889                         | 4580                               | 4760                          |
|                               | هفتم (SD7)   | 109                    | 116                           | 137                    | 144                           | 11089                                   | 11680                         | 4133                               | 4017                          |
|                               | میانگین Mean   | 134                    | 139                           | 168                    | 172                           | 13402                                   | 14308                         | 5278                               | 5085                          |
| تکتاز<br>Taktaz               | اول (SD1)  | 147                    | 147                           | 185                    | 185                           | 15683                                   | 15971                         | 4660                               | 5263                          |
|                               | دوم (SD2)  | 143                    | 147                           | 181                    | 185                           | 15254                                   | 16563                         | 5275                               | 5481                          |
|                               | سوم (SD3)  | 141                    | 140                           | 177                    | 176                           | 14550                                   | 15661                         | 5635                               | 5576                          |
|                               | چهارم (SD4)  | 138                    | 134                           | 172                    | 168                           | 13167                                   | 13043                         | 5447                               | 5059                          |
|                               | پنجم (SD5)   | 129                    | 126                           | 159                    | 156                           | 12490                                   | 12513                         | 4900                               | 4683                          |
|                               | ششم (SD6)  | 117                    | 118                           | 147                    | 148                           | 11817                                   | 12420                         | 4568                               | 4450                          |
|                               | هفتم (SD7)   | 107                    | 110                           | 135                    | 138                           | 10514                                   | 11582                         | 4125                               | 3671                          |
|                               | میانگین Mean   | 132                    | 132                           | 165                    | 165                           | 13354                                   | 13965                         | 4944                               | 4883                          |

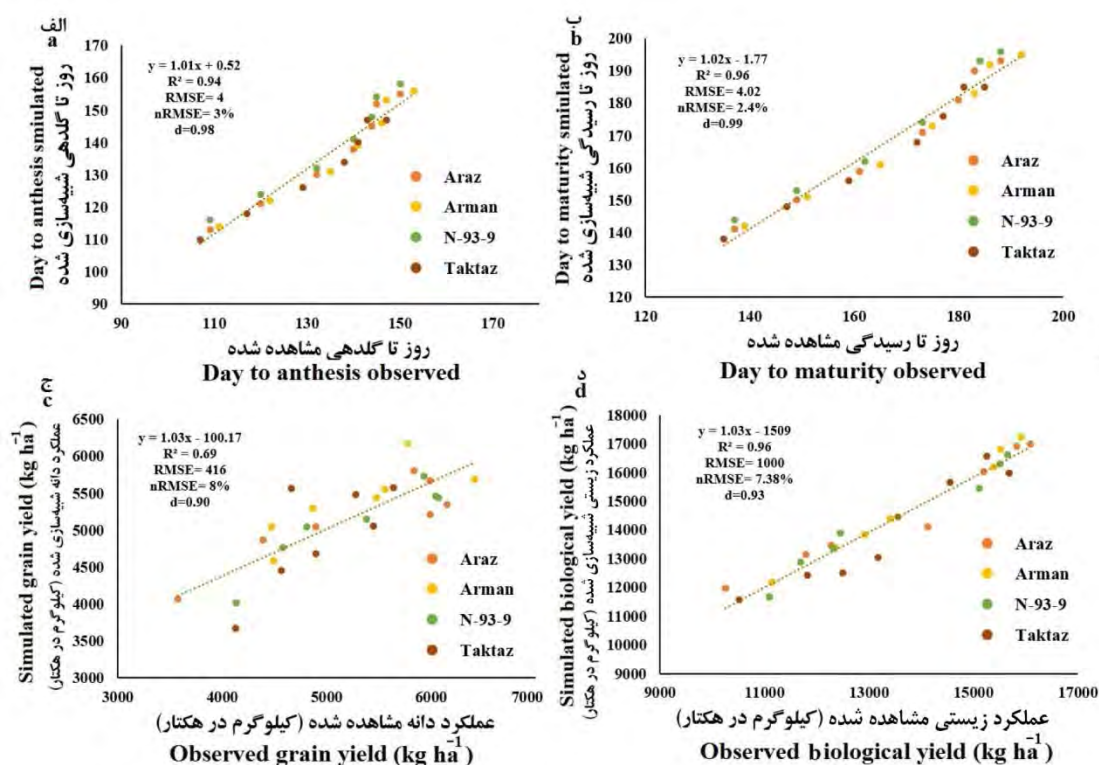
<sup>§</sup> تاریخ کاشت اول (۱۰ آبان)، تاریخ کاشت دوم (۲۰ آبان)، تاریخ کاشت سوم (۳۰ آبان)، تاریخ کاشت چهارم (۱۰ آذر)، تاریخ کاشت پنجم (۲۰ آذر)، تاریخ کاشت ششم (۳۰ آبان) و تاریخ کاشت هفتم (۱۰ دی)

<sup>§</sup> SD1 (01 November), SD2 (11 November), SD3 (21 November), SD4 (1 December), SD5 (11 December), SD6 (21 December) and SD7 (31 December)

جدول ۶- مقادیر شاخص‌های آماری مدل برای صفات فنولوژیک و عملکرد در ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان.

**Table 6. Values of model statistical indices for phenological traits and yield in different bread wheat genotypes.**

| رقم             | صفت                              | RMSE    | nRMSE | d    | R <sup>2</sup> | CRM   |
|-----------------|----------------------------------|---------|-------|------|----------------|-------|
| آراز<br>Araz    | روز تا گلدهی<br>Day to anthesis  | 3.78    | 2.81  | 0.98 | 0.95           | -0.01 |
|                 | روز تا رسیدگی<br>Day to maturity | 3.78    | 2.26  | 0.99 | 0.97           | -0.01 |
|                 | عملکرد زیستی<br>Biological yield | 1125.36 | 8.24  | 0.92 | 0.95           | -0.07 |
|                 | عملکرد دانه<br>Grain yield       | 516.76  | 9.82  | 0.87 | 0.80           | 0.02  |
| آرمان<br>Arman  | روز تا گلدهی<br>Day to anthesis  | 3.25    | 2.38  | 0.99 | 0.95           | -0.01 |
|                 | روز تا رسیدگی<br>Day to maturity | 3.25    | 1.91  | 0.99 | 0.97           | -0.01 |
|                 | عملکرد زیستی<br>Biological yield | 1070.21 | 7.75  | 0.91 | 0.99           | -0.08 |
|                 | عملکرد دانه<br>Grain yield       | 416.36  | 7.86  | 0.85 | 0.64           | -0.02 |
| N-93-9          | روز تا گلدهی<br>Day to anthesis  | 5.69    | 4.24  | 0.98 | 0.95           | -0.04 |
|                 | روز تا رسیدگی<br>Day to maturity | 5.69    | 3.40  | 0.99 | 0.97           | -0.03 |
|                 | عملکرد زیستی<br>Biological yield | 968.70  | 7.23  | 0.93 | 0.96           | -0.07 |
|                 | عملکرد دانه<br>Grain yield       | 367.21  | 6.96  | 0.91 | 0.86           | 0.04  |
| تکتاز<br>Taktaz | روز تا گلدهی<br>Day to anthesis  | 2.90    | 2.20  | 0.98 | 0.96           | -0.01 |
|                 | روز تا رسیدگی<br>Day to maturity | 2.90    | 1.76  | 0.99 | 0.99           | -0.01 |
|                 | عملکرد زیستی<br>Biological yield | 806.30  | 6.04  | 0.95 | 0.92           | -0.07 |
|                 | عملکرد دانه<br>Grain yield       | 343.76  | 6.95  | 0.90 | 0.71           | -0.05 |



شکل ۱- مقادیر شبیه‌سازی شده در مقابل مقادیر مشاهده شده در صفات روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی، عملکرد دانه و عملکرد زیستی در چهار ژنوتیپ گندم نان.

Fig. 1. Simulated values versus observed values in day to anthesis, day to maturity, grain yield and biological yield in four bread wheat genotypes.

است مقدار RMSE را برای روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی و عملکرد دانه به ترتیب ۲/۳۳، روز، ۲/۲۵ و ۵۶۸ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند (۲۴). اندرزیان و همکاران (۲۰۱۵) برای گندم رقم چمران در شرایط اقلیمی استان خوزستان با مدل CERES-Wheat به پیش‌بینی مراحل فنولوژیکی و عملکرد پرداختند و nRMSE را برای روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی و عملکرد دانه را به ترتیب ۳، ۲ و ۱۱/۸ درصد گزارش کردند (۹). در مطالعه دیگری که در استان گلستان روی چهار رقم گندم نان کوه‌دشت، شیروودی، تجن و زاگرس انجام شده است نتایج حاصل از شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی و عملکرد دانه نشان داده که مقادیر RMSE برای روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی به ترتیب ۲/۴ و ۷/۵ روز و برای

شبیه‌سازی تولید ماده خشک احتمالاً بخش مرکزی هر مدل شبیه‌سازی است که خود تحت‌تأثیر مدل‌سازی نمو فنولوژیک و تغییرات سطح برگ نیز قرار می‌گیرد (۳۳ و ۳۴). با استفاده از مدل CERES-Wheat در مطالعات متعددی مراحل فنولوژی ارقام تجاری گندم مناطق با خطای کم‌تر از ۱۰ درصد شبیه‌سازی شده است (۳۵ و ۳۶). بنایان و همکاران (۲۰۰۳) شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی گندم زمستانه آمریکا را با مدل CERES-Wheat انجام دادند و به جذر میانگین مربعات خطا ۷/۱ روز برای تاریخ گلدهی و ۱۰ روز برای رسیدگی برداشت دست یافتند (۳۷). فلاح و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از مدل Nwheat برای رقم تجن که در دهه هفتاد شمسی در استان گلستان به‌طور گسترده کشت می‌شده

براساس عملکرد دانه و عملکرد زیستی را به ترتیب با حداکثر با اختلاف ۱/۲۶ و ۳/۳۷ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر شبیه‌سازی کرد (جدول ۸).

به‌طور کلی آمارهای  $d$  و  $R^2$  نیز در ارقام مختلف در محدوده قابل‌قبولی بودند (جدول ۸). در صحت‌سنجی بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد دانه و عملکرد زیستی مقادیر  $nRMSE$  به ترتیب ۶/۲۱ و ۷/۵۳ درصد و مقادیر  $RMSE$  نیز در به ترتیب ۰/۹۳ و ۲/۹۱ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر بود. شاخص‌های آماری  $d$  و  $R^2$  نیز نسبتاً در محدوده قابل‌قبولی قرار داشتند (شکل ۲). با استفاده از مدل CERES-Wheat بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای مختلف آبیاری ۱۲/۸۰، ۱۱/۳ و ۸/۳۱ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر برای رقم چمران در شرایط آب و هوایی اهواز گزارش شده است (۳۸). در شرایط آب و هوایی مشهد نیز بهره‌وری آب با استفاده از مدل CERES-Wheat مورد مطالعه قرار گرفته و کارایی مطلوب مدل مذکور در شبیه‌سازی فرایند رشد و تأثیر آب بر عملکرد گندم گزارش شده است (۲۵). اثرات مدیریت آب بر عملکرد ارقام گندم بهاره در کانادا با استفاده از مدل Nwheat مورد بررسی قرار گرفته است و بیان شده که ۴۰۰ میلی‌متر آب ورودی به مزرعه (مجموع بارش و آبیاری) جهت دستیابی به حداکثر عملکرد در منطقه مورد بررسی نیاز است (۳۹).

عملکرد ۶۶۸ کیلوگرم در هکتار بوده است (۲۶). لازم به ذکر است ارقام مذکور با توجه به معرفی ارقام پر عملکرد جدید، دیگر در سطح استان گلستان کشت نمی‌شوند. در مطالعه دل‌قندی و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدل CERES-Wheat در صفت عملکرد زیستی رقم گندم چمران مقادیر  $nRSME$  و  $R^2$  به‌ترتیب پنج درصد و ۰/۹۰ گزارش شد (۳۸) که حدود آن با نتایج آزمایش ما مطابقت داشت. در یک آزمایش دو ساله با استفاده از کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن، عملکرد دانه و عملکرد زیستی گندم نان شبیه‌سازی شده است. بر این اساس در عملکرد دانه مقادیر شاخص‌های آماری مقادیر  $nRMSE$ ،  $d$  و  $R^2$  به ترتیب ۱۳ درصد، ۰/۹۶ و ۰/۹۰ بود و برای صفت عملکرد زیستی به ترتیب هفت درصد، ۰/۹۹ و ۰/۹۶ بود (۲۳) که این یافته‌ها نیز با نتایج پژوهش حاضر در توافق است.

**بهره‌وری مصرف آب:** مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده شده بهره‌وری مصرف آب بر اساس عملکرد زیستی و عملکرد دانه چهار رقم گندم نان با استفاده از مدل واسنجی شده DSSAT-Nwheat در جدول ۷ ارائه شده است. در شبیه‌سازی بهره‌وری مصرف آب براساس عملکرد دانه و عملکرد زیستی مقادیر  $nRMSE$  در ارقام مختلف زیر ۱۰ درصد بود که نشان از کارکرد خوب مدل در شبیه‌سازی این صفت بوده است. مدل Nwheat بهره‌وری مصرف آب

جدول ۷- مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده شده بهره‌وری مصرف آب بر اساس عملکرد زیستی و عملکرد دانه چهار ژنوتیپ گندم نان با استفاده از مدل DSSAT-Nwheat.

**Table 7. Simulated and observed values of water productivity based on biological yield and grain yield in the four bread wheat genotypes using DSSAT-Nwheat model.**

| رقم/لاین<br>Cultivar/Line | تاریخ کاشت <sup>§</sup><br>Sowing Date <sup>§</sup> | بهره‌وری مصرف آب عملکرد زیستی (kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )<br>Water productivity based on biological yield (kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> ) |                            | بهره‌وری مصرف آب عملکرد دانه (kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )<br>Water productivity based on grain yield (kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> ) |                            |
|---------------------------|---|---|----------------------------|---|----------------------------|
|                           |   | مشاهده شده<br>Observed  | شبیه‌سازی شده<br>Simulated | مشاهده شده<br>Observed  | شبیه‌سازی شده<br>Simulated |
|                           |   |   |                            |   |                            |
| آراز<br>Araz              | اول (SD1)   | 41.1  | 43.4                       | 14.9  | 14.8                       |
|                           | دوم (SD2)   | 42.6  | 45.5                       | 16.1  | 15.3                       |
|                           | سوم (SD3)   | 41.4  | 43.7                       | 16.8  | 14.7                       |
|                           | چهارم (SD4)   | 41.6  | 41.6                       | 17.7  | 15.8                       |
|                           | پنجم (SD5)  | 36.6  | 40.1                       | 14.6  | 15.0                       |
|                           | ششم (SD6)   | 35.7  | 39.9                       | 13.3  | 14.8                       |
|                           | هفتم (SD7)  | 33.2  | 38.8                       | 11.6  | 12.2                       |
|                           | میانگین Mean  | 38.9  | 41.8                       | 15.0  | 14.7                       |
| آرمان<br>Arman            | اول (SD1)   | 40.7  | 44.0                       | 14.8  | 15.4                       |
|                           | دوم (SD2)   | 41.8  | 45.2                       | 17.3  | 16.3                       |
|                           | سوم (SD3)   | 41.9  | 44.1                       | 15.2  | 15.1                       |
|                           | چهارم (SD4)   | 39.5  | 42.4                       | 16.1  | 16.0                       |
|                           | پنجم (SD5)  | 38.5  | 41.2                       | 14.5  | 15.8                       |
|                           | ششم (SD6)   | 37.4  | 40.6                       | 14.6  | 15.3                       |
|                           | هفتم (SD7)  | 36.1  | 39.5                       | 13.6  | 14.9                       |
|                           | میانگین Mean  | 39.4  | 42.4                       | 15.1  | 15.5                       |
| N-93-9                    | اول (SD1)   | 40.0  | 42.5                       | 15.2  | 14.7                       |
|                           | دوم (SD2)   | 41.7  | 43.8                       | 16.3  | 14.9                       |
|                           | سوم (SD3)   | 41.2  | 42.1                       | 16.5  | 15.9                       |
|                           | چهارم (SD4)   | 36.7  | 40.9                       | 15.9  | 15.2                       |
|                           | پنجم (SD5)  | 36.7  | 39.8                       | 14.3  | 14.8                       |
|                           | ششم (SD6)   | 35.4  | 39.1                       | 13.9  | 14.4                       |
|                           | هفتم (SD7)  | 36.0  | 37.9                       | 13.4  | 13.0                       |
|                           | میانگین Mean  | 38.2  | 40.9                       | 15.1  | 14.7                       |
| تکتاز<br>Taktaz           | اول (SD1)   | 40.1  | 40.8                       | 11.9  | 13.1                       |
|                           | دوم (SD2)   | 41.0  | 44.6                       | 14.2  | 14.1                       |
|                           | سوم (SD3)   | 39.6  | 42.7                       | 15.4  | 15.3                       |
|                           | چهارم (SD4)   | 38.8  | 38.4                       | 16.0  | 14.9                       |
|                           | پنجم (SD5)  | 37.2  | 37.3                       | 14.6  | 14.4                       |
|                           | ششم (SD6)   | 35.8  | 37.7                       | 13.9  | 13.5                       |
|                           | هفتم (SD7)  | 34.1  | 37.6                       | 13.4  | 12.9                       |
|                           | میانگین Mean  | 38.1  | 39.9                       | 14.2  | 14.0                       |

<sup>§</sup> تاریخ کاشت اول (۱۰ آبان)، تاریخ کاشت دوم (۲۰ آبان)، تاریخ کاشت سوم (۳۰ آبان)، تاریخ کاشت چهارم (۱۰ آذر)، تاریخ کاشت پنجم (۲۰ آذر)، تاریخ کاشت ششم (۳۰ آبان) و تاریخ کاشت هفتم (۱۰ دی)

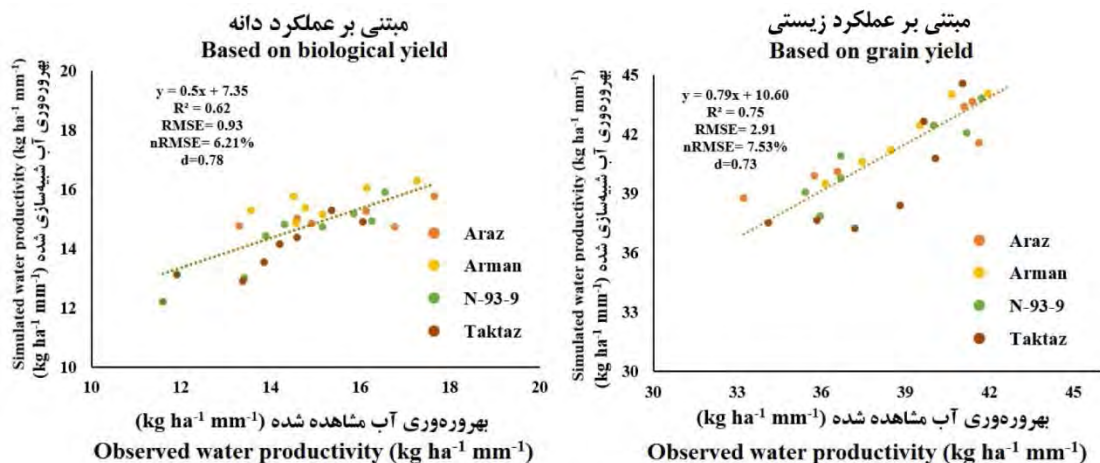
<sup>§</sup> SD1 (01 November), SD2 (11 November), SD3 (21 November), SD4 (1 December), SD5 (11 December), SD6 (21 December) and SD7 (31 December)



جدول ۸- مقادیر شاخص‌های آماری مدل برای بهره‌وری مصرف آب بر اساس عملکرد زیستی و عملکرد دانه چهار ژنوتیپ گندم نان با استفاده از مدل DSSAT-Nwheat.

**Table 8. Values of model statistical indices for water productivity based on biological yield and grain yield in the four bread wheat genotypes using DSSAT-Nwheat model.**

| رقم/لاین<br>Cultivar/Line | بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر<br>Water productivity based on | RMSE | nRMSE | d    | R <sup>2</sup> | CRM   |
|---------------------------|--|------|-------|------|----------------|-------|
| آراز<br>Araz              | عملکرد زیستی<br>Biological yield                         | 3.37 | 8.65  | 0.93 | 0.83           | -0.08 |
|                           | عملکرد دانه<br>Grain yield                               | 1.26 | 8.38  | 0.87 | 0.68           | 0.02  |
| آرمان<br>Arman            | عملکرد زیستی<br>Biological yield                         | 3.06 | 7.76  | 0.89 | 0.95           | -0.08 |
|                           | عملکرد دانه<br>Grain yield                               | 0.93 | 6.05  | 0.69 | 0.86           | -0.18 |
| N-93-9                    | عملکرد زیستی<br>Biological yield                         | 2.82 | 7.37  | 0.91 | 0.83           | -0.07 |
|                           | عملکرد دانه<br>Grain yield                               | 0.71 | 4.70  | 0.80 | 0.72           | 0.02  |
| تکتاز<br>Taktaz           | عملکرد زیستی<br>Biological yield                         | 2.32 | 6.08  | 0.91 | 0.68           | -0.05 |
|                           | عملکرد دانه<br>Grain yield                               | 0.67 | 4.75  | 0.99 | 0.77           | 0.01  |



شکل ۲- مقادیر شبیه‌سازی شده در مقابل مقادیر مشاهده شده برای بهره‌وری مصرف آب بر اساس عملکرد زیستی و عملکرد دانه چهار ژنوتیپ گندم نان.

**Fig. 2. Simulated values versus observed values for water productivity based on biological yield and grain yield in the four bread wheat genotypes.**

### نتیجه‌گیری کلی

ناشی از اختلاف در تاریخ کاشت‌های مختلف بود به‌دست آمد. ارقام مورد مطالعه در این پژوهش جدیدترین ارقام معرفی شده توسط مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر برای اقلیم گرم و مرطوب شمال کشور از جمله استان گلستان هستند و در طبقات بذری مختلف در حال تکثیر هستند و چند سال آینده نسبت قابل توجهی از سطح زیر کشت گندم را در استان گلستان به خود اختصاص خواهند داد. بنابراین به‌نظر می‌رسد نتایج این پژوهش برای تصمیم‌سازان بخش کشاورزی برای گسترش سطح زیر کشت ارقام مذکور می‌تواند بسیار مفید و کاربردی باشد.

نتایج این پژوهش به‌طور کلی نشان داد که مدل DSSAT-Nwheat با کارایی مناسبی قادر به شبیه‌سازی مراحل فنولوژی روز تا گلدهی ( $R^2=0/94$ ,  $d=0/98$ ,  $nRMSE=1/3$ ) و روز تا رسیدگی ( $R^2=0/99$ ,  $d=0/99$ ,  $nRMSE=1/2/4$ ) عملکرد دانه ( $R^2=0/79$ ,  $d=0/90$ ,  $nRMSE=1/8$ ) عملکرد زیستی ( $R^2=0/96$ ,  $d=0/93$ ,  $nRMSE=1/7/38$ ) و کارایی مصرف آب بر مبنای عملکرد دانه ( $R^2=0/72$ ,  $d=0/78$ ,  $nRMSE=1/6/21$ ) عملکرد زیستی ( $R^2=0/75$ ,  $d=0/73$ ,  $nRMSE=1/7/53$ ) در چهار رقم آراز، آرمان، N-93-9 و تکتاز بود. این کارایی مناسب مدل تحت شرایط متفاوت اقلیمی که

### منابع

1. Food and Agriculture Organization (FAO) 2019: Available <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Last accessed 2 May 2022.
2. Ghaffari, A. and Jalal Kamali, M. 2013. Wheat Productivity in Islamic Republic of Iran: Constraints and opportunities. p 98-11. In R. Paroda., S. Dasgupta., B. Mal., S.S Singh., M. L. Jat. and G. Singh (eds.) Proceedings of the Regional Consultation on Improving Wheat Productivity in Asia, Bangkok, Thailand.
3. Ahmadi, K., Abadzadeh, H., Hatami, F., Mohammadnia Afrozi, S., Esfandyaripour, A. and Abas Taghani, R. 2022. Agricultural Statistics in Crop Season 2019-2020. Publications Ministry of Jihad-e-Agriculture. Tehran, Iran. 89p. (In Persian)
4. Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rötter, R.P., Lobell, D.B., Cammarano, D., Kimball, B., Ottman, M.J., Wall, G. and White, J.W. 2015. Rising temperatures reduce global wheat production. Nat. Clim. Chang. 5: 143.
5. IPCC. 2018. Global Warming of 1.5 °C: An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 °C Above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty, Intergovernmental Panel on Climate Change. 616p.
6. Semenov, M.A. and Stratonovitch, P. 2013. Designing high-yielding wheat ideotypes for a changing climate. Food Energy Secur. 2: 185-196.
7. Farooq, M., Bramley, H., Palta, J.A. and Siddique, K.H. 2011. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. Crit. Rev. Plant. Sci. 30: 491-507.
8. Farooq, M., Hussain, M. and Siddique, K. H. 2014. Drought stress in wheat during flowering and grain-filling periods. Crit. Rev. Plant. Sci. 33: 331-349.
9. Andarzian, B., Hoogenboom, G., Bannayan, M., Shirali, M. and Andarzian, B. 2015. Determining optimum sowing date of wheat using CSM-CERES-Wheat model. J. Saudi. So. Agric. Sci. 14: 189-199.
10. Kalateh-Arabi, M., Sheikh, F., Soqi, H. and Hivehchie, J. 2011. Effects of sowing date on grain yield and its components of two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in Gorgan in Iran. Seed Plant Prod. J. 27: 285-296. (In Persian)

11. Soughi, H., Khodarahmi, M., Jafarby, J. and Nazari M. 2021. Yield Analysis of New Bread Wheat Cultivars Based on Agro-Climatic Indices under Different Sowing Dates in Gonbad. *J. Plant Prod.* 28: 1. 185-211. (In Persian)
12. Jones. 2019. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.7.5 (<https://DSSAT.net>). DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, USA.
13. Basso, B., Liu, L. and Ritchie, J.T. 2016. A comprehensive review of the CERES-wheat,-maize and-rice models' performances. *Advan in agronomy.* 136: 27-132.
14. Oteng-Darko, P., Yeboah, S., Addy, S., Amponsah, S. and Danquah, E.O. 2013. Crop modeling: A tool for agricultural research-A review. *E3 J. Agric. Res. Dev.* 2: 1. 1-6.
15. Reynolds, M., Kropff, M., Crossa, J., Koo, J., Kruseman, G., Molero Milan, A. and Tonnang, H. 2018. Role of modelling in international crop research: overview and some case studies. *Agronomy.* 8: 12. 291.
16. Kassie, B.T., Asseng, S., Porter, C.H. and Royce, F.S. 2016. Performance of DSSAT-Nwheat across a wide range of current and future growing conditions. *Eur. J. Agron.* 81: 27-36.
17. Hoogenboom, G., Porter, C., Shelia, V., Boote, K., Singh, U., White, J., Hunt, L., Ogoshi, R., Lizaso, J. and Koo, J. 2017. Decision support system for agrotechnology transfer (DSSAT) version 4.7 (<https://DSSAT.net>). DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, USA.
18. Jones. 2019. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.7.5 (<https://DSSAT.net>). DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, USA.
19. Rauff, K.O. and Bello, R. 2015. A review of crop growth simulation models as tools for agricultural meteorology. *Agric. Sci.* 6: 1098.
20. White, J.W., Hoogenboom, G., Kimball, B.A. and Wall, G.W. 2011. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *Field Crop Res.* 124: 357-368.
21. Hussain, J., Khaliq, T., Ahmad, A. and Akhtar, J. 2018. Performance of four crop model for simulations of wheat phenology, leaf growth, biomass and yield across planting dates. *PloS one* 13, e0197546.
22. Zheng, Z., Cai, H., Yu, L. and Hoogenboom, G. 2017. Application of the CSM-CERES-Wheat Model for yield prediction and planting date evaluation at Guanzhong Plain in Northwest China. *Agron. J.* 109: 1. 204-217.
23. Mehrabi, F. and Sepaskhah, A.R. 2020. Winter wheat yield and DSSAT model evaluation in a diverse semi-arid climate and agronomic practices. *Inter. J. Plant Prod.* 14: 2. 221-243.
24. Fallah, M.H., Nezami, A., Khazaie, H.R. and Mahallati, M.N. 2021. Evaluation of DSSAT-Nwheat Model across a Wide Range of Climate Conditions in Iran. *J. Agroecol.* 12: 4. 561-580. (In Persian)
25. Saadati, Z., Delbari, M., Amiri, E., Panahi, M., Rahimian, M.H. and Ghodsi, M. 2016. Assessment of CERES-Wheat model in simulation of varieties of wheat yield under different irrigation treatments. *J. Water Soil Res. Conserv. (WSRCJ).* 5: 3. 73-85. (In Persian)
26. Mahru, A.H., Soltani, A., Galeshi, S. and Kalate-Arabi, M. 2010. Estimates of genetic coefficients and evaluation of model DSSAT for Golestan province. *Elec. J. Crop Prod.* 3: 2. 229-253. (In Persian)
27. Soltani, A. 2008. *Mathematical Modeling in Field Crops.* Ferdowsi University Press. Mashhad, Iran. 175p. (In Persian)
28. Yang, J., Yang, J.Y., Liu, S. and Hoogenboom, G. 2014. An evaluation of the statistical methods for testing the performance of crop models with observed data. *Agric. Syst.* 127: 81-89.
29. Elsheikh, A.H., Sharshir, S.W., Abd Elaziz, M., Kabeel, A., Guilan, W. and Haiou, Z. 2019. Modeling of solar energy systems using artificial neural network: A comprehensive review. *Solar Energy.* 180: 622-639.

30. Röhl, G., Memic, E. and Graeff-Hönninger, S. 2020. Implementation of an automatic time-series calibration method for the DSSAT wheat models to enhance multi-model approaches. *Agron. J.* 112: 3891-3912.
31. Ritchie, J.T., Singh, U., Godwin, D.C. and Bowen, W.T. 1998. Cereal growth, development and yield. In: Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G. Thornton, P.K. (Eds.). *Understanding Options for Agricultural Production*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 79-98.
32. Jamieson, P., Porter, J. and Wilson, D. 1991. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crop Res.* 27: 337-340.
33. Soltani, A., Hammer, G.L., Torabi, B., Robertson, M.J. and Zeinali, E. 2006. Modeling chickpea growth and development: phenological development. *Field Crop Res.* 99: 1-13.
34. Khalil Aghdam, A. 2019. Prediction of Phenology, Phyllochron and Leaf Area in Wheat (cv. Sardari). *J. Plant Prod.* 26: 2. 85-99. (In Persian)
35. Kiani, A., Koocheki, A.R., Nassiri Mahallati, M. and Banayan, M. 2004. CERES-Wheat model evaluation at two different climatic in Khorasan province, II Phenology and growth parameter simulation. *J. Desert.* 9: 125-142. (In Persian)
36. Sar, K. and Mahdi, S.S. 2019. Evaluation and Performance of CERES-Wheat DSSAT v4. 6 Model for Growth, Development and Yield in Southern Bihar. *Indian J. Ecol.* 46: 217-219.
37. Bannayan, M., Crout, N.M.J. and Hoogenboom, G. 2003. Application of the CERES-Wheat model for within-season prediction of winter wheat yield in the United Kingdom. *Agron. J.* 95: 114-125.
38. Delghandi, M., Andarzian, B., Broomandnasab, S., Massah Bovani, A. and Javaheri, E. 2014. Valuation of DSSAT 4.5-CSM-CERES-Wheat to Simulate Growth and Development, Yield and Phenology Stages of Wheat under Water Deficit Condition (Case Study: Ahvaz Region). *J. Water Soil.* 28: 1. 82-91. (In Persian)
39. Jing, Q., McConkey, B., Qian, B., Smith, W., Grant, B., Shang, J. and Luce, M.S. 2021. Assessing water management effects on spring wheat yield in the Canadian Prairies using DSSAT wheat models. *Agric. Water Manage.* 244: 106591.

## The effect of gamma aminobutyric acid foliar application on some biochemical characteristics and expression pattern of *PAL* and *CHS* genes in Qızıl Uzun grape (*Vitis vinifera* L.)

Afsaneh Allahveran Oosalo<sup>1</sup>, Lotfali Naseri<sup>\*2</sup>, Abolfazl Alirezalu<sup>3</sup>,  
Reza Darvishzadeh<sup>4</sup>, Samad Nejad Ebrahimi<sup>5</sup>

1. Ph.D. Student, Dept. of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: a.allahveran11@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: l.naseri@urmia.ac.ir
3. Associate Prof., Dept. of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: a.alirezalu@gmail.com
4. Professor, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: darvish-r2001@yahoo.com
5. Associate Prof., Dept. of Phytochemistry, Medicinal Plants and Drugs Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: s-ebrahimi@sbu.ac.ir

### Article Info

**Article type:**  
Full Length Research Paper

**Article history:**  
Received: 06.18.2022  
Revised: 07.06.2022  
Accepted: 09.01.2022

**Keywords:**  
Flavan-3-ols,  
Flavonol,  
HPLC,  
Phenolic compounds,  
Phenylalanine  
ammonialyase

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Grape is one of the most important fruit products globally and has a high nutritional value with strong antioxidant and anti-cancer activity. Today, the use of healthy natural compounds, including organic nitrogen compounds, has become very important to improve the qualitative performance of fruits. The use of amino acids as one of the natural compounds of nitrogen can increase the nutritional values of fruit crops. In the present study, gamma aminobutyric acid was used as a non-protein amino acid to improve the quality characteristics of Qızıl-Uzun grape fruit.

**Materials and Methods:** The experiment was performed in two separate orchards located in two regions of Urmia city with different microclimatic conditions in a completely randomized design with GABA foliar application at 4 concentrations (0, 5, 10, 25 mM) in two stages (veraison stage and one week later) with 3 replications on 13-year-old cv. Qızıl Uzun grapevines. Some fruit quality characteristics include titratable acids (TA), total soluble solids (TSS), total antioxidant content, total phenol, total flavonoid, total anthocyanin, the activity of phenylalanine ammonialyase (PAL), catalase enzymes, phenolic compounds of fruit including flavonols, flavan-3-ols and phenolic acids, and also a relative expression of PAL and CHS genes were evaluated.

**Results:** Based on the results, GABA at a concentration of 10 mM, caused the highest content of titratable acids, total soluble solids, total phenol, total flavonoids, total antioxidant and total anthocyanin of fruit. The highest activity of PAL enzyme was also observed at this concentration. Catalase enzyme had the maximum activity at 25 mM. The phenolic compounds that were measured by HPLC in this study included the flavonol compounds: myricetin, quercetin, kaempferol, syringetin; the flavan-3-ols compounds: catechin; and the non-flavonoid compounds: gallic acid, caffeic acid, p-coumaric acid and resveratrol, most of which had the highest level at 10 mM, followed by 5 mM GABA. Also, PAL and CHS

---

genes had the highest expression at both sampling times (48 and 72 hours after foliar application) at the concentration of 10 mM GABA and their lowest expression was at the concentration of 25 mM GABA.

**Conclusion:** This study showed that GABA at the concentration of 10 mM at the veraison stage and one week later had an effect on increasing fruit quality indicators, including total soluble sugars, as a basic substrate for the biosynthetic pathway of effective fruit quality compounds, and with effect on antioxidant content improvement, as well as enhancing the expression of related genes for PAL enzyme activity, as a key enzyme of the biosynthesis of the phenolic compound, can improve fruit quality and marketability of grape fruit of Qızıl Uzun cultivar.

---

Cite this article: Allahveran Oosalo, Afsaneh, Naseri, Lotfali, Alirezalu, Abolfazl, Darvishzadeh, Reza, Nejad Ebrahimi, Samad. 2023. The effect of gamma aminobutyric acid foliar application on some biochemical characteristics and expression pattern of *PAL* and *CHS* genes in Qızıl Uzun grape (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Plant Production*, 30 (1), 125-148.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2022.20280.2938

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## اثر کاربرد برگی اسید گاما آمینو بوتیریک بر برخی خصوصیات زیست شیمیایی و بیان ژن‌های *PAL* و *CHS* در انگور رقم قزل‌اوزوم (*Vitic vinifera* L.)

افسانه اله‌ویرن اوصالو<sup>۱</sup>، لطفعلی ناصری<sup>۲\*</sup>، ابوالفضل علیرضالو<sup>۳</sup>، رضا درویش‌زاده<sup>۴</sup>، صمد نژاد ابراهیمی<sup>۵</sup>

۱. دانشجوی دکتری گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: [a.allahveran11@gmail.com](mailto:a.allahveran11@gmail.com)
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: [l.naseri@urmia.ac.ir](mailto:l.naseri@urmia.ac.ir)
۳. دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: [a.alirezalu@gmail.com](mailto:a.alirezalu@gmail.com)
۴. استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: [darvish-r2001@yahoo.com](mailto:darvish-r2001@yahoo.com)
۵. دانشیار پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: [s-ebrahimi@sbu.ac.ir](mailto:s-ebrahimi@sbu.ac.ir)

| اطلاعات مقاله   | چکیده  |
|---|--|
| نوع مقاله:<br>مقاله کامل علمی-پژوهشی  | سابقه و هدف: انگور یکی از مهم‌ترین محصولات میوه‌ای در سطح جهان است و دارای ارزش غذایی بالا با فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ضد سرطانی قوی است. امروزه استفاده از ترکیبات سالم طبیعی از جمله ترکیبات نیتروژن آلی برای بهبود کیفی میوه اهمیت زیادی پیدا کرده است. کاربرد اسیدهای آمینه به‌عنوان یکی از ترکیبات طبیعی نیتروژنه می‌تواند باعث افزایش کیفیت تغذیه‌ای میوه‌ها شود. در مطالعه حاضر از اسید گاما آمینوبوتیریک به‌عنوان یک اسید آمینه غیرپروتئینی جهت بهبود خصوصیات کیفی میوه انگور رقم قزل‌اوزوم استفاده شد.  |
| تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۸<br>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۵<br>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۰                   | مواد و روش‌ها: آزمایش در دو باغ جداگانه واقع در دو منطقه ارومیه با شرایط آب و هوایی (میکروکلیم) متفاوت و در قالب طرح کاملاً تصادفی با محلول‌پاشی گابا در ۴ غلظت (۰، ۵، ۱۰ و ۲۵ میلی‌مولار) در دو مرحله زمانی (مرحله veraison و یک هفته بعد) با ۳ تکرار بر روی تاک‌های انگور رقم قزل‌اوزوم ۱۳ ساله انجام گرفت. برخی خصوصیات کیفی میوه از جمله میزان اسیدهای قابل تیتر (TA)، مواد جامد محلول کل (TSS)، محتوای آنتی‌اکسیدان کل، فنول کل، فلاونوئید کل، آنتوسیانین کل، فعالیت آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیا لیاز (PAL)، کاتالاز، میزان ترکیبات فنولی میوه از جمله فلاونول‌ها، فلاوان-۳-آل‌ها و اسیدهای فنولیکی و هم‌چنین بیان نسبی ژن‌های <i>PAL</i> و <i>CHS</i> ارزیابی شدند. |
| واژه‌های کلیدی:<br>ترکیبات فنولی،<br>فلاوان-۳-آل،<br>فلاونول،<br>فنیل آلانین آمونیا لیاز،<br>HPLC | یافته‌ها: بر اساس نتایج، گابا در غلظت ۱۰ میلی‌مولار باعث ایجاد بیش‌ترین میزان اسیدهای قابل تیتر، مواد جامد محلول کل، فنول کل، فلاونوئید کل، محتوای آنتی‌اکسیدان کل و آنتوسیانین میوه شد. بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم PAL نیز در همین غلظت گابا مشاهده گردید. آنزیم   |

کاتالاز در غلظت ۲۵ میلی‌مولار گابا بیش‌ترین فعالیت را داشت. ترکیبات فنولی یافت شده براساس روش HPLC در این پژوهش ترکیبات فلاونولی میریستین، کوئرستین، کامفرول، سیرینجتین، ترکیبات فلاوان-۳-أل‌ها، کاتچین و ترکیبات غیر فلاونوئیدی اسید گالیک، اسید کافئیک، اسید پی‌کوماریک و رسوراترول اندازه‌گیری شدند که اغلب این ترکیبات در غلظت ۱۰ میلی‌مولار گابا بیش‌ترین مقدار را نشان دادند و بعد از آن غلظت ۵ میلی‌مولار گابا بیش‌ترین تأثیر را در افزایش این ترکیبات داشت. ژن‌های *PAL* و *CHS* نیز در دو زمان نمونه‌برداری بعد از محلول‌پاشی (۴۸ و ۷۲ ساعت) در غلظت ۱۰ میلی‌مولار گابا بیش‌ترین بیان ژنی را داشتند و کم‌ترین بیان آن‌ها در غلظت ۲۵ میلی‌مولار گابا بود.

**نتیجه‌گیری:** این پژوهش نشان داد که گابا در غلظت ۱۰ میلی‌مولار و در مرحله *veraison* و یک هفته بعد از آن با تأثیرگذاری بر افزایش میزان شاخص‌های کیفی میوه از جمله مواد جامد به‌عنوان سوبسترای اساسی مسیر بیوسنتزی ترکیبات مؤثر کیفیت میوه و محتوای آنتی‌اکسیدانی و هم‌چنین با تأثیر بر افزایش بیان ژن‌های دخیل در فعالیت آنزیم *PAL* به‌عنوان یک آنزیم کلیدی در مسیر بیوسنتز ترکیبات فنولی، می‌تواند باعث بهبود کیفیت میوه و بازارپسندی بیش‌تر میوه انگور رقم قزل‌اوزوم گردد.

**استناد:** اله‌ویرن اوصالو، افسانه، ناصری، لطفعلی، علیرضالو، ابوالفضل، درویش‌زاده، رضا، نژاد ابراهیمی، صمد (۱۴۰۲). اثر کاربرد برگ‌ی اسید گاما‌آمینو بوتیریک بر برخی خصوصیات زیست‌شیمیایی و بیان ژن‌های *PAL* و *CHS* در انگور رقم قزل‌اوزوم (*Vitis vinifera* L.). نشریه پژوهش‌های تولیدگیاهی، ۳۰ (۱)، ۱۴۸-۱۲۵.

DOI: 10.22069/JOPP.2022.20280.2938



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان



## مقدمه

تاکنون از روش‌های مختلفی برای افزایش شاخص‌های کمی و کیفی میوه انگور استفاده شده است. کاربرد کودهای شیمیایی، کودهای زیستی و کودهای آلی تاکنون منجر به بهبود شاخص‌های کمی و کیفی شده است. هر یک از این کودها دارای مزایا و معایبی هستند که بر روی میزان مصرف آن‌ها تأثیرگذار است (۱). امروزه استفاده از ترکیبات سالم طبیعی برای بهبود عملکرد کیفی درختان میوه اهمیت زیادی پیدا کرده است. از جمله این ترکیبات سودمند می‌توان به ترکیبات نیتروژنه طبیعی اشاره کرد (۲). اسیدهای آمینه پیش‌ساز اساسی سنتز پروتئین بوده و هم‌چنین نقش اساسی در بیوسنتز مواد نیتروژنه غیرپروتئینی از جمله رنگدانه‌ها، ویتامین‌ها، کوآنزیم‌ها، پورین و پیریمیدین دارند (۲). هم‌چنین اسیدهای آمینه از اجزا مهم سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان بوده و نقش کلیدی در پاسخ‌های تنشی و سوخت‌وساز ثانویه در گیاهان دارند. این ترکیبات به‌عنوان پیش‌ساز سنتز ترکیبات آروماتیک با دخالت در سنتز ترکیبات عطر و طعم، باعث بهبود کیفیت میوه می‌شوند (۳).

ترکیبات فنولی مهم‌ترین گروه ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در گیاهان به‌شمار می‌روند که شامل گروه وسیعی از مواد بیوشیمیایی می‌باشند. ترکیبات فنولی حبه انگور شامل ۱. غیرفلاونوئیدی‌ها مانند الف) اسیدهای فنولیک (اسید گالیک، اسید کافئیک، اسید فرولیک و اسید p-کوماریک و ...) و ب) رسوراترول. ۲. فلاونوئیدها مانند الف) فلاونوئیدها (فلاونول‌ها: مایرستین، کوئرستین و کامفرول). ب) فلاوان-۳-أل‌ها (کاتچین، اپی‌کاتچین، گالوکاتچین و ...) و ج) آنتوسیانین‌ها (دلفینیدین-۳-گلوکوزید، سیانیدین-۳-گلوکوزید، مالویدین-۳-گلوکوزید، پلارگونیدین-۳-O-۳-گلوکوزید می‌باشند (۱). این ترکیبات به‌عنوان بخشی از سیستم آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی نقش مهمی در خثی‌سازی

رادیکال‌های آزاد و کاهش اثرات تنش اکسیداتیو دارند (۴).

اسید گاما آمینوبوتیریک (گابا) یک اسید آمینه غیرپروتئینی ۴ کربنه، مولکول سیگنال‌دهنده درونی است که نقش مهمی در تنظیم واکنش‌های رشد و نمو گیاهان و مقابله با تنش‌ها دارد (۵). این ترکیب یک متابولیت کلیدی در مسیرهای متابولیسمی اولیه و ثانویه است که به‌صورت یک واسطه در متابولیسم نیتروژن و بیوسنتز سایر اسیدهای آمینه عمل می‌کند. گابا از طریق گیرنده‌های مالات فعال‌شونده با آلومینیوم، باعث تنظیم تعدادی از فرایندهای بیولوژیکی مانند بسته شدن روزنه، تغذیه و مقاومت به تنش می‌گردد. از طرفی نقش گابا در محصولات باغبانی را می‌توان به خواص آنتی‌اکسیدانی و تأثیر آن در افزایش تولید پرولین و تجمع فنل کل نسبت داد (۵). تحریک فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی، افزایش گابا درونی، جلوگیری موقتی از فعالیت آنزیم‌های پلی‌گالاکتروناز، پکتین متیل استراز و پلی‌فنل اکسیداز و تحریک فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیلایز از جمله مکانیزم‌های گزارش شده کاربردهای پس از برداشت گابا در محصولات باغبانی می‌باشد (۱ و ۶).

گابا در برگ، خوشه و شاخه‌های انگور یافت می‌شود و در پیچک‌ها مقدار آن ۵ برابر بیش‌تر است. گزارش شده است که تیمار پیچک‌های انگور با گابا باعث تأثیر مثبت کوتاه‌مدت و برگشت‌پذیر روی پیچک‌ها شد (۷). تأثیرات رشدی گابا از طریق نقش متابولیکی آن در چرخه اسید سیتریک (TCA) و سیگنال‌دهی آن در متابولیسم نیتروژن و جذب نیترات و هم‌چنین نقش متابولیکی آن به‌صورت منبع کربن و نیتروژن ایجاد می‌گردد (۸). هم‌چنین افزایش پارامترهای رشدی در اثر کاربرد گابا می‌تواند به‌دلیل نقش آن در حفظ تورژسانس سلولی، افزایش بیوسنتز

هم‌چنین در میوه مرکبات نیز نشان داده شد تیمار با گابا باعث فعال شدن آنزیم‌های کیتیناز، ۱ و ۳- گلوکوناز و PAL شد و مقاومت بر علیه پاتوژن در اثر فعالیت این آنزیم‌ها ایجاد گردید (۱۷). تیمار میوه‌های گریپ‌فروت با گابا باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های PAL و CHI و منجر به بیان شدن ژن کیتیناز و تجمع پروتئین و القاء مقاومت در برابر پوسیدگی گردید (۱۷). در همین زمینه ژانگ و همکاران (۲۰۱۱) نیز در نتایج مشابهی با تیمار میوه‌های سیب با گابا، افزایش فعالیت آنزیم‌های CHI و GLU و القاء مقاومت در برابر پوسیدگی کپک آبی را گزارش کردند (۱۸).

بیان شده است که گابا در گیاهان می‌تواند باعث ایجاد مقاومت‌های موضعی و سیستمیک گردد و کاربرد آن در یک قسمت از گیاه باعث افزایش مقاومت در قسمت‌های دیگر گیاه می‌شود (۱۹). القاء مقاومت در برابر پاتوژن‌ها بوسیله گابا می‌تواند به‌صورت بازدارندگی مستقیم و یا از طریق القاء واکنش‌های دفاعی و یا مجموعه‌ای از هر دو مکانیزم باشد، این عملکرد گابا به‌صورت یک متابولیت و یک سیگنال، گیاهان را قادر به تحمل شرایط سخت می‌کند (۸).

هدف پژوهش حاضر بهبود خصوصیات کیفی، تغذیه‌ای و بازارپسندی انگور رقم قزل‌اوزوم با محلول‌پاشی گابا طی مراحل رشد و تأثیر آن بر برخی خصوصیات زیست‌شیمیایی، کیفی و بیان ژن‌های PAL و CHS بخش میوه می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در دو باغ جداگانه واقع در دو منطقه ارومیه (باغ حصار ۱۵ کیلومتری جنوب ارومیه و باغ زینالو ۹ کیلومتری غرب ارومیه) با محلول‌پاشی گابا در ۴ غلظت (۰، ۵، ۱۰ و ۲۵ میلی‌مولار) در دو

کلروفیل و کاهش صدمات اکسیداتیو از طریق تنظیم فرایندهای بیوشیمیایی مختلف باشد (۹).

بیان شده است که گابا با دخالت در جذب و انتقال نیترات و بیان شدن ژن‌های انتقال نیترات منجر به بهبود رشد فیزیولوژیکی گیاه می‌گردد (۱۰). این عملکرد با سیگنال‌دهی گابا جهت جذب نیترات، با دخالت آن در تنظیم اسمزی، تغییر pH، هموستازی گلوتامات و عملکرد آن می‌باشد و این عملکرد در واکنش‌های گیاه در برابر عوامل خارجی نیز مهم می‌باشد (۱۱). هم‌چنین گابا با تأثیر بر افزایش فعالیت فتوسیستم I و II و دخالت در مکانیسم‌های فتوستتزی باعث افزایش سنتز رنگدانه‌های فتوستتزی از جمله کاروتنوئیدها می‌گردد (۱۲).

کاربرد گابا در میوه مرکبات با افزایش میزان اسیدهای آمینه و سیترات باعث افزایش کیفیت میوه و توسعه عمر انباری آن گزارش گردید (۳). هم‌چنین در میوه بلوبری، کاربرد گابا باعث افزایش میزان فلاونوئیدها و فنول کل شد (۱۳). رستگار و همکاران (۲۰۱۹) نیز نتایج مشابهی را با تیمار بعد از برداشت گابا روی میوه‌های انبه نشان دادند، آن‌ها گزارش کردند کاربرد گابا می‌تواند روی میزان اسید آسکوربیک، فنول، فلاونوئیدها مؤثر باشد و سفتی میوه در سطح بالایی حفظ و موجب بهبود کیفیت میوه گردید (۱۴). در پژوهشی دیگر تیمار میوه موز با گابا باعث حفظ کیفیت میوه و افزایش عمر انباری میوه‌ها گردید (۱۵).

نتایج کاربرد گابا در گلابی باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های فنیل‌آلانین‌آمونیا لیااز (PAL)، ۴-کومارات لیگاز (4CL) و سینامات ۴-هیدروکسیلاز ( $C_4H^+$ ) و فعال شدن مسیر ساخت متابولیت‌های ثانویه گردیده و با تولید پیش‌سازهای تولید لیگنین و ترکیبات مقاومتی دیگر منجر به افزایش عمر انباری، مقاومت در برابر پوسیدگی کپک آبی و آلودگی‌های میکروبی شد (۱۶).

میکرولیتر عصاره میوه با ۹۵۰ میکرولیتر DPPH مخلوط و بعد از ۳۰ دقیقه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Unico مدل ۲۱۰۰ UV/Vis) با طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شد (۲۱).

**محتوای فنول کل:** اندازه‌گیری ترکیبات فنولی با استفاده از معرف فولین سیوکالتیو انجام شد. بدین منظور ۵۰ میکرولیتر عصاره میوه در داخل لوله آزمایش ریخته و ۱۸۰ میکرولیتر آب مقطر به آن اضافه شد، سپس ۱۲۰۰ میکرولیتر فولین ۱۰ درصد به آن‌ها اضافه و بعد از ۱۰-۵ دقیقه، ۹۶۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد به آن اضافه کرده و با استفاده از اسپکتروفتومتر قرائت جذب در طول موج ۷۶۵ نانومتر صورت گرفت. میزان فنول کل عصاره‌ها بر اساس میلی‌گرم معادل اسید گالیک در گرم وزن تر میوه گزارش گردید (۲۲).

**فلاونوئید کل:** برای سنجش میزان فلاونوئید کل به ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره میوه، ۱/۵ میلی‌لیتر متانول (۸۰ درصد)، ۱۰۰ میکرولیتر محلول آلومینیوم کلراید (۱۰ درصد)، ۱۰۰ میکرولیتر محلول استات پتاسیم ۱ مولار و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. جذب مخلوط بعد از گذشت ۴۰ دقیقه در طول موج ۴۱۵ نانومتر نسبت به شاهد قرائت گردید. میزان فلاونوئید کل عصاره‌ها براساس میلی‌گرم معادل کوئرستین در یک گرم وزن تر میوه گزارش گردید (۲۳).

**آنتوسیانین کل:** برای اندازه‌گیری محتوای آنتوسیانین کل از روش اختلاف pHها استفاده شد. ابتدا دو بافر با pHهای ۱ و ۴/۵ تهیه، سپس ۲/۵ میلی‌لیتر از بافر یک را با ۱۰۰ میکرولیتر عصاره مخلوط و جذب در دو طول موج ۷۰۰ و ۵۳۰ نانومتر قرائت شد، سپس ۲/۵ میلی‌لیتر از بافر دو (pH=۴/۵) را با ۱۰۰ میکرولیتر عصاره مخلوط و جذب آن نیز در دو طول موج ۷۰۰ و ۵۳۰ نانومتر قرائت گردید (۲۴).

مرحله زمانی (زمان veraison و یک هفته بعد) در مرداد ۱۳۹۹ بر روی تاک‌های انگور ۱۳ ساله رقم قزل‌اوزوم انجام گرفت. آبیاری تاک‌ها به‌طور مرتب به‌صورت آبیاری قطره‌ای انجام گردید و در ۳ مرحله مبارزه با آفات و بیماری‌ها انجام شد. در طول فصل رشد تاک‌ها به‌طور مرتب هرس سبز شدند و از هیچ تیمار کودی در طول فصل رشد استفاده نشد. در زمان رسیدگی تجاری (بر اساس حداقل مواد جامد محلول کل، تعداد روز بعد از گل‌دهی و رنگ‌گیری کامل بیش از سه چهارم حبه‌ها که در سال آزمایش موردنظر ۱۰ مهرماه بود)، از هر تاک ۴ خوشه در جهات مختلف برداشت شد و از هر خوشه تعداد ۱۰ حبه جهت بررسی خصوصیات کمی و کیفی میوه از جمله میزان اسیدها قابل تیتراژ، مجموع مواد جامد محلول کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، فنول کل، فلاونوئید کل، آنتوسیانین کل میوه، فعالیت آنزیم‌های PAL و آنزیم کاتالاز و هم‌چنین محتوای ترکیبات فنولی میوه به روش HPLC در گوشت و پوست میوه اندازه‌گیری شد. هم‌چنین در میوه‌های برداشت شده از تاک‌های باغ حصار میزان بیان ژن‌های PAL و CHS نیز بررسی گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل یک تاک و در کل از ۲۴ بوته انگور استفاده شد.

**مواد جامد محلول و اسیدهای قابل تیتراژ:** برای اندازه‌گیری میزان مواد جامد محلول میوه‌ها از دستگاه قندسنج دستی مدل Atago و برای اندازه‌گیری اسیدها قابل تیتراژ از روش تیتراسیون با هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد با pH=۸/۲ استفاده شد (۲۰).

**ظرفیت آنتی‌اکسیدانی:** محتوای آنتی‌اکسیدان کل با استفاده از روش درصد مهار رادیکال‌های آزاد (DPPH) تعیین شد. برای این منظور مقدار ۵۰

و یک آشکارساز UV (Water 2487) انجام شد. یک محلول استوک برای نمونه‌های استاندارد اسید گالیک، اسید کافئیک، اسید کلروژنیک، روتین، کوئرستین، اسید کوماریک، اسید سینامیک، اپی‌ژنین و سوراترول به‌صورت جداگانه در استونیتریل خالص تهیه شد و سپس برای رسم منحنی استاندارد در محدوده غلظت (۱۰۰-۱ میکروگرم در میلی‌لیتر) رقیق شد (۳۰). پیک‌ها در طول موج‌های ۲۵۴، ۲۷۵، ۳۰۵ و ۳۲۰ نانومتر بررسی شدند. حجم تزریق ۲۰ میکرولیتر بود و دما در ۲۵ درجه سانتیگراد حفظ شد. همه تزریق‌ها سه بار تکرار شدند.

#### بررسی بیان ژن با تکنیک Real time PCR: جهت

بررسی بیان ژن‌های *PAL* و *CHS* نمونه‌برداری از میوه‌های انگور (گوشت به‌همراه پوست) در باغ حصار (از هر تاک ۴ خوشه در جهات مختلف و از هر خوشه ۱۰ حبه در دو مرحله زمانی ۴۸ و ۷۲ ساعت بعد از محلول‌پاشی گابا) انجام گرفت و برای هر کدام ۲ تکرار در نظر گرفته شد. آزمایش‌های مولکولی با تکنیک PCR و دستگاه Real Time انجام شد. استخراج RNA با استفاده از بافر CTAB انجام گرفت. از دستگاه اسپکتروفتومتر برای بررسی کمیت و کیفیت RNA استخراج شده استفاده شد و برای ارزیابی کیفیت RNA از شاخص A260/280 استفاده شد. نسبت‌های بین ۲-۱/۸ از لحاظ کیفیت مناسب بود. از الکتروفورز ژل آگارز ۱ درصد برای ارزیابی کیفی RNA استخراج شده استفاده شد. فرآیند جداسازی توسط الکتروفورز با ولتاژ ۹۰ ولت به مدت ۴۵ دقیقه انجام شد و پس از عکسبرداری، صحت RNA بررسی شد. با توجه به مشاهده باندهای مربوط به rRNA (18S و 28S) بر روی ژل صحت RNA تأیید شده و برای ساخت cDNA مورد استفاده قرار گرفت. برای ساختن cDNA از کیت Thermo scientific Revert Aid First Strand cDNA Synthesis Kit استفاده شد. جهت بررسی

فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیا لیااز: برای سنجش فعالیت آنزیم PAL، ۰/۵ گرم از گوشت میوه با پوست با استفاده از ۱/۵ میلی‌لیتر بافر استخراج با pH=۷ کوبیده، سپس به مدت ۱۵ دقیقه با ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. محتوی نمونه برای سنجش آنزیم حاوی ۳۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، ۱ میلی‌لیتر بافر سنجش (بافر بورات ۰/۱ مولار، ۰/۱ درصد پلی‌وینیل پیرولیدون و ۱/۴ میلی‌مولار مرکاپتواتانول) با pH=۸/۸ و ۱ میلی‌لیتر L- فنیل‌آلانین ۱۲ میلی‌مولار بود که به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. فعالیت آنزیم بر حسب nmol trans- cinnamic acid mg<sup>-1</sup> protein min<sup>-1</sup> محاسبه گردید (۲۵).

**آنزیم کاتالاز:** سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از روش ابی (۱۹۸۴) انجام شد (۲۶). ۰/۵ گرم از حبه‌های انگور (گوشت به‌همراه پوست) با ۵ میلی‌لیتر متانول ۸۵ درصد پودر شده و سپس به مدت ۵ دقیقه در دور ۱۰۰۰۰ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند. فعالیت آنزیم کاتالاز به‌صورت کاهش در جذب طی یک دقیقه در طول موج ۲۴۰ نانومتر محاسبه شد.

#### ترکیبات فنولی (فلاونوئیدی و غیرفلاونوئیدی):

۱۰۰ میلی‌گرم از گوشت حبه به همراه پوست در ۱۰ میلی‌لیتر متانول به مدت ۲۰ دقیقه در حمام اولتراسونیک در سه تکرار استخراج شد و سپس در ۲۰۰۰ دور به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. جداسازی و تعیین اسیدهای فنولیک با استفاده از آرایه فوتودیود کروماتوگرافی مایع فوتودیود با عملکرد بالا (HPLC-PDA, Water Alliance 2695 Separation Module) مجهز به ستون C18 (۲۵۰ میلی‌متر × ۴/۶ میلی‌متر، ۵ میکرومتر، waters)

سیتریک، بهبود و حفظ کیفیت میوه، افزایش عمر انباری و کاهش پوسیدگی در میوه مرکبات گردید (۳۷). در پژوهش دیگری نیز در میوه‌های هلو با کاربرد گابا در غلظت ۵ میلی‌مول اسید کل میوه در بالاترین میزان نسبت به شاهد گزارش گردید (۳۵). در پژوهش‌های وانگ و همکاران (۲۰۱۶) نیز تیمار با گابا در میوه‌های گیلاس با پایین نگه داشتن میزان تنفس میوه باعث حفظ اسیدهای آلی گردید (۴۵). بیان شده است که حفظ میزان بالای اسیدهای آلی در میوه‌های تیمار شده با گابا می‌تواند به دلیل شرکت این اسید آمینه در چرخه اسید سیتریک و تولید اسیدهای آلی باشد (۲).

**مجموع مواد جامد محلول:** بر اساس نتایج تجزیه واریانس گابا و مکان هر دو در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان مواد جامد محلول کل اثر معنی‌داری داشتند ولی اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۱). بیش‌ترین مواد جامد محلول کل در غلظت ۲۵ میلی‌مولار گابا با افزایش بیش از ۲۹ درصد مشاهده شد و بین غلظت‌های دیگر آن تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۱-B) در حالی که تفاوت بین دو باغ معنی‌دار بود. در نتایج مشابهی تیمار پس از برداشت میوه‌های انگور با گابا باعث افزایش قابل‌توجه مواد جامد محلول کل در مقایسه با شاهد شد (۳). هم‌چنین در پژوهش‌های شنگ و همکاران (۲۰۱۱) تیمار میوه‌های هلو با گابا با تأثیر معنی‌داری بر روی مجموع مواد جامد محلول میوه باعث حفظ میزان مجموع مواد جامد محلول در سطح بالا شد (۳۵). بیان شده است که میزان بالای مواد جامد محلول کل در میوه‌های تیمار شده با گابا می‌تواند به دلیل جلوگیری از مصرف بالای قندها توسط گابا باشد (۲).

بیان ژن‌های مورد نظر با استفاده از واکنش Real time PCR از دستگاه Rotor gene Q-Pure Detection-Qiagen و کیت Maxima SYBR Green/Fluorescein Qpcr Master Mix (2x) #K0241 شرکت فرماتناز استفاده شد. از ژن Actin به عنوان ژن مرجع و برای نرمال‌سازی داده‌ها استفاده شد. تجزیه داده‌های حاصل از میزان نسبی بیان ژن‌های مورد مطالعه بر پایه طرح کاملاً تصادفی و تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت. **تجزیه آماری داده‌ها:** تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه (۹/۱) و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام گرفت. هم‌چنین برای رسم نمودار از نرم‌افزار Excel سری ۲۰۱۰ استفاده گردید.

### نتایج و بحث

**اسید قابل تیتراسیون:** بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس گابا در سطح احتمال ۱ درصد و مکان در سطح احتمال ۵ درصد بر اسید قابل تیتراسیون اثر معنی‌داری داشت ولی اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۱). بیش‌ترین میزان اسید قابل تیتراسیون در غلظت ۵ میلی‌مولار گابا با افزایش بیش از ۴۳ درصد مشاهده شد. این تیمار تفاوت معنی‌داری با غلظت‌های ۱۰ و ۲۵ میلی‌مولار نداشت (شکل ۱-A) و بین دو باغ نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. مشابه این نتایج در پژوهشی، تیمار پس از برداشت میوه‌های انگور با گابا باعث افزایش قابل‌توجه اسیدهای قابل تیتراسیون در مقایسه با شاهد شد. در این پژوهش میزان بالای اسیدهای قابل تیتراسیون در میوه‌های انگور تیمار شده با گابا به تجزیه پایین اسیدهای آلی و فعالیت بالای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت داده شد (۳). هم‌چنین، گابا باعث افزایش معنی‌دار اسید

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی گابا بر برخی خصوصیات زیست شیمیایی انگور رقم قزل‌اوزوم.

**Table 1. Variance analysis of the effect of foliar spraying with GABA on some biochemical characterization of 'Qizil Uzun' table grape.**

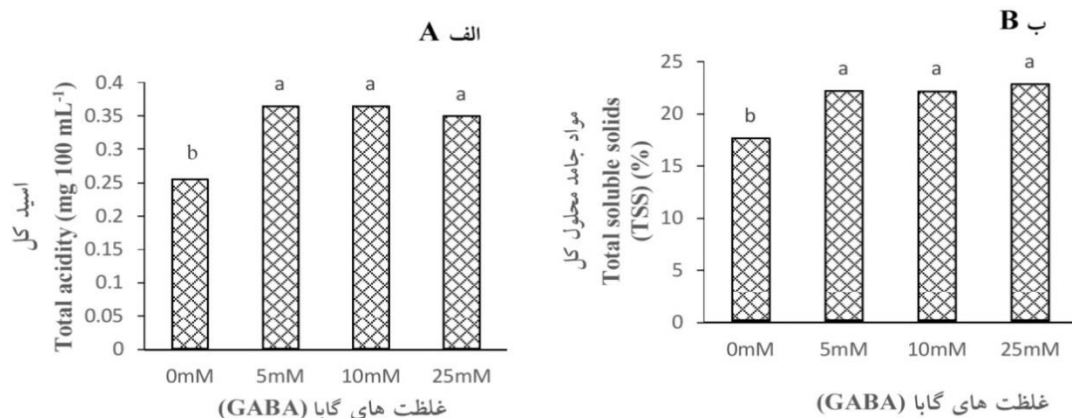
(Mean of Squares) مربعات میانگین

| کاتالاز<br>CAT        | فنیل آلانین<br>آمونیاک پالاز<br>PAL | آنتوسیانین<br>کل<br>TAC | فلاونوئید<br>کل<br>TFC | فنول کل<br>TPC | آنتی<br>اکسیدان<br>DPPH | مواد جامد<br>محلول کل<br>Total<br>Soluble<br>Solids (TSS) | اسیدهای<br>قابل تیتراسیون<br>Total<br>Acidity<br>(TA) | درجه<br>آزادی<br>df | منابع<br>تغییرات<br>S.O.V        |
|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------|------------------------|----------------|-------------------------|---|---|---------------------|----------------------------------|
| 0.0301**              | 2177.98**                           | 3.8202**                | 1.4570**               | 332.879**      | 478.05**                | 31.416**  | 0.0168**  | 3                   | گابا<br>GABA                     |
| 0.00003 <sup>ns</sup> | 8.3544 <sup>ns</sup>                | 4.4118**                | 1.7334**               | 527.062**      | 81.254**                | 16.055**  | 0.0135*   | 1                   | مکان<br>Location                 |
| 0.00143 <sup>ns</sup> | 111.400**                           | 0.7277*                 | 0.7971*                | 163.977**      | 50.873**                | 0.834 <sup>ns</sup>                                       | 0.004 <sup>ns</sup>                                   | 3                   | گابا * مکان<br>GABA * Location   |
| 0.00223               | 12.583                              | 0.1635                  | 0.1561                 | 1.7036         | 2.562                   | 0.439   | 0.0031  | 16                  | اشتباه آزمایشی<br>Error          |
| 17.93                 | 3.03                                | 20.99                   | 8.17                   | 5.64           | 2.81                    | 4.32  | 16.68   | -                   | ضریب تغییرات<br>(درصد)<br>CV (%) |

<sup>ns</sup>, \* و \*\* به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد  
<sup>ns</sup>, \*\* and \* are non-significant and significant at 1 and 5% probability levels, respectively

میلی‌مولار در باغ حصار با افزایش بیش از ۸۶ درصد و در غلظت ۱۰ میلی‌مولار در باغ زینالو با افزایش بیش از ۹۶ درصد بیش‌ترین میزان آنتی‌اکسیدان کل را نشان داد (شکل ۲- A).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، گابا و مکان و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان آنتی‌اکسیدان کل اثر معنی‌داری داشتند (جدول ۱). گابا در غلظت ۵



شکل ۱- تأثیر محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف گابا (۰، ۵، ۱۰، ۲۵ میلی‌مولار) بر اسیدها قابل تیتراسیون (پانل الف)، درصد مواد جامد محلول کل (پانل ب) میوه انگور رقم قزل‌اوزوم. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد با آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشد.

**Fig. 1. Effect of foliar spraying with different doses (0, 5, 10, 25 mM) of GABA on TA (Panel A) and TSS (Panel B) content of Qizil Uzun table grape berries. Means indicated with different letters are significantly different at  $P \leq 0.01$  according to Duncan's Multiple Range Test.**

میوه‌های مورد تیمار شد و این تأثیر به توانایی گابا در افزایش سنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند فنول‌ها و فلاونوئیدها نسبت داده شد (۳۳). هم‌چنین در میوه‌های هلو نیز کاربرد گابا باعث افزایش معنی‌دار آنتی‌اکسیدان کل میوه گردید (۲). علاوه بر آن در نتایج مشابهی در پژوهش‌های ژانگ و همکاران (۲۰۱۱)، تیمار میوه‌های سیب با گابا باعث افزایش آنتی‌اکسیدان کل گردید.

گابا با عملکرد چندجانبه و فراگیر دارای اثرات مختلفی در دامنه وسیعی از واکنش‌های فیزیولوژیکی از جمله بیان ژن، تولید  $H_2O_2$ ، سنتز آمینواسیدها و فرایندهای فتوسنتزی می‌باشد (۳۱). بیش‌ترین تجمع گابا در واکوئل در محدوده pH ۳/۵-۵/۵ ایجاد می‌شود. آسیب‌های مکانیکی موجب تخریب غشاهای واکوئل و آزاد شدن اسیدهای آلی به داخل سیتوسول و اسیدی شدن آن و در نتیجه باعث فعال شدن آنزیم GAD می‌گردد و در این شرایط گابا تولیدی می‌تواند در واکوئل تجمع یابد. در شرایطی که سیتوسول اسیدی می‌شود عمدتاً گلوتامین قابل دسترسی بوده و می‌تواند به‌وسیله GAD برای سنتز گابا مورد استفاده قرار گیرد (۳۶).

گزارش شده است که در هلو، تیمار با گابا با افزایش نسخه‌برداری ژن‌ها و فعالیت آنزیم‌های مرتبط با دفاع و هم‌چنین افزایش استحکام دیواره سلولی، تجمع لیگنین در دیواره سلول و دخالت در متابولیسم انرژی با حفظ سطح بالای انرژی باعث افزایش مقاومت سیستم دفاعی گردید (۴۶). هم‌چنین در مرکبات نیز کاربرد گابا با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باعث ایجاد مقاومت در برابر بیماری‌ها شد (۳۷). در مورد مکانیزم القا مقاومت توسط گابا در برابر تنش‌های مختلف بیان شده است که گابا می‌تواند از طریق تحریک از هم پاشیدگی غشا پلاسمایی و نشت پروتئین‌ها و قندهای بین سلولی باعث جلوگیری از ورود پاتوژن‌های قارچی گردد.

سیستم آنتی‌اکسیدانی با فعالیت آنزیم‌هایی هم‌چون سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز و کاتالاز نقش مهمی در جلوگیری و کم کردن خسارت رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در سلول‌های گیاهی دارد (۴۵). گابا در سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی هم خود به عنوان یک ملکول سیگنال‌دهنده عمل کرده و هم شروع‌کننده سیگنال‌های مسیره‌های متابولیسمی از جمله تولید رادیکال‌های آزاد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، عمل متقابل با هورمون‌های گیاهی و واکنش‌های دفاعی بر علیه پاتوژن‌ها می‌باشد (۳۲). بر اساس پژوهش‌های یک رابطه بین تنش، تجمع گابا و واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاهان وجود دارد و گزارش شده است که در شرایط تنش،  $Ca^{2+}$  سلولی تجمع یافته و سپس با فعالیت آنزیم کلسیم کالمودولین  $Ca^{2+}/CaM$  و آنزیم گلوتامات دکربوکسیلاز (GAD)، گلوتامات تبدیل به گابا می‌گردد (۳۲). از جمله این اثرات القایی گابا در سیستم‌های دفاعی در گیاهان چوبی از جمله انگور گزارش شده است (۳۰). گزارش شده است که در تنش‌های زنده و غیرزنده گابا با ایفای نقش در مسیر فنیل پروپانویید که مسیر اصلی سنتز متابولیت‌های ثانویه در میوه‌ها و سبزی‌ها است و با افزایش میزان پرولین و گابا درونی و هم‌چنین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و حفظ یکپارچگی غشا از طریق ایجاد فعالیت پایین آنزیم لیپوکسی اکسیژناژ (LOX)، نقش اساسی در سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی ایفا می‌کند (۴۹). در نتایج مشابهی تیمار میوه‌های انگور با گابا باعث حفظ فعالیت بالای آنتی‌اکسیدانی گردید و این امر به حفظ ترکیبات فنولی از اکسیداسیون، کاهش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز و فعالیت بالای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در میوه‌های تیمار شده با گابا نسبت داده شد. (۳). مشابه نتایج این پژوهش تیمار میوه‌های انبه با گابا باعث افزایش قابل‌توجه آنتی‌اکسیدان کل

**فنول کل:** بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، محلول پاشی گابا، مکان و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان فنول کل اثر معنی‌داری داشتند (جدول ۱). کاربرد گابا در غلظت ۱۰ میلی‌مولار در باغ حصار با افزایش سه برابری و در غلظت ۲۵ میلی‌مولار در باغ زینالو با افزایش ۱۱۷ درصدی بیش‌ترین میزان فنول کل را نشان داد و تفاوت بین غلظت‌های دیگر با هم و با شاهد معنی‌دار بودند (شکل ۲-B).

ترکیبات فنولی از مهم‌ترین متابولیت‌های ثانویه سنتزی از مسیر اسید شیکمیک بوده و نقش مهمی را در متابولیسم گیاه بر عهده دارند. این ترکیبات باعث ایجاد خصوصیات ارگانولوپتیکی و طعم از جمله گسی یا تلخی، رنگ و ماندگاری میوه می‌شوند (۱۵). توزیع ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها بستگی به درجه رسیدگی، فصل رشد، منطقه جغرافیایی، مدیریت باغی، رقم و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی دارد (۴۷). در نتایجی مشابه با این پژوهش، تیمار میوه‌های بلوبری با گابا باعث افزایش میزان فنول کل و فلاونوئیدهای میوه گردید و با تأثیر بر سنتز لیگنین‌ها و ترکیبات مقاومتی دیگر باعث مقاومت به بیماری‌ها گردید (۵۰). در پژوهش رستگار و همکاران (۲۰۱۹) تیمار میوه‌های انبه با گابا باعث حفظ میزان بالای فنول و فلاونوئید گردید (۳۳). علاوه بر آن میوه‌های گیلاس تیمار شده با گابا در طول انبارداری نسبت به شاهد، میزان فنول بالاتری را نشان دادند (۴۵). مشابه این نتایج، با تیمار میوه‌های موز با گابا، میزان فنول کل افزایش نشان داد که این افزایش به فعالیت بالای آنزیم PAL نسبت داده شد (۴۴).

**فلاونوئید کل (TFC):** نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که گابا و مکان هر دو در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر محتوی فلاونوئید کل معنی‌دار بودند (جدول ۱).

گابا در غلظت ۱۰ میلی‌مولار در باغ حصار با افزایش بیش از ۳۷ درصد بعد از تیمار ۵ میلی‌مولار (۳۴) (۳۴ درصد افزایش) بیش‌ترین تأثیر را داشت. در باغ زینالو بین شاهد و تیمارهای مختلف گابا تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲-C).

ترکیبات فنولی شامل ترکیبات فلاونوئیدی مانند آنتوسیانین‌ها، فلاونول‌ها، فلاوانول‌ها و ترکیبات غیرفلاونوئیدی مانند استیل‌بنز و اسیدهای فنولیکی می‌باشند. در بین این ترکیبات فلاونوئیدها دارای بیش‌ترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی بوده و تأثیر زیادی بر روی پارامترهای کیفی انگور دارند (۴۱). بیوسنتز فلاونوئیدها در گیاهان از دو مسیر شیکیمات و اسید مالونات انجام می‌گیرد که هر دو مسیر در ترکیب فلاونوئیدها تعیین‌کننده می‌باشند. در مسیر شیکیمات علاوه بر فلاونوئیدها، تعدادی از متابولیت‌های ثانویه از جمله فنولات‌ها، لیگنین، لیگنان و استیلبن‌ها نیز سنتز می‌گردند (۱۲).

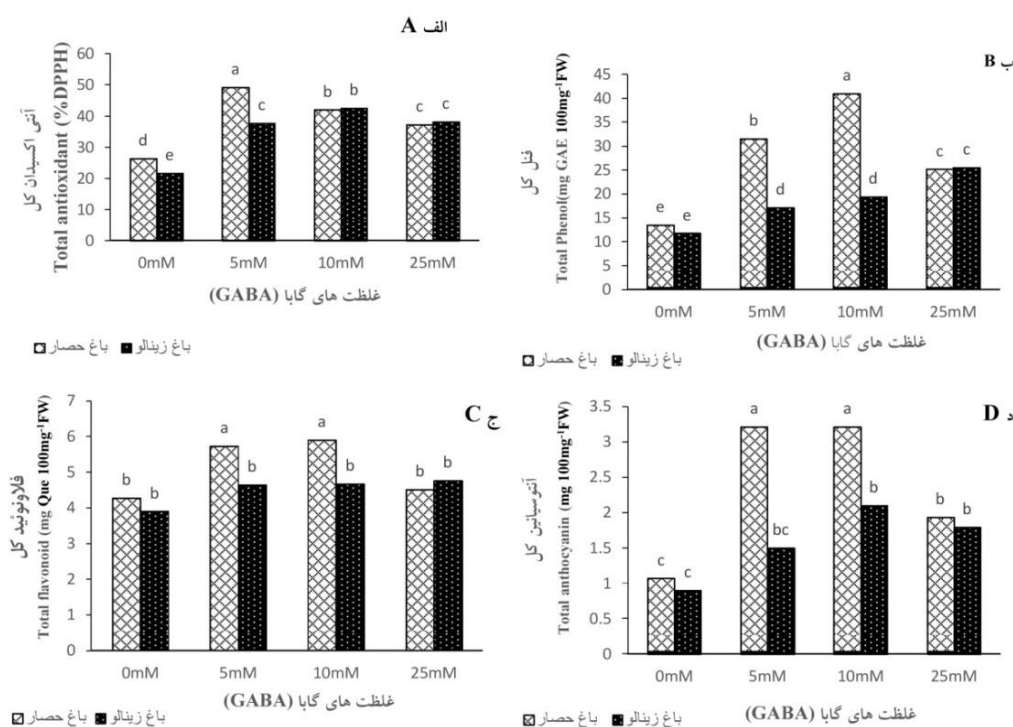
موافق با نتایج این پژوهش در تیمار پس از برداشت میوه‌های انگور با گابا بیش‌ترین میزان فلاونوئیدها نسبت به شاهد مشاهده گردید (۳). هم‌چنین تیمار میوه‌های بلوبری با گابا با تأثیر بر مسیر فنیل‌پروپانویید و تنظیم متابولیسم ROS، باعث افزایش میزان فنول کل و فلاونوئیدها گردید (۵۰). در نتایج مشابهی تیمار میوه‌های انبه با گابا باعث حفظ میزان بالای فنول و فلاونوئید گردید (۳۳). در پژوهش ونگ و همکاران (۲۰۱۶) نیز میوه‌های گیلاس تیمار شده با گابا میزان بالای فلاونوئید را در طول انبارداری نسبت به شاهد داشتند (۴۵). افزایش میزان فلاونوئیدها با تیمار گابا در میوه هلو نیز گزارش شده است (۲). مکانیزم اثر گابا در افزایش میزان فلاونوئیدها می‌تواند به علت تحریک سنتز آنزیم PAL باشد که این آنزیم شروع‌کننده مسیر فنیل‌پروپانویید بوده و باعث سنتز ترکیبات فنولی مانند فلاونوئیدها می‌گردد (۲۵).



حلقه‌زنی نیز می‌تواند بر میزان آنتوسیانین انگور تأثیر بگذارد. زمان برداشت انگور نیز تأثیر قابل توجهی در میزان آنتوسیانین‌های استیله انگور دارد (۱۷). براساس پژوهش‌های در انگور آنتوسیانین‌ها شامل گلیکوزیدهای دی‌هیدروکسیله سیانیدین و پتونییدین و گلیکوزیدهای تری‌هیدروکسیله دلفینیدین، پتونییدین و مالویدین می‌باشند، اگرچه بسته به رقم انگور تفاوت‌هایی در ترکیبات آنتوسیانینی انگور وجود دارد، ولی مالویدین ۳-گالاکتوزید بیش‌ترین ترکیب آنتوسیانینی انگور گزارش شده است و مشتقات مالویدین، آنتوسیانین‌های اصلی انگور محسوب می‌گردند (۳۹). در نتایج مشابهی در پژوهش اصغریان و همکاران (۲۰۲۲) تیمار میوه‌های انگور با ۴۰ میلی‌مول گابا باعث افزایش میزان آنتوسیانین میوه‌ها گردید (۳).

آنتوسیانین کل: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد گابا و مکان هر دو در سطح احتمال ۱ درصد و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان آنتوسیانین کل اثر معنی‌داری داشتند (جدول ۱). بالاترین میزان آنتوسیانین در هر دو باغ در غلظت‌های ۱۰ میلی‌مولار گابا با افزایش ۳ برابری در باغ حصار و افزایش بیش از ۲ برابری در باغ زینالو مشاهده شد و بین غلظت‌های دیگر گابا هم تفاوت معنی‌داری از نظر آماری وجود داشت (شکل ۲-D).

آنتوسیانین‌ها در زمان رسیدگی میوه عمدتاً در پوست حبه انگور تجمع می‌یابند و غلظت آن‌ها تحت تأثیر عوامل مختلف ژنتیکی، محیطی از جمله دما، نور و عملیات زراعی قرار می‌گیرد. هم‌چنین عملیات مدیریتی مانند حذف برگ، تنک خوشه و



شکل ۲- تأثیر محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف گابا (۰، ۵، ۱۰، ۲۵ میلی‌مولار) بر محتوای آنتی‌اکسیدان کل (پانل الف)، فنول کل (پانل ب)، فلاونوئید کل (پانل ج) و آنتوسیانین کل (پانل د) میوه انگور رقم قزل اوزوم. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد با آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشد.

Fig. 2. Effect of foliar spraying with different doses (0, 5, 10, 25 mM) of GABA on DPPH (Panel A), TPC (Panel B), TFC (Panel C) and TAC (Panel D) content of Zizil Uzum table grape berries. Means indicated with different letters are significantly different at  $P \leq 0.01$  according to Duncan's Multiple Range Test.

مقاومت در برابر پوسیدگی شد. در این پژوهش افزایش فعالیت آنزیم PAL با افزایش تجمع پروتئین چیتیناز منجر به القا مقاومت بر علیه پاتوژن‌ها گردید (۲۸).

**فعالیت آنزیم کاتالاز:** نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که گابا در سطح احتمال ۱ درصد بر فعالیت آنزیم کاتالاز اثر معنی‌داری داشت ولی مکان و اثرات متقابل گابا و مکان اثر معنی‌داری بر فعالیت این آنزیم نشان ندادند (جدول ۱). گابا در غلظت ۲۵ میلی‌مولار با افزایش نزدیک ۲ برابری در هر دو باغ بالاترین فعالیت کاتالاز را ایجاد کرد و بین غلظت‌های ۱۰ و ۵ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری نبود (شکل ۳-B).

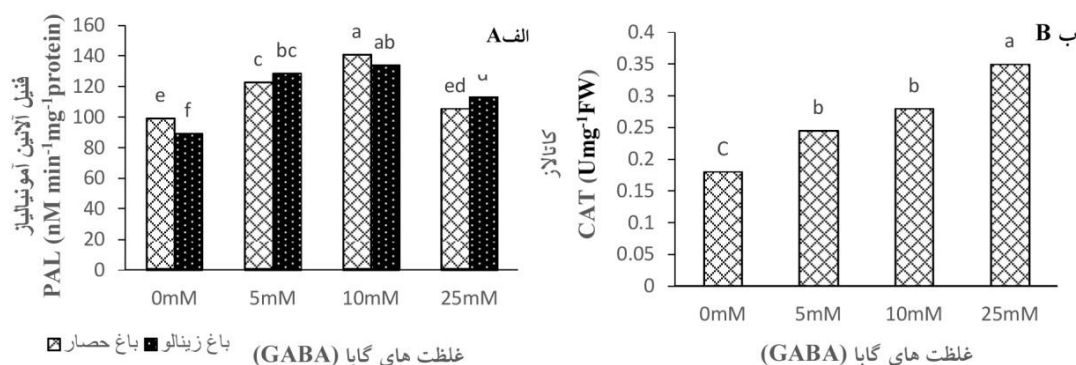
آنزیم کاتالاز از جمله آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی خنثی‌کننده و گیرنده پراکسید هیدروژن می‌باشد که باعث حفاظت سلول از خسارت اکسیداتیو می‌گردد. میزان بالای پراکسید هیدروژن می‌تواند در چرخه آسکوربات-کاتالاز با همکاری بین گیرنده‌های  $H_2O_2$  از جمله کاتالاز و سوپراکسیداز کاهش یابد (۱۴). بیان شده است که مکانیزم اثر گابا در سیستم‌های دفاعی می‌تواند با تأثیر بر تجمع پروتئین‌های مرتبط با پاتوژن (PR) از جمله تجمع چیتیناز و ۱-۳-گلوکوناز باشد (۴۹). اما این تنها مکانیزم القا مقاومت گابا نبوده بلکه گابا می‌تواند باعث القا واکنش‌های فوق حساسیتی (hypersensitivity)، رسوب کالوز و تجمع لیگنین گردد. هم‌چنین گابا می‌تواند القا مقاومت به پاتوژن را از طریق فعال کردن مسیرهای سیگنال‌دهی وابسته به اسید سالیسیلیک، اسید جازمونیک و یا اتیلن انجام دهد. بر اساس پژوهش اصغریان و همکاران (۲۰۲۲) در تیمار میوه‌های انگور با ۴۰ میلی‌مول گابا باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله کاتالاز تا ۳۵ درصد گردید (۳). در نتایج مشابهی با

آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیااز: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، گابا در سطح احتمال ۱ درصد بر فعالیت آنزیم PAL اثر معنی‌داری داشت ولی اثر مکان غیرمعنی‌دار بود و اثرات متقابل گابا و مکان نیز در سطح احتمال ۱ درصد بر فعالیت این آنزیم معنی‌دار بود (جدول ۱). در هر دو باغ در غلظت ۱۰ میلی‌مولار گابا، بیش‌ترین فعالیت آنزیم PAL با افزایش ۴۲ درصد در باغ حصار و افزایش ۵۰ درصد در باغ زینالو مشاهده شد و هم‌چنین تفاوت ایجاد شده در فعالیت این آنزیم بین غلظت‌های دیگر گابا در مقایسه با هم و با شاهد معنی‌دار بود (شکل ۳-A).

PAL یک آنزیم کلیدی در مسیر متابولیسم فنیل پروپانوئیدها با دامیناسیون غیراکسیداتیو باعث تبدیل L-فنیل‌آلانین به اسید ترانس‌سینامیک و ایجاد ارتباط بین متابولیسم اولیه و ثانویه و تولید فنیل پروپانوئیدهای مختلف و مشتقات آن‌ها از جمله فلاونوئیدها، ایزوفلاونوئیدها، رسوراترول، کومارین‌ها، استیل بنز، آنتوسیانین‌ها، لیگنین و ترکیبات فنولیکی دیگر می‌گردد و فعالیت آن تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله ژنوتیپ، مرحله رشدی گیاه، نوع اندام و بافت گیاه قرار می‌گیرد (۲۱). مشابه نتایج ما، در میوه‌های بلوبری تیمار با گابا باعث افزایش فعالیت آنزیم PAL و ایجاد مقاومت بر علیه پوسیدگی و آلودگی‌های میکروبی گردید (۵۰). هم‌چنین در میوه‌های گلابی کاربرد گابا باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های PAL و CHI و القا مقاومت بر علیه بیماری شدند (۵۱). ونگ و همکاران (۲۰۱۸) این افزایش فعالیت آنزیم‌های PAL، 4CL و  $C_4H$  را با کاربرد گابا در میوه هلو گزارش کردند (۴۶). نتایج مشابهی نیز توسط پورات و همکاران (۲۰۰۳) با تیمار میوه‌های گریپ‌فروت با گابا گزارش گردید و با افزایش فعالیت آنزیم‌های PAL و CHI موجب القا

سرمازدگی بعد از برداشت گردید (۲ و ۵۰). در مرکبات نیز کاربرد گابا با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، باعث افزایش مقاومت در برابر بیماری‌ها گردید (۳۷). رستگار و همکاران (۲۰۱۹) در نتایج مشابهی افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله کاتالاز را با تیمار گابا در میوه‌های انبه گزارش کردند (۳۳).

نتایج فوق، تیمار با گابا در میوه‌های بلوبری باعث افزایش فعالیت کاتالاز شد و با تأثیرگذاری بر مسیر فنیل پروپانوئید و متابولیسم ROS باعث افزایش عمر انباری و تأخیر پیری میوه گردید (۵۰). هم‌چنین کاربرد گابا در گل‌های شاخه بریده آنتوریوم و هلو با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در چرخه آسکوربات و گلووتاتیون (AsA-GSH) باعث افزایش مقاومت به



شکل ۳- تأثیر محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف گابا (۰، ۵، ۱۰، ۲۵ میلی‌مولار) بر فعالیت آنزیم‌های PAL (پانل الف) و کاتالاز (پانل ب) میوه انگور رقم قزل‌اوزوم. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد با آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشد.

Fig. 3. Effect of foliar spraying with different doses (0, 5, 10, 25 mM) of GABA on PAL (Panel A) and CAT (Panel B) enzyme activity of Qizl Uzum table grape berries. Means indicated with different letters are significantly different at  $P \leq 0.01$  according to Duncan's Multiple Range Test.

کامفرول، سیرینجین و در غلظت ۱۰ میلی‌مولار بالاترین میزان میریستین، کاتچین، اسیدکافنیک، اسیدگالیک، رسوراترول و اسید پی‌کوماریک مشاهده گردید و هم‌چنین تفاوت بین غلظت‌های دیگر با هم و با شاهد از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۳ و شکل‌های ۴ و ۵).

ترکیبات پلی‌فنولیک: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد گابا و مکان و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان ترکیبات فنولیکی اثر معنی‌داری نشان دادند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در نمونه‌های تیمار شده با غلظت ۵ میلی‌مولار گابا، بالاترین میزان کوئرستین،

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی گابا بر برخی ترکیبات فنولی در انگور رقم قزل‌اوزوم.

**Table 2. Variance analysis of the effect of foliar spraying with GABA on some phenolic compounds of 'Qizil Uzum' table grape.**

| (Mean of Squares) مربعات میانگین |                                    |                             |                           |                    |                         |                       |                       |                      |    |                                  |
|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----|----------------------------------|
| رسوراترول<br>Resveratrol         | اسید پی کوماریک<br>p-Coumaric acid | اسید کافئیک<br>Caffeic acid | اسید گالیک<br>Gallic acid | کاتچین<br>Catechin | سیرینجتین<br>Syringetin | کامفرول<br>Kaempferol | کوئرستین<br>Quercetin | میرستین<br>Myricetin | df | منابع تغییرات<br>S.O.V           |
| 2.2037**                         | 33.463**                           | 8.4937**                    | 9.470**                   | 81.399**           | 124.19**                | 20.463**              | 758.27**              | 5.9292**             | 3  | گابا<br>GABA                     |
| 0.033 <sup>ns</sup>              | 23.403**                           | 16.833**                    | 6.6150**                  | 25.153**           | 42.533**                | 0.8437**              | 107.10**              | 0.001 <sup>ns</sup>  | 1  | مکان<br>Location                 |
| 0.1337**                         | 5.713*                             | 3.9937*                     | 0.005 <sup>ns</sup>       | 6.7494**           | 7.853**                 | 7.0037**              | 282.06**              | 0.228 <sup>ns</sup>  | 3  | گابا * مکان<br>GABA * Location   |
| 0.0100                           | 1.350                              | 0.7762                      | 0.5222                    | 0.6324             | 0.9684                  | 0.0950                | 8.3129                | 1350                 | 16 | اشتباه آزمایشی<br>Error          |
| 10.95                            | 30.27                              | 32.18                       | 17.00                     | 4.23               | 5.07                    | 6.43                  | 11.29                 | 17.33                | -  | ضریب تغییرات<br>(درصد)<br>CV (%) |

<sup>ns</sup>, \* و \*\* به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد  
<sup>ns</sup>, \*\* and \* are non-significant and significant at 1 and 5% probability levels, respectively

کوئرستین و سیرینجتین و افزایش نزدیک ۲ برابری کامفرول در هر دو باغ مشاهده شد (جدول ۳) و بالاترین میزان میریستین با افزایش نزدیک ۳ برابری نیز در غلظت ۱۰ میلی‌مولار گابا ایجاد گردید (جدول ۳) و غلظت‌های دیگر گابا هم تفاوت معنی‌داری از نظر آماری نسبت به هم و شاهد ایجاد کردند.

**ترکیبات فلاونولی:** بر اساس نتایج این پژوهش میریستین، کوئرستین، کامفرول و سیرینجتین ترکیبات فلاونولی غالب موجود در نمونه‌های مورد تیمار بودند که به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر این محلول‌پاشی قرار گرفتند (جدول ۲). بالاترین میزان کوئرستین، کامفرول، سیرینجتین در غلظت ۵ میلی‌مولار گابا با افزایش بیش از ۳ برابری

جدول ۳- تأثیر محلول پاشی با غلظت‌های مختلف گابا (۰، ۵، ۱۰، ۲۵ میلی‌مولار) بر میزان ترکیبات فلاونول (میریسیتین، کوئرستین، کامفرول و سیرینجیتین) میوه انگور رقم قزل‌اوزوم.

**Table 3. Effect of foliar spraying with different doses (0, 5, 10, 25 mM) of GABA on flavonol compounds (myricetin, Quercetin, Kaempferol, Syringetin) of Qızıl Uzum table grape berries.**

| ترکیبات فلاونولی<br>Flavonol compounds ( $\mu\text{g g}^{-1}\text{FW}$ ) |                       |                       |                        | گابا<br>GABA (mM)               |
|--|-----------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------|
| سیرینجیتین<br>Syringetin   | کامفرول<br>Kaempferol | کوئرستین<br>Quercetin | میریسیتین<br>Myricetin |                                 |
| 15.10 <sup>d</sup>   | 2.20 <sup>f</sup>     | 10.80 <sup>d</sup>    | 1.17 <sup>d</sup>      | باغ حصار<br>Hesar orchard<br>0  |
| 12.00 <sup>e</sup>   | 2.80 <sup>ef</sup>    | 20.30 <sup>c</sup>    | 1.17 <sup>d</sup>      | باغ زینالو<br>Zeynalo orchard   |
| 27.30 <sup>a</sup>   | 7.50 <sup>a</sup>     | 34.27 <sup>b</sup>    | 1.50 <sup>d</sup>      | باغ حصار<br>Hesar orchard<br>5  |
| 21.80 <sup>b</sup>   | 6.10 <sup>b</sup>     | 44.00 <sup>a</sup>    | 1.67 <sup>d</sup>      | باغ زینالو<br>Zeynalo orchard   |
| 20.50 <sup>bc</sup>  | 7.00 <sup>a</sup>     | 38.43 <sup>ab</sup>   | 3.27 <sup>ab</sup>     | باغ حصار<br>Hesar orchard<br>10 |
| 20.50 <sup>bc</sup>  | 4.20 <sup>d</sup>     | 22.30 <sup>c</sup>    | 3.60 <sup>a</sup>      | باغ زینالو<br>Zeynalo orchard   |
| 20.05 <sup>bc</sup>  | 3.20 <sup>e</sup>     | 10.20 <sup>d</sup>    | 2.60 <sup>bc</sup>     | باغ حصار<br>Hesar orchard<br>25 |
| 18.00 <sup>c</sup>   | 5.30 <sup>c</sup>     | 24.00 <sup>c</sup>    | 2.03 <sup>cd</sup>     | باغ زینالو<br>Zeynalo orchard   |

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد با آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشد

Means indicated with different letters are significantly different at  $p \leq 0.01$  according to Duncan's Multiple Range Test

فلاونوئیدها در ارتباط نزدیکی با سنتز آنتوسیانین‌ها می‌باشد زیرا فلاونول‌ها از جمله محصولات مسیر بیوسنتزی فلاونوئیدها، در بسیاری از نقاط این مسیر مشترک می‌باشند (۲۹). از آنجائی‌که فلاونول‌ها در خصوصیات کیفی انگور تأثیرگذار می‌باشند، از این‌رو میزان بالای این ترکیبات می‌تواند بیانگر کیفیت مطلوب میوه باشد (۹).

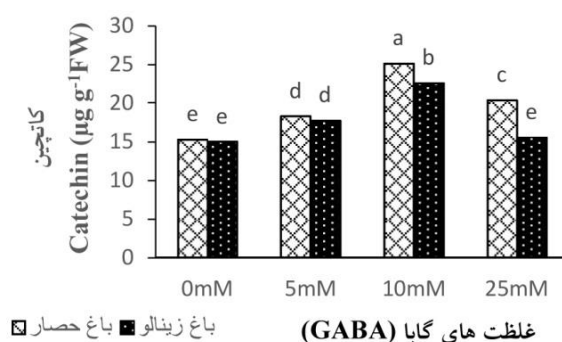
**ترکیبات فلاوان ۳ آل:** بر اساس نتایج پژوهش حاضر، کاتچین، ترکیب فلاوان ۳ آل غالب نمونه‌های مورد تیمار بود که در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر محلول پاشی گابا قرار گرفت (جدول ۲). بالاترین

فلاونول‌ها از ترکیبات مؤثر کیفی در انگور بوده و در ایجاد تلخی و گسی میوه مؤثر می‌باشند. هم‌چنین همراه آنتوسیانین‌ها از جمله کوفاکتورهای مهم در رنگ‌گیری ارقام قرمز انگور بوده و باعث پایداری رنگ قرمز آنتوسیانین‌ها می‌گردند، علاوه بر آن همراه آنتوسیانین‌ها با جذب امواج ماوراءبنفش A و B باعث حفاظت نوری می‌گردند (۱۵). فلاونوئیدهای اساسی انگور شامل میریسیتین، کوئرستین، کامفرول و اشکال متیله آن‌ها از جمله ایزورامنتین می‌باشند که تحت تأثیر عوامل محیطی مانند نور به‌ویژه نور ماورابنفش سنتز می‌شوند. در ارقام قرمز انگور سنتز

رنگ انگور می‌گردند و نقش اساسی در کیفیت و ارزش تغذیه‌ای انگور دارند (۲۳). علاوه بر آن فلاوان ۳ آل‌ها، واحدهای ساختاری پروآنتوسیانیدین‌ها و تانن‌ها نیز به شمار می‌روند. تفاوت‌های مشاهده شده در ترکیبات فلاوان ۳ آل در بین پژوهش‌های مختلف می‌تواند به دلیل تفاوت ارقام انگور و منطقه پرورش آن‌ها باشد (۳۸).

میزان کاتچین در هر دو باغ در غلظت ۱۰ میلی‌مولار گابا با افزایش بیش از ۱/۵ برابری در هر دو باغ (۱/۶۴ برابر برای باغ حصار و ۱/۵ برابر برای باغ زینالو) مشاهده شد. (شکل ۴).

فلاوان ۳ آل‌ها یک گروه از ترکیبات فنلی می‌باشند که نقش اساسی در ایجاد خصوصیات ارگانولپتیکی انگور از جمله گسی و تلخی داشته و باعث پایداری



شکل ۴- تأثیر محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف گابا (۰، ۵، ۱۰، ۲۵ میلی‌مولار) بر میزان ترکیب فلاوان ۳ آل کاتچین میوه انگور رقم قزل‌اوزوم. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد با آزمون دانکن چنددامنه‌ای می‌باشد.

**Fig. 4. Effect of foliar spraying with different doses (0, 5, 10, 25 mM) of GABA on flavanol compound: Catechin of Qızıl Uzum table grape berries. Means indicated with different letters are significantly different at  $P \leq 0.01$  according to Duncan's Multiple Range Test.**

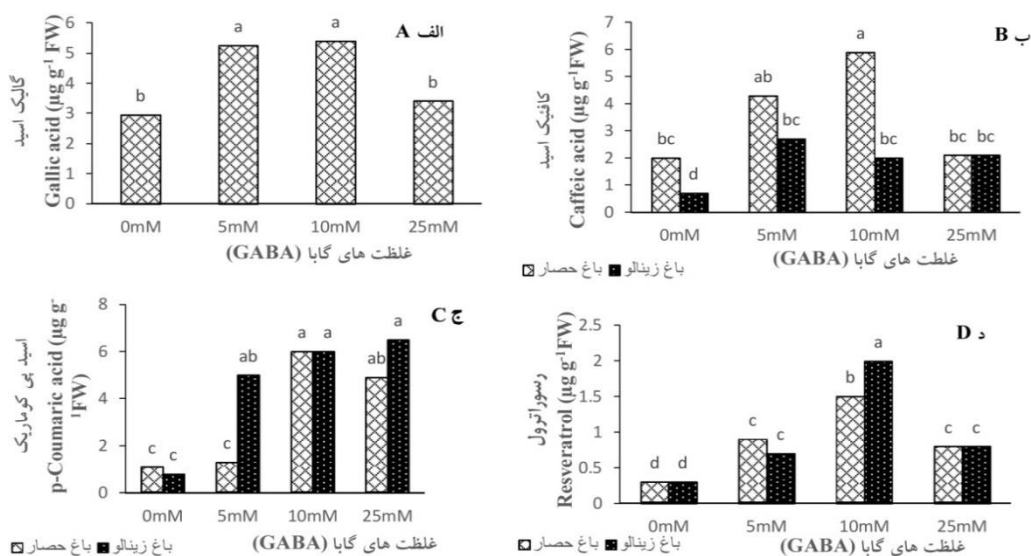
رسوراترول هم در همین غلظت با افزایش ۵ برابری در باغ حصار و ۶/۵ برابری در باغ زینالو بالاترین میزان را داشت (شکل ۵-D).

ترکیبات غیرفلاونوئیدی یک گروه از اسیدهای فنولیکی هستند که شامل اسیدهای هیدروکسی سینامیک و اسیدهای هیدروکسی بنزوئیک می‌باشند. اسیدهای هیدروکسی سینامیک، نقش اساسی در تشکیل رنگدانه‌ها داشته و باعث تشکیل رنگدانه‌های پایدار هیدروکسی فنیل پیرانو آنتوسیانین‌ها می‌شوند که یک گروه از رنگدانه‌های قرمز نارنجی مشتق از آنتوسیانین هستند و در پایداری رنگ نقش دارند. هم‌چنین این ترکیبات نقش اساسی در القاء مقاومت و بهبود شاخص‌های سلامت در گیاه دارند (۶).

ترکیبات غیرفلاونوئیدی: بر اساس نتایج پژوهش حاضر اسیدگالیک، اسیدکافئیک، اسیدی‌کوماریک و رسوراترول، ترکیبات غیرفلاونوئیدی غالب نمونه‌های مورد تیمار بودند که به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر تیمار حاضر قرار گرفتند (جدول ۲). بالاترین میزان اسیدگالیک و اسیدکافئیک در غلظت ۱۰ میلی‌مولار گابا با افزایش ۱/۸۳ برابری اسیدگالیک و نزدیک به ۳ برابری اسیدکافئیک (۲/۹۵ و ۲/۸۶ برابر به ترتیب در باغ حصار و زینالو) در هر دو باغ مشاهده شد (شکل ۵-A و B). اسید پی‌کوماریک با افزایش حدود ۵/۵ برابری نیز بالاترین میزان را در غلظت ۱۰ میلی‌مولار نشان داد و تفاوت بین غلظت‌های دیگر هم معنی‌دار بود (شکل ۵-C).

در پژوهش حاضر رسوراترول که از جمله استیلین‌های اصلی می‌باشد به صورت معنی‌داری تحت تأثیر تیمار قرار گرفت. استیلین‌ها یک نوع از فیتوالکسین‌های موجود در انگور می‌باشند که تأثیرات زیادی در کیفیت تغذیه‌ای انگور دارند. رسوراترول دارای فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی و ضدسرطانی می‌باشد. این ترکیبات در انگور در مقابله با عوامل خارجی به صورت ترکیبات دفاعی فعال سنتز می‌گردند و همچنین به صورت ترکیبات برطرف‌کننده و زداینده در سیستم دفاعی گیاهان توسط پاتوژن‌ها نیز تولید می‌گردند (۹). رسوراترول از جمله مهم‌ترین فیتوالکسین‌های استیلینی تولیدی در انگور است که می‌تواند به تنش‌های زنده و غیرزنده پاسخ دهد و باعث افزایش ارزش تغذیه‌ای انگور می‌گردد (۱۶). در نتایج مشابهی در پژوهش‌های اصغریان و همکاران (۲۰۲۲) تیمار میوه‌های انگور با گابا باعث افزایش ترکیبات پلی‌فنولیکی بویژه رسوراترول گردید (۳).

بر اساس پژوهش حاضر اسید گالیک، اسید هیدروکسی بنزوئیک اصلی در انگورهای تحت تیمار تشخیص داده شد، هم‌چنین اسیدکافئیک، اسید پی‌کوماریک و رسوراترول نیز هیدروکسی سینامیک اسیدهای اصلی یافت شدند که در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر این تیمار قرار گرفتند (جدول ۲). عوامل محیطی، وضعیت تغذیه‌ای گیاه و شرایط اقلیمی می‌تواند بر واکنش انگور در برابر محلول‌پاشی، تأثیرگذار باشند مانند افزایش سنتز ترکیبات فنولیکی یا متابولیت‌های ثانویه دیگر که نسبت به کاربرد تیمارها حساس هستند، هم‌چنین زمان برداشت نیز تأثیر زیادی بر روی ترکیبات فنلی انگور دارد (۲۹). در نتایج مشابهی تیمار میوه‌های انگور با گابا در غلظت ۴۰ میلی‌مول باعث ایجاد بیش‌ترین اسیدهای فنولیکی از جمله اسید گالیک، اسید کافئیک، اسید پی‌کوماریک و رسوراترول در مقایسه با شاهد شد (۳).



شکل ۵- تأثیر محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف گابا (۰، ۵، ۱۰، ۲۵ میلی‌مولار) بر میزان ترکیبات غیرفلاونوئیدی، اسید گالیک (پانل الف)، اسید کافئیک (پانل ب)، اسید پی‌کوماریک (پانل ج) و رسوراترول (پانل د) میوه انگور رقم قزل‌اوزوم. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد با آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشد.

Fig. 5. Effect of foliar spraying with different doses (0, 5, 10, 25 mM) of GABA on non flavonoid compounds, Gallic acid (Panel A), Caffeic acid (Panel B), p-Coumaric acid (Panel C) and Resveratrol (Panel D) of Qızıl Uzun table grape. Means indicated with different letters are significantly different at  $P \leq 0.01$  according to Duncan's Multiple Range Test.

زمان نمونه‌برداری (۴۸ و ۷۲ ساعت بعد از محلول‌پاشی) گردید (شکل ۶-۱). با افزایش غلظت گابا میزان بیان این ژن ضرورتاً افزایش پیدا نکرد و حتی در بالاترین غلظت (۲۵ میلی‌مولار) کم‌ترین بیان ژنی مشاهده گردید. بر این اساس ۱۰ میلی‌مولار گابا غلظت بهینه جهت افزایش بیان ژن *PAL* بیان گردید، هم‌چنان که در همین غلظت بالاترین درصد مواد جامد محلول ملاحظه گردید. مواد جامد محلول از جمله سوبسترای اساسی مسیر فنیل پروپانویدها است که با فعال شدن این مسیر منجر به بیان ژن‌های این مسیر از جمله *PAL* و *CHS* می‌گردد. گابا به‌عنوان یک متابولیت کلیدی در مسیرهای اولیه و ثانویه، به‌صورت یک واسطه در متابولیسم نیتروژن و بیوستز اسیدهای آمینه عمل می‌کند و با عملکرد چندجانبه و فراگیر در دامنه وسیعی از واکنش‌های فیزیولوژیکی از جمله بیان ژن نقش دارد (۳۱). بر اساس پژوهش‌ها ژن‌های کلیدی مسیر بیوستز فلاونوئیدها از جمله ژن *PAL* و *CHS* به‌طور چشمگیری تحت‌تأثیر تیمار گابا قرار گرفتند که نشان‌دهنده ارتباط نزدیک مسیر گابا شانت با متابولیسم فلاونوئیدها می‌باشد (۴۸).

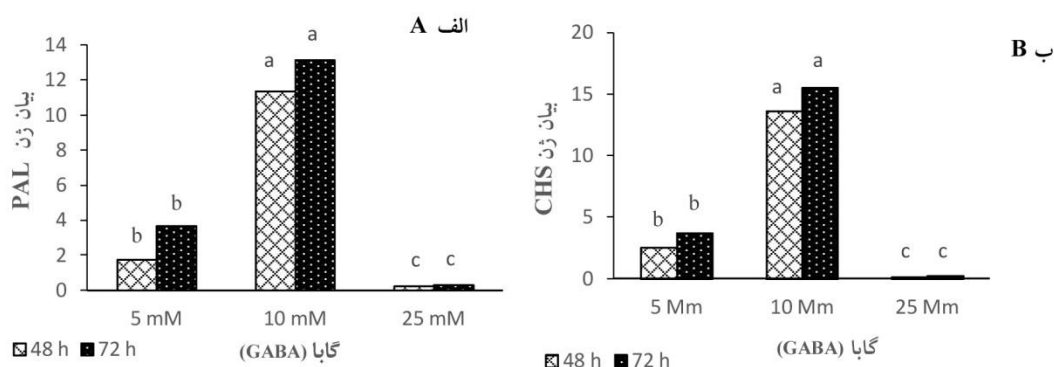
ژن *CHS* نیز به‌عنوان یکی از ژن‌های مسیر فنیل پروپانویید، دارای نقش تنظیم‌کنندگی سنتز ترکیبات فنولیکی از جمله اسیدهای فنولیکی و استیل بنز می‌باشد (۲۴). در پژوهش حاضر بیان ژن *CHS* به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر محلول‌پاشی گابا به‌ویژه در غلظت ۱۰ میلی‌مولار قرار گرفت (شکل ۶-۱). مشابه الگوی بیان ژنی *PAL* بیان این ژن نیز در بیش‌ترین غلظت گابا (۲۵ میلی‌مولار) افزایش چندانی را نسبت به شاهد نشان نداد و حتی کم‌ترین میزان را در بین غلظت‌های کاربردی داشت. بر اساس نتایج موجود افزایش میزان ترکیبات فنولیکی با کاربرد گابا می‌تواند به افزایش بیان ژن‌ها و آنزیم‌های مسیر سنتزی این ترکیبات نسبت داده شود.

اثر محلول‌پاشی گابا بر بیان ژن *PAL* و *CHS*: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد گابا و زمان و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان بیان ژن *PAL* اثر معنی‌داری داشتند. گابا در غلظت ۱۰ میلی‌مولار در هر دو زمان نمونه‌برداری (۴۸ و ۷۲ ساعت بعد از محلول‌پاشی) باعث بیش‌ترین بیان ژن *PAL* شد و بعد از آن غلظت ۵ میلی‌مولار گابا بیش‌ترین تأثیرگذاری را در بیان این ژن نشان داد و کم‌ترین بیان این ژن نیز در غلظت ۲۵ میلی‌مولار گابا مشاهده گردید (شکل ۶-۱). هم‌چنین گابا در سطح احتمال ۱ درصد و زمان در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان بیان ژن *CHS* اثر معنی‌داری داشتند ولی اثرات متقابل گابا و زمان بر میزان بیان این ژن معنی‌دار نبود. در غلظت ۱۰ میلی‌مولار گابا بیش‌ترین بیان ژن *CHS* مشاهده شد و بعد از آن در غلظت ۵ میلی‌مولار گابا این ژن بیان بیش‌تری داشت و کم‌ترین بیان آن در غلظت ۲۵ میلی‌مولار گابا مشاهده شد (شکل ۶-۱).

در مسیر فنیل پروپانویید آنزیم *PAL* یک آنزیم کلیدی می‌باشد که با تبدیل L- فنیل‌آلانین به ترانس اسید سینامیک به منزله پیش‌ساز سنتز فنیل پروپانویدهای مختلف از جمله لیگنین‌ها، اسیدهای فنولیکی، کومارین‌ها و فلاونوئیدها باعث تنظیم بیوستز ترکیبات فنولیکی می‌گردد (۲۱). این آنزیم توسط چندین خانواده ژنی کدگذاری می‌گردد. عوامل متعددی با تأثیر بر پیشرفت نسخه‌برداری و ترجمه ژن‌های *PAL* باعث فعالیت آنزیم *PAL* می‌گردند. در انگور چندین پروتئین خانواده MYB کنترل‌کننده مسیر فنیل پروپانویید شناسایی شده‌اند. بر اساس گزارش‌های *PAL* یک ژن کلیدی در اولین مرحله سنتز ترکیبات فنولیکی می‌باشد که باعث کدگذاری آنزیم *PAL* می‌گردد (۴۲).

در این پژوهش محلول‌پاشی گابا باعث افزایش معنی‌دار بیان ژن *PAL* به‌ویژه در غلظت ۱۰ میلی‌مولار و سپس غلظت ۵ میلی‌مولار گابا در هر دو





شکل ۶- تأثیر محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف گابا (۰، ۵، ۱۰، ۲۵ میلی‌مولار) در دو مرحله زمانی (۴۸ و ۷۲ ساعت بعد از محلول‌پاشی) بر بیان ژن‌های *PAL* (پانل الف) و *CHS* (پانل ب) میوه انگور رقم قزل‌اوزوم. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد با آزمون دانکن می‌باشد.

**Fig. 6.** Effect of foliar spraying with different doses (0, 5, 10, 25 mM) of GABA on *PAL* (Panel A) and *CHS* (Panel B) genes expression of Qızıl Uzun table grape berries. Means indicated with different letters are significantly different at  $P \leq 0.01$  according to Duncan's Multiple Range Test.

فلاوان-۳-آل‌ها و اسیدهای فنولیکی و ارتقاء ارزش تغذیه‌ای میوه گردید. علاوه بر آن گابا با افزایش بیان ژن‌های *PAL* و *CHS* و افزایش فعالیت آنزیم‌های *PAL* و *CHS* موجب افزایش سنتز ترکیبات مفید سنتزی مسیر فنیل‌پروپانویدها از جمله آنتوسیانین و بهبود رنگ‌گیری میوه گردید. از این‌رو گابا به‌عنوان یک ترکیب طبیعی و سالم می‌تواند جایگزین مناسب ترکیبات شیمیایی در جهت بهبود کیفیت انگور قزل‌اوزوم باشد.

### نتیجه‌گیری

محلول‌پاشی گابا به‌ویژه در غلظت ۱۰ میلی‌مولار و در مرحله *veraison* با تأثیر بر افزایش میزان اسیدهای آلی، *TSS* و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله آنزیم کاتالاز باعث افزایش کیفیت میوه انگور رقم قزل‌اوزوم گردید. هم‌چنین گابا با تأثیرگذاری بر افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم *PAL* به‌عنوان یک آنزیم کلیدی در مسیر سنتز ترکیبات فنولی باعث افزایش معنی‌دار ترکیبات فنلی از جمله فلاونوئیدها، فلاونول‌ها،

### منابع

1. Asgarian, Z.S., Karimi, R., Ghabooli, M. and Maleki, M. 2021. Biochemical changes and quality characterization of cold-stored 'Sahebi' grape in response to postharvest application of GABA. *Food Chem.* 131401.
2. Buchanan, B.B., Griseem, W. and Jones, R.L. 2015. *Biochemistry and molecular biology of plants*, Second edition. John Wiley & Sons, UK. 1264p.
3. Sheng, L., Shen, D., Luo, Y., Sun, X., Wang, J., Luo, T., Zeng, Y., Xu, J., Deng, X. and Cheng, Y. 2017. Exogenous  $\gamma$ -aminobutyric acid treatment affects citrate and amino acid accumulation to improve fruit quality and storage performance of postharvest citrus fruit. *Food Chem.* 216: 138-145.
4. Karimi, R., Mirzaei, F. and Rasouli, M. 2017. Phenolic acids, flavonoids, antioxidant capacity and minerals content in fruit of five grapevine cultivars. *Iran. J. Hort. Sci. Tech.* 18: 1. 89-102.

5. Shelp, B.J., Bozzo, G.G., Trobacher, C.P., Zarei, A., Deyman, K.L. and Brikis, C.J. 2012. Hypothesis/review: contribution of putrescine to 4-aminobutyrate (GABA) production in response to abiotic stress. *Plant Sci.* pp. 193-194.
6. Aghdam, M.S., Razavi, F. and Karamneghad, F. 2015. Maintaining the postharvest nutritional quality of peach fruits by  $\gamma$ -Aminobutyric acid. *Iran. J. Plant Physiol.* 5: 4. 1457-1463. (In Persian)
7. Malabarba, J., Reichelt, M., Pasqualil, G. and Mithöfer, A. 2018. Tendril coiling in Grapevine: Jasmonates and a new role for GABA. *J. Plant Growth Regul.* 37p.
8. Ramos-Ruiz, R., Poirot, E. and Flores-Mosquera, M. 2018. GABA, a non-protein amino acid ubiquitous in food matrices. *Cogent Food Agric.* 4: 1534323.
9. Li, W., Liu, J., Ashraf, U., Li, G., Li, Y. and Lu, W. 2016. Exogenous  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA) application improved early growth, net photosynthesis, and associated physiobiochemical events in maize. *Frot. Plant Sci.* 7: 919.
10. Beuve, N., Rispail, N., Laine, P., Clquent, J.B., Ourry, A. and Le Deunff, E. 2004. Putative role of  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA) as a long distance signal in upregulation of nitrate uptake in *Brassica napus* L. *Plant Cell Environ.* 27: 1035-1046.
11. Masclaux-Daubresse, C., Valadier, M.H., Carrayol, E., Reisdorf-Cren, M. and Hirel, B. 2002. Diurnal changes in the expression of glutamate dehydrogenase and nitrate reductase are involved in the C/N balance of tobacco source leaves. *Plant Cell Environment*, 25: 1451-1462.
12. Vijayakumari, K. and Puthur, J.T. 2016.  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA) priming enhances the osmotic stress tolerance in *piper nigrum* Linn. plants subjected to peg-induced stress. *Plant Growth Regul.* 78: 57-67.
13. Yonghong, G., Bin, D., Canying, L., Tang, Q., Xue, L., Meilin, W., Chen, Y. and Jianrong, L. 2018.  $\gamma$ -Aminobutyric acid delays senescence of blueberry fruit by regulation of reactive oxygen species metabolism and phenylpropanoid pathway. *Sci. Hort.* 240: 303-309.
14. Rastegar, S., Hassanzadeh, H. and Rahimzadeh, M. 2019. Effect of  $\gamma$ -aminobutyric acid on the antioxidant system and biochemical changes of mango fruit during storage. *J. Food Meas. Charact.* 14: 778-789. (In Persian)
15. Wang, Y., Luo, Z., Huang, X., Yang, K., Gao, S. and Du, R. 2014. Effect of exogenous  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA) treatment on chilling injury and antioxidant capacity in banana peel. *Sci. Hort.* 168: 132-137.
16. Yu, C., Zeng, L., Sheng, K., Chen, F., Zhou, T., Zheng, X. and Yu, T. 2014.  $\gamma$ -aminobutyric acid induces resistance against *penicillium expansum* by priming of defence responses in pear fruit. *Food Chem.* 159: 29-37.
17. Porat, R., Vinokur, V., Weiss, B., Cohen, L., Daus, A. and Goldschmidt, E.E. 2003. Induction of resistance to *Penicillium digitatum* in grapefruit by  $\beta$ -aminobutyric acid. *Eur. J. Plant Pathol.* 109: 901-907.
18. Zhang, C.F., Wang, J.M., Zhang, J.G., Hou, C.J. and Wang, G.L. 2011. Effects of  $\beta$ -aminobutyric acid on control of postharvest blue mould of apple fruit and its possible mechanisms of action. *Postharvest Biol. Technol.* 61: 145-151.
19. Thevenet, D., Pastor, V., Baccelli, I., Balmer, A., Vallat, A. and Neier, R. 2017. The priming molecule  $\beta$ -aminobutyric acid is naturally present in plants and is induced by stress. *New Phytologist*, 213: 552-559.
20. Ayala-Zavala, J.F., Wang, S.Y. and Gonzalez-Aguilar, G.A. 2007. High oxygen treatment increases antioxidant capacity and postharvest life of strawberry fruit. *Food Technol. Biotech.* 45: 166-173.
21. Chiou, A., Karathanos, V.T., Mylona, A., Salta, F.N., Preventi, F. and Andrikopoulos, N.K. 2007. Grape (*Vitis vinifera* L.) Content of simple phenolics and antioxidant activity. *Food Chem.* 102: 516-522.
22. Ebrahimzadeh, M.A., Hosseinimehr, S.J., Hamidinia, A. and Jafari, M. 2008. Antioxidant and free radical scavenging activity of Feijoa Sallowiana fruits peel

- and leaves. J. Pharmacol-online, 1: 7-14. (In Persian)
23. Chang, C., Yang, M., Wen, H. and Chern, J. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. J. Food Drug Anal. 10: 178-182.
24. Chung, Y.C., Chen, S.J., Hsu, C.K., Chang, C.T. and Chou, S.T. 2005. Studies on the antioxidative activity of graptopetalum paraguayense E. Walther. Food Chem. 91: 419-424.
25. Karthikeyan, M., Radhika, K., Mathiyazhagan, S., Bhaskaran, R., Samiyappan, R. and Velazhahan, R. 2006. Induction of phenolics and defense-related enzymes in coconut (*Cocos nucifera* L.) roots treated with biocontrol agents. Brazilian J. Plant Physiol. 18: 367-377.
26. Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. Meth. Enzymol. 105: 121-126.
27. Rabiei, V. and Jozqasemi, S. 2013. Applied laboratory practices in horticultural sciences. Urmia Univ. Press, 264p. (In Persian)
28. Shang, H., Shifeng, C., Zhenfeng, Y., Yuting, C. and Yonghua, Z. 2011. Effect of exogenous  $\gamma$ -aminobutyric acid treatment on proline accumulation and chilling injury in peach fruit after long-term cold storage. J. Agric. Food Chem. 59: 1264-1268.
29. Wang, L., Zhang, H., Jin, P., Guo, X., Li, Y., Fan, C., Wang, J. and Zheng, Y. 2016. Enhancement of storage quality and antioxidant capacity of harvested sweet cherry fruit by immersion with  $\beta$ -aminobutyric acid. Postharvest Biol. Technol. 118: 71-78.
30. Yang, A.S., Cao, Z., Yang, Y.C. and Zheng, Y. 2011.  $\gamma$ -Aminobutyric acid treatment reduces chilling injury and activates the defense response of peach fruit. Food Chem. 129: 1619-1622.
31. Ramesh, S.A., Tyerman, S.D., Xu, B., Bose, J., Kaur, S., Conn, V., Domingos, P., Ullah, Ramesh, S.A., Tyerman, S.D., Gilliam, M. and Bo, X. 2016.  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA) signalling in plants. Cell. Mol. Life Sci. 74: 1557-1603.
32. Wang, J., Cao, C.H., Wang, L., Wang, X., Jin, P. and Zheng, Y. 2018. Effect of  $\beta$ -Aminobutyric acid on disease resistance against rhizopus rot in harvested peaches. Front. Microbiol. 9: 1505.
33. Gonzalo-Diago, A., Dizy, M. and Fernández-Zurbano, P. 2014. Contribution of low molecular weight phenols to bitter taste and mouthfeel properties in red wines. Food Chem. 154: 187-198.
34. Wei, X., Ju, Y., Ma, T., Zhang, J., Fang, Y. and Sun, X. 2020. New perspectives on the biosynthesis, transportation, astringency perception and detection methods of grape proanthocyanidins. Food Sci. Nutr. 61: 14. 2372-2398.
35. Tsao, R. 2010. Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. Nutrients, 2: 1231-1246.
36. Devies, P.J. and Sun, T.P. 2004. Plant hormones: gibberellin signal transduction in stem elongation and leaf growth. Kluwer Academic. London.
37. Ma, Y., Wang, P., Wang, M., Sun, M., Gu, Z. and Yang, R. 2019. GABA mediates phenolic compounds accumulation and the antioxidant system enhancement in germinated hullless barley under NaCl stress. Food Chem. 270: 593-601.
38. Hattori, T., Chen, Y., Enoki, Sh., Igarashi, D. and Suzuki, Sh. 2019. Exogenous isoleucine and phenylalanine interact with abscisic acid-mediated anthocyanin accumulation in grape. Folia Hort. 31: 1. 147-157.
39. Soubeyrand, E., Basteau, C., Hilbert, G., Van Leeuwen, C., Delrot, S. and Gomès, E. 2014. Nitrogen supply affects anthocyanin biosynthetic and regulatory genes in grapevine cv. Cabernet Sauvignon berries. Phytochem. 103: 38-49.
40. Kong, J.Q. 2015. Phenylalanine ammonia-lyase a key component used for phenylpropanoids production by metabolic engineering. Royal Society of Chemistry, 5: 62587-62603.

41. Ge, Y.H., Deng, H.W., Bi, Y., Li, C.Y., Liu, Y.Y. and Dong, B.Y. 2015. Postharvest ASM dipping and DPI pre-treatment regulated reactive oxygen species metabolism in muskmelon (*Cucumis melo* L.) fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 99: 160-167.
42. Zimmerli, L., Metraux, J.P. and Mauch-Mani, B. 2001.  $\beta$ -Aminobutyric acid-induced protection of *Arabidopsis* against the necrotrophic fungus *Botrytis cinerea*. *Plant Physiol.* 126: 517-523.
43. Portu, J., González-Arenzana, L., Hermosín-Gutiérrez, I., Santamaría, P. and Garde-Cerdán, T. 2015. Phenylalanine and urea foliar applications to grapevine: Effect on wine phenolic content. *Food Chem.* 180: 55-63.
44. Cheng, X., Wang, X., Zhang, A., Wang, P., Chen, Q., Ma, T., Li, W., Liang, Y., Sun, X. and Fang, U. 2020. Foliar phenylalanine application promoted antioxidant activities in cabernet sauvignon by regulating phenolic biosynthesis. *J. Agric. Food Chem.* 10: 1021.
45. Li, L. and Sun, B. 2019. Grape and wine polymeric polyphenols: Their importance in enology. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 59: 563-579.
46. Shi, P., Song, C., Chen, H., Duan, B., Zhang, Zh. and Meng, J. 2018. Foliar applications of iron promote flavonoids accumulation in grape berry of *Vitis vinifera* cv. Merlot Grown in the iron deficiency soil. *Food Chem.* 253: 164-170.
47. Bimpilas, A., Panagopoulou, M., Tsimogiannis, D. and Oreopoulou, V. 2016. Anthocyanin copigmentation and color of wine: the effect of naturally obtained hydroxycinnamic acids as cofactors. *Food Chem.* 197: 39-46.
48. Hasan, M. and Bae, H. 2017. An overview of stress-induced resveratrol synthesis in grapes: Perspectives for resveratrol-enriched grape products. *Molecules*, 22: 294.
49. Villegas, D., Handford, M., Alcalde, J.A. and Perez-Donoso, A. 2016. Exogenous application of pectin-derived oligosaccharides to grape berries modifies anthocyanin accumulation, composition and gene expression. *Plant Physiol. Biochem.* 104: 125-133.
50. Xie, T., Ji, J., Chen, W., Yue, J., Du, C., Sun, J. and Shi, S. 2019.  $\gamma$ -Aminobutyric acid is closely associated with accumulation of flavonoids. *Plant Signal. Behav.* 14: 7. 1604015.
51. Lingua, M.S., Fabani, M.P., Wunderlin, D.A. and Baroni, M.V. 2016. From grape to wine: changes in phenolic composition and its influence on antioxidant activity. *Food Chem.* 208: 228-238.

## Effects of adding far-red light to the photosynthetic active spectrum on growth and morphological characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.) under controlled conditions

Hossein Mazari Manghabi<sup>1</sup>, Mojtaba Delshad<sup>\*2</sup>, Sasan Aliniaiefard<sup>3</sup>

1. Ph.D. Student, Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran.  
E-mail: [mazari678@ut.ac.ir](mailto:mazari678@ut.ac.ir)
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran.  
E-mail: [delshad@ut.ac.ir](mailto:delshad@ut.ac.ir)
3. Associate Prof., Dept. of Horticultural Sciences, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran.  
E-mail: [aliniaiefard@ut.ac.ir](mailto:aliniaiefard@ut.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Full Length Research Paper

#### Article history:

Received: 06.23.2022

Revised: 08.14.2022

Accepted: 09.26.2022

#### Keywords:

Daily light integral,  
Light intensity,  
Light spectrum,  
Yield

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Light is an essential factor for growth and development in agricultural production. Vertical agriculture has been increasingly developed to produce leafy vegetables and herbs. High light consumption is the most important obstacle in the development of vertical farming system. Basil (*Ocimum basilicum* L.) is one of the most popular leafy vegetables and is suitable for growing in plant factories. Therefore, the aim of the present study was to reveal the yield and dry matter production response of basil to add far-red light to the photosynthetic active spectrum, and finally to investigate the interaction of far-red light and daily light integral (DLI) on growth, morphology and light use efficiency in basil.

**Materials and Methods:** The research was performed in a split plot experiment based on a randomized complete block design. Treatments included daily light integral (DLI) at two levels of 6.4 and 10.8 ( $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ), and far-red light at three levels of 0, 5 and 20% based on the light recipe of the LEDs DLI. The measured traits included morphological traits (fresh and dry weight of leaves, stems and plants, plant height and leaf area), growth (specific leaf area (SLA), and partitioning to leaves), and determining the efficiency of light and radiation use efficiency.

**Results:** The results showed that the plant fresh and dry weight increased by far-red light at the level of 20% in high DLI conditions (10.8), which was due to the increase in stem fresh and dry weight. As a result, the partitioning to leaves decreased slightly, although it was not statistically significant. Similar to high DLI conditions, the plant fresh and dry weight increased with the addition of far-red light (5 and 20%) at low DLI conditions (6.4), but this increase was due to the increase in leaves fresh and dry weight, and eventually led to the more partitioning to leaves. SLA in plants grown in low DLI decreased significantly by decreasing the phytochrome stationary state (PSS) as a result of adding far-red light from 0.88 to 0.82, which was due to the increase in leaves dry matter. In this regard, in plants grown at high DLI, with decreasing the PSS as a result of adding far-red light from 0.88 to 0.85, the SLA did not change.

---

**Conclusion:** In general, the response of shade avoidance syndrome (SAS) seems to be more associated with increased stem height when plants grown under high DLI, and is more associated with increased leaf area and stem height when plants grown under low DLI and high levels of far-red light.

---

Cite this article: Mazari Manghabi, Hossein, Delshad, Mojtaba, Aliniaiefard, Sasan. 2023. Effects of adding far-red light to the photosynthetic active spectrum on growth and morphological characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.) under controlled conditions. *Journal of Plant Production*, 30 (1), 149-164.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2022.20312.2943

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## اثرات افزودن نور قرمز دور به طیف فعال فتوسنتزی، بر خصوصیات رشدی و ریخت‌شناسی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در محیط کنترل‌شده

حسین مزاری منقابی<sup>۱</sup>، مجتبی دلشاد<sup>۲\*</sup>، ساسان علی‌نیایی‌فرد<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری گروه علوم باغبانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: [mazari678@ut.ac.ir](mailto:mazari678@ut.ac.ir)
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم باغبانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: [delshad@ut.ac.ir](mailto:delshad@ut.ac.ir)
۳. دانشیار گروه علوم باغبانی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: [aliniiaiefard@ut.ac.ir](mailto:aliniiaiefard@ut.ac.ir)

| اطلاعات مقاله   | چکیده   |
|---|---|
| <b>نوع مقاله:</b><br>مقاله کامل علمی- پژوهشی  | <b>سابقه و هدف:</b> نور عامل اساسی برای رشد و نمو در تولید محصولات کشاورزی است. کشاورزی عمودی به‌طور فزاینده‌ای برای تولید سبزی‌ها برگ‌ی و گیاهان دارویی توسعه‌یافته است. مصرف نوربالا مهم‌ترین مانع در توسعه سیستم کشاورزی عمودی است. ریحان ( <i>Ocimum basilicum</i> L.) یکی از محبوب‌ترین سبزی‌ها برگ‌ی و دارویی مناسب جهت پرورش در کارخانه‌های گیاهی است. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر، آشکار ساختن پاسخ عملکرد و تولید ماده خشک گیاه ریحان به افزودن نور قرمز دور به طیف فعال فتوسنتزی و در نهایت بررسی اثرات متقابل نور قرمز دور و مجموع تابش روزانه (DLI) بر رشد، ریخت‌شناسی و کارایی مصرف نور در گیاه ریحان است. |
| <b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۱/۰۴/۰۲   |   |
| <b>تاریخ ویرایش:</b> ۱۴۰۱/۰۵/۲۳   |   |
| <b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۱/۰۷/۰۴  |   |
| <b>واژه‌های کلیدی:</b><br>شدت نور،<br>طیف نور،<br>عملکرد،<br>مجموع تابش فعال فتوسنتزی | <b>مواد و روش‌ها:</b> این پژوهش در قالب آزمایش اسپلینت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار به مرحله اجرا درآمد. عامل اصلی مجموع تابش فعال فتوسنتزی روزانه (DLI) در دو سطح ۶/۴ و ۱۰/۸ (مول بر مترمربع بر روز) و عامل فرعی نور قرمز دور در سه سطح صفر، ۵ و ۲۰ درصد بر اساس DLI (به عبارتی درصد نور دریافت شده از LEDها) بود. صفات اندازه‌گیری شده شامل صفات ریخت‌شناسی (وزن تر و خشک برگ، ساقه و گیاه، ارتفاع گیاه و سطح برگ)، رشدی (سطح ویژه برگ و تخصیص ماده خشک به برگ) و تعیین کارایی مصرف نور و تشعشع بود.   |
|   | <b>یافته‌ها:</b> نتایج نشان داد وزن تر و خشک گیاه، با افزودن نور مادون‌قرمز در سطح ۲۰ درصد در شرایط DLI بالا (۱۰/۸) افزایش یافت که این تغییر به علت افزایش وزن تر و خشک ساقه بود. در نتیجه تخصیص ماده خشک به برگ‌ها اندکی کاهش یافت، اگرچه به لحاظ آماری معنی‌دار نبود. مشابه با شرایط DLI بالا، وزن تر و خشک کل، با افزودن نور مادون‌قرمز (۵ و ۲۰ درصد)  |

---

در شرایط DLI پایین (۶/۴)، نیز افزایش یافت، اما این افزایش در نتیجه افزایش وزن تر و خشک برگ‌ها بود و نهایتاً منجر به تخصیص ماده خشک بیش‌تر به برگ‌ها گردید. سطح ویژه برگ به‌طرز قابل‌توجهی در گیاهان رشدیافته در DLI پایین (با کاهش سطح ایستایی فیتوکروم (PSS) در نتیجه افزودن نور مادون‌قرمز از ۰/۸۸ به ۰/۸۲) کاهش یافت که این نتیجه به علت افزایش ماده خشک برگ بود. در همین راستا در گیاهان رشد یافته در DLI بالا با کاهش سطح ایستایی فیتوکروم در نتیجه افزودن نور مادون‌قرمز از ۰/۸۸ به ۰/۸۵ سطح ویژه برگ تغییری نکرد.

**نتیجه‌گیری:** به‌طورکلی به نظر می‌رسد پاسخ سندروم اجتناب از سایه در ریحان، هنگامی‌که در شرایط DLI بالا قرار دارد بیش‌تر مرتبط با افزایش ارتفاع ساقه باشد و احتمالاً تحت شرایط DLI پایین و سطح بالای نور مادون‌قرمز، بیش‌تر مرتبط با افزایش سطح برگ و افزایش ارتفاع ساقه باشد.

---

**استناد:** مزاری منقابی، حسین، دلشاد، مجتبی، علی‌نیایی‌فرد، ساسان (۱۴۰۲). اثرات افزودن نور قرمز دور به طیف فعال فتوسنتزی، بر خصوصیات رشدی و ریخت‌شناسی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در محیط کنترل‌شده. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۰ (۱)، ۱۶۴-۱۴۹.

DOI: 10.22069/JOPP.2022.20312.2943



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان



### مقدمه

نور عامل اساسی برای رشد و نمو گیاهان و تولید محصولات کشاورزی است. کشاورزی در محیط‌های کنترل‌شده عمودی یک سیستم نسبتاً جدید تولید گیاهان هست که گیاهان در طبقه‌های روی هم رشد می‌کنند. در این سیستم تمام شرایط رشد به‌طور کامل قابل‌کنترل هستند و کنترل فاکتورهای دوران پرورش می‌تواند تأثیر زیادی بر رشد و ریخت‌شناسی و هم‌چنین کیفیت پس از برداشت محصول داشته باشد (۱). علاوه بر این، این سیستم تولید در واقع یک کشاورزی پایدار بدون استفاده از آفت‌کش‌ها و هدررفت مواد غذایی و افزایش راندمان آب و زمین هست (۲). مهم‌ترین چالش کشاورزی در محیط‌های کنترل‌شده نور هست. نور منبع اصلی انرژی برای گیاهان است. در کشت‌های کنترل‌شده و عمودی، لامپ‌های LED منبع نوری مناسبی هستند که موجب ایجاد یک مزرعه عمودی کارآمد می‌شوند. در حال حاضر بزرگ‌ترین مانع بر سر راه توسعه مزرعه‌های عمودی و یا کارخانه‌های گیاهی، محدودیت انرژی نورانی هست (۳). سبزی‌های برگ‌ی به دلیل رشد سریع، ارتفاع کم گیاه و ارزش فروش بالا اغلب محصول مناسبی برای مزارع عمودی هستند (۴). یکی از این سبزی‌های برگ‌ی محبوب، ریحان است. ریحان بانام علمی *Ocimum basilicum* L. در بسیاری از کشورهای دنیا به‌عنوان یک سبزی یا گیاه دارویی کشت می‌شود. ریحان گیاهی یک‌ساله، علفی، ایستاده، تقریباً بدون کرک، معطر و به ارتفاع ۶۰-۳۰ سانتی‌متر است که متعلق به تیره نعناعیان (Lamiaceae) هست (۵).

با توجه به این‌که در سیستم کشاورزی عمودی در محیط‌های کنترل‌شده میزان مصرف انرژی برای نوردهی، بالا هست، ضروری است کارایی مصرف نور تا حد ممکن افزایش یابد. کارایی مصرف نور (LUE<sup>۱</sup>) را می‌توان به روش‌های مختلفی تعریف

کرد. میزان محصول تازه برداشت‌شده به‌ازای هر واحد نور ساطع‌شده توسط منبع نور، رایج‌ترین تعریف کلی مرتبط با عملکرد در کشاورزی عمودی است. بازده روشنایی هم‌چنین می‌تواند به نسبت بین وزن خشک کل (زیست‌توده) گیاه و کل فوتون‌های رسیده به کانوپی گیاه اشاره داشته باشد که به آن کارایی استفاده از تابش (RUE<sup>۲</sup>) گفته می‌شود، یا نسبت بین وزن خشک گیاه و کل فوتون‌های فتوسنتزی دریافت‌شده توسط کانوپی که به آن راندمان استفاده از نور دریافت‌شده (LUE<sub>int</sub><sup>۳</sup>) گفته می‌شود. RUE به‌طور مستقیم به کارایی استفاده از انرژی مربوط می‌شود (۶) و LUE<sub>int</sub> نشان‌دهنده میزان کارایی گیاهان در تبدیل فوتون‌های رهگیری شده به زیست‌توده هست (۷).

گیاهان به‌طور انتخابی طول‌موج‌های محدوده طیفی قرمز (R) را از طریق رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی جذب می‌کنند. ترکیب طیف نور اطراف گیاهان در شرایطی تغییر می‌کند. مثلاً، نور قرمز دور در نتیجه انعکاس و یا انتقال از طریق برگ‌های سبز گیاهان مجاور افزایش می‌یابد (۸ و ۹) و در نتیجه کاهش نسبت نور قرمز به قرمز دور در یک محیط بسته مشاهده می‌گردد (۱۰ و ۱۱). شرایط کم‌نور ناشی از استفاده از نایلون سیاه یا پارچه، ممکن است ترکیب طیفی نور به‌ویژه نسبت قرمز به قرمز دور را تغییر ندهد (۱۲)؛ بنابراین باید برای تغییرات در شدت و ترکیب طیف نور تحت شرایط سایه‌اندازی سایر گیاهان با شرایط نور کم طبیعی، تمیز قائل شد.

فیتوکروم‌ها نقش مهمی در دریافت سیگنال حاصل از نسبت نور قرمز به قرمز دور (R/Fr) و تنظیم فوتومورفوژنز گیاه از طریق بیان ژن و فرایندهای فیزیولوژیکی دارند (۱۳). نسبت بین نور قرمز به قرمز دور تعیین‌کننده تعادل بین فیتوکروم قرمز (Pr) به فیتوکروم قرمز دور (Pfr) در گیاهان است (۱۴). فیتوکروم قرمز به فیتوکروم قرمز دور دو ایزومر

2- Radiation use efficiency

3- Intercepted light use efficiency

1- Light use efficiency

با گسترش استفاده از LED<sup>۳</sup>ها در دهه گذشته، چندین مطالعه بر روی نور قرمز دور برای درک بیش‌تر تأثیر آن بر رشد گیاهان انجام شده است. پارک و رونکل (۲۰۱۷) گزارش کردند در نتیجه افزودن ۱۶ تا ۶۴ میکرومول بر مترمربع در ثانیه نور قرمز دور به طیف نور آبی ( $128 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) و قرمز ( $32 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) وزن خشک اندام هوایی شمعدانی و گل میمون به ترتیب ۲۸ و ۵۰ درصد افزایش یافت (۲۳). زو و همکاران (۲۰۱۹) مشاهده کردند در طول دوره رشد کاهو، افزودن ۵۰ میکرومول متر بر مربع بر ثانیه نور قرمز دور به طیف نوری آبی-قرمز (۳:۷،  $200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )، منجر به ۴۹ درصد افزایش سطح برگ و ۳۹ درصد افزایش زیست‌توده گردید (۲۴)؛ بنابراین افزودن نور قرمز دور یک روش ممکن جهت افزایش دریافت نور و زیست‌توده گیاه است. افزودن نور قرمز دور به طیف فعال فتوسنتزی (۴۰۰-۷۰۰ نانومتر) ممکن است باعث افزایش کارایی انتقال الکترون در سیستم فتوسیستم II شود و بنابراین نرخ فتوسنتز خالص لحظه‌ای را افزایش دهد (۱۷). برخی از پژوهش‌گران پیشنهاد کرده‌اند که بخشی از نور قرمز دور را به‌عنوان PAR<sup>۴</sup> (۷۰۰-۷۵۰ نانومتر) در نظر بگیرند و در ترکیب با طیف فعال فتوسنتزی (۴۰۰-۷۰۰ نانومتر) مانند نور آبی و قرمز به‌کار برده شود (۲۵)؛ بنابراین هدف از پژوهش حاضر، آشکار ساختن پاسخ عملکرد و تولید ماده خشک گیاه ریحان به افزودن نور قرمز دور به طیف فعال فتوسنتزی و در نهایت بررسی اثرات متقابل نور قرمز دور و مجموع تابش روزانه (DLI<sup>۵</sup>) بر رشد، ریخت‌شناسی و کارایی مصرف نور در گیاه ریحان است.

قابل تبدیل فیتوکروم هستند که می‌توانند با جذب نور قرمز و قرمز دور به یکدیگر تبدیل شوند (۱، ۱۳ و ۱۵). موازنه مجدد تعادل بین فیتوکروم‌ها با کاهش نسبت نور قرمز به قرمز دور محرک سندروم اجتناب از سایه (SAS<sup>۱</sup>) در گیاهان هست که پاسخ‌هایی شامل افزایش طول ساقه، افزایش طول برگ، حرکت برگ‌ها به سمت بالا، انتقال کسر بیشتری از آسیمیلات‌ها به سمت ساقه و یا افزایش سطح ویژه برگ در نتیجه آن هست (۱۶، ۱۷ و ۱۸). نسبت کم‌نور قرمز به قرمز دور در شرایط نرمال یا نور کم، به‌طور قابل‌توجهی زیست‌توده سویا (وزن خشک) را در مقایسه با نسبت طبیعی نور قرمز به قرمز دور (تقریباً ۱:۲) افزایش می‌دهد (۱۹ و ۲۰).

کاهش نسبت نور قرمز به قرمز دور در واقع نشان‌دهنده افزایش نور قرمز دور در کانوپی گیاه است. برگ‌های گیاه مقدار کم‌تری از نور Fr را جذب می‌کنند ( $\lambda > 700$  نانومتر) چون در عملکرد کوانتومی فتوسنتز مشارکت کم‌تری دارند (۲۱). با این حال، ژن و وانایرسل (۲۰۱۷) گزارش دادند که نور قرمز دور برای کارایی فتوشیمیایی و فتوسنتزی لازم است (۲۲). به‌طور معمول برای افزایش کارایی فتوسنتزی طول‌موج‌های بلند، یک طول‌موج کوتاه‌تر با آن‌ها استفاده می‌شود و این پدیده کلی را اثر تقویت آرسون<sup>۲</sup> می‌نامند (۲۲). در خصوص حالت معکوس این پدیده یعنی افزایش عملکرد کوانتومی طول‌موج‌های کوتاه به‌وسیله نور قرمز دور (شدت‌های پایین نسبت نور قرمز به قرمز دور) در شدت‌های مختلف نور، مطالعات اندکی وجود دارد. برخی مطالعات فقط نشان می‌دهد که نور قرمز دور می‌تواند فتوسنتز و زیست‌توده گیاه را افزایش دهد (۲۲ و ۲۳). این‌که آیا نسبت کم‌نور قرمز به قرمز دور (غنی‌سازی نور قرمز دور) در شدت‌ها و شرایط مختلف نور، فرآیند فوتومورفوزنیک را تنظیم می‌کند یا نه نیاز به تجزیه و تحلیل بیش‌تر دارد.

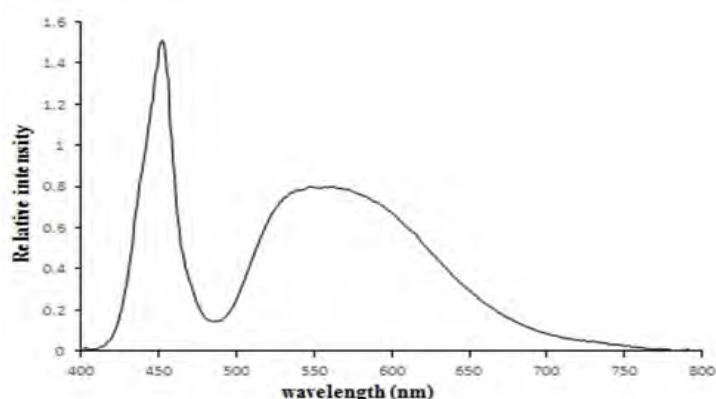
3- Light-emitting diode  
4- Photosynthetic active radiation  
5- Daily light integral

1- Syndrome shade avoidance  
2- Emerson enhancement effect

### مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و شرایط جوانه‌زنی: در این آزمایش از ریحان (*Ocimum basilicum* L.) رقم Emilly شرکت Enza Zaden استفاده گردید. رشد گیاهان ریحان در یک اتاقک رشد در یک مجموعه کشاورزی عمودی در دانشگاه تهران صورت گرفت (دمای شب و روز ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۷۵ درصد و CO<sub>2</sub> در غلظت محیط). بذور ریحان در یک سینی کشت

۱۰۸ تایی پرشده از مخلوط کوکوپیت و پرلیت کاشته شدند. در مرحله اولیه از طیف نور سفید LED با طول‌موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر و با شدت ۱۵۰ (میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) و ۱۲ ساعت در شبانه‌روز استفاده گردید (شکل ۱). پس از پایان جوانه‌زنی بذور (۷ روز)، گیاهان همسان از نظر اندازه انتخاب شدند و تیمارها اعمال گردید.



شکل ۱- طیف نوری استفاده‌شده در مرحله جوانه‌زنی.

Fig. 1. Light spectrum distribution used in the germination stage.

(۲). در هر بلوک مجموعاً ۷۳۸ گیاه (۶ بخش هرکدام ۱۲۳ گیاه) تحت تیمار قرار گرفت. میانگین ۸-۱۰ نمونه از هر یک از تیمارها در یک بلوک به‌عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد. آبیاری گیاهان بر اساس نیاز و مرحله رشدی گیاه صورت می‌گرفت. تغذیه گیاهان نیز با محلول غذایی عمومی (۲۶) و در بستر پرلیت-کوکوپیت (۷۰:۳۰) صورت می‌گرفت. برداشت گیاهان سه هفته پس از اعمال تیمارها انجام شد. طیف نوری با دستگاه اسپکترومتر (UT, United States, SS-110; Apogee Instruments, Logan اندازه‌گیری گردید. وضعیت ایستایی فیتوکروم (PSS<sup>1</sup>) با روش ساگر و همکاران (۱۹۸۸) محاسبه گردید (۲۷). شدت جریان فوتون‌های فتوسنتزی (PPFD<sup>2</sup>) یا به عبارتی

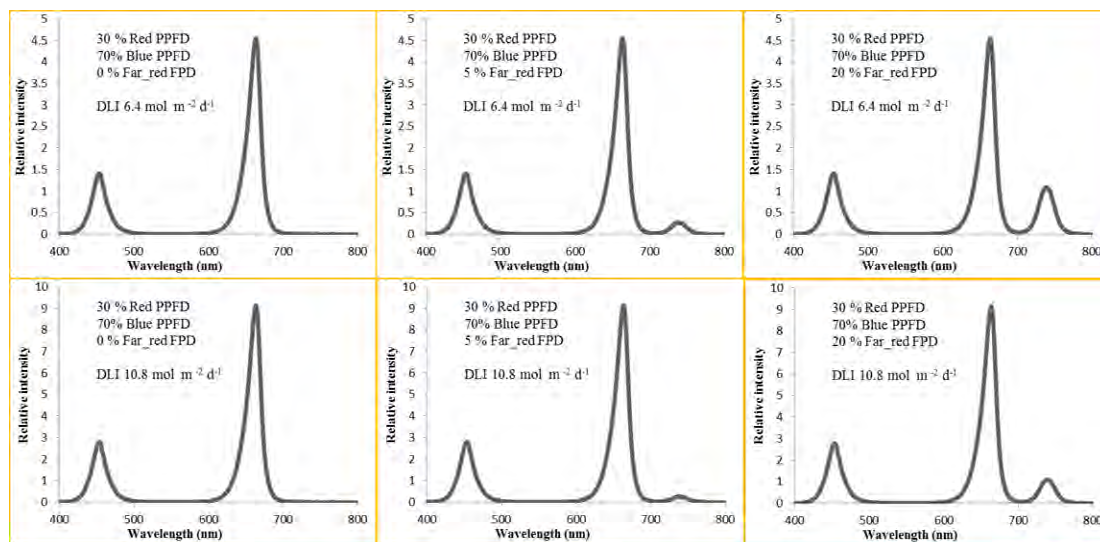
اعمال تیمارها: به‌منظور بررسی اثر افزودن نور قرمز دور (۷۰۰-۸۰۰ نانومتر) و تابش فعال فتوسنتزی روزانه (۴۰۰-۷۰۰ نانومتر) (DLI) از آزمایش اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار استفاده گردید. این آزمایش در دو زمان مختلف تکرار گردید و هر زمان نماینده یک بلوک هست. هر بلوک به ۶ بخش ایزوله شده از هم تقسیم‌شده بود و تیمارها به‌صورت تصادفی در هر بلوک اعمال گردید. فاکتور اصلی DLI و شامل دو سطح ۶/۴ (۱۵۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه به‌مدت ۱۲ ساعت در شبانه‌روز) و ۱۰/۸ (۳۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه به‌مدت ۱۰ ساعت در شبانه‌روز) مول بر مترمربع بر روز بود و فاکتور فرعی شامل نور قرمز دور بود که در سه سطح صفر، ۵ و ۲۰ درصد نور قرمز دور از مجموع DLI به طیف فعال نوری اضافه گردید (شکل

1- Phytochrome photostationary state

2- Photosynthetic photon flux density

شدت نور به‌طور منظم به‌وسیله کوانتومتر (Lincoln, NE United States, LI-190SB quantumsensor, ) در یک شدت ثابت نگه‌داشته شد.

LI-1400 Datalogger, LI-COR Bioscience,



شکل ۲- توزیع طیف نوری (تیمارهای) استفاده‌شده.

Fig. 2. Light spectrum distribution (treatments) used.

جداگانه اندازه‌گیری گردید. برای به‌دست آوردن وزن خشک برگ و ساقه و کل گیاه، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند، سپس اندازه‌گیری وزن خشک صورت گرفت.

صفات رشدی: سطح ویژه برگ (SLA) و تخصیص ماده خشک به برگ به ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ تعیین شد (۱۲).

صفات ریخت‌شناسی: ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. برگ‌های با حداقل اندازه سطح ۲ سانتی‌متر مربع به‌عنوان برگ واقعی شمارش شدند و اندازه‌گیری سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج (Leaf area meter-LI COR, ) صورت گرفت. با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم ابتدا وزن‌تر کل بوته اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها و ساقه‌ها جدا شدند و وزن‌تر هر کدام

$$\text{Specific leaf area (cm}^2 \text{ g}^{-1}) = \text{Leaf area (cm}^2) / \text{Leaf dry mass (g)} \quad (1)$$

$$\text{Leaf mass fraction or Partitioning to leaves} = \text{Leaf dry matter} / \text{Total dry matter} \times 100 \quad (2)$$

مصرف نور (LUE) و کارایی مصرف تابش (RUE) به ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۵ و ۶ تعیین گردید (۲۳).

تعیین کارایی مصرف نور (LUE) و تشعشع (RUE): ابتدا مجموع تابش فعال فتوسنتزی روزانه (DLI) و مجموع تابش روزانه (DRI<sup>1</sup>) به ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۳ و ۴ محاسبه شد، سپس کارایی

$$\text{Daily light integral (mol}_{400-700\text{nm}} \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}) = \text{PPFD } (\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) \times \text{day length (h)} \times 0.0036 \quad (3)$$

(۴)

$$\text{Daily radiation integral (mol}_{400-800 \text{ nm}} \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}) = \text{PFD } (\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) \times \text{day length (h)} \times 0.0036$$

(۵)

$$\text{Light use efficiency (g mol}_{400-700 \text{ nm}}^{-1}) = \text{plant mass (g)} \times \text{plant density (plants m}^{-2}) / \text{Daily light integral (}_{400-700\text{nm})} (\text{mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}) \times \text{days of cultivation (d)}$$

(۶)

$$\text{Radiation use efficiency (g mol}_{400-700 \text{ nm}}^{-1}) = \text{plant mass (g)} \times \text{plant density (plants m}^{-2}) / \text{Daily radiation integral (}_{400-700\text{nm})} (\text{mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}) \times \text{days of cultivation (d)}$$

این نتایج، اثر متقابل میزان نور قرمز دور و مقدار DLI بر وزن تر و خشک برگ، کارایی مصرف نور (LUE) وزن تر گیاه و تسهیم ماده خشک به برگ در سطح احتمال ۱ درصد ( $P \leq 0/01$ ) و سطح برگ، وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک کل گیاه، ارتفاع گیاه، کارایی مصرف نور (LUE) وزن خشک گیاه، کارایی مصرف تابش (RUE) وزن تر و خشک گیاه و سطح ویژه برگ در سطح احتمال ۵ درصد ( $P \leq 0/05$ ) معنی‌دار بود.

تجزیه آماری: تجزیه داده‌های حاصل از اندازه‌گیری همه صفات با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

### نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از تیمار افزودن نور قرمز دور به مجموع تابش فعال فتوسنتزی گیاه ریحان در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس

جدول ۱ - تجزیه واریانس اثر افزودن نور قرمز به تابش فعال فوستزی بر صفات موردهبرسی در گیاه ریحان.

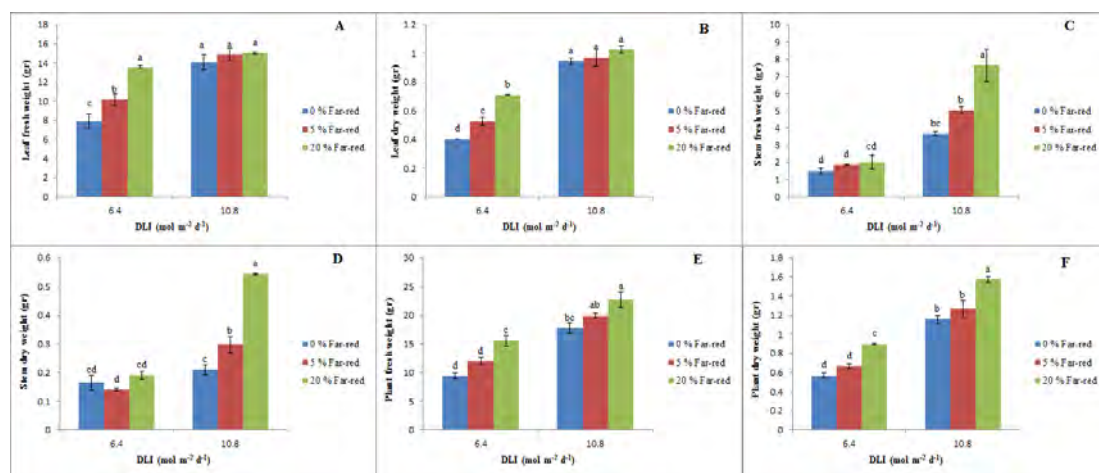
Table 1. Analysis of variance the effect of adding far-red light to daily light integral (DLI) on the studied traits in basil.

|   |   | میانگین مربعات<br>Means of Square  |                                      |                                    |                                      |                                |  |  |                                       |   |                      | درجه آزادی<br>df                     | منابع تغییرات<br>Sources of variation    |   |   |
|---|---|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--|--|---------------------------------------|---|----------------------|--------------------------------------|--|---|---|
| تخصیص ماده<br>به برگ<br>Partitioning<br>to leaves | سطح خاص<br>برگ<br>Specific<br>leaf area | RUE<br>(Based<br>on dry<br>weight) | RUE<br>(Based<br>on fresh<br>weight) | LUE<br>(Based on<br>dry<br>weight) | LUE<br>(Based<br>on fresh<br>weight) | ارتفاع گیاه<br>Plant<br>height | وزن خشک<br>گیاه<br>Plant dry<br>weight | وزن تر<br>گیاه<br>Plant<br>fresh<br>weight | وزن خشک<br>ساقه<br>Stem dry<br>weight | وزن تر<br>ساقه<br>Stem<br>fresh<br>weight | سطح برگ<br>Leaf area | وزن خشک<br>برگ<br>Leaf dry<br>weight | وزن تر<br>برگ<br>Leaf<br>fresh<br>weight |   |   |
| 5.39  | 3802.8                                  | 0.002                              | 0.54                                 | 0.002                              | 1.2                                  | 2.3                            | 0.007                                  | 3.8  | 0.005                                 | 0.04                                      | 492.5                | 0.07                                 | 3.11                                     | 1 | تکرار<br>Replication                              |
| 0.001 <sup>ns</sup>                               | 4896.4 <sup>ns</sup>                    | 0.07 <sup>ns</sup>                 | 1.05 <sup>ns</sup>                   | 0.0009 <sup>ns</sup>               | 1.4*                                 | 125.2**                        | 0.66**                                 | 137.7**                                    | 0.04**                                | 20.7**                                    | 9917.4**             | 0.37**                               | 51.5**                                   | 1 | تابش فعال فوستزی<br>DLI                           |
| 5.32  | 3591.4                                  | 0.001                              | 0.57                                 | 0.0002                             | 0.2                                  | 0.9                            | 0.0005                                 | 0.1  | 0.003                                 | 0.009                                     | 2057.1               | 0.01                                 | 0.11                                     | 1 | تکرار × تابش فعال<br>فوستزی<br>Repeat × DLI       |
| 22.35*  | 42348.4**                               | 0.02**                             | 2.27*                                | 0.03**                             | 7.1**                                | 35.4**                         | 0.09**                                 | 20.4**                                     | 0.01*                                 | 1.49*                                     | 1730.8 <sup>ns</sup> | 0.03**                               | 10.9**                                   | 2 | مادون قرمز<br>Far-red                             |
| 108.3**   | 4085.3*                                 | 0.006*                             | 2.07*                                | 0.01*                              | 2.3**                                | 0.9*                           | 0.02*                                  | 2.4*                                       | 0.07*                                 | 0.64*                                     | 8942.7*              | 0.04**                               | 5.6**                                    | 2 | مادون قرمز × تابش<br>فعال فوستزی<br>Far-red × DLI |
| 5.01  | 1758.2                                  | 0.008                              | 0.31                                 | 0.0009                             | 0.7                                  | 0.3                            | 0.002                                  | 0.3  | 0.009                                 | 0.09                                      | 1019.9               | 0.05                                 | 0.25                                     | 4 | اشتباه<br>Error                                   |
| 2.9   | 7.4                                     | 6.03                               | 7.3                                  | 6.09                               | 3.4                                  | 2.9                            | 5.21                                   | 3.6  | 13.7                                  | 9.7                                       | 7.8                  | 3.07                                 | 4.04                                     | - | ضریب تغییرات<br>(درصد)<br>CV (%)                  |

\*\*، \* Significantly differences at the 1 and 5% of probability levels, respectively, and <sup>ns</sup> represent non-significant

۳ E و F) که این تغییر به علت افزایش وزن تر و خشک ساقه بود (شکل ۳ C و D) و در نتیجه تخصیص ماده خشک به برگ‌ها اندکی کاهش یافت اگرچه به لحاظ آماری معنی‌دار نبود (شکل ۴ C). مشابه با شرایط DLI بالا، وزن تر و خشک کل، با افزودن نور قرمز دور (۵ و ۲۰ درصد) در شرایط DLI پایین، نیز افزایش یافت (شکل ۳ E و F)، اما این افزایش در نتیجه افزایش وزن تر و خشک برگ‌ها بود (شکل ۳ A و B) و نهایتاً منجر به تخصیص ماده خشک بیشتر به برگ‌ها گردید (شکل ۴ D). این افزایش می‌تواند ناشی از افزایش در سطح برگ گیاه و میزان فتوسنتز خالص در اثر نور قرمز دور باشد. گزارش شده است که وزن تر (۱۰) و وزن خشک (۲۸) گیاه کاهو و گوجه‌فرنگی با افزودن نور قرمز دور افزایش می‌یابد. چنین نتایجی در مطالعات قبلی انجام‌شده توسط منگ و همکاران (۲۹) و زو و همکاران (۲۴) در کاهو نیز گزارش شده است. اخیراً، ژن و بوگی (۲۰۲۰) پیشنهاد کرده‌اند فوتون‌های قرمز دور از لحاظ فتوسنتزی فعال هستند (۲۵). آن‌ها دریافتند که مقدار افزایش در فتوسنتز خالص به‌طور خاص وابسته به گونه است و ریحان یکی از گونه‌های با واکنش پایین هست. افزایش در فتوسنتز خالص انتظار می‌رود که افزایش در زیست‌توده را منعکس کند.

مطابق نتایج مقایسه میانگین، افزودن نور قرمز دور به تابش فعال فتوسنتزی (DLI) در سطح ۶/۴ (مول بر متر بر روز)، سبب افزایش وزن تر و خشک برگ گردید و با افزایش نور قرمز دور از سطح صفر درصد به بیست درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت (شکل ۳ A و B). باین‌حال افزودن سطوح نور قرمز دور به تیمار ۱۰/۸ مول بر مترمربع بر روز DLI تأثیری در وزن تر و خشک برگ گیاهان نداشت (شکل ۳ A و B). افزودن نور قرمز دور در سطوح مختلف تأثیری بر وزن خشک و تر ساقه تحت تیمار ۶/۴ (مول بر مترمربع بر روز) DLI نداشت (شکل ۳ C و D)، درحالی‌که با افزودن نور قرمز دور به گیاهان تحت تیمار ۱۰/۸ (مول بر مترمربع بر روز) DLI، وزن تر و خشک ساقه افزایش یافت (شکل ۳ C و D). نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌های حاصل از وزن تر و خشک کل نشان می‌دهد که افزودن نور قرمز دور در سطح ۲۰ درصد به هر دو تیمار ۶/۴ و ۱۰/۸ (مول بر مترمربع بر روز) DLI سبب افزایش وزن تر و خشک گیاه گردید، اگرچه افزودن ۵ درصد نور قرمز دور به DLI تأثیری بر وزن تر و خشک کل نداشت (شکل ۳ E و F). وزن تر و خشک کل، با افزودن نور قرمز دور (۲۰ درصد) در شرایط DLI بالا، افزایش یافت (شکل



شکل ۳- اثر متقابل افزودن نور قرمز دور (Far-red) به تابش فعال فتوسنتزی (DLI) بر وزن تر (A) و خشک (B) برگ، وزن تر (C) و خشک (D) ساقه و وزن تر (E) و خشک (F) کل گیاه ریحان. حروف مختلف، تفاوت معنی‌داری بین تیمارها با توجه به آزمون چنددامنه‌ای دانکن را نشان می‌دهد ( $P > 0.05$ ).

Fig. 3. Interaction effects of far-red light proportion and daily light integral (DLI) level on fresh (A) and dry (B) leaf weight, fresh (C) and dry (D) stem weight, and fresh (E) and dry (F) weight of whole basil plant. Different letters show a significant difference among the treatments according to Duncan's multiple range test ( $P < 0.05$ ).

است (۳۰). گزارش‌ها مشابهی توسط جی و همکاران (۳۱) در گوجه‌فرنگی و زو و همکاران (۲۴) در کاهو در مورد تأثیر نور قرمز دور بر افزایش سطح برگ گزارش شده است. به نظر می‌رسد نور قرمز دور در شرایط DLI بالا منابع فتوسنتزی را برای گسترش سطح برگ محدود کرده است که این علامتی برای رخداد مکانیسم اجتناب از سایه در گیاه است. در همین راستا افزایش سطح برگ در شرایط تابش نور تجمعی پایین‌تر، نمایانگر اختصاص زیست‌توده گیاه بیش‌تر به اندام تولیدکننده و کم‌تر به اندام مصرف‌کننده مانند ساقه‌ها هست. این امر نمایانگر این است که شدت نور پایین باعث محدودیت جذب انرژی نوری شده است که در این مورد گیاه تصمیم گرفته است منابع فتوسنتزی را بیش‌تر به سمت افزایش سطح برگ برای جذب نور بیش‌تر ببرد.

افزودن نور قرمز دور در هر دو سطح ۵ و ۲۰ درصد به تیمار ۴/۶ (مول بر مترمربع بر روز) DLI، سبب کاهش سطح ویژه برگ گردید، درحالی‌که افزودن نور قرمز دور به سطح ۱۰/۸ (مول بر مترمربع بر روز) DLI اثری بر سطح ویژه برگ نداشت (شکل ۴ C). سطح ویژه برگ به‌عنوان شاخصی از ضخامت برگ است و انتظار می‌رود با افزایش نور قرمز دور و کاهش سطح ایستایی فیتوکروم (PSS) مانند سایر گونه‌ها افزایش یابد (۳۱ و ۲۴)، اما به‌طرز قابل‌توجهی در گیاهان رشد یافته در DLI (۶/۴) پایین با کاهش سطح PSS در نتیجه افزودن نور قرمز دور از ۰/۸۸ به ۰/۸۲ سطح ویژه برگ کاهش یافت (شکل ۴ D) که این نتیجه به علت افزایش ماده خشک برگ (شکل ۳ B) و نه کاهش سطح برگ بود (شکل ۴ B). در همین راستا، در گیاهان رشد یافته در DLI بالا با کاهش سطح PSS در نتیجه افزودن نور قرمز دور از ۰/۸۸ به ۰/۸۵ سطح ویژه برگ تغییری نکرد (شکل ۴ E)، بنابراین افزایش نور قرمز دور در DLI بالا تأثیری بر

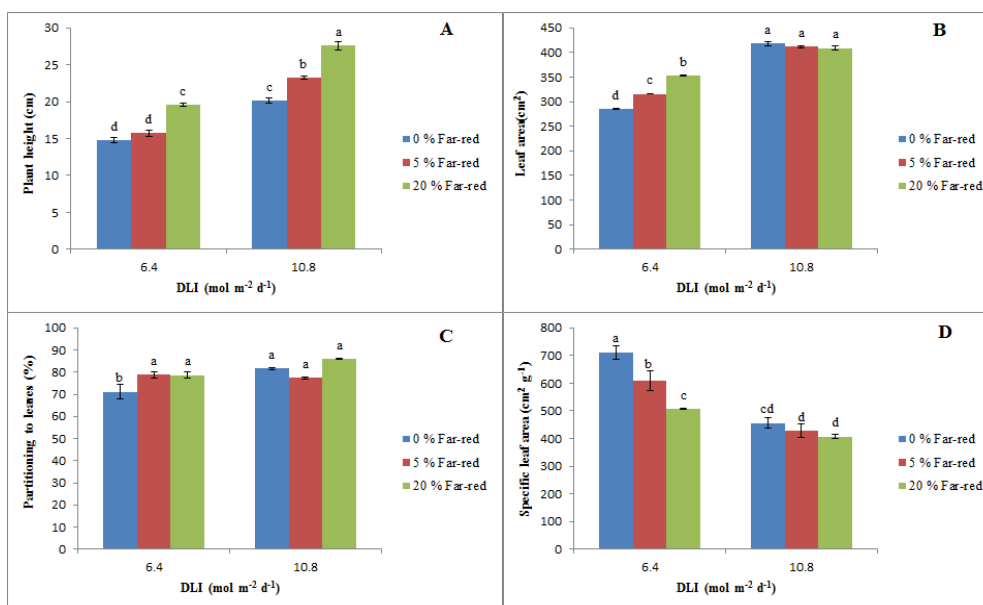
نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل DLI و نور قرمز دور بر ارتفاع گیاه ریحان نشان داد که افزودن نور قرمز دور در سطح ۲۰ درصد به هر دو سطح DLI، سبب افزایش ارتفاع می‌گردد، اگرچه سطح ۵ درصد نور قرمز دور فقط سبب افزایش ارتفاع در شرایط ۱۰/۸ (مول بر مترمربع بر روز) DLI گردید (شکل ۴ A). پاسخ گیاه ریحان به افزودن نور قرمز دور بر ارتفاع گیاه در هر دو سطح DLI شبیه پاسخ سندروم اجتناب از سایه بود. اگرچه ارتفاع گیاهان رشد یافته در DLI ۶/۴ در مواجهه با سطح ۵ درصد نور قرمز دور با سطح صفر درصد تفاوتی نداشت (شکل ۴ A)؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد گیاهان رشد یافته در DLI پایین فقط به سطوح بالای نور قرمز دور در ارتباط با ارتفاع واکنش می‌دهند. اگرچه پاسخ افزایش ارتفاع گیاهان رشد یافته در DLI بالا به هر دو سطح نور قرمز دور مثبت بود (شکل ۴ A). افزایش ارتفاع گیاه ریحان در اثر نور قرمز دور توسط کالایزوقلو و همکاران (۲۸)، کاروالهو و همکاران (۳۰) و لارسن و همکاران (۲۳) گزارش شده است.

افزودن نور قرمز دور در سطوح کم‌وزیاد به تیمار ۱۰/۸ (مول بر مترمربع بر روز) DLI تأثیری بر سطح برگ نداشت، درحالی‌که در تیمار ۶/۴ (مول بر مترمربع بر روز) DLI با افزودن ۱۰ و ۲۰ درصد نور قرمز دور سطح برگ افزایش یافت (شکل ۴ B). نتایج حاصل از میزان تخصیص ماده خشک به برگ در نتیجه افزودن نور قرمز دور به DLI شبیه اثرات حاصل از افزودن نور قرمز دور بر سطح برگ بود (شکل ۴ C). پاسخ سطح برگ گیاه ریحان به نور قرمز دور در دو سطح بالا و پایین DLI، متفاوت بود. به‌طوری‌که با افزایش نور قرمز دور در DLI پایین سطح برگ افزایش یافت و در DLI بالا تأثیری بر سطح برگ نداشت (شکل ۴ B). افزایش سطح برگ در پاسخ به نور قرمز دور در مطالعات گسترده‌ای گزارش گردیده



باشد (۱۰) و احتمالاً تحت شرایط DLI پایین و سطح بالای نور قرمز دور، بیش تر مرتبط با افزایش سطح برگ و افزایش ارتفاع ساقه باشد.

سطح ویژه برگ نداشت و با نتایج لارسن و همکاران (۲۳) مطابقت داشت. به نظر می رسد پاسخ سندروم اجتناب از سایه در ریحان، هنگامی که در شرایط DLI بالا قرار دارد بیش تر مرتبط با افزایش ارتفاع ساقه



شکل ۴- اثر متقابل افزودن نور قرمز دور (Far-red) به تابش فعال فتوسنتزی (DLI) بر ارتفاع گیاه (A)، سطح برگ (B)، تخصیص ماده خشک به برگ (C) و سطح خاص برگ (D) گیاه ریحان. حروف مختلف، تفاوت معنی داری را بین تیمارها با توجه به آزمون چنددامنه‌ای دانکن نشان می دهد ( $P > 0.05$ ).

**Fig. 4. Interaction effects of far-red light proportion and daily light integral (DLI) levels on plant height (A), leaf area (B), dry partitioning to leaves (C), and specific leaf area (D) basil plant. Different letters show a significant difference among the treatments according to Duncan's multiple range test ( $P < 0.05$ ).**

خشک گیاه، در هر دو تیماری نوری ۶/۴ و ۱۰/۸ (مول بر مترمربع بر روز) گردید و در سطح ۵ درصد تأثیر معنی داری نداشت. با افزایش DLI از ۶/۴ به ۱۰/۸ (مول بر مترمربع بر روز) کارایی مصرف نور و تابش بر اساس وزن تر و خشک گیاه (جدول ۲) تغییری نکرد، به عبارت دیگر کارایی مصرف نور و تابش تحت تأثیر DLI قرار نگرفت که با نتایج لارسن و همکاران (۲۳) مطابقت داشت. کارایی مصرف نور بر اساس وزن تر و خشک با افزودن نور قرمز دور در هر دو سطح DLI بهبود پیدا کرد اگرچه به نظر می رسد، پاسخ گیاه در شرایط نوری محدودتر، به افزودن نور قرمز دور بر کارایی مصرف نور شدیدتر

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل DLI و نور قرمز دور بر کارایی مصرف نور (LUE) و تابش (RUE) وزن تر و خشک گیاه در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، بیش ترین کارایی مصرف نور بر اساس وزن تر و خشک گیاه در تیمار ۶/۴ و ۱۰/۸ (مول بر مترمربع بر روز)، در گیاهانی که ۲۰ درصد نور قرمز دور دریافت کردند حاصل گردید و کم ترین کارایی مصرف نور بر اساس وزن تر و خشک نیز در گیاهان تیمار شده با ۶/۴ (مول بر مترمربع بر روز) و صفر درصد نور قرمز دور حاصل گردید. نور قرمز دور در سطح ۲۰ درصد سبب افزایش کارایی مصرف تابش بر اساس وزن تر و

امرسون، کارایی فتوسیستم II ممکن است با افزایش نور قرمز دور افزایش یابد (۳۲). افزودن نور قرمز دور به مجموع طیف فعال فتوستتزی ممکن است از طریق افزایش کارایی انتقال الکترون در سیستم فتوسیستم II، نرخ فتوستتز خالص لحظه‌ای را افزایش دهد (۱۷).

هست (جدول ۲) و دلیل آن واکنش مثبت گیاه به نور قرمز دور و در نتیجه افزایش وزن تر و خشک برگ در شرایط نوری پایین هست. هم‌چنین به نظر می‌رسد نور قرمز دور تنها در شرایطی که در غلظت بالا استفاده شود سبب بهبود کارایی مصرف تابش در هر دو سطح DLI می‌گردد (جدول ۲). با توجه به اثر افزایش

جدول ۲- اثر متقابل افزودن نور قرمز دور (Far-red) به تابش فعال فتوستتزی (DLI) بر کارایی مصرف نور (LUE) و کارایی مصرف تابش (RUE) وزن تر و وزن خشک گیاه ریحان.

Table 2. Interaction effects of far-red light proportion and daily light integral (DLI) levels on light use efficiency (LUE) and radiation use efficiency (RUE) fresh and dry weight of basil.

| DLI (mol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ) | Far-red (%) | LUE (Plant fresh weight) | LUE (Plant dry weight) | RUE (Plant fresh weight) | RUE (Plant dry weight) |
|--|-------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| 6.4  | 0           | 6.48 <sup>d</sup>        | 0.38 <sup>c</sup>      | 6.48 <sup>b</sup>        | 0.38 <sup>c</sup>      |
|  | 5           | 8.21 <sup>bc</sup>       | 0.45 <sup>b</sup>      | 7.95 <sup>ab</sup>       | 0.44 <sup>cd</sup>     |
|  | 20          | 10.67 <sup>a</sup>       | 0.62 <sup>a</sup>      | 9.4 <sup>a</sup>         | 0.54 <sup>ab</sup>     |
| 10.8                                       | 0           | 7.21 <sup>cd</sup>       | 0.47 <sup>b</sup>      | 7.21 <sup>b</sup>        | 0.47 <sup>cd</sup>     |
|  | 5           | 8.1 <sup>bc</sup>        | 0.52 <sup>b</sup>      | 7.97 <sup>ab</sup>       | 0.51 <sup>bc</sup>     |
|  | 20          | 9.21 <sup>ab</sup>       | 0.63 <sup>a</sup>      | 8.2 <sup>ab</sup>        | 0.59 <sup>a</sup>      |

حروف مختلف در هر ستون، تفاوت معنی‌داری را بین تیمارها با توجه به آزمون چنددامنه‌ای دانکن نشان می‌دهد (P>0.05)

Different letters in each column show a significant difference among the treatments according to Duncan's multiple range test (P<0.05)

شرایط محدودیت نوری (۶/۴) قرار دارد، کاربرد نور قرمز دور در هر دو سطح ۵ و ۲۰ درصد موجب افزایش سطح برگ شد که منجر به تخصیص ماده خشک و تر کم‌تر به ساقه گردید و اثرات مثبتی بر خصوصیات ریخت‌شناسی و عملکرد قسمت قابل‌استفاده ریحان گذاشت؛ بنابراین از آنجایی که در حال حاضر محدودیت انرژی بزرگ‌ترین مانع در توسعه کشت‌های عمودی و کارخانه‌های گیاهی هست، استفاده از نور قرمز دور همراه با طیف فعال فتوستتزی به‌خصوص در شرایط DLI پایین می‌تواند اثر مثبتی بر عملکرد قابل‌استفاده ریحان و در نتیجه کارایی مصرف نور داشته باشد.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که رشد و ریخت‌شناسی و در نتیجه عملکرد تحت‌تأثیر مجموع تابش فعال فتوستتزی و نور قرمز دور قرار گرفتند. افزودن نور قرمز دور به تابش فعال فتوستتزی سبب افزایش عملکرد وزن تر و خشک در هر دو سطح ۴/۶ و ۱۰/۸ DLI گردید، اگرچه این افزایش زمانی که گیاهان در معرض مقدارهای بالای تابش دریافتی روزانه قرار دارند سبب تخصیص ماده خشک و تر به ساقه گردید و این پدیده تأثیر منفی بر ریخت‌شناسی (تحریک سندروم اجتناب از سایه و در نتیجه افزایش ارتفاع ساقه) و در نهایت عملکرد قسمت قابل‌استفاده گیاه ریحان گذاشت. از طرف دیگر، زمانی که گیاه در

### منابع

1. Ballaré, C.L. and Pierik, R. 2017. The shade-avoidance syndrome: Multiple signals and ecological consequences. *Plant, Cell Environ.* 40: 11. 2530-2543.
2. Sharath Kumar, M., Heuvelink, E. and Marcelis, L.F. 2020. Vertical farming: moving from genetic to environmental modification. *Trends Plant Sci.* 25: 8. 724-727.
3. Kusuma, P., Pattison, P.M. and Bugbee, B. 2020. From physics to fixtures to food: Current and potential LED efficacy. *Hort. Res.* 7p.
4. Toulaiatos, D., Dodd, I.C. and McAinsh, M. 2016. Vertical farming increases lettuce yield per unit area compared to conventional horizontal hydroponics. *Food Energy Secur.* 5: 3. 184-191.
5. Esetlili, B. Ç., Öztürk, B., Çobanoğlu, Ö. and Anaç, D. 2016. Sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) and potassium fertilization. *J. Plant Nutr.* 39: 1. 35-44.
6. Pennisi, G., Pistillo, A., Orsini, F., Cellini, A., Spinelli, F., Nicola, S. and Marcelis, L.F. 2020. Optimal light intensity for sustainable water and energy use in indoor cultivation of lettuce and basil under red and blue LEDs. *Sci. Hort.* 272: 109508.
7. Jin, W., Urbina, J.L., Heuvelink, E. and Marcelis, L.F. 2021. Adding far-red to red-blue light-emitting diode light promotes yield of lettuce at different planting densities. *Front Plant Sci.* 2219.
8. Ruberti, I., Sessa, G., Ciolfi, A., Possenti, M., Carabelli, M. and Morelli, G.J.B.A. 2012. Plant adaptation to dynamically changing environment: the shade avoidance response. *Biotechnol. Adv.* 30: 5. 1047-1058.
9. Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M. and Murphy, A. 2015. *Plant physiology and development* (No. Ed. 6). Sinauer Associates Incorporated.
10. Li, Q. and Kubota, C. 2009. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environ. Exp. Bot.* 67: 1. 59-64.
11. Yang, F., Feng, L., Liu, Q., Wu, X., Fan, Y., Raza, M.A. and Yang, W. 2018. Effect of interactions between light intensity and red-to-far-red ratio on the photosynthesis of soybean leaves under shade condition. *Environ. Exp. Bot.* 150: 79-87.
12. Park, Y. and Runkle, E.S. 2017. Far-red radiation promotes growth of seedlings by increasing leaf expansion and whole-plant net assimilation. *Environ. Exp. Bot.* 136: 41-49.
13. Yuan, H.Y., Saha, S., Vandenberg, A. and Bett, K.E. 2017. Flowering and growth responses of cultivated lentil and wild *Lens* germplasm toward the differences in red to far-red ratio and photosynthetically active radiation. *Front Plant Sci.* 8: 386.
14. Pierik, R. and de Wit, M. 2014. Shade avoidance: phytochrome signalling and other aboveground neighbour detection cues. *J. Exp. Bot.* 65: 11. 2815-2824.
15. Demotes-Mainard, S., Péron, T., Corot, A., Bertheloot, J., Le Gourrierc, J., Pelleschi-Travier, S. and Sakr, S. 2016. Plant responses to red and far-red lights, applications in horticulture. *Environ. Exp. Bot.* 121: 4-21.
16. Bongers, F.J., Evers, J.B., Anten, N.P. and Pierik, R. 2014. From shade avoidance responses to plant performance at vegetation level: using virtual plant modelling as a tool. *New Phytol.* 204: 2. 268-272.
17. Franklin, K.A. 2008. Shade avoidance. *New Phytol.* 179: 4. 930-944.
18. Vos, J., Evers, J.B., Buck-Sorlin, G.H., Andrieu, B., Chelle, M. and De Visser, P.H. 2010. Functional-structural plant modelling: a new versatile tool in crop science. *J. Exp. Bot.* 61: 8. 2101-2115.
19. Park, Y. and Runkle, E.S. 2018. Far-red radiation and photosynthetic photon flux density independently regulate seedling growth but interactively regulate flowering. *Environ. Exp. Bot.* 155: 206-216.
20. Yang, F., Fan, Y., Wu, X., Cheng, Y., Liu, Q., Feng, L. and Yang, W. 2018. Auxin-to-gibberellin ratio as a signal for light intensity and quality in regulating soybean growth and matter partitioning. *Front Plant Sci.* 9: 56.

21. McCree, K.J. 1971. The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *J. Agric. Meteorol.* 9: 191-216.
22. Zhen, S. and van Iersel, M.W. 2017. Far-red light is needed for efficient photochemistry and photosynthesis. *J. Integr. Plant Biol.* 209: 115-122.
23. Larsen, D.H., Woltering, E.J., Nicole, C. and Marcelis, L.F. 2020. Response of basil growth and morphology to light intensity and spectrum in a vertical farm. *Front Plant Sci.* 11: 1893.
24. Zou, J., Zhang, Y., Zhang, Y., Bian, Z., Fanourakis, D., Yang, Q. and Li, T. 2019. Morphological and physiological properties of indoor cultivated lettuce in response to additional far-red light. *Sci. Hort.* 257: 108725.
25. Zhen, S. and Bugbee, B. 2020. Far-red photons have equivalent efficiency to traditional photosynthetic photons: Implications for redefining photosynthetically active radiation. *Plant, Cell Environ.* 43: 5. 1259-1272.
26. Steiner, A.A. 1984. The universal nutrient solution. In *6. International Congress on Soilless Culture, Lunteren (Netherlands), 29 Apr-5 May 1984*. ISOSC.
27. Sager, J.C., Smith, W.O., Edwards, J.L. and Cyr, K.L. 1988. Photosynthetic efficiency and phytochrome photoequilibria determination using spectral data. *Transactions of the ASAE*, 31: 6. 1882-1889.
28. Kalaitzoglou, P., Van Ieperen, W., Harbinson, J., Van der Meer, M., Martinakos, S., Weerheim, K. and Marcelis, L.F. 2019. Effects of continuous or end-of-day far-red light on tomato plant growth, morphology, light absorption, and fruit production. *Front Plant Sci.* 10: 322.
29. Meng, Q., Kelly, N. and Runkle, E.S. 2019. Substituting green or far-red radiation for blue radiation induces shade avoidance and promotes growth in lettuce and kale. *Environ. Exp. Bot.* 162: 383-391.
30. Carvalho, S.D., Schwieterman, M.L., Abrahan, C.E., Colquhoun, T.A. and Folta, K.M. 2016. Light quality dependent changes in morphology, antioxidant capacity, and volatile production in sweet basil (*Ocimum basilicum*). *Front Plant Sci.* 7: 1328.
31. Ji, Y., Ouzounis, T., Courbier, S., Kaiser, E., Nguyen, P.T., Schouten, H.J. and Heuvelink, E. 2019. Far-red radiation increases dry mass partitioning to fruits but reduces *Botrytis cinerea* resistance in tomato. *Environ Exp. Bot.* 168: 103889.
32. Emerson, R., Chalmers, R. and Cederstrand, C. 1957. Some factors influencing the long-wave limit of photosynthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 43: 1. 133.

## Effect of deficit irrigation on visual quality, physiological responses, and water use efficiency of *Ranunculus asiaticus* L.

Nahid Balasemi<sup>1</sup>, Zeynab Roein<sup>\*2</sup>, Atefeh Sabouri<sup>3</sup>, Ahmad Reza Dadras<sup>4</sup>

1. M.Sc. Graduate, Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: [n.balasemi1358@gmail.com](mailto:n.balasemi1358@gmail.com)
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: [z.roein@ilam.ac.ir](mailto:z.roein@ilam.ac.ir)
3. Associate Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. E-mail: [a.sabouri@guilan.ac.ir](mailto:a.sabouri@guilan.ac.ir)
4. Research Assistant Prof., Crop and Horticultural Science Research Department, Olive Research Station of Tarom, Zanjan, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zanjan, Iran. E-mail: [a.dadras@yahoo.com](mailto:a.dadras@yahoo.com)

### Article Info

#### Article type:

Full Length Research Paper

#### Article history:

Received: 06.21.2022

Revised: 08.10.2022

Accepted: 09.01.2022

#### Keywords:

Intracellular CO<sub>2</sub> concentration,  
Low deficit irrigation,  
Morphological plant responses,  
*Ranunculus*,  
Transpiration

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Water scarcity is one of the major environmental stresses that adversely affect physiological processes and plant growth. Deficit irrigation (DI) is one of the important irrigation management strategies that has been proposed to conserve water, whereas plants are exposed to a certain degree of water stress. The purpose of the present study was to identify physiological and morphological responses of *Ranunculus* to different levels of deficit irrigation.

**Materials and Methods:** The pot experiment was arranged in the greenhouse in a completely randomized design with four replicates. Plants were irrigated under four water regimes included (1) the control (100% SWC), with full irrigation, (2) the low deficit irrigation (75% SWC), (3) the moderate deficit irrigation (50% SWC), and (4) severe deficit irrigation (25% SWC). In this study growth parameters (plant height, number of leaves, number of buds, flowers and petals, petiole length, fresh and dry weight of shoots and underground organs), physiological attributes (electrolyte leakage, relative water content), photosynthesis parameters (transpiration rate, leaf temperature, intercellular CO<sub>2</sub> concentration, ambient CO<sub>2</sub> concentration), water use efficiency (WUE) and degree of tolerance to deficit irrigation stress of *Ranunculus* plants were evaluated.

**Results:** The results showed that severe DI reduced plant height (34.5%), leaf number (57%), petiole length (47%), bud number (233%), flower diameter (23%), number of petals (17%), fresh and dry weight of aerial parts (59%, 53%), fresh and dry weight of underground parts (69%, 77%) compared to stress-free conditions (100% SWC). These symptoms indicated the adverse effects of deficit irrigation on the plant. As a consequence of this, leaf temperature (31.90 °C), ambient CO<sub>2</sub> concentration (479.06 μmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>), and intracellular CO<sub>2</sub> (479.47 μmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>) were higher in severe DI. Plants subjected to full irrigation, and low deficit irrigation (75% SWC) had more flowers bud than moderate and severe water stress. Findings of the experiments revealed that low deficit irrigation slightly decreased the plant height, leaf number, petal number, and plant biomass than full irrigation conditions. Also, the highest transpiration rate (0.88 μmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>) was observed at a moderate DI (50% SWC). In addition, plants submitted to an irrigation water deficit have lower values

---

relative water content (RWC) than those of fully irrigated plants. Severe DI (25% SWC) caused a remarkable increase in electrolyte leakage followed by 50% SWC. It was found that WUE decreased with an increase in water stress levels. The WUE was higher (37.5%) in full irrigation than in moderate and severe deficit irrigation. Moreover, by implementing DI, irrigation at 25% SWC for *Ranunculus* plants saved 45.78% of water.

**Conclusion:** In general, these results show that *Ranunculus* is sensitive to severe deficit irrigation stress and is tolerant up to 75% SWC. Therefore, low deficit irrigation (75% SWC) stress, but not moderate or severe, could be imposed in *Ranunculus* to reduce water consumption, still maintaining plant ecophysiological performances and ornamental quality.

---

Cite this article: Balasemi, Nahid, Rooin, Zeynab, Sabouri, Atefeh, Dadras, Ahmad Reza. 2023. Effect of deficit irrigation on visual quality, physiological responses, and water use efficiency of *Ranunculus asiaticus* L. *Journal of Plant Production*, 30 (1), 165-186.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2022.20330.2945

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## اثر کم آبیاری بر کیفیت ظاهری، پاسخ‌های فیزیولوژیک و کار آبی مصرف آب آلاله آسیایی (*Ranunculus asiaticus* L.)

ناهید بلاسمی<sup>۱</sup>، زینب روئین<sup>۲\*</sup>، عاطفه صبوری<sup>۳</sup>، احمدرضا دادرس<sup>۴</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گیاهان زینتی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: [n.balaseemi1358@gmail.com](mailto:n.balaseemi1358@gmail.com)
۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: [z.roein@ilam.ac.ir](mailto:z.roein@ilam.ac.ir)
۳. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. رایانامه: [a.sabouri@guilan.ac.ir](mailto:a.sabouri@guilan.ac.ir)
۴. استادیار پژوهشی بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران. رایانامه: [a.dadras@yahoo.com](mailto:a.dadras@yahoo.com)

| اطلاعات مقاله   | چکیده   |
|---|---|
| <b>نوع مقاله:</b><br>مقاله کامل علمی-پژوهشی   | <b>سابقه و هدف:</b> کمبود آب یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و رشد گیاه تأثیر منفی می‌گذارد. کم‌آبیاری از راهکارهای مهم مدیریت در آبیاری است زیرا از طریق مواجهه گیاهان با سطوح مشخصی از تنش آبی، در مصرف آب صرفه‌جویی می‌شود. هدف از مطالعه حاضر شناسایی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و ریخت‌شناسی آلاله به سطوح مختلف کم‌آبیاری بود.  |
| <b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۱/۰۳/۳۱   |   |
| <b>تاریخ ویرایش:</b> ۱۴۰۱/۰۵/۱۹   |   |
| <b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۱/۰۶/۱۰  |   |
| <b>واژه‌های کلیدی:</b><br>آلاله،<br>پاسخ‌های مورفولوژیک گیاه،<br>تعرق،<br>غلظت CO <sub>2</sub> درون سلولی،<br>کم‌آبیاری ملایم | <b>مواد و روش‌ها:</b> آزمایش به‌صورت گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. گیاهان با چهار رژیم آبیاری مواجهه شامل (۱) شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت گلدان) با آبیاری کامل، (۲) کم‌آبیاری ملایم (۷۵ درصد ظرفیت گلدان)، (۳) کم‌آبیاری متوسط (۵۰ درصد ظرفیت گلدان) و (۴) کم‌آبیاری شدید (۲۵ درصد ظرفیت گلدان) شدند. در این پژوهش، شاخص‌های رشدی (ارتفاع گیاه، تعداد برگ، تعداد غنچه، گل و گلبرگ، طول دم‌برگ، وزن تر و خشک شاخساره و اندام زیرزمینی)، ویژگی‌های فیزیولوژیکی (محتوای نسبی آب برگ و نشتر یونی)، شاخص‌های فتوسنتزی (شدت تعرق، دمای برگ، میزان دی‌اکسیدکربن درون سلولی و محیط)، کارایی مصرف آب و درجه تحمل به تنش کم‌آبیاری گل آلاله مورد ارزیابی قرار گرفت. |
|   | <b>یافته‌ها:</b> نتایج نشان داد که تنش شدید کم‌آبیاری موجب کاهش ارتفاع گیاه (۳۴/۵ درصد)، تعداد برگ (۵۷ درصد)، طول دم‌برگ (۴۷ درصد)، تعداد غنچه گل (۲۳۳ درصد)، قطر گل (۲۳  |

درصد)، تعداد گلبرگ (۱۷ درصد)، وزن تر و خشک اندام هوایی (۵۹ درصد و ۵۳ درصد)، وزن تر و خشک اندام زیرزمینی (۶۹ درصد و ۷۷ درصد) نسبت به سطح بدون تنش شد. این علائم نشان‌دهنده اثرات سوء کم‌آبیاری بر گیاه بود. در نتیجه این موضوع، بیش‌ترین میزان دمای برگ (۳۱/۹۰ درجه سلسیوس)، غلظت CO<sub>2</sub> محیط (۴۷۹/۰۵ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) و غلظت CO<sub>2</sub> درون‌سلولی (۴۷۹/۷۴ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) از سطح تنش شدید ۲۵ درصد ظرفیت گلدان به دست آمد. گیاهانی که در معرض آبیاری کامل و تنش ملایم کم‌آبیاری (۷۵ درصد ظرفیت گلدان) قرار گرفتند جوانه گل بیش‌تری نسبت به تنش آبی متوسط و شدید داشتند. یافته‌های آزمایش نشان داد که کم‌آبیاری ملایم اندکی باعث کاهش ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد گلبرگ و زیست‌توده گیاه نسبت به شرایط آبیاری کامل می‌شود. براساس نتایج، بیش‌ترین شدت تعرق (۰/۸۸ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) در تنش متوسط ۵۰ درصد ظرفیت گلدان مشاهده شد. علاوه بر این، گیاهانی که در معرض کمبود آب آبیاری قرار گرفتند، محتوای نسبی آب (RWC) کم‌تری نسبت به گیاهان کاملاً آبیاری شده داشتند. کم‌آبیاری شدید (۲۵ درصد ظرفیت گلدان) و متوسط (۵۰ درصد ظرفیت گلدان) باعث افزایش قابل‌توجهی در نشت الکتروولیت شد. مشخص شد که کارآیی مصرف آب با افزایش سطح تنش آبی کاهش یافت. به‌طوری‌که در شرایط آبیاری کامل کارآیی مصرف آب بیش‌تر (۳۷/۵ درصد) از شرایط کم‌آبیاری متوسط و شدید بود. علاوه بر این، با اجرای کم‌آبیاری، اعمال تنش شدید ۲۵ درصد ظرفیت گلدان موجب ذخیره آب آبیاری به میزان ۴۵/۷۸ درصد شد.

**نتیجه‌گیری:** به‌طورکلی نتایج نشان داد که گل آلاله حساس به تنش شدید کم‌آبیاری است و نسبت به تنش ملایم کم‌آبیاری، نیمه‌متحمل است. تنش ملایم کم‌آبیاری (۷۵ درصد ظرفیت گلدان)، اما نه متوسط یا شدید، می‌تواند برای کاهش مصرف آب اعمال شود و هم‌چنان عملکرد اکوفیزیولوژیکی و کیفیت زینتی گل آلاله حفظ شود.

**استناد:** ناهید، روئین، زینب، صبوری، عاطفه، دادرس، احمدرضا (۱۴۰۲). اثر کم‌آبیاری بر کیفیت ظاهری، پاسخ‌های فیزیولوژیک و کارآیی مصرف آب آلاله آسیایی (*Ranunculus asiaticus* L.). نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۰ (۱)، ۱۸۶-۱۶۵.

DOI: 10.22069/JOPP.2022.20330.2945



© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان



## مقدمه

کمبود آب در بسیاری از نقاط جهان منجر به توسعه راهبردهای آبیاری جدید مانند کم آبیاری تنظیم شده<sup>۱</sup> و کم آبیاری پایدار<sup>۲</sup> شده است (۱). کم آبیاری<sup>۳</sup> (DI) از راهکارهای مهم مدیریت در آبیاری است که از طریق مواجهه گیاهان با سطوح مشخصی از تنش آبی، ضمن تامین نیاز گیاه برای رشد بهینه در مصرف آب نیز صرفه جویی می‌شود. در شرایط کم آبیاری، آب آبیاری کم‌تری نسبت به نیاز آبی کامل در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. این عملیات می‌تواند در مراحل مختلف رشد گیاه (یا مراحل حساس رشد) یا گاهی اوقات در کل فصل رشد اعمال شود (۲). اجرای این تکنیک که در ظاهر نامطلوب به نظر می‌رسد، امکان دسترسی منطقه ریشه گیاه به آب را افزایش می‌دهد. همچنین بدون کاهش چشمگیر در کیفیت و عملکرد گیاه، سبب مدیریت میزان مصرف آب کشاورزی می‌شود. به طوری که مقدار قابل توجهی آب آبیاری را می‌توان ذخیره نمود (۳). قابل ذکر است که مدیریت آبیاری در گیاهان گلدانی به دلیل حجم محدود بستر کشت برای ریشه، سخت‌تر از گیاهان کاشته شده در مزرعه است، به طوری که گیاهان گلدانی سریع‌تر در معرض نوسانات حرارتی قرار می‌گیرند که تأثیر محسوسی بر رطوبت بستر کشت دارد (۱).

الگوی رشد و ریخت‌شناسی گیاهان زینتی شاخص‌های مهمی هستند که ارزش زیبایی‌شناختی دارند و نقش زیادی در ارزیابی و انتخاب توسط مصرف‌کننده را ایفا می‌کنند (۴). کم آبیاری رشد گیاه را کنترل می‌کند به طوری که اثر آن در طول رشد گیاهان زینتی به صورت کاهش ارتفاع بوته، تعداد گل، کاهش سطح برگ، کاهش طول ساقه، افزایش طول و تراکم ریشه، افزایش نسبت ریشه به ساقه و افزایش

زردی و پژمردگی برگ، بر کیفیت گیاه نمایان می‌شود. این اثرات به ویژه برای محصولات زینتی مضر است؛ زیرا ارزش آن‌ها تا حد زیادی به ظاهر آن‌ها بستگی دارد (۱ و ۵). از این رو مقدار آب آبیاری را باید به گونه‌ای کاهش داد که تأثیر منفی بر کیفیت ظاهری گیاهان زینتی نداشته باشد. سطح قابل قبولی از کم آبیاری می‌تواند اثرات مفیدی مانند رشد متعادل‌تر و فشرده‌تر شدن گیاهان زینتی را ایجاد کند، اما اگر محدودیت دسترسی ریشه به آب خیلی شدید باشد، اثرات روی ظاهر گیاه می‌تواند منفی باشد. بنابراین سطح تنش و مدت تنش آبی تحمیل شده در هر گونه زینتی برای بهینه‌سازی سطوح کاهش آب در گونه‌های مختلف ضروری است (۶). واکنش گیاهان به تحمل تنش آبی و سازگاری با کمبود آب، علاوه بر بهبود کارایی مصرف آب<sup>۴</sup> (WUE)، می‌تواند از طریق تغییر در شاخص‌های مختلف مانند سازگاری فیزیولوژیکی و ریخت‌شناسی در گیاهان رخ دهد (۳). علاوه بر افزایش کارایی مصرف آب، افزایش نسبت ریشه به ساقه و تراکم ریشه باعث استقرار سریع‌تر گیاهان زینتی در محیط‌های باغ یا مناظر می‌شود (۱). برخلاف بخش کشاورزی، در فضای سبز و گیاهان زینتی بهبود کارایی مصرف آب لزوماً به معنای بهبود عملکرد یا رشد کلی نیست. هدف نهایی دستیابی به استفاده کارآمدتر از آب همراه با حفظ ظاهر و تناسب گیاه است. بنابراین، کارایی مصرف آب می‌تواند به عنوان شاخصی از توانایی گونه‌های گیاهی برای صرفه جویی در مصرف آب در شرایط خشک در نظر گرفته شود (۷). مطالعات متعدد نشان داده‌اند تحمل به خشکی گیاهان زینتی در بین گونه‌ها بسیار متفاوت است و تنش کم آبیاری می‌تواند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، میزان اسید آمینه پرولین و کارایی مصرف آب گیاهان زینتی را بهبود بخشد (۷، ۸، ۹ و ۱۰). بهبود سیستم

- 1- Regulated deficit irrigation
- 2- Sustained deficit irrigation
- 3- Deficit irrigation

4- Water use efficiency

در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و هر تکرار با پنج گلدان انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش کم آبیاری در چهار سطح بدون تنش (۱۰۰ درصد ظرفیت گلدان)، تنش متوسط (۵۰ درصد ظرفیت گلدان) و تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت گلدان) بودند. هر تیمار شامل ۲۰ بوته بود و در مجموع ۸۰ گلدان مورد استفاده قرار گرفت. برای انجام پژوهش، ابتدا بذر گل آلاله آسیایی (*Ranunculus asiaticus*) تهیه گردید. سپس بذرهای در سینی کشت با آمیخته‌ای از کوکوپیت و پرلیت (۱:۱) کاشته شدند و در گلخانه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی  $2 \pm 75$  درصد و با میزان نور ۱۰ ساعت روشنایی و ۱۴ ساعت تاریکی نگهداری شدند. آبیاری روزانه برای مرطوب نگه‌داشتن بستر کشت تا زمان جوانه‌زدن بذرهای انجام شد. پس از جوانه‌زنی، گیاهان هر دو روز یکبار آبیاری شدند. گیاهچه‌های ۴۰ روزه‌ای که چهار تا شش برگ داشتند به گلدان‌های پلاستیکی سیاه رنگ (قطر دهانه داخلی ۱۲ و ارتفاع ۱۱/۵ سانتی‌متر) حاوی ۳۰۰ گرم بستر کشت با ترکیبی از پیت، پرلیت و کوکوپیت (۱:۱:۱) انتقال یافتند. گلدان‌های کاشته شده با فاصله ۲۵ سانتی‌متری از هم چیده شده و با همان شرایط محیطی ذکر شده در بالا، زیر نور طبیعی خورشید در گلخانه رشد کردند. قابل ذکر است که در این دوره (رشد اولیه گیاهچه‌ها تا استقرار در گلدان) دما به ۲۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و به طور معمولی - به محض خشک شدن سطح گلدان - آبیاری شدند. پس از ۳۰ روز وقتی که گیاهان به طور کامل استقرار یافتند، تیمارهای آزمایش در کل دوره رشد اعمال شدند. برای به حداقل رساندن تبخیر و آب از دست‌دهی از سطح گلدان‌ها، سطح تمام گلدان‌ها با ورق آلومینیومی پوشانده شد (۹).

ریشه و حفظ شدت گلدهی و رنگ برگ (۱۱)، کنترل رشد بیش از حد و تولید گیاه فشرده‌تر (۱۲) از دیگر اثرات مثبت کم‌آبیاری بر گیاهان زینتی است. از طرف دیگر، کم‌آبیاری شدید باعث کاهش رشد گیاه، کاهش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در لوپین (۱۳)، کاهش شاخص‌های تبادل گازی در پامچال (۱۴)، کاهش زیست‌توده خشک گل کاغذی (۸) و کاهش تعداد گل در بوته گیاه داودی (۱۵) شد.

گل آلاله آسیایی (*Ranunculus asiaticus* L.) یک ژنوفیت چندساله با ریشه‌های غده‌ای و از خانواده Ranunculaceae است (۱۶). این گونه بومی منطقه مدیترانه است و در مناطق معتدل پراکنش دارد (۱۷). گل آلاله آسیایی یک گیاه زینتی با ارزش است که به دلیل داشتن گل‌های جذاب (با رنگ‌های مختلف قرمز، صورتی، نارنجی و زرد) برای مصارف زینتی کاربرد دارد و از آن به عنوان گل شاخه بریده و گیاه گلدانی (۱۶)، و در تزئین باغچه و طراحی مناظر (۱۸) استفاده می‌شود. افزونش تجاری آن از طریق بذر انجام می‌شود. علاوه بر این، گل آلاله به صورت رویشی از طریق تقسیم ریشه‌های غده‌ای افزونش می‌یابد (۱۶). اطلاعات کمی در مورد شیوه‌های صرفه‌جویی در مصرف آب در محصولات زینتی که در معرض شرایط کم‌آبیاری رشد می‌کنند، در دسترس است. علاوه بر این تاکنون اثر کم‌آبیاری بر رشد و گلدهی آلاله ارزیابی نشده است. بنابراین، شناسایی نحوه مصرف آب این گیاه زینتی برای استفاده مؤثر از آب در طول دوره رشد گیاه لازم و ضروری به نظر می‌رسد. در نتیجه، هدف از مطالعه حاضر، شناسایی تغییرات رشد، گلدهی و برخی از پاسخ‌های فیزیولوژیکی آلاله در شرایط مواجهه با سطوح مختلف کم‌آبیاری است.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۰ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام اجرا شد. آزمایش

ریشه از گلدان خارج نموده، قسمت‌های هوایی و زیرزمینی گیاه برداشت و وزن‌تر آن‌ها ثبت شد. سپس به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس در داخل دستگاه آون قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها نیز به دست آمد (۹).

**ارزیابی شاخص‌های فتوسنتزی:** تمام اندازه‌گیری‌های مربوط به شاخص‌های فتوسنتزی در زمان گلدهی گیاه انجام گرفت. اندازه‌گیری دمای برگ<sup>۱</sup> بر اساس درجه سلسیوس، میزان تعرق<sup>۲</sup>، غلظت دی‌اکسیدکربن محیط<sup>۳</sup>، غلظت دی‌اکسیدکربن درون‌سلولی<sup>۴</sup> بر اساس میکرومول دی‌اکسیدکربن بر مترمربع بر ثانیه توسط دستگاه فتوسنتز متر ( Plant Photosynthesis Meter- Korea Tech, Korea) بین ساعت ۱۰ تا ۱۲ قبل از ظهر اندازه‌گیری شد و داده‌های مربوطه ثبت شد. به این صورت که برگ‌ها درون اتاقک اندازه‌گیری دستگاه فتوسنتز متر، طوری قرار داده شد که سطح فوقانی برگ برای دریافت نور کافی به طرف بالا بود.

**ارزیابی صفات فیزیولوژیک:** محتوای نسبی آب برگ<sup>۵</sup> (RWC) از روش ریچی و همکاران (۱۹۹۰) اندازه‌گیری شد (۲۲). بدین‌منظور ابتدا از برگ‌های میانی ساقه که کاملاً توسعه یافته بود، به طور تصادفی نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌ها بلافاصله درون یخ قرار گرفته و در آزمایشگاه وزن‌تر آن‌ها اندازه‌گیری شد (FW). سپس تمامی نمونه‌ها در آب مقطر قرار داده شده و به مدت پنج ساعت در یخچال در دمای چهار درجه سلسیوس قرار گرفت. در نهایت وزن تورژسانس آن‌ها اندازه‌گیری شد (TW). نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری وزن خشک (DW) به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند.

برای اعمال تنش کم‌آبیاری و تعیین میزان آب مورد نیاز هر گلدان ابتدا چهار گلدان با وزن و اندازه یکسان انتخاب و درون تمام آن‌ها به میزان مساوی با بستر کشت پر شد و به اندازه کافی با آب اشباع گردید. سپس سطح گلدان‌ها به وسیله ورق آلومینیومی پوشانده شد تا آب فقط از طریق نیروی ثقل خارج گشته و هر ۲۴ ساعت یکبار وزن آن‌ها یادداشت شد. بعد از ثابت شدن وزن آن‌ها، بستر کشت گلدان‌ها درون آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار گرفت و پس از آن گلدان‌ها چندین بار با فواصل زمانی مشخص (هر ۱۲ ساعت) تا رسیدن به وزن ثابت، توزین شد و مقدار وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت میزان رطوبت بستر کشت با استفاده از رابطه زیر تعیین شد و با وزن شدن روزانه گلدان‌ها براساس کمبود آب نسبت به سطح مربوطه میزان آب آبیاری به هر کدام از سطوح اضافه گردید (۱۹، ۲۰ و ۲۱).

$$(SWC \%) = [(FW - DW)/DW] \times 100$$

که در آن، SWC میزان آب در حد ظرفیت گلدان، FW وزن‌تر بستر کشت در ظرفیت گلدان، DW وزن خشک بستر کشت می‌باشد.

**ارزیابی صفات ریخت‌شناسی:** نمونه‌برداری از گیاهان به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های ظاهری گیاه در مرحله گلدهی گیاه آلاله انجام شد. بدین‌ترتیب ارتفاع گیاه و طول دم‌برگ با استفاده از خط‌کش و اندازه‌گیری قطر گل با استفاده از کولیس دیجیتالی (مدل Guanglu با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) انجام شد. تعداد برگ، غنچه، گل و تعداد گلبرگ در هر بوته شمارش شد. هم‌چنین پس از گلدهی، وزن‌تر و خشک گیاه با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد. برای این منظور گیاهان را به همراه

- 1- Leaf temperature (Tleaf)
- 2- Transpiration rate (Tr)
- 3- Ambient CO<sub>2</sub> concentration
- 4- Intercellular CO<sub>2</sub> concentration (Ci)
- 5- Relative water content

$100 \times [(میزان وزن خشک شاهد) / (وزن خشک شاهد - وزن خشک در تنش کم آبیاری)] =$  درجه تحمل به تنش کم آبیاری (درصد)

میزان آب ذخیره شده: برای محاسبه میزان آب ذخیره شده در شرایط تنش از رابطه زیر بر اساس میزان آب مصرفی گیاه در طول فصل رشد در شرایط تنش کم آبیاری در مقایسه با شاهد استفاده شد (۲۶).

$100 \times [(میزان آب مصرفی شاهد) / (میزان آب مصرفی شاهد - میزان آب مصرفی تنش کم آبیاری)] =$  میزان آب ذخیره شده (درصد)

**تجزیه و تحلیل آماری:** تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

### نتایج و بحث

**صفات ریخت‌شناسی:** نتایج به‌دست آمده نشان داد که اثر تنش کم آبیاری بر ارتفاع گیاه، تعداد برگ، طول دمبرگ، تعداد غنچه گل، قطر گل، تعداد گلبرگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک اندام زیرزمینی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما بر تعداد گل کامل باز شده اثر معنی‌دار نداشت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف تنش کم آبیاری (شکل ۱ الف) نشان داد، بیش‌ترین ارتفاع گیاه مربوط به تیمار بدون تنش و با میانگین ۲۸/۲۱ سانتی‌متر و حداقل آن مربوط به تیمار کم آبیاری شدید با میانگین ۱۸/۴۸ سانتی‌متر بود.

بدین ترتیب محتوای آب نسبی برگ‌ها از طریق رابطه  $RWC (\%) = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100$  محاسبه شد.

برای تعیین میزان نشت یونی<sup>۱</sup> (EC) از برگ‌های توسعه یافته قسمت میانی ساقه نمونه برداری شده و قطعات مربعی با تعداد یکسان تهیه شد. سپس نمونه‌ها در آب مقطر و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه بر روی شیکر قرار گرفتند و هدایت الکتریکی هر نمونه با استفاده از EC متر (مدل 31 GLP ساخت کشور اسپانیا) اندازه‌گیری شد (EC1). سپس لوله‌های آزمایش در دستگاه بن‌ماری در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شدند و پس از سرد شدن لوله‌ها، مجدداً هدایت الکتریکی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (EC2). در نهایت درصد نشت یونی با استفاده از رابطه  $EC (\%) = EC1 / EC2 \times 100$  محاسبه شد (۲۳).

**ارزیابی کارایی مصرف آب و میزان تحمل به تنش کم آبیاری:** محاسبه کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف آزمایش نیز با استفاده از رابطه زیر و بر اساس نسبت میزان کل ماده خشک تولید شده (DW) به آب مصرفی خالص گیاه در طول فصل رشد (WU) بر حسب گرم بر میلی‌لیتر تعیین شد (۲۴).

$$WUE = DW / WU$$

درجه تحمل به تنش آبی گل آلاله بر اساس درصد کاهش وزن خشک گیاه در شرایط تنش کم آبیاری در مقایسه با شاهد (بدون تنش) بر اساس رابطه زیر تعیین شد (۱ و ۲۵).

1- Electrolyte leakage

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تنش کم آبیاری بر صفات ریخت‌شناسی گل آلاله.  
 Table 1. Analysis of variance of the effect of deficit irrigation stress on morphological traits of *Ranunculus asiaticus*.

| میانگین مربعات<br>Mean of square |                    | df | منبع تغییر<br>S.O.V.                       |
|----------------------------------|--------------------|----|--|
| وزن خشک اندام زیرزمینی           | 0.51**             | 3  | تنش کم آبیاری<br>Deficit irrigation stress |
| وزن اندام زیرزمینی               | 52.13**            | 12 | خطا<br>Error                               |
| وزن خشک اندام هوایی              | 0.67**             | -  | ضریب تغییرات (درصد)<br>CV (%)              |
| وزن اندام هوایی                  | 0.67**             | -  | -  |
| وزن تر اندام هوایی               | 48.81**            | -  | -  |
| تعداد گلبرگی                     | 4.89**             | -  | -  |
| قطر گل                           | 93.20**            | -  | -  |
| تعداد گل باز شده                 | 0.23 <sup>ns</sup> | -  | -  |
| تعداد بجه گل                     | 21.06**            | -  | -  |
| طول دمبرگی                       | 61.30**            | -  | -  |
| تعداد برگ                        | 73.20**            | -  | -  |
| ارتفاع گاه                       | 67.07**            | -  | -  |

<sup>ns</sup> و <sup>\*\*</sup> به ترتیب عدم معنی داری و معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد را نشان می دهد

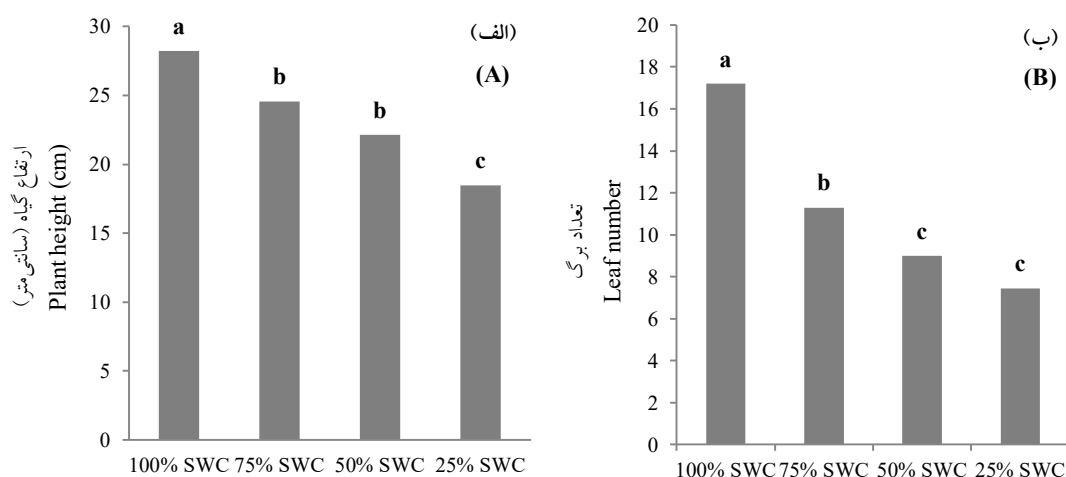
<sup>ns</sup> and <sup>\*\*</sup> non-significant and 1% probability levels, respectively

تنش شدید ۲۵ درصدی و تنش متوسط ۵۰ درصدی ظرفیت گلدان کاهش ۵۶/۶۸ و ۴۷/۶۷ درصدی نشان داد (شکل ۱ ب). نتایج مشابه در گل برگ بیدی (۳۱) و گل آهار (۳۲) گزارش شده است. کاهش تعداد برگ در زمان تنش کم‌آبی می‌تواند عاملی برای پیری زودرس باشد که در رسیدگی زودتر از موعد گیاه و کاهش فتوسنتز نقش مهمی دارد (۳۳). هم‌چنین تنش خشکی از طریق کاهش جذب مواد محلول خاک توسط ریشه و در نتیجه کاهش طول و نمو سلول‌های گیاهی موجب کاهش تعداد برگ و سطح برگ می‌شود (۳۴).

در مطالعه حاضر طول دم‌برگ با افزایش تنش کم‌آبیری کاهش یافت. کم‌ترین طول دم‌برگ در سطح تنش شدید با میانگین ۱۰/۰۹ میلی‌متر و بیش‌ترین طول دم‌برگ در سطح بدون تنش با میانگین ۱۸/۹۲ میلی‌متر مشاهده شد (جدول ۲). دم‌برگ بلندتر بر اندازه برگ تأثیر مثبتی دارد؛ زیرا دم‌برگ‌های بلند به گیاهان اجازه می‌دهند تا هنگام محدود شدن آب، برگ را در برابر نور مستقیم خورشید بچرخانند (۳۵). علاوه بر این، کوچک‌ترین وزش باد که برگ را تکان می‌دهد، موجب کاهش لایه مرزی شده و تغییر دمای برگ می‌شود. تغییر دمای برگ ممکن است عامل مهمی در کنترل وضعیت آب برگ در شرایط تنش خشکی باشد. گونه‌های مقاوم به خشکی با کاهش تلفات آب، کارایی مصرف آب را حفظ می‌کنند (۲۷).

رشد از طریق تقسیم سلول، بزرگ شدن و تمایز سلولی انجام می‌شود که شامل رویدادهای ژنتیکی، فیزیولوژیکی، اکولوژیکی، ریخت‌شناسی و تعاملات پیچیده بین آن‌ها است. کیفیت و کمیت رشد گیاه به این رویدادها بستگی دارد که خود از کمبود آب تأثیر می‌پذیرند. رشد سلولی یکی از فرآیندهای فیزیولوژیکی حساس به خشکی است که زیر تأثیر کاهش فشار تورژسانس سلول قرار می‌گیرد. از دست رفتن فشار تورژسانس در شرایط کمبود آب سبب محدود کردن تقسیم میتوز و کاهش طول سلول می‌شود (۲۷). ارتفاع بوته ارتباط نزدیکی با بزرگ شدن سلول و پیری برگ دارد. کاهش ارتفاع گیاه عمدتاً به دلیل اختلال در تقسیم میتوز، کاهش طول و انبساط سلول، هم‌چنین کاهش سطح برگ در شرایط خشکی است (۲۷ و ۲۸). کاهش ارتفاع گیاه در شرایط تنش کم‌آبیری در سایر گیاهان از جمله چهار گونه *Sedum* نیز گزارش شده است (۲۹). در مطالعه سالومه و همکاران (۲۰۲۰) نیز تنش کم‌آبی ارتفاع بوته بادمجان را کاهش داد که دلیل آن را دلیل اختلال در روند فتوسنتز در دوره کمبود آب دانستند. (۳۰)

بر اساس نتایج، تنش شدید و متوسط کم‌آبیری نسبت به شرایط بدون تنش منجر به کاهش تعداد برگ گیاه آلاله به ترتیب حدود ۱۰ و ۸ برگ در بوته شد؛ به طوری که بیش‌ترین تعداد برگ (۱۷/۲) برگ در بوته در سطح بدون تنش مشاهده شد که نسبت به



شکل ۱- اثر تنش کم‌آبیاری (۱۰۰ درصد، ۷۵ درصد، ۵۰ درصد و ۲۵ درصد ظرفیت گلدان) بر ارتفاع بوته (الف) و تعداد برگ (ب) گل آلاله. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

**Fig. 1.** The effects of deficit irrigation (100% SWC; 75% SWC; 50% SWC; 25% SWC) on plants' height (A) and leaf number (B) of *Ranunculus asiaticus*. Means in each column followed by a similar letter (s) are not significantly different at 5% probability levels based on LSD test.

گلبرگ مربوط به سطح ۲۵ درصد ظرفیت گلدان بود که کاهش ۱۶/۹۸ درصدی نسبت به شرایط بدون تنش داشت (جدول ۲). یکی از مهم‌ترین اثرات تنش خشکی در گیاهان زینتی تأثیر منفی آن بر کیفیت ظاهری گیاهان است که بستگی به گونه گیاه و میزان پاسخ به تنش آبی دارد (۳۶). نتایج نشان می‌دهد که تنش آبی بر تعداد غنچه گل و ساختار آن اثر می‌گذارد به طوری که این شاخص‌ها انعطاف‌پذیری ریخت‌شناسی تطبیقی از خود نشان می‌دهند. گلدهی یکی از حساس‌ترین مراحل به تنش آبی است (۱۴) که با سطح کربوهیدرات در برگ، آوند آبکش و آوند چوبی همبستگی مثبت دارد (۳۷). کاهش گلدهی یک مکانیسم دفاعی است، زیرا گیاهان زیر تنش‌های مختلف، به ویژه خشکی، گلدهی را کاهش می‌دهند تا مواد جذب شده برای بقای خود ذخیره شوند (۳۸). مهار رشد رویشی و کاهش ماده خشک زیر تنش خشکی ممکن است باعث کاهش دسترسی مواد فتوسنتزی به سمت تشکیل ساختارهای زایشی گیاه شده که موجب کاهش آغازش، رشد و توسعه گل،

بر اساس نتایج تعداد غنچه‌های گل روی بوته زیر تأثیر مقدار دسترسی ریشه به آب قرار گرفت، به طوری که با کاهش مقدار آب بستر کشت تعداد غنچه‌های گل کاهش یافت (جدول ۲). در تنش ملایم با تولید ۵/۷ عدد غنچه نسبت به شرایط بهینه دسترسی به آب (۱۰۰ درصد ظرفیت گلدان)، ۳۱/۵۷ درصد کاهش را نشان داد. افزایش شدت تنش به ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت گلدان سبب شد که تعداد غنچه گل به ترتیب ۱۰۰ درصد و ۲۳۳ درصد کاهش یابد و تعداد غنچه گل به کم‌تر از ۳/۷۵ و ۲/۲۵ عدد روی بوته برسد. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۲، بین همه تیمارها از نظر تعداد گل کامل باز شده روی بوته تفاوتی وجود نداشت. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که افزایش سطوح تنش کم‌آبیاری سبب کاهش معنی‌دار قطر گل و تعداد گلبرگ گل آلاله نسبت به سطح بدون تنش می‌شود که بیش‌ترین قطر گل در سطح بدون تنش (۵۲/۰۳ میلی‌متر) و کم‌ترین میزان آن در سطح تنش شدید ۲۵ درصد ظرفیت گلدان (۴۰/۳۰ میلی‌متر) مشاهده شد. هم‌چنین کم‌ترین تعداد

گلدان ثبت شد (جدول ۲). از مهم‌ترین دلایل کاهش وزن خشک گیاه در طول دوره تنش کم‌آبی می‌توان به اثر نامطلوب تنش بر رشد و فیزیولوژی گیاه شامل رشد رویشی، تأثیر بر سیستم فتوسنتزی، کاهش توانایی ریشه در جذب عناصر غذایی و انتقال آن‌ها به اندام هوایی و متابولیسم نیتروژن مرتبط دانست (۲۷). در شرایط تنش خشکی، فشار تورژسانس سلول‌های ساقه در حال رشد طولی کاهش می‌یابد و تولید مواد اصلی حاصل از فتوسنتز نیز کم می‌شود، بنابراین طول میانگره‌های ساقه و ارتفاع بوته کاهش می‌یابد که نتیجه آن کاهش وزن سلول‌ها و وزن تر بوته است (۴۱). همراه با شدت یافتن سطح تنش و کاهش دسترسی ریشه به آب، تغییرات ظاهری زیادی از جمله کاهش اندازه گیاه چه از نظر بخش‌های فتوسنتزکننده و چه از نظر بخش زایشی گیاه آلاله نیز مشاهده شد. بنابراین با کوچک شدن اندازه گیاه در مرحله رویشی کاهش وزن تر و خشک ساختار هوایی و زیرزمینی قابل‌انتظار است. در پژوهش حاضر بیش‌ترین میزان وزن تر و خشک اندام هوایی و زیرزمینی آلاله در سطح بدون تنش مشاهده شد؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد که در گیاهانی که آب کافی دریافت کرده‌اند به‌دلیل رشد بهتر اندام‌های هوایی، تولید ماده خشک به نحو مطلوبی صورت گرفته است. در این راستا ضیغمی‌نژاد و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان دادند که وزن تر و خشک برگ و ریشه نهال لیمو ترش زیر تأثیر تنش خشکی کاهش یافت (۴۲). آن‌ها گزارش کردند که کمبود آب در هر مرحله از رشد گیاه باعث کاهش جذب، انتقال و مصرف مواد مغذی می‌شود، که منجر به کاهش ذخیره کربن و کاهش ماده خشک می‌شود.

قطر گل و تعداد گلبرگ‌ها می‌شود (۱۲). همان‌طور که قبل‌تر در نتایج اشاره شد محدود کردن دسترسی ریشه به آب باعث کاهش ارتفاع گیاه، طول دمبرگ و تعداد برگ شد. این بدین‌معنی است که سطح فتوسنتزکننده آلاله کاهش پیدا کرده که به دنبال آن روی اندازه و تعداد ساختارهای زایشی نیز اثرگذار بوده است. براساس نتایج، ساختار گل و تعداد غنچه‌های گل زیر تأثیر تنش آبی قرار گرفته است. این تغییرات ممکن است با تغییر در بیان ژن‌های مرتبط با نمو گل در ارتباط باشد (۳۹). کاهش صفات زایشی ناشی از تنش کم‌آبی در گل آلاله در تطابق با گزارش سایر پژوهش‌گران است، چنان‌چه تنش کم‌آبی در گل داودی (۳۹) و گل سوسن (۹) نیز سبب کاهش صفات زایشی شد. مشابه با یافته‌های پژوهش حاضر، در گل‌های میخک گلدانی (۱۲)، پامچال (۱۴)، گل حنا (۳۸) و گل جعفری (۴۰) نیز با اعمال تنش خشکی از تعداد گل کاسته شد.

بررسی نتایج نشان داد که همه سطوح تنش کم‌آبیری (به جز شرایط بدون تنش) اثر منفی روی وزن تر و خشک اندام هوایی گل آلاله داشته است. شکل ۲ نمای کلی از کیفیت ظاهر گیاهان را در سطوح مختلف تنش کم‌آبیری نشان می‌دهد. تنش شدید کم‌آبیری موجب کاهش ۵۸/۶۱ و ۵۲/۸۷ درصدی وزن تر و خشک اندام هوایی در مقایسه با شرایط بدون تنش شد. هم‌چنین نتایج آزمایش بیانگر کاهش وزن تر و خشک اندام زیرزمینی به دنبال افزایش میزان تنش کم‌آبیری است؛ به‌طوری‌که بیش‌ترین وزن تر (۱۱/۴۶ گرم) و وزن خشک (۱/۰۳ گرم) اندام زیرزمینی در شرایط بدون تنش به دست آمد و کم‌ترین میزان آن نیز به ترتیب ۳/۵ گرم و ۰/۲۴ گرم در سطح تنش کم‌آبیری شدید ۲۵ درصد ظرفیت



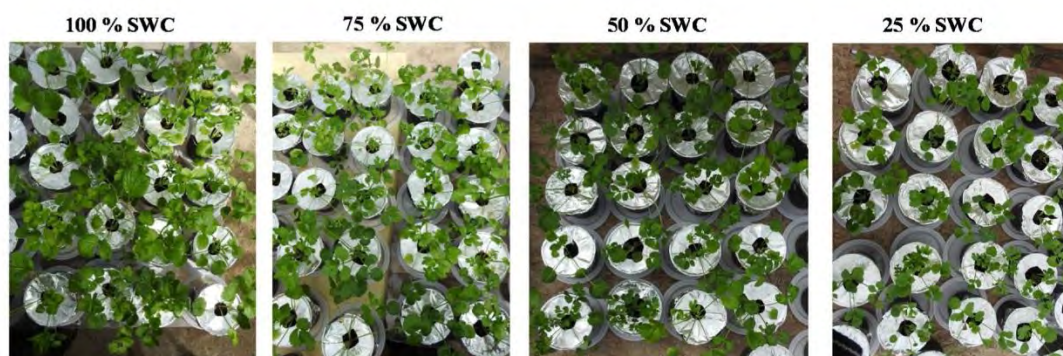
جدول ۲- مقایسه میانگین اثر تنش کم آبیاری بر صفات ریخت‌شناسی گل آلاله.

**Table 2. Mean comparison of the effect of deficit irrigation stress on morphological traits of *Ranunculus asiaticus*.**

| وزن خشک اندام زیرزمینی<br>Underground dry weight (g) | وزن تر اندام زیرزمینی<br>Underground fresh weight (g) | وزن خشک اندام هوایی<br>Aerial dry weight (g) | وزن تر اندام هوایی<br>Aerial fresh weight (g) | تعداد گلبرگ<br>Petals number | قطر گل<br>Flower diameter (mm) | تعداد گل کامل باز شده<br>Number of fully opened flower | تعداد غنچه گل<br>Flower bud number | طول دمبرگ<br>Petiole length (mm) | تنش کم آبیاری<br>DI (%SWC)                    |
|--|---|--|---|------------------------------|--------------------------------|--|------------------------------------|----------------------------------|---|
| 1.03 <sup>a</sup>                                    | 11.46 <sup>a</sup>                                    | 1.74 <sup>a</sup>                            | 13.87 <sup>a</sup>                            | 13.25 <sup>a</sup>           | 52.03 <sup>a</sup>             | 1.50 <sup>a</sup>                                      | 7.50 <sup>a</sup>                  | 18.92 <sup>a</sup>               | بدون تنش (۱۰۰ درصد)<br>Full irrigation (100%) |
| 0.69 <sup>b</sup>                                    | 7.78 <sup>b</sup>                                     | 1.48 <sup>a</sup>                            | 11.15 <sup>b</sup>                            | 13 <sup>ab</sup>             | 47.12 <sup>b</sup>             | 1.50 <sup>a</sup>                                      | 5.70 <sup>b</sup>                  | 16 <sup>b</sup>                  | تنش ملایم (۷۵ درصد)<br>Low DI (75%)           |
| 0.36 <sup>c</sup>                                    | 4.46 <sup>c</sup>                                     | 1.07 <sup>b</sup>                            | 8.5 <sup>c</sup>                              | 11.50 <sup>bc</sup>          | 47.22 <sup>b</sup>             | 1.25 <sup>a</sup>                                      | 3.75 <sup>c</sup>                  | 12.28 <sup>c</sup>               | تنش متوسط (۵۰ درصد)<br>Moderate DI (50%)      |
| 0.24 <sup>c</sup>                                    | 3.5 <sup>c</sup>                                      | 0.82 <sup>b</sup>                            | 5.74 <sup>d</sup>                             | 11 <sup>c</sup>              | 40.30 <sup>c</sup>             | 1.00 <sup>a</sup>                                      | 2.25 <sup>c</sup>                  | 10.09 <sup>d</sup>               | تنش شدید (۲۵ درصد)<br>Severe DI (25%)         |

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

Means each column followed by a similar letter (s) si not significantly different at 5% probability levels based on LSD test



شکل ۲- اثر تنش کم آبیاری (۱۰۰ درصد، ۷۵ درصد، ۵۰ درصد و ۲۵ درصد ظرفیت گلدان) بر کیفیت ظاهری گل آلاله.

**Fig. 2. The effects of deficit irrigation (100% SWC; 75% SWC; 50% SWC; 25% SWC) on visual quality of *Ranunculus asiaticus*.**

تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت، اما تنش در سطح ۵۰ درصد ظرفیت گلدان، میزان تعرق برگ افزایش یافت؛ سپس در سطح ۲۵ درصد ظرفیت گلدان دوباره شروع به کاهش نمود. به طوری که بیش‌ترین شدت تعرق برگ مربوط به تنش متوسط ۵۰ درصد ظرفیت گلدان (۰/۸۸ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) بود که منجر به افزایش ۱۱۰ درصدی تعرق برگ نسبت به

شاخص‌های فتوسنتزی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش کم آبیاری بر دمای برگ، غلظت دی‌اکسیدکربن محیط و غلظت دی‌اکسیدکربن درون‌سلولی در سطح احتمال یک درصد و بر شدت تعرق برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها تنش کم آبیاری در سطح ۷۵ درصد از نظر شدت تعرق

هدرروی آب جلوگیری شود. بنابراین با شروع دوره خشکی تا مدتی گیاه تعرق و هدایت روزنه‌ای خود را در سطح حداکثر نگه می‌دارد؛ ولی با تداوم دوره خشکی اقدام به تنگ نمودن روزنه و در نهایت بستن آن‌ها می‌نماید (۴۳).

وضعیت بدون تنش (۰/۴۲ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) شد (جدول ۴). کاهش تعرق در اثر تنش آبی مکانیسمی برای جلوگیری از اتلاف آب است. در هنگام تنش خشکی، گیاه برای اجتناب از خشکی و نهایت استفاده از مقدار آب محدودی که در اختیار دارد، اقدام به بستن روزنه‌های خود می‌نماید تا از

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تنش کم‌آبیاری بر شاخص‌های فتوسنتزی- فیزیولوژیک و کارایی مصرف آب گل آلاله.

**Table 3. Analysis of variance of the effect of deficit irrigation stress on photosynthesis-physiologic parameters and WUE of *Ranunculus asiaticus*.**

| میانگین مربعات<br>Mean of square       |                                 |  |   |   |                              |                                |                  |  |
|--|---------------------------------|--|---|---|------------------------------|--------------------------------|------------------|--|
| کارایی مصرف آب<br>Water use efficiency | نشت یونی<br>Electrolyte leakage | محتوای نسبی آب برگ<br>Relative water content | میزان دی‌اکسید کربن درون سلولی<br>Intercellular CO <sub>2</sub> concentration | میزان دی‌اکسید کربن محیط<br>Ambient CO <sub>2</sub> concentration | دمای برگ<br>Leaf temperature | شدت تعرق<br>Transpiration rate | درجه آزادی<br>df | منابع تغییر<br>S.O.V.                      |
| 0.000005**                             | 1594.45**                       | 80.17**                                      | 1399.43**   | 1392.14**   | 3.05**                       | 0.18*                          | 3                | تنش کم‌آبیاری<br>Deficit irrigation stress |
| 0.0000007                              | 21.34                           | 5.68   | 39.75   | 27.90   | 0.05                         | 0.03                           | 12               | خطا<br>Error                               |
| 12.29                                  | 7.99                            | 3.82   | 1.38  | 1.16  | 0.70                         | 31.21                          | -                | ضریب تغییرات (درصد)<br>CV (%)              |

\* و \*\* به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

\* and \*\* significant at 5% and 1% probability levels, respectively

مرتبط است (۴۴). معمولاً کمبود آب منجر به بسته شدن روزنه‌ها می‌شود و این امر باعث افزایش دمای برگ در گیاهان می‌شود. دمای بالای برگ برای فعالیت‌های آنزیمی در گیاهان نامطلوب است و هم‌چنین باعث مهار فعالیت فتوسیستم II، غیرفعال شدن روبیسکو و اختلال در غشای سلولی می‌گردد (۳). بنابراین در سطوح شدیدتر تنش آبی در گل آلاله دمای برگ افزایش یافت که می‌تواند به اختلال در فرایندهای فیزیولوژیک گیاه مرتبط باشد.

مقایسه میانگین داده‌های مربوط به دمای برگ نشان داد که کم‌ترین میزان دمای برگ مربوط به سطح بدون تنش بود و با افزایش تنش کم‌آبیاری به دمای برگ افزوده شد، به گونه‌ای که بیش‌ترین دمای برگ مربوط تنش شدید ۲۵ درصد ظرفیت گلدان (۳۱/۹۰) درجه سلیسیوس) بود که افزایش ۷ درصدی نسبت به شرایط بدون تنش داشت (جدول ۴). از دمای برگ می‌توان به عنوان یک صفت فیزیولوژیک برای تعیین وضعیت آب گیاه استفاده کرد. افزایش دمای برگ در شرایط کم‌آبی با کاهش تعرق و هدایت روزنه‌ای

و تقویت تنفس ارتباط داد که منجر به افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن می‌شود (۴۶). غلظت دی‌اکسیدکربن درون سلولی نشان‌دهنده فقدان یا مصرف دی‌اکسیدکربن در چرخه کلوین است و میزان آسیب به عوامل تثبیت‌کننده آن را نشان می‌دهد. در وضعیت تنش خشکی، آسیب وارد شده به عوامل بیوشیمیایی تثبیت دی‌اکسیدکربن سبب می‌شود که آسیمپلاسیون دی‌اکسیدکربن کاهش و در نتیجه دی‌اکسیدکربن درون سلولی افزایش یابد (۴۷). با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۴، به نظر می‌رسد که نزدیک بودن دو عدد مربوط به غلظت دی‌اکسیدکربن محیط و غلظت دی‌اکسیدکربن درون سلولی در شرایط تنش نشان‌دهنده هر دو نوع محدودیت روزه‌ای و غیرروزنه‌ای برای فرایند فتوسنتز باشد. همان‌طور که نتایج حاضر نشان دادند، در گیاه آلاله تغییرات ظاهری و کاهش در اندازه گیاه از تغییرات در شاخص‌های فتوسنتزی تاثیر پذیرفته است. احتمال می‌رود که کاهش دسترسی به دی‌اکسیدکربن، افزایش شدت تعرق و به دنبال آن افزایش دمای برگ سبب اختلال در فرایند فتوسنتز، کاهش مقدار انباشت‌های فتوسنتزی در نهایت کاهش اندازه گیاه می‌شود.

به‌طور مشابه با افزایش شدت تنش کم آبیاری، افزایش معنی‌داری در میزان غلظت دی‌اکسیدکربن محیط ایجاد شد. به طوری که کم‌ترین میزان غلظت دی‌اکسیدکربن محیط مربوط به شرایط بدون تنش (۴۳۵/۲۴ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) و بیش‌ترین میزان آن مربوط به وضعیت تنش شدید ۲۵ درصد ظرفیت گلدان (۴۷۹/۰۵ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) بود که منجر به افزایش ۱۰ درصدی نسبت به سطح بدون تنش شد (جدول ۴). نتایج ارائه شده در جدول ۴ نشان می‌دهد که کم‌ترین و بیش‌ترین مقادیر دی‌اکسیدکربن درون سلولی به ترتیب از سطح بدون تنش و تنش شدید ۲۵ درصد ظرفیت گلدان به میزان ۴۳۴/۷۵ و ۴۷۹/۷۴ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه به دست آمد و باعث افزایش ۱۰ درصدی تنش شدید نسبت به تیمار بدون تنش شد.

افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن محیط در اثر تنش کم آبی را می‌توان به کوچک شدن دهانه روزه‌ها (محدودیت روزه‌ای) و محدودیت‌های غیرروزنه‌ای (شامل فرایندهای انتشار مانند کاهش هدایت مزوفیل و فرایندهای متابولیک مانند محدودیت‌های فتوشیمیایی و آنزیمی) و در نهایت کاهش فتوسنتز (۳، ۲۷ و ۴۵)

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تنش کم آبیاری بر شاخص‌های فتوسنتزی گل آلاله.

Table 4. Mean comparison the effect of deficit irrigation stress on photosynthesis parameters of *Ranunculus asiaticus*.

| میزان دی‌اکسیدکربن درون سلولی<br>Inter-cellular CO <sub>2</sub><br>concentration (μmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> ) | میزان دی‌اکسیدکربن محیط<br>Ambient CO <sub>2</sub> concentration<br>(μmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> ) | دمای برگ<br>Leaf temperature<br>(°C) | شدت تعرق<br>Transpiration rate<br>(μmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> ) | تنش کم آبیاری<br>DI (%SWC)                    |
|---|--|--------------------------------------|--|---|
| 434.75 <sup>c</sup>   | 435.24 <sup>d</sup>  | 29.85 <sup>d</sup>                   | 0.42 <sup>b</sup>  | بدون تنش (۱۰۰ درصد)<br>Full irrigation (100%) |
| 449.8 <sup>b</sup>  | 445.94 <sup>c</sup>  | 30.35 <sup>c</sup>                   | 0.55 <sup>b</sup>  | تنش ملایم (۷۵ درصد)<br>Low DI (75%)           |
| 455.89 <sup>b</sup>   | 454.34 <sup>b</sup>  | 30.85 <sup>b</sup>                   | 0.88 <sup>a</sup>  | تنش متوسط (۵۰ درصد)<br>Moderate DI (50%)      |
| 479.74 <sup>a</sup>   | 479.05 <sup>a</sup>  | 31.90 <sup>a</sup>                   | 0.45 <sup>b</sup>  | تنش شدید (۲۵ درصد)<br>Severe DI (25%)         |

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

Means in each column followed by a similar letter (s) are not significantly different at 5% probability levels based on LSD test

یا در شرایطی که خشکی‌های تصادفی رخ می‌دهد، مهم است (۵۱). به‌طور کلی تنش خشکی باعث کاهش پایداری غشای سلول و در نتیجه افزایش نشت یون‌ها از سلول می‌شود (۴۱). از طرف دیگر افزایش پراکسیداسیون لیپیدها و نشت یونی نشان‌دهنده آسیب اکسیداتیو، کاهش سیالیت غشاء و تغییر هموستازی یون به‌دلیل تجمع سریع گونه‌های فعال اکسیژن است (۵۲). نتایج مطالعه حاضر نشان داد زمانی که گیاهان در معرض تنش شدید کم‌آب‌یاری قرار گرفتند، نشت یونی افزایش معنی‌داری داشت که مطابق با نتایج گائو و همکاران (۲۰۲۰) روی دو گونه آدونیس بود (۵۳).

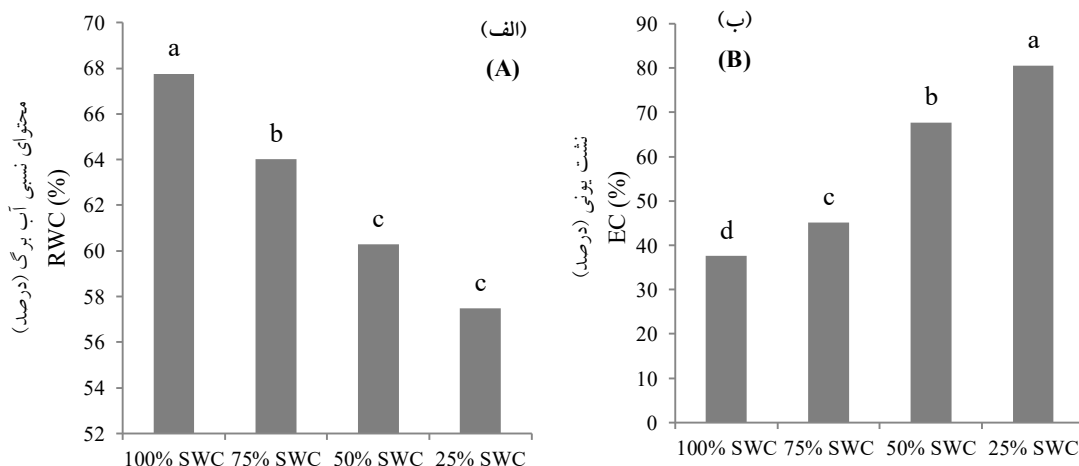
**کارایی مصرف آب:** بر اساس جدول ۳، تنش کم‌آب‌یاری تأثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب گل آلاله در سطح احتمال یک درصد داشت. نتایج نشان داد کارایی مصرف آب گل آلاله با افزایش تنش کم‌آب‌یاری از سطح بدون تنش ( $0/008$  گرم بر میلی‌لیتر) به سطح تنش شدید  $25$  درصد ( $0/005$  گرم بر میلی‌لیتر) و تنش متوسط  $50$  درصد ظرفیت گلدان ( $0/005$  گرم بر میلی‌لیتر)، به میزان  $37/5$  درصد کاهش یافت (شکل ۴). هر عاملی که روی عملکرد و میزان ماده خشک گیاه اثر منفی بگذارد، بر کارایی مصرف آب نیز اثر منفی دارد (۵۴)؛ از این‌رو کاهش میزان آب آبیاری چون بر کاهش میزان زیست توده گیاه آلاله اثر داشته، میزان کارایی را نیز کاهش داده است. در پژوهش حاضر اختلاف معنی‌دار بین سطح بدون تنش و تنش ملایم کم‌آب‌یاری  $75$  درصد ظرفیت گلدان مشاهده نشد؛ در حالی که در تنش شدید کم‌آب‌یاری میزان کارایی مصرف آب کاهش یافت. بنابراین اعمال کم‌آب‌یاری ملایم ممکن است موجب کاهش ناچیزی در عملکرد و کیفیت گل آلاله شود. با این وجود، می‌تواند بهبود کارایی مصرف آب را به‌دنبال داشته باشد. کارایی مصرف آب با افزایش تنش کم‌آب‌یاری کاهش یافت که نشان‌دهنده کاهش بیش‌تر وزن خشک کل گیاه آلاله در مقایسه با آب

صفات فیزیولوژیک: با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، محتوای نسبی آب برگ زیر تأثیر تیمار تنش کم‌آب‌یاری در بین تیمارهای اعمال شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان می‌دهد که محتوای نسبی آب برگ با اعمال تنش کم‌آب‌یاری در طول دوره رشد کاهش یافت، به‌گونه‌ای که تنش کم‌آب‌یاری در سطح تنش متوسط  $50$  درصد و تنش شدید  $25$  درصد ظرفیت گلدان، محتوای نسبی آب برگ را به ترتیب به میزان  $11/06$  و  $15/22$  درصد نسبت به شاهد کاهش داد (شکل ۳ الف). این نتایج مطابق با نتایج امیدیان و همکاران (۲۰۲۲) و سروندی و همکاران (۲۰۲۰) بود (۹ و ۴۸). محتوای نسبی آب برگ یکی از شاخص‌های فیزیولوژیکی پاسخ‌دهنده به تنش خشکی است که نشان‌دهنده میزان آب موجود در اندام‌های گیاهی بوده و قابلیت یک گیاه در حفظ آب در شرایط تنش را مشخص می‌نماید (۴۹). کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی ممکن است به دلیل عدم تعادل آب در گیاه باشد؛ زیرا در شرایط تنش، دسترسی ریشه گیاه به آب محدود شده و شدت تعرق بیش‌تر از جذب و انتقال آب توسط ریشه است که در نهایت آب از دست رفته در اثر تعرق جبران نمی‌شود و محتوای آب برگ کاهش می‌یابد (۵۰).

بر اساس جدول تجزیه واریانس، اثر تنش کم‌آب‌یاری بر نشت یونی در بین تیمارهای اعمال شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری شد (جدول ۳). در شرایط تنش کم‌آب‌یاری، افزایش معنی‌داری در نشت یونی برگ مشاهده شد، به‌طوری‌که گیاهان به‌ترتیب میزان  $67/69$  و  $80/55$  درصد نشت یونی در سطح تنش متوسط  $50$  درصد و تنش شدید  $25$  درصد ظرفیت گلدان نشان دادند. این افزایش‌ها به ترتیب برابر با  $79/88$  و  $114/05$  درصد نسبت به شرایط بدون تنش بود (شکل ۳ ب). یکپارچگی ساختاری غشاهای سلولی برای بقا در دوره‌های خشکی شدید

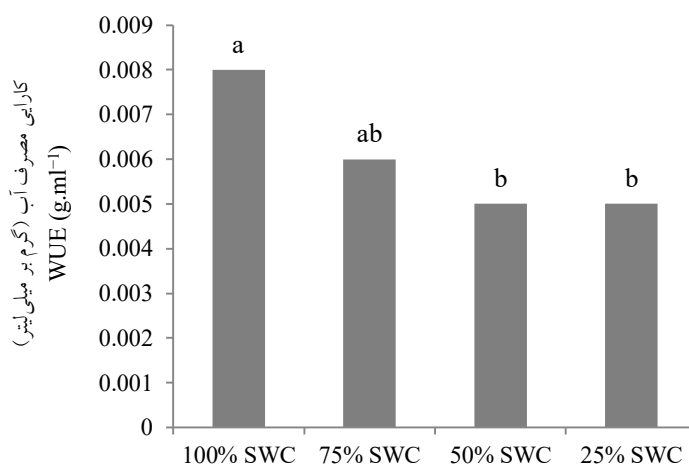
(۲۰۲۱) در همین راستا نشان داد که با افزایش دور آبیاری، میزان کارایی مصرف آب گل همیشه بهار کاهش قابل توجهی داشت و بیش‌ترین میزان کارایی مصرف آب از دور آبیاری سه روز و کم‌ترین میزان کارایی از دور آبیاری ۱۲ روز به‌دست آمد (۵۵).

مصرفی است. از طرفی در شرایط تنش به دلیل کاهش رشد و کاهش سطح فتوسنتزکننده، میزان فعالیت‌های فتوسنتز گیاه کاهش می‌یابد و گیاه از مواد تولیدی مصرف می‌کند؛ در نتیجه وزن خشک و کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد. نتایج گلدانی و همکاران



شکل ۳- اثر تنش کم آبیاری (۱۰۰ درصد، ۷۵ درصد، ۵۰ درصد و ۲۵ درصد ظرفیت گلدان) بر محتوای نسبی آب برگ (الف) و نشت یونی (ب) گل آلاله. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

**Fig. 3.** The effects of deficit irrigation (100% SWC; 75% SWC; 50% SWC; 25% SWC) on relative water content (A) and electrolyte leakage (B) of *Ranunculus asiaticus*. Means in each column followed by a similar letter (s) are not significantly different at 5% probability levels based on LSD test.



شکل ۴- اثر تنش کم آبیاری (۱۰۰ درصد، ۷۵ درصد، ۵۰ درصد و ۲۵ درصد ظرفیت گلدان) بر کارایی مصرف آب گل آلاله. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

**Fig. 4.** The effects of deficit irrigation (100% SWC; 75% SWC; 50% SWC; 25% SWC) on water use efficiency of *Ranunculus asiaticus*. Means in each column followed by a similar letter (s) is not significantly different at 5% probability levels based on LSD test.

درصد)، و برای تیمارهای تنش ملایم (۷۵ درصد)، تنش متوسط (۵۰ درصد) و تنش شدید (۲۵ درصد) به ترتیب معادل ۳۱۷، ۲۴۳ و ۱۸۰ میلی‌لیتر بود. با افزایش شدت تنش کم‌آبیاری، میزان وزن خشک گیاه کاهش و میزان آب ذخیره شده افزایش یافت، به‌گونه‌ای که آبیاری گل آلاله با تنش متوسط ۵۰ درصد ظرفیت گلدان در طول فصل رشد در مقایسه با تیمار بدون تنش موجب ذخیره ۲۶/۸۰ درصدی آب آبیاری شد؛ اما میزان وزن خشک بوته را ۴۸/۳۷ درصد کاهش داد. به‌علاوه تنش ۲۵ درصد ظرفیت گلدان منجر به کاهش شدید وزن خشک کل بوته شده، اما به شدت موجب صرفه‌جویی در مصرف آب شد و میزان ذخیره آب ۴۵/۷۸ درصد بود.

میزان تحمل به تنش کم‌آبیاری و میزان آب ذخیره شده: بررسی درجه تحمل به تنش کم‌آبیاری در گل آلاله بر اساس کاهش وزن خشک نشان داد که با افزایش تنش کم‌آبیاری، میزان تحمل به تنش کاهش پیدا می‌کند؛ به‌طوری‌که گل آلاله در سطح تنش شدید با میزان ۶۱/۷۳ درصد کاهش نسبت به شاهد یک گیاه حساس به تنش کم‌آبیاری محسوب می‌شود. در حالی‌که در سطح تنش متوسط ۵۰ درصد ظرفیت گلدان با میزان ۴۸/۳۷ درصد جز گیاهان نیمه حساس طبقه‌بندی می‌شود (جدول ۵).

نتایج مربوط به میزان آب ذخیره شده گل آلاله نشان داد که مقدار آب مورد نیاز در طی دوره رشد گیاه معادل ۳۳۲ میلی‌لیتر برای سطح بدون تنش (۱۰۰

جدول ۵- درجه تحمل گل آلاله به تنش - آبی در سطوح مختلف تیمار تنش کم‌آبیاری.

Table 5. Degree of water stress tolerance of *Ranunculus asiaticus* at different levels of deficit irrigation.

| درجه تحمل به تنش کم‌آبیاری<br>Degree of tolerance to deficit irrigation stress * | درصد تحمل تنش کم‌آبیاری<br>Percentage of tolerance to deficit irrigation stress (%) | کل وزن خشک بوته (گرم)<br>Total plant dry weight (g) | تنش کم‌آبیاری<br>Deficit irrigation stress (% SWC)       |
|--|---|---|--|
| -  | -   | 2.77  | بدون تنش (۱۰۰ درصد)<br>Full irrigation (100%)            |
| نیمه متحمل<br>moderately tolerant  | 27.64   | 2.17  | تنش ملایم (۷۵ درصد)<br>Low deficit irrigation (75%)      |
| نیمه حساس<br>moderately sensitive  | 48.37   | 1.43  | تنش متوسط (۵۰ درصد)<br>Moderate deficit irrigation (50%) |
| حساس<br>sensitive  | 61.73   | 1.06  | تنش شدید (۲۵ درصد)<br>Severe deficit irrigation (25%)    |

\* خیلی حساس: نشان‌دهنده کاهش وزن خشک بیش‌تر از ۸۰ درصد نسبت به کل وزن خشک بوته؛ حساس: نشان‌دهنده کاهش وزن خشک بین ۶۰ تا ۸۰ درصد نسبت به کل وزن خشک بوته؛ نیمه متحمل: نشان‌دهنده کاهش وزن خشک بین ۴۰ تا ۶۰ درصد نسبت به کل وزن خشک بوته؛ نیمه حساس: نشان‌دهنده کاهش وزن خشک بین ۲۰ تا ۴۰ درصد نسبت به کل وزن خشک بوته؛ متحمل: نشان‌دهنده کاهش وزن خشک کم‌تر از ۲۰ درصد نسبت به کل وزن خشک بوته (۱)

\* Very sensitive, showing more than 80% reduction in total dry weight; sensitive, showing between 60 and 80% reduction in total plant dry weight; moderately sensitive, between 40 and 60% reduction in total plant dry weight; moderately tolerant, showing between 20 and 40% reduction in total plant dry weight; tolerant, showing less than 20% reduction in total plant dry weight (1)

سطح تنش ملایم، یک گیاه نیمه متحمل می‌باشد و تنش ملایم تأثیر ناچیزی روی خصوصیات ظاهری گل آلاله داشته است. بنابراین توصیه می‌شود برای صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش کارایی آن و نیز رشد بهینه گل آلاله بدون ایجاد کاهش قابل‌توجه در ارزش زینتی آن از تنش ملایم ۷۵ درصد ظرفیت گلدان استفاده شود.

### نتیجه‌گیری کلی

درک واکنش‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی گیاهان نسبت به مدیریت مصرف آب برای بهینه‌سازی تولید با کیفیت بالا و بدون به خطر انداختن ارزش اقتصادی محصول، ضروری است. نتایج این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبیاری (در سطوح متوسط و شدید) موجب کاهش صفات رویشی و زایشی گل آلاله شد. کارایی مصرف آب گل آلاله با افزایش تنش کم‌آبیاری کاهش یافت و مشخص شد که این گیاه در

### منابع

1. Sánchez-Blanco, M.J., Ortuño, M.F., Bañón, S. and Álvarez, S. 2019. Deficit irrigation as a strategy to control growth in ornamental plants and enhance their ability to adapt to drought conditions. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 94: 137-150.
2. Cheng, M., Wang, H., Fan, J., Zhang, S., Liao, Z., Zhang, F. and Wang, Y. 2021. A global meta-analysis of yield and water use efficiency of crops, vegetables and fruits under full, deficit and alternate partial root-zone irrigation. *Agric. Water Manage.* 248: 106771.
3. Parkash, V., Singh, S., Deb, S.K., Ritchie, G.L. and Wallace, R.W. 2021. Effect of deficit irrigation on physiology, plant growth, and fruit yield of cucumber cultivars. *Plant Stress.* 1: 100004.
4. Giordano, M., Petropoulos, S.A., Cirillo, C. and Roupael, Y. 2021. Biochemical, physiological, and molecular aspects of ornamental plants adaptation to deficit irrigation. *Hort.* 7: 107.
5. Nordstedt, N.P. and Jones, M.L. 2020. Isolation of rhizosphere bacteria that improve quality and water stress tolerance in greenhouse ornamentals. *Front. Plant Sci.* 11: 826.
6. Cameron, R.W.F., Harrison-Murray, R.S., Atkinson, C.J. and Judd, H.L. 2006. Regulated deficit irrigation—a means to control growth in woody ornamentals. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 81: 435-443.
7. Álvarez, S., Gómez-Bellot, M.J., Acosta-Motos, J.R. and Sánchez-Blanco, M.J. 2019. Application of deficit irrigation in *Phillyrea angustifolia* for landscaping purposes. *Agric. Water Manage.* 218: 193-202.
8. Cirillo, C., Roupael, Y., Caputo, R., Raimondi, G. and De Pascale, S. 2014. The influence of deficit irrigation on growth, ornamental quality, and water use efficiency of three potted *Bougainvillea* genotypes grown in two shapes. *Hort. Sci.* 49: 1284-1291.
9. Omidian, M., Roein, Z. and Shiri, M.A. 2022. Effect of foliar application of 24-epibrassinolide on water use efficiency and morpho-physiological characteristics of *Lilium* LA hybrid under deficit irrigation. *J. Plant Growth Regul.* 41: 1547-1560.
10. Zarrinabadi, I.G., Razmjoo, J., Mashhadi, A.A. and Boroomand, A. 2019. Physiological response and productivity of pot marigold (*Calendula officinalis*) genotypes under water deficit. *Ind. Crops Prod.* 139: 111488.
11. Álvarez, S. and Sánchez-Blanco, M.J. 2013. Changes in growth rate, root morphology and water use efficiency of potted *Callistemon citrinus* plants in response to different levels of water deficit. *Sci. Hort.* 156: 54-62.
12. Álvarez, S., Navarro, A., Bañón, S. and Sánchez-Blanco, M.J. 2009. Regulated deficit irrigation in potted *Dianthus* plants: Effects of severe and moderate water stress on growth and physiological responses. *Sci. Hort.* 122: 579-585.

13. Sadak, M.S. and Ramadan, A.A.E.M. 2021. Impact of melatonin and tryptophan on water stress tolerance in white lupine (*Lupinus termis* L.). *Physiol. Mol. Biol. Plant.* 27: 469-481.
14. Caser, M., Lovisolo, C. and Scariot, V. 2017. The influence of water stress on growth, ecophysiology and ornamental quality of potted *Primula vulgaris* 'Heidy' plants. New insights to increase water use efficiency in plant production. *Plant Growth Regul.* 83: 3. 361-373.
15. Vijayakumar, S., Laxman, R.H., Nair, S.A. and Nair, A.K. 2020. Effect of Different Moisture Regimes on the Yield, Quality and Water Use Efficiency of *Chrysanthemum* var. Marigold. *Int. J. Curr. Microbial.* 9: 3138-3151.
16. Carillo, P., Arena, C., Modarelli, G.C., De Pascale, S. and Paradiso, R. 2019. Photosynthesis in *Ranunculus asiaticus* L.: the influence of the hybrid and the preparation procedure of tuberous roots. *Front. Plant Sci.* 10: 241.
17. Jabbar, M.A.A. and Hussein, J.K. 2020. Effect of bio-fertilizers and humic acid on the growth of ranunculus (*Ranunculus asiaticus*) plant. *Plant Arch.* 20: 2201-2207.
18. Beruto, M., Rabaglio, M., Viglione, S., Van Labeke, M.C. and Dhooghe, E. 2018. *Ranunculus*. In: Van Huylenbroeck, J. (eds) *Ornamental Crops. Handbook of Plant Breeding*, Springer, Cham. 11: 649-671.
19. Biabi, H., Mehdizadeh, S.A. and Salmi, M.S. 2019. Design and implementation of a smart system for water management of *Lilium* flower using image processing. *Comput. Elec. Agric.* 160: 131-143.
20. Ogbaga, C.C., Stepien, P. and Johnson, G.N. 2014. Sorghum (*Sorghum bicolor*) varieties adopt strongly contrasting strategies in response to drought. *Physiol. Plant.* 152: 2. 389-401.
21. Talaat, N.B., Shawky, B.T. and Ibrahim, A.S. 2015. Alleviation of drought-induced oxidative stress in maize (*Zea mays* L.) plants by dual application of 24-epibrassinolide and spermine. *Environ. Exp. Bot.* 113: 47-58.
22. Ritchie, S.W. and Nguyen, H.T. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Sci.* 30: 105-111.
23. Lutts, S., Kinet, J.M. and Bouharmont, J. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *J. Ann. Bot.* 78: 389-398.
24. Kalamartzis, I., Dordas, C., Georgiou, P. and Menexes, G. 2020. The use of appropriate cultivar of basil (*Ocimum basilicum*) can increase water use efficiency under water stress. *Agron.* 10: 1. 70.
25. Chikha, M.B., Hessini, K., Ourteni, R.N., Ghorbel, A. and Zoghlami, N. 2016. Identification of barley landrace genotypes with contrasting salinity tolerance at vegetative growth stage. *Plant Biotechnol.* 33: 287-295.
26. Ismail, S.M. 2010. Influence of deficit irrigation on water use efficiency and bird pepper production (*Capsicum annum* L.). *Met. Env. Arid Land Agric. Sci.* 21: 29-43.
27. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N.S.M.A., Fujita, D.B.S.M.A. and Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev.* 29: 185-212.
28. Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z. and Chen, S. 2021. Response mechanism of plants to drought stress. *Hort.* 7: 50.
29. Koźmińska, A., Al Hassan, M., Wiszniewska, A., Hanus-Fajerska, E., Boscaiu, M. and Vicente, O. 2019. Responses of succulents to drought: comparative analysis of four *Sedum* (Crassulaceae) species. *Sci. Hort.* 243: 235-242.
30. Sallume, M.O., Abood, M.A., Hamdi, G.J. and Sarheed, B.R. 2020. Influence of foliar fertilization of amino decanate® on growth and yield of eggplant (*Solanum melongena*) under water stress conditions. *Res. Crops.* 21: 557-562.



31. Haroon, M., Hai-yan, Y., Hailan, C. and Xiang-ju, L. 2019. Growth and seed production response of *Commelina Communis* L. to water stress. *Gesunde Pflanzen*. 71: 4. 281-288.
32. El-Nashar, Y. and Hassan, B.A. 2020. Effect of saline irrigation water levels on the growth of two *Zinnia elegans* L. cultivars. *Sci. J. Flowers Ornam. Plants*. 7: 425-445.
33. Ahmadvpour, R. and Bahrami, T. 2016. Influence foliar application of compost tea under water deficit stress of lentil plant by assessment of morphological parameters. *Iran. J. Plant Physiol. Biochem*. 1: 40-51. (In Persian)
34. Hafez, Y., Attia, K., Alamery, S., Ghazy, A., Al-Doss, A., Ibrahim, E., L., Awad, A. and Abdelaal, K. 2020. Beneficial effects of biochar and chitosan on antioxidative capacity, osmolytes accumulation, and anatomical characters of water-stressed barley plants. *Agron*. 10: 5. 630.
35. Owart, B.R., Corbi, J., Burke, J.M. and Dechaine, J.M. 2014. Selection on crop-derived traits and QTL in sunflower (*Helianthus annuus*) crop-wild hybrids under water stress. *PLoS One*. 9: 7. 102717.
36. Rafi, Z.N., Kazemi, F. and Tehranifar, A. 2019. Effects of various irrigation regimes on water use efficiency and visual quality of some ornamental herbaceous plants in the field. *Agric. Water Manag*. 212: 78-87.
37. Pingping, W.U., Chubin, W.U. and Biyan, Z.H.O.U. 2017. Drought stress induces flowering and enhances carbohydrate accumulation in *Averrhoa Carambola*. *Hort. Plant J*. 3: 60-66.
38. Antonić, D.D., Subotić, A.R., Dragičević, M.B., Pantelić, D., Milošević, S.M., simonović, A.D. and Momčilović, I. 2020. Effects of Exogenous Salicylic Acid on Drought Response and Characterization of Dehydrins in *Impatiens walleriana*. *Plants*. 9: 11. 1589.
39. Sahithi, B.M., Razi, K., Al Murad, M., Vinothkumar, A., Jagadeesan, S., Benjamin, L.K., Jeong, B.R. and Muneer, S. 2021. Comparative physiological and proteomic analysis deciphering tolerance and homeostatic signaling pathways in chrysanthemum under drought stress. *Physiol. Plant*. 172: 289-303.
40. Umar, S., Sharma, M.P., Khan, W. and Ahmad, S. 2017. Variation in ornamental traits, physiological responses of *Tagetes erecta* L. and *T. patula* L. in relation to antioxidant and metabolic profile under deficit irrigation strategies. *Sci. Hort*. 214: 200-208.
41. Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K. and Tran, L.S.P. 2014. Response of plants to water stress. *Front. Plant Sci*. 5: 86.
42. Zeighami Nejad, K., Ghasemi, M., Shamili, M. and Damizadeh, G.R. 2020. Effect of mycorrhiza and vermicompost on drought tolerance of lime seedlings (*Citrus aurantifolia* cv. Mexican Lime). *Int. J. Fruit Sci*. 20: 646-657.
43. Nahar, S., Sahoo, L. and Tanti, B. 2018. Screening of drought tolerant rice through morpho-physiological and biochemical approaches. *Biocatal. Agric. Biotechnol*. 15: 150-159.
44. Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H. and Ismaili, A. 2018. Evaluation of photosynthesis, physiological, and biochemical responses of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Pirouz) under water deficit stress and use of vermicompost fertilizer. *J. Integr. Agric*. 17: 11. 2426-2437.
45. Ghassemi, S., Farhangi-Abriz, S., Faegi-Analou, R., Ghorbanpour, M. and Lajayer, B.A. 2018. Monitoring cell energy, physiological functions and grain yield in field-grown mung bean exposed to exogenously applied polyamines under drought stress. *Soil Sci. Plant Nutr*. 18: 4. 1108-1125.
46. Wang, Z., Li, G., Sun, H., Ma, L., Guo, Y., Zhao, Z., Gao, H. and Mei, L. 2018. Effects of drought stress on photosynthesis and photosynthetic electron transport chain in young apple tree leaves. *Biol Open*. 7: 11. bio035279.
47. Zhang, Y., Chen, Q. and Tang, H. 2018. Variation on photosynthetic performance in kiwifruit seedling during drought stress and rewatering. In 2018 International Workshop on Bioinformatics, Biochemistry, Biomedical Sciences. Atlantis Press. pp. 56-59.

48. Sarvandi, S., Ehtesham Nia, A., Rezaei Nejad, A. and Azimi, M.H. 2020. Morpho-Physiological Responses of Some Iris Cultivars under Drought and Salinity Stresses. *J. Agric. Sci. Technol.* 22: 535-546.
49. Kiani, R., Nazeri, V., Shokrpour, M. and Hano, C. 2020. Morphological, physiological, and biochemical impacts of different levels of long-term water deficit stress on *Linum album* Ky. ex Boiss. accessions. *Agron.* 10: 12. 1966.
50. Zahedyan, A., Jahromi, A.A., Zakerin, A., Abdossi, V. and Torkashvand, A.M. 2021. Nitroxin bio-fertilizer improves growth parameters, physiological and biochemical attributes of cantaloupe (*Cucumis melo* L.) under water stress conditions. *J. Saudi Soc. Agric.* 21: 1. 8-20.
51. Oraee, A. and Tehranifar, A. 2020. Evaluating the potential drought tolerance of pansy through its physiological and biochemical responses to drought and recovery periods. *Sci. Hort.* 265: 109225.
52. Cheronno, S., Ntini, C., Wassie, M., Mollah, M.D., Belal, M.A., Ogutu, C. and Han, Y. 2020. Exogenous application of melatonin improves drought tolerance in coffee by regulating photosynthetic efficiency and oxidative damage. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 1: 1-9.
53. Gao, S., Wang, Y., Yu, S., Huang, Y., Liu, H., Chen, W. and He, X. 2020. Effects of drought stress on growth, physiology and secondary metabolites of Two Adonis species in Northeast China. *Sci. Hort.* 259: 108795.
54. Sajadi, F., hezarjaribi, A. and Jamali, S. 2020. The effects of different irrigation regimes on yield and yield components Of Sweet pepper (*Capsicum annum*) under greenhouse conditions. *Irrig. Water Eng.* 11: 321-333. (In Persian)
55. Goldani, M., Dolatkhahi, A., Parsa, M., Vahdati, N. and Rasouli, Z. 2021. Investigation of improving the drought tolerance in Persian petunia (*Petunia* sp.) by exogenous application of salicylic acid and gibberellic acid. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus.* 20: 37-48.

## Modeling the yield of rainfed chickpea in dormant seeding using general circulation models in west and north western of Iran

Seyed Reza Amiri<sup>\*1</sup>, Hamed Eyni-Nargeseh<sup>2</sup>

1. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Plant Production, Faculty of Agriculture, Higher Education Complex of Saravan, Iran. E-mail: [r.amiri@saravan.ac.ir](mailto:r.amiri@saravan.ac.ir), [amiriseyedreza86@gmail.com](mailto:amiriseyedreza86@gmail.com)
2. Department of Agricultural Science, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran. E-mail: [hamed.eyni68@gmail.com](mailto:hamed.eyni68@gmail.com)

### Article Info

**Article type:**  
Full Length Research Paper

**Article history:**  
Received: 07.06.2022  
Revised: 09.11.2022  
Accepted: 10.02.2022

**Keywords:**  
Cumulative rainfall,  
Seed yield,  
Sowing date,  
Temperature during  
growing season

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** According to global warming and climate change, investigating and assessing the efficiency of adaptation strategies are necessary for achieving agricultural sustainable development under future climate conditions. Change in sowing date and dormant seeding for crops can be considered as a suitable strategy to adapt with changing climate conditions. Under dormant seeding management (DSM), the seeds remain ungerminated in the soil, and germinate and emerge with the onset of warming to exploit late-winter rainfalls, and consequently decrease frost risk stress at seedling stage and increase water use efficiency. The main objective of the current study was to investigate the effect of sowing dates especially dormant seeding on the yield of rainfed chickpea in Kermanshah (West) and Tabriz (Northwest) climatic conditions.

**Materials and Methods:** In the current study, three general circulation models (MPI-ESM-LR, MPI-ESM-MR and NorESM1) were used under two emission scenarios (RCP4.5 and RCP8.5) for 2039–2069 in Kermanshah and Tabriz regions. GCM outputs were downscale by AgMIP methodology. The SSM-Chickpea model was employed to simulate the growth and development of chickpea. Five sowing dates including 21 December (DSM), 6 March, 21 March, 4 April and 21 April were considered as an adaptation strategy to possible impacts of climate change. The studied traits included leaf area index, number of days to maturity, mean temperature over the growing season, cumulative rainfall, evapotranspiration, biological yield, and grain yield.

**Results:** The results of model validation showed that the model was able to predict the grain yield properly ( $R^2=0.92$  and  $RMSE=14\%$ ). Overall, averaged grain yield at all sowing dates in Tabriz was 131% more than Kermanshah in the baseline. High grain yield in Tabriz compared with Kermanshah can be attributed to more leaf area index and length of growing season. At the baseline and both locations, the average grain yield in dormant seeding sowing date was 13.51, 22.30, 31.94 and 46.86% higher than in comparison to 6 March, 21 March, 4 April and 21 April sowing dates, respectively. On average (GCMs, emission scenarios and locations), dormant seeding had the highest grain yield (24.93%) than other sowing dates in future climate change conditions compared to baseline. The reasons of superiority of dormant seeding of chickpea compared to other sowing dates was due to coinciding of crop growth period with rainfall, reduction in negative effects of high temperatures on grain yield especially during grain filling, increasing transpiration efficiency due to

---

lower temperatures over the growing season and escaping terminal drought stress at end of growing season. Averaged grain yield (locations, sowing dates and GCMs) under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios increased by 8.97 and 14.12% compared to baseline. Increasing grain yield was due to the positive effects of boosting the carbon dioxide concentration on the photosynthesis rate of chickpea as a C<sub>3</sub> plant under changing climate.

**Conclusion:** The results indicated that the air temperature will increase under climate change, and adaptation strategies needs to be investigated to mitigate the negative effects of climate change. Under future climate change conditions, dormant seeding had the highest grain yield across all GCMs, scenarios and locations, so that in Kermanshah and Tabriz, dormant seeding compared to other sowing dates showed the highest grain yield (+43.93% and +14.86%, respectively). Therefore, it is recommended that in the baseline and future climate change, rainfed chickpea can be planted as dormant seeding, so that the highest grain yield is obtained using winter rainfall and other optimal environmental factors during the growing season.

---

Cite this article: Amiri, Seyed Reza, Eyni-Nargeseh, Hamed. 2023. Modeling the yield of rainfed chickpea in dormant seeding using general circulation models in west and north western of Iran. *Journal of Plant Production*, 30 (1), 187-208.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2022.20360.2948

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## مدل‌سازی عملکرد نخود دیم در کشت انتظاری با استفاده از مدل‌های گردش عمومی در غرب و شمال غرب ایران

سید رضا امیری\*<sup>۱</sup>، حامد عینی نرگسه<sup>۲</sup>

۱. نویسنده مسئول، دانشیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، مجتمع آموزش عالی سراوان، ایران. رایانامه: [r.amiri@saravan.ac.ir](mailto:r.amiri@saravan.ac.ir)  
۲. گروه علوم کشاورزی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران. رایانامه: [hamed.eyni68@gmail.com](mailto:hamed.eyni68@gmail.com)  
[amiriseyedreza86@gmail.com](mailto:amiriseyedreza86@gmail.com)

| اطلاعات مقاله   | چکیده  |
|---|--|
| نوع مقاله:<br>مقاله کامل علمی- پژوهشی   | سابقه و هدف: با توجه به گرمایش جهانی و تغییر اقلیم، بررسی و ارزیابی کارایی راهکارهای سازگاری در شرایط اقلیمی آینده برای توسعه پایدار ضروری است. تغییر تاریخ کشت و کشت انتظاری گیاهان می‌تواند راه‌حلی مناسب برای سازگاری با شرایط تغییر اقلیم باشد. در کشت انتظاری بذرها به‌صورت جوانه زده در خاک باقی می‌مانند و همراه با گرم شدن هوا با بهره‌گیری از بارندگی‌های زمستان جوانه زده و سبز می‌شوند و در نتیجه خطر سرمازدگی گیاهچه‌ها کاهش یافته و از آب خاک به‌طور کارآمدی استفاده می‌شود. هدف از مطالعه حاضر بررسی تأثیر تاریخ‌های کشت، به ویژه کشت انتظاری بر عملکرد نخود دیم در شرایط آب و هوایی کرمانشاه (غرب) و تبریز (شمال‌غرب) بود.  |
| تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۵<br>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۰<br>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۰   |  |
| واژه‌های کلیدی:<br>بارش تجمعی،<br>تاریخ کاشت،<br>دمای طول فصل رشد،<br>عملکرد دانه | مواد و روش‌ها: در پژوهش حاضر سه مدل گردش عمومی (MPI-ESM-MR، MPI-ESM-LR و NorESM1-M) تحت دو سناریوهای انتشار (RCP4.5 و RCP8.5) برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۶۹ در دو ایستگاه کرمانشاه و تبریز استفاده شد. این مدل‌ها به عنوان مدل‌های گردش عمومی برتر معرفی شده‌اند اما هر کدام در پیش‌بینی یک متغیر نسبت به دیگری برتری داشتند به همین دلیل در پژوهش حاضر که مستقیماً با یک محصول کشاورزی مهم سر و کار دارد، از هر سه مدل استفاده شد تا اختلاف بین مدل‌ها بر عملکرد دانه نخود نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی با استفاده از روش ارائه شده توسط AgMIP انجام شد. رشد و نمو نخود با استفاده از مدل SSM-Chickpea شبیه‌سازی شد. پنج تاریخ کشت شامل ۲۰ آذر به عنوان کشت انتظاری، ۱۵ اسفند، ۳۰ اسفند، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت به عنوان راهکار سازگاری به اثرات احتمالی تغییر اقلیم در نظر گرفته شد. صفات مورد بررسی شامل شاخص سطح برگ، تعداد روز تا رسیدگی، میانگین دما در طول فصل رشد، بارش تجمعی، تبخیر-تعرق، ماده خشک و عملکرد دانه بودند. |

**یافته‌ها:** نتایج اعتبارسنجی مدل برای عملکرد دانه نشان داد که مدل قادر به پیش‌بینی مناسب عملکرد دانه بود (ضریب تبیین و ریشه میانگین مربعات خطا به ترتیب برابر با ۰/۹۲ و ۱۴ درصد). به طور کلی میانگین عملکرد دانه نخود در دوره پایه در تمامی تاریخ‌های کشت در تبریز ۱۳۱ درصد بیش‌تر از کرمانشاه بود. دلایل عملکرد بیش‌تر در تبریز برتری شاخص سطح برگ و طول فصل رشد بود. میانگین عملکرد دانه هر دو منطقه در دوره پایه در کشت انتظاری نسبت به تاریخ‌های کشت ۱۵ اسفند، ۳۰ اسفند، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت به ترتیب ۱۳/۵۱، ۲۲/۳۰، ۳۱/۹۴ و ۴۶/۸۶ درصد افزایش یافت. به‌طور میانگین (مدل‌های گردش عمومی، سناریوهای انتشار و مناطق) در شرایط تغییر اقلیم آینده در مقایسه با دوره پایه، کشت انتظاری بیش‌ترین افزایش (۲۴/۹۳ درصد) عملکرد را نسبت به سایر تاریخ‌های کشت داشت. تطبیق بهتر دوره رشدی گیاه با فصل رشد، کاهش اثرات منفی دماهای بالا بر عملکرد دانه به‌خصوص در طول پرشدن دانه و هم‌چنین افزایش کارایی تعرق به دلیل دماهای پایین‌تر در طی مراحل رشد و فرار از تنش خشکی انتهای فصل دلایل برتری کشت انتظاری نخود دیم نسبت به سایر تاریخ‌های کشت بود. میانگین عملکرد دانه تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۸/۹۷ و ۱۴/۱۲ درصد نسبت به دوره پایه افزایش یافت. افزایش عملکرد تحت شرایط تغییر اقلیم به دلیل اثرات مثبت افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر فتوسنتز نخود به عنوان یک گیاه C<sub>3</sub> بود.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد که دمای هوا در شرایط تغییر اقلیم افزایش خواهد یافت و برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم لازم است راهکارهای سازگاری به این شرایط بررسی شوند. در شرایط تغییر اقلیم آینده کشت انتظاری در بین تمامی مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای انتشار در مناطق مورد مطالعه، بیش‌ترین عملکرد دانه را داشت، به‌طوری‌که در کرمانشاه و تبریز بیش‌ترین افزایش عملکرد دانه را در مقایسه با سایر تاریخ‌های کشت نسبت به دوره پایه به خود اختصاص داد (۴۳/۹۳+ و ۱۴/۸۶+ درصد). بنابراین به کشاورزان توصیه می‌شود در شرایط فعلی و تغییر اقلیم آینده، نخود دیم به‌صورت انتظاری کشت شود تا با بهره‌گیری از بارش‌های زمستانه و سایر عوامل بهینه محیطی طی فصل رشد، بیش‌ترین عملکرد دانه را به‌دست آورند.

استناد: امیری، سید رضا، عینی نرگسه، حامد (۱۴۰۲). مدل‌سازی عملکرد نخود دیم در کشت انتظاری با استفاده از مدل‌های گردش عمومی در غرب و شمال غرب ایران. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۰ (۱)، ۲۰۸-۱۸۷.

DOI: 10.22069/JOPP.2022.20360.2948



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

در طی سال‌های اخیر گرمایش جهانی و موضوع تغییر اقلیم بخش کشاورزی را تحت‌تأثیر قرار داده، به‌طوری‌که هر ساله پژوهش‌های مختلفی در زمینه گیاهان زراعی مختلف در سراسر کشور (۱، ۲ و ۳) و نقاط مختلف دنیا (۴ و ۵) به انجام می‌رسد. یکی از راه‌های کم‌هزینه برای اندازه‌گیری اثرات تغییر اقلیم بر محصولات کشاورزی، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی است (۶). با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی، رشد، نمو و عملکرد گیاهان زراعی قابل پیش‌بینی بوده و می‌توان از طریق راهکارهای مناسب، تأثیرات منفی تغییر اقلیم بر کشاورزی را کاهش داد (۷). راهکارهای سازگاری به تغییرات اقلیمی و ارزیابی آن‌ها در شرایط اقلیمی آینده برای توسعه پایدار امری ضروری است (۸). تاریخ کشت به عنوان یک راهکار ساده و کم‌هزینه در مطالعات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است (۹ و ۱۰) که می‌تواند راه‌حلی برای سازگاری با شرایط تغییر اقلیم آینده باشد. در شرایط تغییر اقلیم آینده، ارقام با دوره‌های رسیدگی مختلف نیازمند بررسی در تاریخ‌های کشت زودتر و دیرتر در مقایسه با شرایط حاضر هستند تا مشخص شود از نظر عملکرد دانه چه پاسخی خواهند داشت (۱۰). سینگ و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که تحت شرایط تغییر اقلیم (دوره ۲۰۵۰) عملکرد نخود در مناطق سرد ۱۷ تا ۲۵ درصد افزایش خواهد یافت، در حالی‌که در مناطق گرم ۷ تا ۱۶ درصد کاهش عملکرد در پی خواهد داشت (۱۱). نتایج یک پژوهش دیگر در اتیوپی نشان داد که عملکرد نخود در شرایط حال و آینده در کشت زود هنگام افزایش می‌یابد (۱۲). در پژوهشی که توسط عینی نرگسه و همکاران (۲۰۱۷) انجام شد، پنج تاریخ کشت ۱۶ و ۳۱ فروردین، ۱۵ و ۳۰ اردیبهشت و ۱۵ خرداد به‌عنوان راهکار سازگاری به شرایط تغییر اقلیم در کشت ذرت دانه‌ای در استان کرمانشاه مورد بررسی

قرار گرفت. نتایج این آزمایش نشان داد که با توجه به بارش تجمعی بیش‌تر در طول فصل رشد (۵۴/۲۷ میلی‌متر) در کشت‌های زود هنگام (۱۶ و ۳۱ فروردین) و هم‌چنین افت عملکرد کم‌تر در مقایسه با دیگر تاریخ‌های کشت، می‌توان از کشت زود هنگام به عنوان راهکار سازگاری برای استفاده از بارش‌های فصلی و دستیابی به عملکرد قابل قبول استفاده کرد (۱۳).

نخود (*Cicer arietinum* L.) یکی از مهم‌ترین حبوباتی است که با توجه به سازگاری بیش‌تر با شرایط اقلیمی ایران در مقایسه با سایر حبوبات می‌تواند بخشی از نیازهای پروتئینی کشور را تأمین کند و بنابراین باید بیش‌تر مورد توجه کشاورزان و مسئولان کشور قرار گیرد (۱۴). حبوبات (۶/۶۹ درصد) بعد از غلات (۷۱/۷۵ درصد) و گیاهان علوفه‌ای (۸/۹۲ درصد) بیش‌ترین سطح زیر کشت گیاهان زراعی را در ایران به خود اختصاص می‌دهند. طبق آخرین گزارش وزارت جهاد کشاورزی، نخود با سطحی معادل ۵۳۰ هزار هکتار بیش‌ترین سطح زیر کشت را در بین حبوبات دارا می‌باشد (۷۹ درصد) و سالانه تولیدی معادل ۳۴۸/۶۲۸ تن (۷۵ درصد از کل تولید حبوبات) در کل کشور دارد. شایان ذکر است که حدود ۹۸ درصد سطح زیر کشت نخود در کشور به‌صورت دیم بوده و تنها دو درصد به‌صورت آبی کشت می‌شود (۱۵).

کشاورزان در ایران معمولاً نخود را در اواخر زمستان تا اوایل بهار کشت می‌کنند. تحت این شرایط محصول زراعی از بارش‌های فصل زمستان استفاده مناسبی نداشته و در نتیجه کارایی مصرف آب کم بوده و مرحله زایشی گیاه با تنش گرما و خشکی مواجه می‌شود (۱۶). در نواحی سردسیر برخی از کشاورزان نخود را در اواخر پاییز و به صورت انتظاری<sup>۱</sup> کشت می‌کنند. در شرایط کشت انتظاری، بذرها به‌صورت جوانه نزده و خفته در خاک باقی می‌مانند تا زمانی که

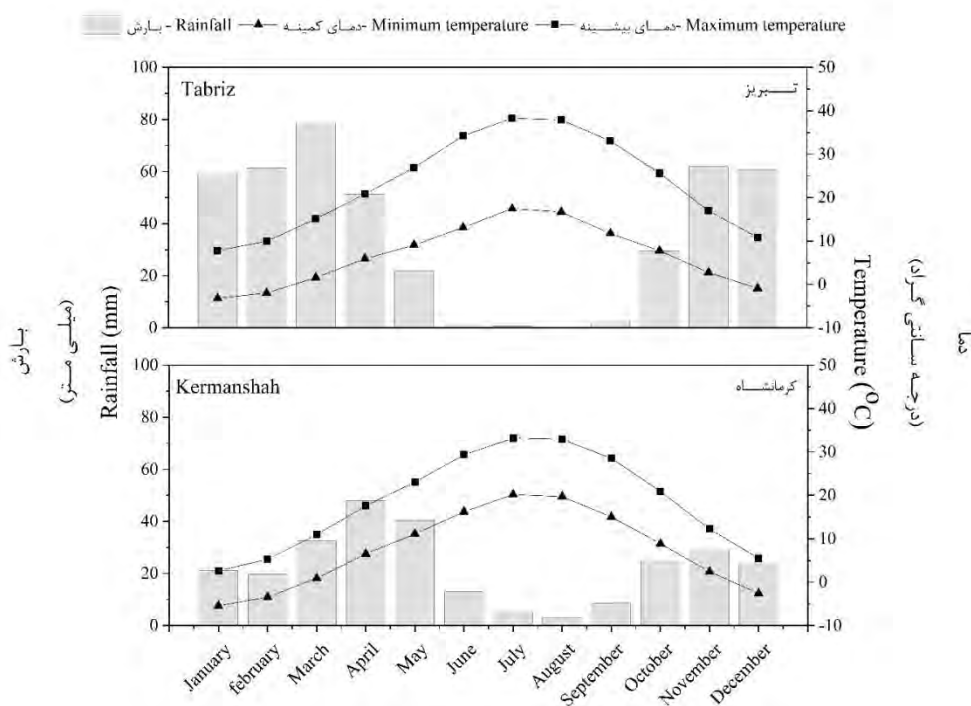
مطالعه حاضر بررسی تأثیر تاریخ‌های کشت و به‌ویژه کشت انتظاری بر عملکرد نخود دیم در شرایط آب و هوایی کرمانشاه (غرب) و تبریز (شمال غرب) بود.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و جمع‌آوری داده‌های آب و هوایی: پژوهش حاضر در دو ایستگاه کرمانشاه واقع در غرب (به طول جغرافیایی ۴۷/۹۰ درجه، عرض جغرافیایی ۳۴/۲۱ درجه و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۱۸) و تبریز واقع در شمال غرب کشور (به طول جغرافیایی ۴۶/۲۵ درجه، عرض جغرافیایی ۳۸/۲۰ درجه و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۵۰) انجام شد. اطلاعات آب و هوایی مناطق مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است. استان‌های آذربایجان شرقی و کرمانشاه با بیش از ۲۱۰ هزار هکتار نخود دیم بخش مهمی از تولید سالانه این محصول ارزشمند را به خود اختصاص می‌دهند.

دما و رطوبت خاک بعد از سرمای فصل زمستان به حد بهینه برای گیاه برسد (۱۷). بذرها با شروع گرم شدن هوا به دلیل تغییرات آب و هوایی با بهره‌گیری از بارندگی‌های زمستان جوانه زده و سبز می‌شوند و در نتیجه خطر سرمازدگی گیاهچه‌ها کاهش یافته و از آب خاک به‌طور کارآمدی استفاده می‌شود. هم‌چنین محصول زراعی با اجتناب از گرما و تنش خشکی انتهای فصل و طول فصل رشد بیشتر، عملکرد دانه بیش‌تری تولید می‌کند.

بنابراین، با توجه به اهمیت کشت نخود به عنوان یک گیاه زراعی مهم و هم‌چنین تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد گیاهان زراعی، لازم است تاریخ‌های کشت بهینه در شرایط تغییر اقلیم آینده بیش‌تر مورد بررسی قرار گیرند. تاکنون نیز پژوهشی مبنی بر بررسی تاریخ کشت و به‌طور خاص کشت انتظاری نخود در مناطق مختلف ایران تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از رهیافت مدل‌سازی به انجام نرسیده است. بنابراین هدف از



شکل ۱- بارش و دماهای کمینه و بیشینه ماهانه بلندمدت (۱۹۸۰-۲۰۱۰) در مناطق مورد مطالعه.

Fig. 1. Long-term (1980-2010) monthly cumulative rainfall and maximum and minimum temperatures of at study regions.



می‌کنند (۲۰). برآورد وضعیت اقلیمی آینده توسط مدل‌های اقلیمی و بیش از همه توسط مدل‌های گردش عمومی انجام می‌شود (۲۰). با توجه به این موضوع که دقت و قدرت تفکیک‌پذیری مدل‌های گردش عمومی با هم متفاوت است در این پژوهش از خروجی سه مدل MPI-ESM-LR (قدرت تفکیک‌پذیری  $1/875 \times 1/9$  درجه)، MPI-ESM-MR (قدرت تفکیک‌پذیری  $1/875 \times 1/9$  درجه) و NorESM1-M (قدرت تفکیک‌پذیری  $2/5 \times 1/9$  درجه) استفاده شد تا مقایسه‌ای بین مدل‌های گردش عمومی از لحاظ تأثیر بر عملکرد نخود دیم انجام شود. مدل‌های گردش عمومی مذکور پیش‌تر توسط قهرمان و همکاران (۲۰۱۵) از بین ۳۷ مدل گردش عمومی ارائه شده در گروه مدل‌های پروژه CMIP5 که در پنجمین گزارش هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم مورد استناد بوده است، ارزیابی و توصیه شده‌اند (۲۱). بنابراین، این مدل‌ها از لحاظ پیش‌بینی بارش و دماهای کمینه و بیشینه بالاترین دقت را به خود اختصاص دادند (۲۲). از طرفی خروجی مدل‌های گردش عمومی به دلیل ماهانه بودن دما و بارش و هم‌چنین بزرگ مقیاس بودن نیازمند ریزمقیاس‌نمایی هستند (۲۳) تا داده‌های آب و هوایی به‌صورت روزانه در مقیاس ایستگاه‌های هواشناسی به‌دست آیند. ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی با استفاده از روش ارائه شده توسط AgMIP (The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project) انجام شد (۲۴ و ۲۵). در این روش سناریوهای اقلیمی بر اساس داده‌های حاصل از دوره پایه (شامل تابش، بارش، دمای کمینه و بیشینه) تحلیل می‌شوند. این سناریوها با استفاده از روش سناریوی دلتا و با ابزارهای تولید سناریوهای اقلیمی که در AgMIP ارائه شده است تولید می‌شوند (۲۲، ۲۴، ۲۵، ۲۶ و ۲۷). در روش مذکور با استفاده از داده‌های بلندمدت اقلیم و بر پایه تغییرات مطلق در دماها و تغییرات نسبی در بارش (۲۲ و ۲۷)، داده‌های روزانه اقلیمی تحت

در گام اول و به‌منظور شبیه‌سازی اقلیم آینده مناطق مورد مطالعه، لازم بود تا متغیرهای آب و هوایی گردآوری شوند. در پژوهش حاضر داده‌های بلندمدت آب و هوایی به‌صورت روزانه شامل تابش (مگاژول در مترمربع در روز)، بارش (میلی‌متر)، دمای کمینه و بیشینه (درجه سانتی‌گراد) از سازمان هواشناسی کل کشور اخذ شد. با استفاده از برنامه WeatherMan (۱۸)، فرآیند اصلاح و بازسازی انجام شد. با توجه به این موضوع که در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی کشور تعداد ساعات آفتابی ثبت می‌شود، بنابراین با استفاده از معادله آنگستروم (رابطه ۱) تعداد ساعات آفتابی به تابش تبدیل شد (۱۹).

$$R_s = \left( a + b \frac{n}{N} \right) R_a \quad (1)$$

که در آن،  $R_s$  تشعشع روزانه (مگاژول در مترمربع)،  $n$  تعداد ساعات آفتابی،  $N$  حداکثر تعداد ساعات آفتابی ممکن و  $R_a$  تشعشع فرازمینی می‌باشد. متغیرهای  $a$  و  $b$  ضرایب آنگستروم کالیبره شده محلی بر اساس موقعیت جغرافیایی منطقه هستند (۱۹).

**سناریوها و مدل‌های گردش عمومی:** گام دوم، شبیه‌سازی اقلیم آینده مناطق مورد بررسی با استفاده از داده‌های آب و هوایی اصلاح شده بود. با توجه به این موضوع که روند انتشار گازهای گلخانه‌ای از قطعیت کافی برخوردار نیست، برای مطالعات تغییر اقلیم از سناریوهای مختلف انتشار با طول دوره‌های مختلف استفاده می‌شود. بنابراین در پژوهش حاضر دو سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۶۹ استفاده شد. سناریوهای RCPs در سال ۲۰۱۰ توسط یک کمیته علمی و زیر نظر هیأت بین‌دولت تغییرات اقلیمی با هدف مهیا نمودن مجموعه‌ای از اطلاعاتی که از نتایج آن بتوان عوامل اصلی تغییرات اقلیمی را ردیابی نمود و نتایج آن را بتوان برای مدل‌های اقلیمی اعمال کرد. مدل‌های اقلیمی از نتایج این سناریوها برای نشان دادن غلظت و انتشار گازهای گلخانه‌ای و میزان آلودگی‌ها و تغییرات کاربری اراضی استفاده

فتوستتزی فراهم برای رشد برگ، تراکم بوته و انتقال مجدد نیتروژن می‌باشد. تولید ماده خشک به عنوان تابعی از تابش دریافت شده و دما تخمین زده می‌شود و ماده خشک تولیدی بر اساس نمو و رابطه مبدأ-مقصد بین اندام‌های رویشی و دانه توزیع می‌شوند. موازنه آب خاک در مدل شامل رواناب، رشد ریشه و افزایش عمق مؤثر استخراج آب، تبخیر از سطح خاک، تعرق و زهکشی و نیز اثرات تنش کمبود آب بر گسترش سطح برگ و تولید ماده خشک است که به صورت روزانه ثبت گردید (۲۹).

**واسنجی و پارامترسنجی مدل شبیه‌سازی: واسنجی**  
مدل در سه مرحله انجام شد. نخست، تعدادی از پارامترهای گیاهی شامل غلظت نیتروژن دانه، حداکثر سرعت تولید گره در ساقه اصلی در دمای مطلوب، حداکثر سرعت افزایش در شاخص برداشت در روز در مرحله خطی افزایش آن و ضریب حساسیت به طول روز، بر اساس داده‌های آزمایش مزرعه‌ای تغییر داده شدند (۳۰). این پارامترها با اجرای مکرر مدل تخمین زده شدند تا اختلاف داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده کاهش یابد (جدول ۱).

دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به دست آمدند. میانگین دما تحت سناریوی RCP4.5 تا اواسط قرن جاری به سرعت افزایش یافته و پس از آن این سرعت افزایشی کند می‌شود. در حالی که در سناریوی RCP8.5 افزایش دما از ۲۰۸۰ به بعد سریع‌تر از دوره ۲۰۳۵-۲۰۸۰ می‌باشد. اطلاعات بیش‌تر در مورد این سناریوها و سایر سناریوهای انتشار توسط موس و همکاران (۲۰۱۰) و واین (۲۰۱۳) (۲۷ و ۲۸) ارائه شده است.

**توصیف مدل شبیه‌سازی:** در این مطالعه از مدل SSM-Chickpea (۲۹) استفاده شد. این مدل، نمو فنولوژیک، تولید و توزیع ماده خشک، رشد و پیر شدن سطح برگ، موازنه نیتروژن در گیاه، تشکیل عملکرد و موازنه آب خاک را شبیه‌سازی می‌کند.

هم‌چنین در مدل واکنش فرآیندهای رشد گیاه به عوامل محیطی شامل نور، طول روز، دما و قابلیت دسترسی به آب منظور شده است. مدل برای شبیه‌سازی روزانه به اطلاعات آب و هوایی، خاکی و مدیریتی نیاز دارد. مراحل فنولوژیک در مدل به عنوان تابعی از دما، طول روز و تنش کمبود آب است. گسترش و پیر شدن سطح برگ تابعی از دما، مواد

جدول ۱- پارامترهای حاصل از واسنجی مدل برای نخود رقم ILC482.

Table 1. Parameters of model calibration for chickpea variety ILC482.

| ILC482 | پارامتر<br>Parameter  |
|--------|---|
| 0.11   | ضریب حساسیت به طول روز (PPSENRI)<br>Photoperiod sensitivity coefficient   |
| 0.51   | حداکثر سرعت تولید گره در ساقه اصلی در دمای مطلوب (MAXNOD، گره در روز)<br>Maximum stem node number (node d <sup>-1</sup> )                         |
| 0.02   | حداکثر سرعت افزایش در شاخص برداشت در روز در مرحله خطی افزایش آن<br>Maximum increase of harvest index rate per day at linear stage of its increase |
| 0.043  | غلظت نیتروژن دانه (GNC، میلی‌گرم بر گرم)<br>Grain nitrogen concentration (mg g <sup>-1</sup> )  |
| 23     | روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن تا گلدهی<br>Biological day between plant emergence and flower appearance (day)                                |
| 9      | روز بیولوژیک مورد نیاز برای گلدهی تا غلاف‌دهی<br>Biological day between first flower and first pod (day)  |
| 3      | روز بیولوژیک مورد نیاز برای غلاف‌دهی تا شروع پر شدن دانه<br>Biological day between first pod and initiate seed filling (day)                      |

روز تا رسیدگی، بارش تجمعی، میانگین دما در طول فصل رشد، تبخیر-تعرق، ماده خشک و عملکرد دانه بودند. شایان ذکر است که تمامی شکل‌ها با استفاده از Origin Pro ترسیم شد.

### نتایج و بحث

**متغیرهای اقلیمی در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) و آینده:** به‌منظور نمایش روند تغییر اقلیم و افزایش دما در مناطق مورد بررسی، رابطه رگرسیونی میانگین دما در بلندمدت (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰) بررسی شد (شکل ۲). بر اساس نتایج این رابطه، میانگین دمای هوا در هر دو منطقه به ازای هر سال ۰/۰۷ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است و در هر دو منطقه بیش‌ترین میانگین دمای هوا در سال ۲۰۱۰ به ثبت رسیده است (به‌ترتیب برای کرمانشاه و تبریز معادل ۱۶/۹۰ و ۱۵/۳۳ درجه سانتی‌گراد) در حالی که کم‌ترین میانگین دما (۱۲/۹۹ درجه سانتی‌گراد) برای کرمانشاه در سال ۱۹۹۲ و برای تبریز (۱۰/۸۸ درجه سانتی‌گراد) در سال ۱۹۸۲ به وقوع پیوست. این بدین معناست که کرمانشاه و تبریز در طی سال‌های اخیر با افزایش دما یا به عبارتی پدیده تغییر اقلیم مواجه بوده‌اند. شایان ذکر است که میانگین بلندمدت دما در کرمانشاه و تبریز به ترتیب معادل ۱۴/۹۶ و ۱۳/۰۶ درجه سانتی‌گراد بود.

در شرایط تغییر اقلیم آینده تحت سناریوها و مدل‌های گردش عمومی، دماهای کمینه و بیشینه در مقایسه با دوره پایه افزایش یافتند (جدول ۲). نتایج نشان داد که تحت سناریوی RCP4.5 بیش‌ترین افزایش در دماهای کمینه و بیشینه در هر دو منطقه مورد بررسی متعلق به مدل MPI-ESM-LR بود (جدول ۱). تحت سناریوی RCP8.5 بیش‌ترین تغییرات دمای کمینه در کرمانشاه و تبریز در مدل NorESM1-M به ثبت رسید. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد، تحت سناریوی مذکور (RCP8.5) بیش‌ترین افزایش در دمای بیشینه نسبت به دوره پایه در کرمانشاه مربوط به مدل MPI-ESM-LR و در تبریز مربوط به مدل NorESM1-M بود.

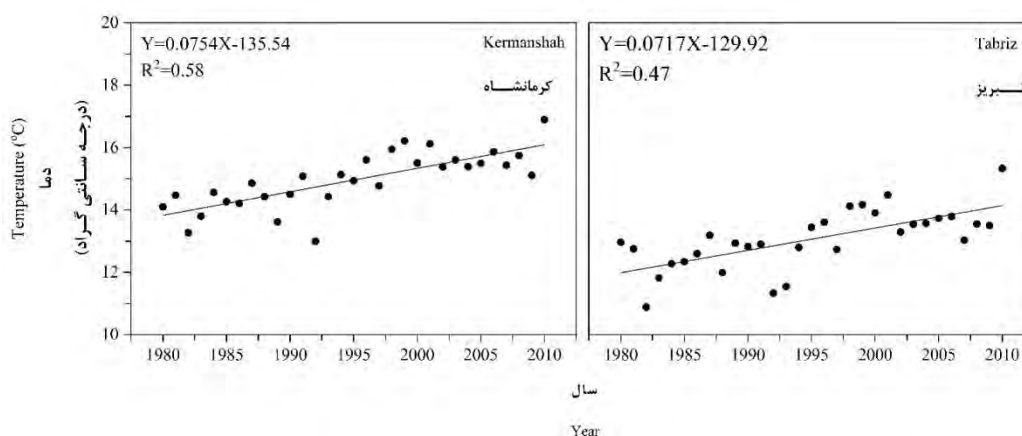
در مرحله دوم، این پارامترهای تغییر یافته برای شبیه‌سازی عملکرد گیاه نخود با توجه به در دسترس بودن داده‌های آب و هوایی روزانه مورد استفاده قرار گرفتند. شبیه‌سازی‌ها از تاریخ کشت تا رسیدگی ادامه یافت. سرانجام، عملکرد دانه شبیه‌سازی شده و مشاهده شده حاصل از آزمایش‌های مختلف مزرعه‌ای در سراسر ایران به وسیله رگرسیون خطی و ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۱</sup> بررسی شد. بر اساس این روش، محاسبه انحراف مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل از مقادیر اندازه‌گیری شده که توصیفی از قابلیت پیش‌بینی مدل را ارائه می‌کند، از معادله ۲ به‌دست می‌آید (۳۱):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (2)$$

که در آن،  $P_i$  مقادیر پیش‌بینی شده،  $O_i$  مقادیر اندازه‌گیری شده و  $n$  تعداد مشاهدات است. این شاخص میانگین فاصله مقادیر پیش‌بینی شده از مقادیر واقعی را نشان می‌دهد. بدیهی است که کم‌تر بودن این شاخص، دقت بالاتر مدل را در پیش‌بینی عملکرد نشان می‌دهد. چنانچه مقدار  $RMSE$  کم‌تر از ۱۰ درصد باشد شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ درصد خوب، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد متوسط و بیش‌تر از ۳۰ درصد شبیه‌سازی ضعیف خواهد بود (۳۱).

تیمارهای آزمایش و تجزیه و تحلیل‌ها: در گام آخر، به‌منظور بررسی تأثیر تغییر اقلیم آینده (دوره ۲۰۳۹ تا ۲۰۶۹) تحت دو سناریوی انتشار (RCP4.5 و RCP8.5) و سه مدل گردش عمومی (MPI-ESM-LR، MPI-ESM-MR و NorESM1-M) بر عملکرد دانه نخود دیم (رقم ILC482)، پنج تاریخ کشت به‌عنوان راهکار سازگاری به اثرات احتمالی تغییر اقلیم در نظر گرفته شد که تاریخ‌های کشت بدین شرح است: ۲۰ اسفند، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت. خروجی‌های مدل شامل شاخص سطح برگ، تعداد

1- Root Mean Square Error



شکل ۲- روند تغییرات میانگین دمای سالانه در کرمانشاه و تبریز.

Fig. 2. Trend of changes in annual mean temperature in Kermanshah and Tabriz.

سناریوی RCP8.5 نیز در کرمانشاه بیش‌ترین تغییرات بارندگی در مدل NorESM1-M (۶/۹۶+ درصد) و در تبریز در مدل MPI-ESM-LR (۸/۹۱+ درصد) به ثبت رسید. میانگین مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای انتشار نشان داد که بارندگی در آینده نسبت به دوره پایه در کرمانشاه ۲/۴۳ افزایش خواهد یافت در حالی‌که در تبریز ۰/۵۳ درصد کاهش مشاهده شد.

روند تغییرات بارش در آینده نسبت به دوره پایه متفاوت بود به گونه‌ای که در برخی موارد افزایش بارندگی و در برخی موارد کاهش بارندگی نسبت به دوره پایه مشاهده شد (جدول ۲). به طور کلی براساس نتایج این پژوهش تحت سناریوی RCP4.5 در کرمانشاه بیش‌ترین تغییرات بارندگی در مدل NorESM1-M (۱۵/۲۹+ درصد) و در تبریز در مدل MPI-ESM-LR (۶/۷۴+ درصد) مشاهده شد.

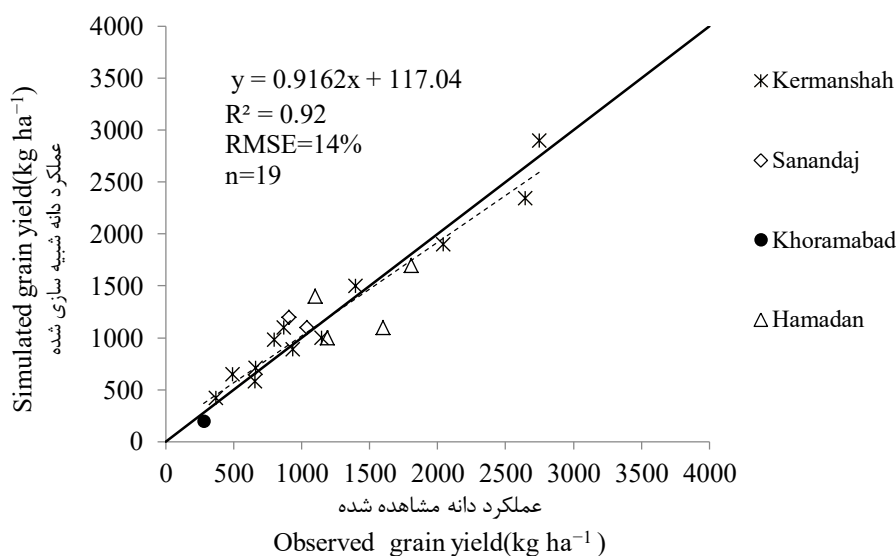
جدول ۲- تغییرات در متغیرهای اقلیمی تحت دو سناریو و سه مدل گردش عمومی در مقایسه با دوره پایه در کرمانشاه و تبریز.

Table 2. Changes in climatic parameters under two scenarios and three GCMs compared to the baseline in Kermanshah and Tabriz.

| سناریو<br>Scenario | مدل<br>گردش عمومی<br>GCM | کرمانشاه<br>Kermanshah          |                                  |                    | تبریز<br>Tabriz                 |                                  |                    |
|--------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|
|                    |                          | دمای کمینه<br>(درجه سانتی‌گراد) | دمای بیشینه<br>(درجه سانتی‌گراد) | بارش<br>(میلی‌متر) | دمای کمینه<br>(درجه سانتی‌گراد) | دمای بیشینه<br>(درجه سانتی‌گراد) | بارش<br>(میلی‌متر) |
|                    |                          | T Min (°C)                      | T Max (°C)                       | Rainfall<br>(mm)   | T Min (°C)                      | T Max (°C)                       | Rainfall<br>(mm)   |
| Baseline           | -                        | 6.72                            | 23.19                            | 429.13             | 7.52                            | 18.59                            | 269.78             |
|                    | MPI-ESM-LR               | +31.54                          | +11.77                           | -2.72              | +25.13                          | +13.34                           | +6.74              |
| RCP4.5             | MPI-ESM-MR               | +23.80                          | +9.01                            | -0.03              | +22.73                          | +11.72                           | -4.68              |
|                    | NorESM1-M                | +24.55                          | +7.76                            | +15.29             | +23.27                          | +9.46                            | -3.66              |
|                    | MPI-ESM-LR               | +44.94                          | +15.30                           | -0.81              | +37.76                          | +18.23                           | +8.91              |
| RCP8.5             | MPI-ESM-MR               | +34.22                          | +12.97                           | -4.10              | +31.91                          | +16.83                           | -8.33              |
|                    | NorESM1-M                | +45.83                          | +14.27                           | +6.96              | +42.15                          | +18.55                           | -2.21              |

به پیش‌بینی مناسب عملکرد دانه می‌باشد. مقدار ضریب تبیین و ریشه میانگین مربعات خطا به ترتیب برابر با ۰/۹۲ و ۱۴ درصد بود (شکل ۳). سلطانی و همکاران (۲۰۱۱) نیز برای اعتبارسنجی مدل SSM-Chickpea از شاخص جذر میانگین مربعات خطا استفاده کردند. آن‌ها با مقایسه عملکردهای مشاهده شده و شبیه‌سازی شده ۱۰۴ آزمایش در سرتاسر ایران مقدار این شاخص را ۱۵ درصد برآورد کردند (۲۹).

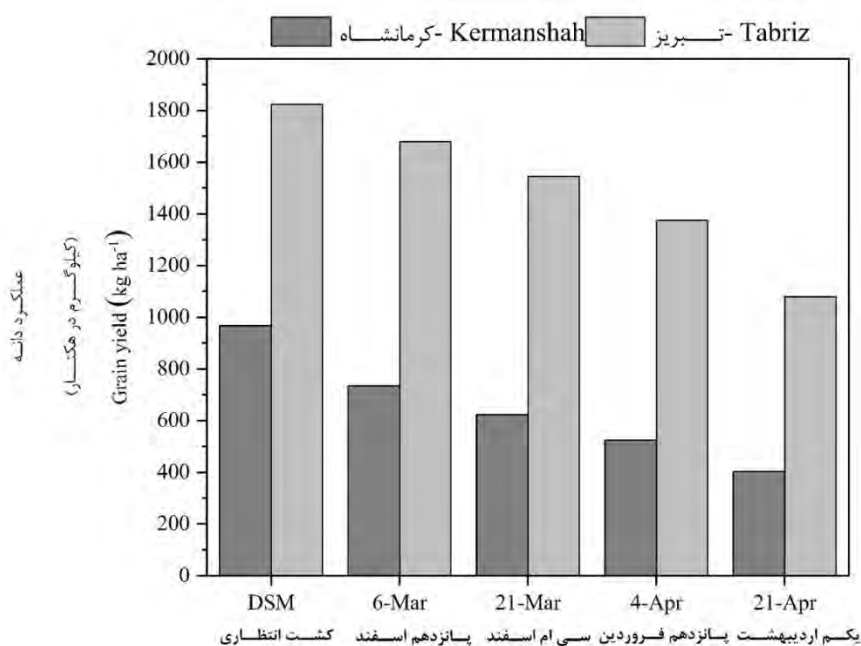
ارزیابی مدل شبیه‌سازی: در این مطالعه، تغییرات اندکی در برخی پارامترهای مدل شامل غلظت نیتروژن دانه، حداکثر سرعت تولید گره در ساقه اصلی در دمای مطلوب، حداکثر سرعت افزایش در شاخص برداشت در روز در مرحله خطی افزایش آن و ضریب حساسیت به طول روز داده شد، این پارامترها در جدول ۱ ارائه شده‌اند. نتایج اعتبارسنجی مدل با استفاده از ۱۹ آزمایش مزرعه‌ای (۳۲) در مناطق تحت کشت نخود برای عملکرد دانه نشان داد که مدل قادر



شکل ۳- مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده عملکرد. خط تو پر، خط ۱:۱ و نقطه‌چین خط رگرسیون است.  
**Fig. 3. Simulated and observed values of grain yield. Continuous line: 1 to 1 line; dashed line: regression line.**

درصد و در تبریز ۸/۶، ۱۸، ۳۲/۷ و ۶۸/۸ درصد بیشتر بود. همان‌گونه که در جدول ۳ نشان داده شده است دلیل عملکرد دانه بیش‌تر کشت انتظاری نسبت به سایر تاریخ‌های کشت در هر دو منطقه، برتری کشت انتظاری در صفات شاخص سطح برگ، طول فصل رشد، بارش تجمعی، تبخیر-تعرق و ماده خشک بود. هم‌چنین میانگین دمای طول فصل رشد در شرایط کشت انتظاری کم‌تر از سایر تاریخ‌های کشت بود (جدول ۳).

عملکرد نخود دیم در دوره پایه: عملکرد دانه نخود دیم در تاریخ‌های کشت مورد مطالعه در هر دو منطقه کرمانشاه و تبریز با هم اختلاف داشت (شکل ۴). بر اساس نتایج شبیه‌سازی، عملکرد دانه نخود دیم در شرایط کشت انتظاری (DSM) بیش‌تر از سایر تاریخ‌های کشت بود. در شرایط آب و هوایی کرمانشاه عملکرد دانه کشت انتظاری در مقایسه با تاریخ‌های کشت ۱۵ اسفند، ۳۰ اسفند، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت به ترتیب ۳۱/۸، ۵۵/۳، ۸۴/۳ و ۱۴۰/۳



شکل ۴- عملکرد دانه نخود دیم تحت تأثیر تاریخ کشت در کرمانشاه و تبریز.

Fig. 4. Grain yield of rainfed chickpea affected by sowing date in Kermanshah and Tabriz.

جدول ۳- صفات مورد مطالعه نخود دیم تحت تأثیر تاریخ کشت در کرمانشاه و تبریز.

Table 3. Studied traits of rainfed Chickpea affected by sowing date in Kermanshah and Tabriz.

| منطقه<br>Location      | تاریخ کشت<br>sowing date | شاخص<br>سطح برگ<br>Leaf area index | تعداد روز<br>تأسیدگی<br>Days to maturity | بارش تجمعی<br>(میلی‌متر)<br>Cumulative rainfall (mm) | تبخیر-تعرق<br>(میلی‌متر)<br>Evapotranspiration (mm) | عملکرد زیستی<br>(کیلوگرم در<br>هکتار)<br>Biological yield (kg ha <sup>-1</sup> ) | دمای فصل رشد<br>(درجه سانتی‌گراد)<br>Temperature during growing season (°C) |
|------------------------|--------------------------|------------------------------------|--|--|---|--|---|
| کرمانشاه<br>Kermanshah | کشت انتظاری<br>DSM       | 2.14                               | 150                                      | 207  | 285   | 394  | 8.03  |
|                        | ۱۵ اسفند<br>6-Mar        | 1.83                               | 99                                       | 114  | 222   | 323  | 14.61   |
|                        | ۳۰ اسفند<br>21-Mar       | 1.67                               | 87                                       | 83   | 199   | 287  | 16.12   |
|                        | ۱۵ فروردین<br>4-Apr      | 1.49                               | 78                                       | 53   | 177   | 247  | 17.70   |
|                        | ۱ اردیبهشت<br>21-Apr     | 1.05                               | 71                                       | 33   | 154   | 180  | 19.98   |
| تبریز<br>Tabriz        | کشت انتظاری<br>DSM       | 2.16                               | 165                                      | 139  | 233   | 496  | 6.82  |
|                        | ۱۵ اسفند<br>6-Mar        | 2.05                               | 113                                      | 106  | 216   | 461  | 14.51   |
|                        | ۳۰ اسفند<br>21-Mar       | 1.96                               | 101                                      | 94   | 208   | 431  | 16.18   |
|                        | ۱۵ فروردین<br>4-Apr      | 1.80                               | 90                                       | 78   | 192   | 387  | 17.73   |
|                        | ۱ اردیبهشت<br>21-Apr     | 1.60                               | 80                                       | 58   | 175   | 324  | 19.78   |

DSM: مدیریت کشت انتظاری

DSM: Dormant seeding management

بود؛ به طوری که بیش‌ترین تغییرات عملکرد دانه متعلق به مدل NorESM1-M (۲۳/۵۸ درصد) و کم‌ترین تغییرات مربوط به مدل MPI-ESM-MR (۱۰/۴۹ درصد) بود. مدل MPI-ESM-LR نیز در مقایسه با دوره پایه ۲۲/۰۹ درصد افزایش عملکرد نشان داد (شکل ۵). عملکرد دانه نخود دیم با استفاده از مدل‌های گردش عمومی متفاوت بود؛ به طوری که بیش‌ترین تغییرات عملکرد دانه نسبت به دوره پایه متعلق به مدل MPI-ESM-LR (۱۵/۸۸+ درصد) و کم‌ترین تغییرات مربوط به مدل NorESM1-M (۱/۳۸+ درصد) بود. شایان ذکر است که عملکرد نخود دیم با استفاده از مدل MPI-ESM-MR در مقایسه با دوره پایه ۱/۹۱- درصد کاهش یافت (شکل ۵). در این زیر مدل اقلیمی بارندگی تجمعی نسبت به دوره پایه کاهش یافت که منجر به کاهش عملکرد شد. تغییر در متغیرهای اقلیمی این مدل در جدول ۲ ارائه شده است.

عملکرد دانه نخود دیم تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۸/۹۷ و ۱۴/۱۲ درصد افزایش یافت (شکل ۵). در شرایط آب و هوایی کرمانشاه تحت سناریوی RCP4.5 عملکرد دانه نخود ۱۳/۱۶ درصد نسبت به دوره پایه افزایش یافت در حالی که افزایش عملکرد دانه نخود تحت سناریوی RCP8.5 معادل ۲۴/۲۸ درصد بود (شکل ۵). بر اساس نتایج شبیه‌سازی، عملکرد دانه نخود دیم تحت سناریوهای مورد بررسی در تبریز نیز افزایش یافت (شکل ۵). تحت سناریوی RCP4.5 عملکرد دانه نخود ۴/۷۳ درصد نسبت به دوره پایه افزایش یافت در حالی که افزایش عملکرد دانه نخود تحت سناریوی RCP8.5 معادل ۵/۵ درصد بود (شکل ۵). افزایش عملکرد دانه نخود تحت شرایط تغییر اقلیم می‌تواند به دلیل تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر افزایش فتوسنتز و کاهش تعرق باشد (۳۴). از طرفی

به طور کلی میانگین عملکرد دانه نخود دیم در تمامی تاریخ‌های کشت در تبریز ۱۳۱ درصد بیش‌تر از کرمانشاه بود (شکل ۴). از جمله دلایل عملکرد بیش‌تر در تبریز می‌توان به برتری شاخص سطح برگ به عنوان یک صفت مهم در تعیین عملکرد نهایی و طول فصل رشد اشاره کرد. همان‌گونه که در جدول ۳ نشان داده شده است، شاخص سطح برگ و طول فصل رشد نخود دیم در تبریز به ترتیب ۱۶/۹ و ۱۳/۲ درصد بیش‌تر از کرمانشاه بود. یکی دیگر از متغیرهای مهم و تأثیرگذار بر عملکرد نخود میانگین دمای طول فصل رشد است که در شرایط تبریز ۱/۸۵ درصد کم‌تر از کرمانشاه بود (جدول ۳). بنابراین در شرایط آب و هوایی تبریز با میانگین دمای طول فصل رشد کم‌تر نسبت به کرمانشاه از اثرات منفی دماهای بالا بر عملکرد دانه به‌ویژه در طول دوره پر شدن دانه که باعث کاهش شاخص برداشت می‌شود، کاسته خواهد شد (۳۳). با دقت به جدول ۳ مشاهده می‌شود که بارش تجمعی و تبخیر-تعرق نخود دیم در شرایط کشت تبریز به ترتیب ۳/۱ و ۱/۲۵ درصد کم‌تر از کرمانشاه بود، اما نکته مهم در این قسمت این است که احتمالاً عمده بارش‌های طول فصل رشد نخود در شرایط کشت کرمانشاه در ابتدای فصل رشد رخ داده در حالی که در تبریز توزیع بارش‌ها در دوره زایشی مناسب‌تر بوده و در نهایت موجب دستیابی به عملکرد دانه بیش‌تر در تبریز شده است. البته شایان ذکر است که اختلاف بارش تجمعی و تبخیر-تعرق بین کرمانشاه و تبریز آن‌قدر زیاد نبوده که بتواند تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشته باشد، و عامل تأثیرگذار توزیع بارش‌ها بوده که باعث اختلاف عملکرد دانه شده است.

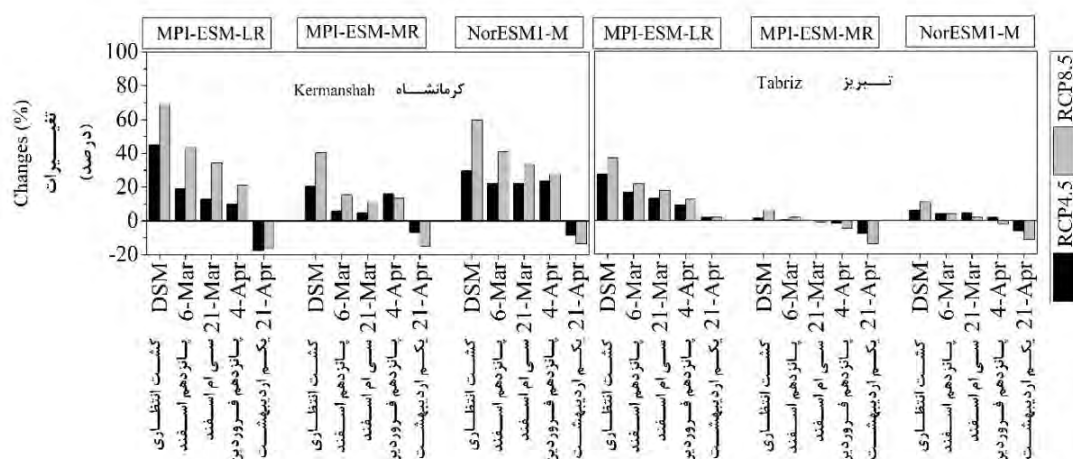
**عملکرد دانه نخود دیم تحت شرایط تغییر اقلیم:**  
واکنش عملکرد دانه نخود دیم با استفاده از مدل‌های گردش عمومی در هر دو منطقه مورد بررسی متفاوت

کشت انتظاری نخود دیم (۱۴/۸۶+ درصد) موجب دستیابی به بیش‌ترین افزایش عملکرد در مقایسه با تاریخ‌های کشت پانزدهم اسفند (۸/۰۸+ درصد)، سی‌ام اسفند (۶/۰۲+ درصد)، پانزدهم فروردین (۲/۴۹+ درصد) و یکم اردیبهشت (۵/۸۵- درصد) شد. تسریع در کشت به دلیل تطبیق بهتر دوره رشدی گیاه با فصل رشد که در اثر تغییر اقلیم جابجا شده است موجب دستیابی به عملکرد بیش‌تر می‌شود (۱۴). تحت این شرایط اثرات منفی دماهای بالا بر عملکرد دانه به خصوص در طول پر شدن دانه کاهش خواهد یافت (۷). هم‌چنین وجود دماهای پایین‌تر در طی مراحل رشدی گیاه باعث افزایش کارایی تعرق می‌شود (۲۸). یکی دیگر از دلایل افزایش عملکرد تحت شرایط تغییر اقلیم فرار از تنش خشکی انتهایی فصل است (۳۵). عینی نرگسه و همکاران (۲۰۱۷) در ارزیابی عملکرد ذرت دانه‌ای در واکنش به تغییر تاریخ کشت تحت شرایط تغییر اقلیم در استان کرمانشاه گزارش کردند تاریخ‌های کشت زودتر به دلیل عدم برخورد دوره گلدهی ذرت با بیشینه دمای طول فصل رشد و شرایط محیطی مناسب‌تر برای رشد و نمو، افت عملکرد کم‌تری در مقایسه با تاریخ کشت رایج داشته و می‌توان از کشت زودهنگام به عنوان راهکار سازگاری به‌منظور استفاده از بارش‌های فصلی و دستیابی به عملکرد قابل‌قبول نام برد (۱۳). لیو و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهشی در جنوب استرالیا نشان دادند که جلو انداختن تاریخ کشت گندم می‌تواند به‌عنوان مؤثرترین راهکار برای سازگاری با پدیده تغییر اقلیم در نظر گرفته شود (۸).

افزایش دمای هوا در شرایط تغییر اقلیم آینده علاوه بر تعدیل دماهای پایین در زمان گلدهی، باعث کاهش طول دوره رشدی گیاه شده و احتمال برخورد گیاه با تنش خشکی انتهایی فصل را کاهش می‌دهد (۳۵) که تمامی این عوامل موجب دستیابی به عملکرد دانه بیش‌تر تحت شرایط تغییر اقلیم می‌شود. مقدادی و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی با بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد نخود دیم در استان زنجان گزارش کردند که به طور میانگین عملکرد نخود تحت شرایط تغییر اقلیم ۳۳/۴ درصد افزایش خواهد یافت که دلیل این افزایش اثرات مثبت افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر فتوسنتز و کاهش تعرق ناشی از آن ذکر شد (۳۳).

نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که در شرایط آب و هوایی کرمانشاه عملکرد دانه نخود دیم با استفاده از هر سه مدل گردش عمومی و دو سناریوی انتشار در تمام تاریخ‌های کشت (به‌جز یکم اردیبهشت) نسبت به دوره پایه افزایش یافت (شکل ۵). همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، کشت انتظاری (۴۳/۹۳+ درصد) بیش‌ترین افزایش عملکرد را در مقایسه با تاریخ‌های کشت پانزدهم اسفند (۲۴/۳۳+ درصد)، سی‌ام اسفند (۱۹/۶۹+ درصد)، پانزدهم فروردین (۱۸/۶۱+ درصد) و یکم اردیبهشت (۱۲/۹۸- درصد) به خود اختصاص داد. به طور کلی و به‌طور میانگین، در شرایط آب و هوایی تبریز عملکرد دانه نخود دیم با استفاده از هر سه مدل گردش عمومی و دو سناریوی انتشار در تمام تاریخ‌های کشت (به‌جز یکم اردیبهشت) نسبت به دوره پایه افزایش یافت (شکل ۵). طبق این شکل،



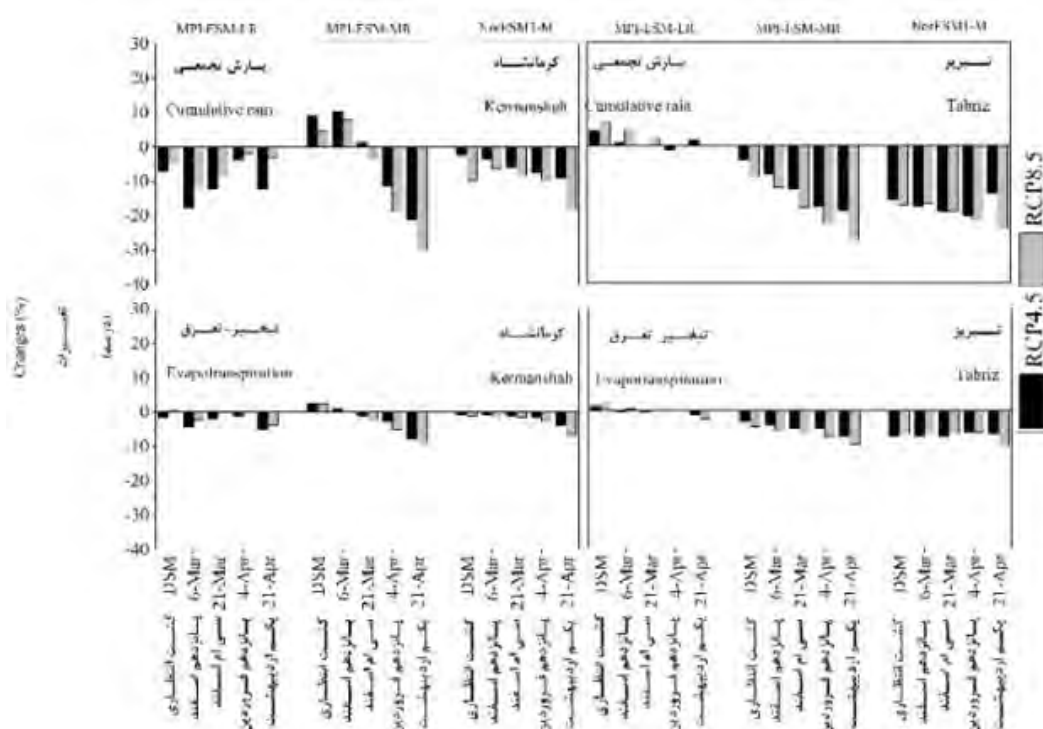


شکل ۵- تغییرات عملکرد دانه نخود دیم با استفاده از سه مدل گردش عمومی و دو سناریوی انتشار در آینده تحت شرایط آب و هوایی کرمانشاه و تبریز.

Fig. 5. Changes in seed yield of rainfed chickpea using three GCMs and two scenarios in future under Kermanshah and Tabriz climatic conditions.

انتشار افزایش بارندگی را شاهد بودیم. حال آن‌که در شکل سه مشاهده می‌شود که بارش تجمعی و تبخیر-تعرق کاهش یافته است. از طرفی نخود گیاهی  $C_3$  بوده و در شرایط افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن مقاومت روزنه‌ای بیشتری داشته و در نتیجه موجب کاهش تعرق می‌شود. دیهیم‌فرد و همکاران (۲۰۱۷) با مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم آینده بر عملکرد و نیاز آبی گندم آبی در استان خوزستان دریافتند که تبخیر-تعرق گندم به دلیل کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش طول فصل رشد پنج درصد کاهش نشان داد (۳۶). کاهش تعرق گیاهی در نخود تحت شرایط تغییر اقلیم و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن توسط مقادری و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش شده است (۳۳).

بارش تجمعی و تبخیر-تعرق در شرایط آب و هوایی تبریز به ترتیب ۸/۳۷ و ۳/۹۴ درصد کم‌تر از کرمانشاه به دست آمد. به‌طورکلی شکل ۶ نشان می‌دهد صفات مذکور در آینده کاهش می‌یابند. هر چند در برخی موارد این صفات افزایش جزئی داشته‌اند. در شرایط تغییر اقلیم تحت سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 بارش تجمعی ۶/۲۵ و ۸/۰۲ درصد و تبخیر-تعرق ۲/۸۷ و ۳/۱۷ درصد کاهش نشان دادند. دلیل اصلی کاهش بارش تجمعی و تبخیر-تعرق را می‌توان کاهش طول فصل رشد دانست (جدول ۵). هر چند مقدار بارندگی می‌تواند به عنوان یک متغیر تأثیرگذار نقش مهمی در تغییر این دو صفت ایفا کند اما همان‌گونه که در جدول ۲ نشان داده شد، در برخی مدل‌های اقلیمی و سناریوهای



شکل ۶- تغییرات بارش تجمعی و تبخیر-تعرق نخود دیم با استفاده از سه مدل گردش عمومی و دو سناریوی انتشار تحت شرایط آب و هوایی آینده در کرمانشاه و تبریز.

Fig. 6. Changes in cumulative rain and evapotranspiration of rainfed chickpea using three GCMs and two scenarios in future under Kermanshah and Tabriz climatic conditions.

انتظاری به دلیل رطوبت کم‌تر خاک میزان پایین‌تری داشت (۱۷).

همان‌گونه که در شرایط دوره پایه نشان داده شد، نتایج شبیه‌سازی بیانگر بیش‌تر بودن طول فصل رشد نخود دیم در تبریز (۱۰۹/۸ روز) نسبت به کرمانشاه (۹۷ روز) بود. یکی از دلایل اختلاف عملکرد بین تبریز و کرمانشاه طول فصل رشد متفاوت است. در شرایط تغییر اقلیم طول فصل رشد نخود در کرمانشاه ۹۱/۲۳ روز بود در حالی‌که در تبریز ۱۰۳ روز شبیه‌سازی شد. کاهش طول فصل رشد در هر دو منطقه و تحت سناریوها و تاریخ‌های کشت مختلف به دلیل افزایش میانگین دما بود (جدول‌های ۴ و ۵). جدول ۵ نشان می‌دهد که در تمامی تاریخ‌های کشت و سناریوهای مورد بررسی در هر دو منطقه مورد مطالعه، دما در طول فصل رشد افزایش خواهد یافت.

نتایج نشان داد بیش‌ترین بارش تجمعی در بین تاریخ‌های مختلف کشت متعلق به کشت انتظاری بود و به ترتیب ۳۷/۹۸، ۵۱/۷۴، ۶۵/۵۰ و ۷۶/۷۱ درصد بیش‌تر از تاریخ‌های کشت ۱۵ اسفند، ۳۰ اسفند، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت بود. تبخیر-تعرق نیز در کشت انتظاری نسبت به تاریخ‌های کشت ۱۵ اسفند، ۳۰ اسفند، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت به ترتیب ۱۶/۷۰، ۲۲/۸۵، ۳۰/۲۵ و ۳۹/۶۹ درصد بیش‌تر بود. واضح است که در کشت‌های زود هنگام به دلیل بارش‌های زمستانه و اوایل بهار، تبخیر-تعرق و بارش تجمعی بیش‌تری حاصل می‌شود، در حالی‌که تأخیر در کشت باعث عدم استفاده از بارش‌ها شده و خاک رطوبت کمی خواهد داشت. در پژوهشی توسط امیری و دیهیم‌فرد (۲۰۱۸) گزارش کردند تبخیر-تعرق فصلی عدس در کشت‌های دیر هنگام نسبت به کشت

تمامی تاریخ‌های کشت، مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای انتشار مورد مطالعه در هر دو منطقه کرمانشاه و تبریز کاهش نشان داد (جدول ۴). یافته‌های این پژوهش نشان داد طول فصل رشد نخود دیم در کرمانشاه و تبریز به ترتیب ۶/۰۸ و ۶/۲۸ درصد کاهش یافت. دلیل کاهش طول فصل رشد، افزایش دما در طول فصل رشد و دستیابی سریع‌تر گیاه به درجه روز رشد مورد نیاز برای تکمیل دوره رشد می‌باشد (۲۸). کاهش طول فصل رشد گیاهان مختلف از جمله نخود (۳۷)، گندم (۳۵) و ذرت (۲۵) تحت شرایط تغییر اقلیم آینده در مقایسه با دوره پایه گزارش شده است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

طول فصل رشد نیز به‌طور مستقیم تحت تأثیر دما در طول فصل رشد قرار می‌گیرد. میانگین دما در طول فصل رشد نخود در شرایط کرمانشاه ۱۷/۵۲ و ۱۷/۲۲ درجه سانتی‌گراد بود که بیانگر تفاوت طول فصل رشد بین کرمانشاه و تبریز است (جدول‌های ۴ و ۵). طول فصل رشد بیش‌تر در تبریز به دلیل دوره طولانی‌تر رشد و فتوسنتز بیش‌تر موجب دستیابی به عملکرد دانه بیش‌تر شد. گزارش عینی نرگسه و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی مناطق مختلف استان فارس نشان داد مناطقی مثل آباده و اقلید که عملکرد دانه بالایی داشتند از طول فصل رشد بیش‌تری نسبت به لار و داراب برخوردار بودند (۱). طول فصل رشد در بین

جدول ۴- تغییرات (درصد) طول فصل رشد نخود دیم با استفاده از سه مدل گردش عمومی و دو سناریوی انتشار در آینده در کرمانشاه و تبریز.

**Table 4. Changes (%) in length of growing season of rainfed chickpea using three GCMs and two scenarios in future in Kermanshah and Tabriz.**

| منطقه<br>Location      | تاریخ کشت<br>Sowing date | MPI-ESM-LR |        | MPI-ESM-MR |        | NorESM1-M |        |
|------------------------|--------------------------|------------|--------|------------|--------|-----------|--------|
|                        |                          | RCP4.5     | RCP8.5 | RCP4.5     | RCP8.5 | RCP4.5    | RCP8.5 |
| کرمانشاه<br>Kermanshah | کشت انتظاری<br>DSM       | -5.33      | -6.00  | -4.00      | -6.00  | -3.33     | -6.66  |
|                        | ۱۵ اسفند<br>6-Mar        | -6.06      | -6.06  | -6.06      | -7.07  | -5.05     | -8.08  |
|                        | ۳۰ اسفند<br>21-Mar       | -5.74      | -5.74  | -5.74      | -6.89  | -3.44     | -6.89  |
|                        | ۱۵ فروردین<br>4-Apr      | -6.41      | -6.41  | -3.84      | -6.41  | -3.84     | -6.41  |
|                        | ۱ اردیبهشت<br>21-Apr     | -8.45      | -8.45  | -5.63      | -8.45  | -5.63     | -8.45  |
|                        | کشت انتظاری<br>DSM       | -4.84      | -6.66  | -4.24      | -6.66  | -4.24     | -7.27  |
| تبریز<br>Tabriz        | ۱۵ اسفند<br>6-Mar        | -6.19      | -7.96  | -6.19      | -7.96  | -6.19     | -9.73  |
|                        | ۳۰ اسفند<br>21-Mar       | -5.94      | -6.93  | -5.94      | -7.92  | -5.94     | -9.90  |
|                        | ۱۵ فروردین<br>4-Apr      | -4.44      | -6.66  | -5.55      | -6.66  | -5.55     | -8.88  |
|                        | ۱ اردیبهشت<br>21-Apr     | -3.75      | -3.75  | -5.00      | -5.00  | -3.75     | -5.00  |

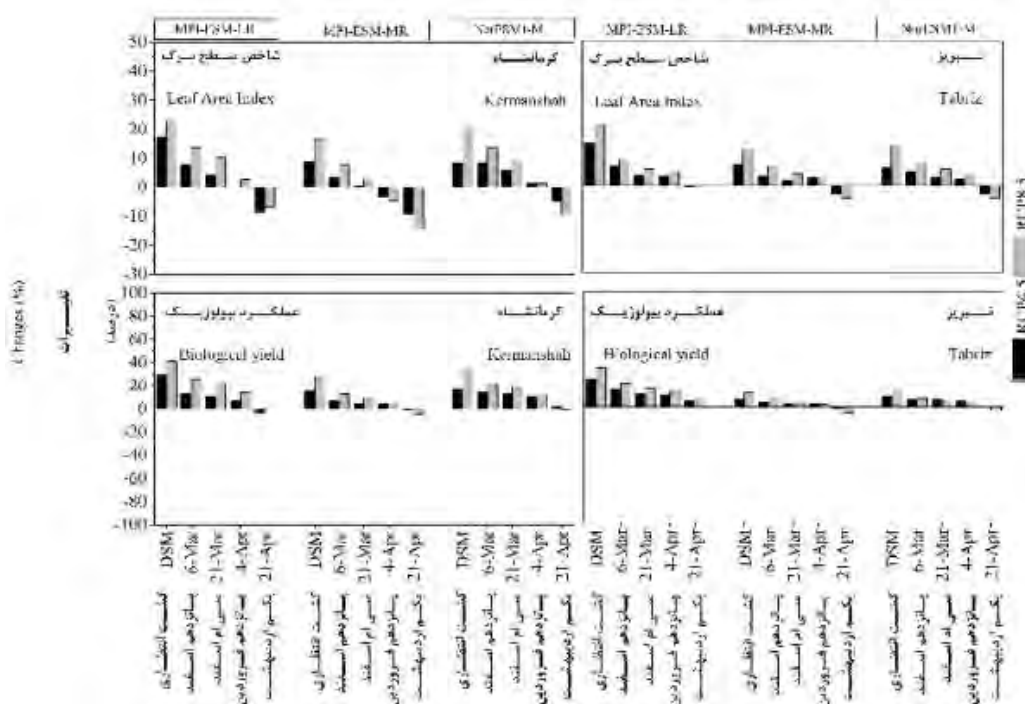
جدول ۵- تغییرات (درصد) میانگین دمای طول فصل رشد نخود دیم با استفاده از سه مدل گردش عمومی و دو سناریوی انتشار در آینده در کرمانشاه و تبریز.

**Table 5. Changes (%) in mean temperature over growing season of rainfed chickpea using three GCMs and two scenarios in future in Kermanshah and Tabriz.**

| منطقه<br>Location      | تاریخ کشت<br>sowing date | MPI-ESM-LR |        | MPI-ESM-MR |        | NorESM1-M |        |
|------------------------|--------------------------|------------|--------|------------|--------|-----------|--------|
|                        |                          | RCP4.5     | RCP8.5 | RCP4.5     | RCP8.5 | RCP4.5    | RCP8.5 |
| کرمانشاه<br>Kermanshah | کشت انتظاری<br>DSM       | +30.01     | +40.97 | +22.79     | +33.13 | +21.30    | +39.85 |
|                        | ۱۵ اسفند<br>6-Mar        | +16.56     | +22.59 | +12.59     | +18.28 | +11.77    | +21.97 |
|                        | ۳۰ اسفند<br>21-Mar       | +15.07     | +20.47 | +11.48     | +16.56 | +10.73    | +19.91 |
|                        | ۱۵ فروردین<br>4-Apr      | +13.62     | +18.64 | +10.34     | +15.08 | +9.66     | +18.14 |
|                        | ۱ اردیبهشت<br>21-Apr     | +12.11     | +16.47 | +9.21      | +13.31 | +8.61     | +16.02 |
| تبریز<br>Tabriz        | کشت انتظاری<br>DSM       | +31.96     | +45.60 | +28.45     | +40.47 | +25.66    | +48.53 |
|                        | ۱۵ اسفند<br>6-Mar        | +15.09     | +21.50 | +13.44     | +19.09 | +12.13    | +22.88 |
|                        | ۳۰ اسفند<br>21-Mar       | +13.47     | +19.28 | +11.99     | +17.12 | +10.82    | +20.52 |
|                        | ۱۵ فروردین<br>4-Apr      | +12.30     | +17.54 | +10.94     | +15.57 | +9.87     | +18.67 |
|                        | ۱ اردیبهشت<br>21-Apr     | +11.02     | +15.72 | +9.81      | +13.95 | +8.85     | +16.73 |

گردش عمومی و سناریوهای انتشار) بیشترین مقدار شاخص سطح برگ متعلق به کشت انتظاری بود و در مقایسه با تاریخ‌های کشت ۱۵ اسفند، ۳۰ اسفند، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت به ترتیب ۱۵/۰۵، ۲۲/۶۷، ۳۲ و ۴۸/۸۸ درصد بیش‌تر بود. هم‌چنین عملکرد زیستی کل در کشت انتظاری به ترتیب ۱۸/۵۲، ۲۶/۹۶، ۳۷/۰۸ و ۵۳/۵۳ درصد بیش‌تر از تاریخ‌های کشت ۱۵ اسفند، ۳۰ اسفند، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت بود.

نتایج نشان داد شاخص سطح برگ و عملکرد زیستی نخود دیم در شرایط آب و هوایی تبریز (میانگین تاریخ‌های کشت، مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای انتشار) به ترتیب ۱۳/۹۳ و ۲۸/۱۱ درصد بیش‌تر از کرمانشاه بود (شکل ۷). سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در مقایسه با دوره پایه به ترتیب ۴ و ۷/۲۱ درصد افزایش شاخص سطح برگ و ۹/۲۵ و ۳۹/۸۰ درصد افزایش عملکرد زیستی داشتند. در بین تاریخ‌های کشت (میانگین مناطق، مدل‌های



شکل ۷- تغییرات شاخص سطح برگ و عملکرد زیستی نخود دیم با استفاده از سه مدل گردش عمومی و دو سناریوی انتشار در آینده در کرمانشاه و تبریز.

Fig. 7. Changes in leaf area index and biological yield of rainfed chickpea using three GCMs and two scenarios in future in Kermanshah and Tabriz.

هوایی مراغه بررسی کردند نشان دادند افزایش عملکرد زیستی نخود در شرایط دیم ناشی از افزایش کارایی تعرق است (۳۸). حجارپور و همکاران (۲۰۱۴) دریافتند که عملکرد زیستی نخود در کرمانشاه تحت شرایط تغییر اقلیم به دلیل افزایش کارایی استفاده از تابش خورشید و هم‌چنین کارایی تعرق افزایش یافت (۳۷).

### نتیجه‌گیری کلی

واسنجی و اعتبارسنجی مدل SSM-Chickpea بیانگر دقت بالای آن در شبیه‌سازی عملکرد نخود بود. نتایج نشان داد دمای هوا در کرمانشاه و تبریز (میانگین مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای انتشار) به ترتیب ۱۶/۸۴ و ۱۹/۲۰ درصد در مقایسه با دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) افزایش نشان داد. در شرایط آب و هوایی کرمانشاه عملکرد دانه کشت انتظاری در

افزایش سطح برگ و متعاقب آن عملکرد زیستی در شرایط تغییر اقلیم می‌تواند به دلیل اثرات مثبت افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن برای نخود به عنوان یک گیاه  $C_3$  باشد. البته باید به این موضوع توجه داشت که افزایش بیش از حد دما می‌تواند اثرات مثبت افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن را برای گیاهان سه کربنه خنثی کند. در واقع دی‌اکسیدکربن یک ترکیب محدودکننده در فرآیندها فتوسنتز به‌شمار می‌رود که افزایش غلظت آن می‌تواند موجب افزایش فتوسنتز در گیاهان  $C_3$  شود (۱۴). هم‌چنین افزایش دی‌اکسیدکربن محیط باعث افزایش کارایی تعرق از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای برگ‌ها شده (۹) که در نهایت ماده خشک بیش‌تری به ازای هر میلی‌متر آب تعرق یافته در فرآیند فتوسنتز تولید می‌شود. سلطانی و قلی‌پور (۲۰۰۷) در پژوهشی که اثر تغییر اقلیم را بر رشد، عملکرد و مصرف آب نخود تحت شرایط آب و

و تبریز کشت انتظاری بیش‌ترین افزایش عملکرد دانه را در مقایسه با سایر تاریخ‌های کشت نسبت به دوره پایه به خود اختصاص داد (۴۳/۹۳+ و ۱۴/۸۶+ درصد). تطبیق بهتر دوره رشدی گیاه با فصل رشد، کاهش اثرات منفی دماهای بالا بر عملکرد دانه به‌خصوص در طول پر شدن دانه، افزایش کارایی تعرق به دلیل دماهای پایین‌تر در طی مراحل رشد و فرار از تنش خشکی انتهایی فصل دلایل برتری کشت انتظاری نخود دیم نسبت به سایر تاریخ‌های کشت بودند. بنابراین به کشاورزان توصیه می‌شود در شرایط فعلی و تغییر اقلیم آینده، نخود دیم به‌صورت انتظاری کشت شود تا با بهره‌گیری از بارش‌های زمستانه و سایر عوامل بهینه محیطی طی فصل رشد بیش‌ترین عملکرد دانه را به‌دست آورند.

مقایسه با تاریخ‌های کشت ۱۵ اسفند، ۳۰ اسفند، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت به ترتیب ۳۱/۸، ۵۵/۳، ۸۴/۳ و ۱۴۰/۳ درصد و در تبریز به ترتیب ۸/۶، ۱۸، ۳۲/۷ و ۶۸/۸ درصد بیش‌تر بود که دلیل آن برتری کشت انتظاری در صفات شاخص سطح برگ، طول فصل رشد، بارش تجمعی، تبخیر-تعرق و ماده خشک بود. افزایش عملکرد دانه نخود تحت شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه در کرمانشاه بیش‌تر از تبریز بود، به طوری که در کرمانشاه و تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱۳/۱۶ و ۲۴/۲۸ درصد و در تبریز به ترتیب ۴/۷۳ و ۵/۵ درصد افزایش عملکرد مشاهده شد. دلیل اصلی افزایش عملکرد تحت شرایط تغییر اقلیم در هر دو منطقه اثرات مثبت افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر فتوسنتز نخود به عنوان یک گیاه C<sub>3</sub> بود. در شرایط تغییر اقلیم آینده در کرمانشاه

#### منابع

- Eyni-Nargeseh, H., Deihimfard, R., Soufizadeh, S., Haghghat, M. and Nouri, O. 2016. Predicting the impacts of climate change on irrigated wheat yield in Fars province using APSIM model. *Electronic J. Crop Prod.* 8: 4. 203-224. (In Persian with English abstract)
- Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J. and Deihimfard, R. 2018. Adaptation strategies to lessen negative impact of climate change on grain maize under hot climatic conditions: A model-based assessment. *Agric. For. Meteorol.* 254: 1-14.
- Zeinali Mobarakeh, Z., Deihimfard, R. and Kambouzia, J. 2018. Modelling the Impacts of Climate Change on Irrigated Wheat Yield under Water Limited Conditions in Khorasan Razavi Province. *J. Agric. Sci. Sustain. Prod.* 28: 3. 155-169. (In Persian with English abstract)
- Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rotter, R.P., Lobell, D.B., Cammarano, D., Kimbal, B.A., Ottman, M.J., Wall, W., White, J.W., Reynolds, M.P., Alderman, P.D., Prasad, P.V.V., Aggarwal, P.K., Anothai, J., Basso, B., Biernath, C., Challinor, A.J., De Sanctis, G., Doltra, J., Fereres, E., Garcia-Vila, M., Gayler, S., Hoogenboom, G., Hunt, L.A., Izaurralde, R.D., Jabloun, M., Jounes, C.D., Kersebaum, K.C., Koehler, A.K., Muller, C., Naresh Kumar, S., Nendel, C., Leary, C.O., Olesen, J.E., Palosuo, T., Priesack, E., Eyshi Rezaei, E., Ruane, A.C., Semenov, M.A., Shcherbak, I., Stocke, C., Stratonovitch, P., Streck, T., Supit, I., Tao, F., Thorburn, P.J., Waha, K., Wang, E., Wallach, D., Woll, J., Zhao, Z. and Zhu, Y. 2015. Rising temperatures reduce global wheat production. *Nat. Clim. Chang.* 5: 143-147.
- Wang, B., Liu, D.L., Asseng, S., Macadam, I. and Yu, Q. 2015. Impact of climate change on wheat flowering time in eastern Australia. *Agric. For. Meteorol.* 209-210: 11-21.
- Manschadi, A.M., Soufizadeh, S. and Deihimfard, R. 2010. The role and importance of simulation modeling in improving crop production in Iran. Key paper in the 11<sup>th</sup> Iranian Crop Science Congress, pp. 234-247.

7. Tingem, M. and Rivington, M. 2009. Adaptation for crop agriculture to climate change in Cameroon: Turning on the heat. *Mitig. and Adapt. Strateg. Glob. Chang.* 14: 153-168.
8. Luo, Q., Bellotti, W., Williams, M. and Wang, E. 2009. Adaptation to climate change of wheat growing in South Australia: Analysis of management and breeding strategies. *Agric. Ecosyst. Environ.* 129: 261-267.
9. White, J.W., Hoogenboom, G., Kimball, B.A. and Wall, G.W. 2011. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *Field Crops Res.* 124: 357-368.
10. Soltani, A. and Sinclair, T.R. 2012. Optimizing chickpea phenology to available water under current and future climates. *Eur. J. Agron.* 38: 22-31.
11. Singh, P., Nedumaran, S., Boote, K.J., Gaur, P.M., Srinivas, K. and Bantilan, M.C.S. 2014. Climate change impacts and potential benefits of drought and heat tolerance in chickpea in South Asia and East Africa. *Eur. J. Agron.* 52: 123-137.
12. Mohammed, A., Tana, T., Singh, P., Molla, A. and Seid, A. 2017. Identifying best crop management practices for chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Northeastern Ethiopia under climate change condition. *Agric. Water Manage.* 194: 68-77.
13. Eyni-Nargeseh, H., Rahimi-Moghaddam, S., Deihimfard, R. and Mokhtassi-Bidgoli, A. 2017. Evaluation of yield and crop water requirement in response to change of planting date under climate change conditions in Kermanshah province. *J. Agric. Sci. Sustain. Prod.* 27: 3. 172-186. (In Persian with English abstract)
14. Hajjarpoor, A., Meghdadi, N., Soltani, A. and Kamkar, B. 2016. Assessment of the adaptation strategies in rainfed chickpea in response to future climate change in Zanzan province. *J. Agroecol.* 8: 2. 169-181. (In Persian with English Abstract)
15. MAJ [Ministry of Agriculture Jihad]. 2020. Agricultural statistics, 2019-2020, volume 1. Available at: <http://www.maj.ir/Portal/Home/>.
16. Zyaie, S.M., Nezami, A., Valizadeh, J. and Jafari, M. 2012. Evaluation of possible autumn sowing of lentil in Saravan condition. *Agron. J. (Pajouhesh Sazandegi)*. 104: 55-62. (In Persian with English abstract)
17. Amiri, S.R. and Deihimfard, R. 2018. Can the dormant seeding of rainfed lentil improve productivity and water use efficiency in arid and semi-arid conditions? *Field Crops Res.* 227: 67-78.
18. Hoogenboom, G., Jones, J.W., Porter, C.H., Wilkens, P.W., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A. and Tsuji G.Y. (Eds). 2003. Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. Vol. 1: Overview. University of Hawaii, Honolulu, HI.
19. Prescott, J.A. 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia.* 64: 114-118.
20. Ghahreman, N., Babaeian, I. and Tabatabaei, M. 2015. Investigation of uncertainty in the IPCC AR5 precipitation and temperature projections over Iran under RCP scenarios. *Our Future under Climate Change.* 7<sup>th</sup>-10<sup>th</sup> July, Paris, France.
21. Ruane, A.C., Winter, J.M., McDermid, S.P. and Hudson, N.I. 2014. AgMIP Climate Datasets and Scenarios for Integrated Assessment. In: Hillel, D., Rosenzweig, C. (Eds.), *Handbook of Climate Change and Agroecosystems: The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP) Phase I Activities (Vol. 3)*. ICP Series on Climate Change Impacts, Adaptation, and Mitigation. Imperial College Press.
22. Wilby, R.L. and Wigley, T.M.L. 1997. Downscaling general circulation model output: A review of methods and limitations. *Prog. Phys. Geogr.* 21: 530-548.
23. AgMIP. 2013a. Guide for Running AgMIP Climate Scenario Generation Tools with R in Windows. AgMIP, URL: <http://www.agmip.org/wp-content/uploads/2013/10/Guide-for-Running-AgMIP-Climate-Scenario-Generation-with-R-v2.3.pdf>.

24. AgMIP. 2013b. The coordinated climate-crop modeling project c3mp: an initiative of the agricultural model inter comparison and improvement project. C3MP Protocols and Procedures. AgMIP, URL: <http://research.agmip.org/download/attachments/1998899/C3MP+Protocols+v2.pdf>.
25. Araya, A., Hoogenboom, G., Luedeling, E., Hadgu, K.M., Kisekka, I. and Martorano, L.G. 2015. Assessment of maize growth and yield using crop models under present and future climate in southwestern Ethiopia. *Agric. For. Meteorol.* 214: 252-265.
26. Wilby, R.L., Charles, S.P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P. and Mearns, L.O. 2004. Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. In: IPCC Task Group on Data and Scenario Support for Impacts and Climate Analysis.
27. Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P. and Wilbanks, T. 2010. The next generation of scenarios for climate change. *Nature*. 463: 747-756.
28. Wayne, G.P. 2013. The beginner's guide to representative concentration pathways. *Skeptical Sci.*, URL: <http://www.skepticalscience.com/docs/RCP Guide>.
29. Soltani, A. and Sinclair, T.R. 2011. A simple model for chickpea development, growth and yield. *Field Crops Res.* 124: 252-260.
30. Amiri, S.R., Deihimfard, R. and Soltani, A. 2016. A single supplementary irrigation can boost chickpea grain yield and water use efficiency in arid and semiarid conditions: a modeling study. *Agron. J.* 108: 2406-2416.
31. Wallach, D. and Gofnet, B. 1987. Mean squared error of prediction in models for studying economic and agricultural systems. *Biometrics.* 43: 561-576.
32. Soltani, A. and Faraji, A. 2006. Determine phenology and growth rate of chickpea under rainfed conditions favorable for the dome of Gorgan. *J. Food Sci. Technol.* 20: 7. 49-57.
33. Meghdadi, N., Soltani, A., Kamkar, B. and Hajarpoor, A. 2015. Simulating the impact of climate change on production of chickpea in Zanjan province. *Electronic J. Crop Prod.* 7: 4. 1-22. (In Persian with English abstract)
34. Vadez, V., Soltani, A. and Sinclair, T.R. 2013. Crop simulation analysis of phenological adaptation of chickpea to different latitudes of India. *Field Crops Res.* 146: 1-9.
35. Wang, B., Liu, D.L., Asseng, S., Macadam, I. and Yu, Q. 2015. Impact of climate change on wheat flowering time in eastern Australia. *Agric. For. Meteorol.* 209-210: 11-21.
36. Deihimfard, R., Eyni-Nargeseh, H. and Farshadi, Sh. 2017. Modeling the effects of climate change on irrigation requirement and water use efficiency of wheat fields of Khuzestan province. *J. Water Soil.* 31: 4. 1015-1030. (In Persian with English abstract)
37. Hajarpoor, A., Soltani, A., Zeinali, E. and Sayyedi, F. 2014. Potential benefits from adaptation to climate change in chickpea. *J. Agric. Sci. Develop.* 3: 230-236.
38. Soltani, A. and Gholipoor, M. 2006. Simulating the impact of climate change on growth, yield and water use of chickpea. *J. Agric. Sci. Natur. Res.* 13: 69-79. (In Persian with English abstract)



## Evaluation of physiological growth indices and radiation use efficiency in different peanut genotypes in Guilan province

Somayeh Fallahi<sup>1</sup>, Mohammad Naghi Safarzade Vishekaei<sup>\*2</sup>, Peyman Sharifi<sup>3</sup>,  
Hasan Akhgari<sup>4</sup>

1. Ph.D. Student of Agronomy, Dept. of Agronomy, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran. E-mail: [somayefallahi303@yahoo.com](mailto:somayefallahi303@yahoo.com)
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Agronomy, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran. E-mail: [safarzadeh@iaurasht.ac.ir](mailto:safarzadeh@iaurasht.ac.ir)
3. Associate Prof., Dept. of Agronomy, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran. E-mail: [peyman.sharifi@gmail.com](mailto:peyman.sharifi@gmail.com)
4. Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran. E-mail: [akhgar\\_h@yahoo.com](mailto:akhgar_h@yahoo.com)

### Article Info

**Article type:**  
Full Length Research Paper

**Article history:**  
Received: 06.26.2022  
Revised: 08.08.2022  
Accepted: 09.11.2022

**Keywords:**  
Crop growth rate,  
Harvest index,  
Peanut,  
Pod growth rate,  
Pod yield

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Rainfed planting of peanuts in Guilan province has a history of more than 120 years. The use of late cultivar NC<sub>2</sub> in most of the peanut fields in this region during the last 45 years has provided the basis for the spread of diseases and severe functional fluctuations in the production of this plant. The light soil texture in the fields of this plant also increases the yield fluctuations of this cultivar in the low rainy years by reducing the available moisture for peanut plants. As a result, the introduction of new cultivars adapted to the climatic conditions of the region, which have good pod yield in rainfed conditions, is one of the most important necessity for Guilan province. Therefore, the present study was designed and conducted to investigate and compare physiological indices and radiation use efficiency in 14 new peanut genotypes and compare them with NC<sub>2</sub> cultivar.

**Materials and Methods:** This study was conducted as a randomized complete block design with three replications in two years 2016 and 2017 in Astaneh Ashrafiyeh city. 14 peanut genotypes along with NC<sub>2</sub> cultivar, which is the dominant cultivar in the region, formed experimental blocks. All genotypes were planted flat and in rainfed conditions. Heat unit throughout the growth period, crop growth rate, pod growth rate, partitioning coefficient, radiation use efficiency, pod yield, grain yield, biological yield and harvest index were studied in all genotypes and NC<sub>2</sub> cultivar and were compared with this cultivar.

**Results:** The results of this study indicated that the highest heat units from planting to harvesting maturity were observed in NC<sub>2</sub> cultivar and ICGV02317 and ICGV92222 genotypes, respectively, while ICGV00350 and ICGV87846 genotypes had the lowest heat units during the growing season. The highest values of crop growth rate, pod growth rate, radiation use efficiency, pod yield and grain yield were obtained from NC<sub>2</sub> cultivar and ICGV00420, ICGV99019 and ICGV92116 genotypes.

**Conclusion:** According to the results, in rainfed conditions, 3 genotypes ICGV00420, ICGV99019 and ICGV92116 reached the harvesting maturity stage faster than NC<sub>2</sub> cultivar with a lower heat unit in this area while in many of the measured traits were similar to the mentioned cultivar. The

---

results also indicated that the mentioned genotypes can be considered as an alternative to planting NC<sub>2</sub> cultivar in the region's farms according to the calculated physiological indices and radiation use efficiency because these genotypes had suitable radiation use efficiency, pod and grain yield under rainfed cultivation conditions.

---

Cite this article: Fallahi, Somayeh, Safarzade Vishekaci, Mohammad Naghi, Sharifi, Peyman, Akhgari, Hasan. 2023. Evaluation of physiological growth indices and radiation use efficiency in different peanut genotypes in Guilan province. *Journal of Plant Production*, 30 (1), 209-224.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2022.20365.2949

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## بررسی شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد و کارایی مصرف نور در ژنوتیپ‌های مختلف بادام‌زمینی در استان گیلان

سمیه فلاحی<sup>۱</sup>، محمدنقی صفرزاده ویشکایی<sup>۲\*</sup>، پیمان شریفی<sup>۳</sup>، حسن اخگری<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران. رایانامه: [somayefallahi303@yahoo.com](mailto:somayefallahi303@yahoo.com)
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه زراعت، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران. رایانامه: [safarzadeh@iaurasht.ac.ir](mailto:safarzadeh@iaurasht.ac.ir)
۳. دانشیار گروه زراعت، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران. رایانامه: [peyman.sharifi@gmail.com](mailto:peyman.sharifi@gmail.com)
۴. استادیار گروه زراعت، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران. رایانامه: [akhgar\\_h@yahoo.com](mailto:akhgar_h@yahoo.com)

| اطلاعات مقاله  | چکیده  |
|--|--|
| <b>نوع مقاله:</b><br>مقاله کامل علمی- پژوهشی   | <b>سابقه و هدف:</b> کاشت دیم بادام‌زمینی در استان گیلان سابقه‌ای بیش از ۱۲۰ سال دارد. استفاده از رقم دیررس NC <sub>2</sub> در بیش‌تر مزارع بادام‌زمینی این منطقه طی ۴۵ سال گذشته زمینه را برای گسترش بیماری‌ها و نوسانات عملکردی شدید در تولید این گیاه فراهم نموده است. سبک بودن بافت خاک در مزارع زیر کاشت این گیاه نیز از طریق کاهش رطوبت قابل‌استفاده برای بوته‌های بادام‌زمینی، نوسانات عملکردی این رقم را در سال‌های کم‌باران افزایش می‌دهد. در نتیجه در حال حاضر معرفی ارقام جدید سازگار با شرایط آب‌وهوایی منطقه که عملکرد غلاف مناسبی در شرایط دیم داشته باشند، یکی از مهم‌ترین نیازهای استان گیلان است؛ بنابراین پژوهش حاضر باهدف بررسی و مقایسه شاخص‌های فیزیولوژیکی و کارایی مصرف نور در ۱۴ ژنوتیپ جدید بادام‌زمینی و مقایسه آن‌ها با رقم NC <sub>2</sub> طراحی و اجرا شد. |
| <b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۱/۰۴/۰۵<br><b>تاریخ ویرایش:</b> ۱۴۰۱/۰۵/۱۷<br><b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۱/۰۶/۲۰       | <b>مواد و روش‌ها:</b> این پژوهش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در شهرستان آستانه‌اشرفیه واقع در استان گیلان انجام گرفت. ۱۴ ژنوتیپ بادام‌زمینی به همراه رقم NC <sub>2</sub> که رقم غالب کشت شده در منطقه است، بلوک‌های آزمایشی را تشکیل دادند. کاشت همه ژنوتیپ‌ها به‌صورت مسطح و در شرایط دیم انجام شد. واحد گرمایی در کل دوره رشد، سرعت رشد محصول، سرعت رشد غلاف، ضریب تسهیم، کارایی مصرف نور، عملکرد غلاف، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت در همه ژنوتیپ‌ها و رقم NC <sub>2</sub> اندازه‌گیری شدند و با این رقم مورد مقایسه قرار گرفتند.  |
| <b>واژه‌های کلیدی:</b><br>بادام‌زمینی،<br>سرعت رشد غلاف،<br>سرعت رشد محصول،<br>شاخص برداشت،<br>عملکرد غلاف | <b>یافته‌ها:</b> نتایج این پژوهش نشان داد بیش‌ترین واحد گرمایی از کاشت تا رسیدگی برداشت به‌ترتیب در رقم NC <sub>2</sub> و ژنوتیپ‌های ICGV02317 و ICGV92222 مشاهده شد درحالی‌که   |

---

ژنوتیپ‌های ICGV00350 و ICGV87846 کم‌ترین واحد گرمایی را طی فصل رشد داشتند. بالاترین مقادیر سرعت رشد محصول، سرعت رشد غلاف، کارایی مصرف نور، عملکرد غلاف و عملکرد دانه از رقم NC<sub>2</sub> و ژنوتیپ‌های ICGV00420، ICGV99019 و ICGV92116 به‌دست آمد. درحالی‌که کم‌ترین مقادیر از این صفات اندازه‌گیری‌شده در ژنوتیپ ICGV00351 مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست‌آمده سه ژنوتیپ ICGV00420، ICGV99019 و ICGV92116 در شرایط دیم در مقایسه با رقم NC<sub>2</sub> با واحد گرمایی کم‌تری در این منطقه به مرحله رسیدگی برداشت رسیدند درحالی‌که در بسیاری از صفات اندازه‌گیری‌شده مشابه رقم مذکور بودند. همچنین نتایج به‌دست‌آمده نشان دادند ژنوتیپ‌های مذکور با توجه به شاخص‌های فیزیولوژیک و کارایی مصرف نور محاسبه‌شده، می‌توانند به‌عنوان جایگزین برای کاشت رقم NC<sub>2</sub> در مزارع منطقه موردتوجه قرار گیرند؛ زیرا این ژنوتیپ‌ها در شرایط کشت دیم کارایی مصرف نور، عملکرد غلاف و دانه مناسبی داشتند.

---

استناد: فلاحی، سمیه، صفرزاده ویشکایی، محمدنقی، شریفی، پیمان، اخگری، حسن (۱۴۰۲). بررسی شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد و کارایی مصرف نور در ژنوتیپ‌های مختلف بادام‌زمینی در استان گیلان. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۰ (۱)، ۲۲۴-۲۰۹.

DOI: 10.22069/JOPP.2022.20365.2949



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه روغنی در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری است (۱). در ایران، این گیاه زراعی یکی از مهم‌ترین گیاهان اقتصادی استان گیلان است که به‌صورت دیم در سطحی حدود ۲۵۰۰ هکتار از خاک‌های رسوبی و آهکی اطراف رودخانه سفیدرود از شهرستان آستانه‌اشرفیه تا نزدیک دریای خزر که دارای رطوبت مناسبی طی فصل رشد هستند، کشت می‌شود. کاشت مداوم رقم NC<sub>2</sub> به‌عنوان رقم غالب طی ۴۵ سال گذشته در این منطقه باعث ایجاد تفرق صفات در این رقم شده است. علاوه بر این بیماری‌های مختلف در اراضی زیر کاشت این رقم افزایش یافته و مهم‌تر از همه با وقوع تغییرات آب‌وهوایی در منطقه و کاهش مقدار بارندگی‌ها طی فصل رشد بادام‌زمینی، نوسانات عملکردی زیادی در ۱۰ سال اخیر در پرباره‌ترین منطقه تولید بادام‌زمینی کشور به وجود آمده است (۲). با توجه به بافت سبک خاک در زمین‌های زیر کاشت این گیاه در دنیا، تولید دیم بادام‌زمینی کاملاً به بارندگی‌های رخ داده طی فصل رشد وابسته بوده (۱ و ۳) و در سال‌های کم‌باران عملکرد غلاف این گیاه به‌شدت تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد (۴). بنابراین نیاز به کاشت ارقام جدید در این استان بیش‌ازپیش احساس شده و برای معرفی ارقام جدید بادام‌زمینی در این منطقه باید ارقامی را انتخاب نمود که علاوه بر سازگاری با شرایط کاشت دیم و مقاومت به بیماری‌ها، از همه عوامل محیطی مؤثر بر رشد حداکثر استفاده را نموده و عملکرد غلاف مناسبی نیز داشته باشند (۲).

مقدار و چگونگی تثبیت انرژی نور خورشید در گیاهان زراعی از مهم‌ترین شاخص‌های فیزیولوژیکی تعیین‌کننده رشد و عملکرد است (۳). بادام‌زمینی از نظر مسیر فتوسنتزی جزء گیاهان سه‌کربنه است، اما

سرعت فتوسنتز این گیاه در شدت نورهای زیاد با سرعت فتوسنتز گیاهان چهارکربنه قابل‌مقایسه بوده و مدارکی مبنی بر اشباع نوری در این گیاه همانند آنچه که در سایر گیاهان سه‌کربنه مشاهده می‌شود، وجود ندارد (۱ و ۵). عکس‌العمل‌های فتوسنتزی مشاهده شده از این گیاه نسبت به شرایط مختلف محیطی باعث شده است تا این گیاه بتواند به محدوده وسیعی از شرایط نوری در مناطق مرطوب، خشک و نیمه‌خشک تطابق پیدا کند (۱ و ۳). مقدار زیاد فتوسنتز بادام‌زمینی در هر سطح نوری نشان می‌دهد این گیاه یکی از گیاهان بسیار مفید از نظر تبدیل انرژی خورشیدی جذب‌شده به کربن تثبیت‌شده است (۵). اما کاهش مقدار نور خورشید و دمای هوا طی دوره پرشدن غلاف‌های بادام‌زمینی، عملکرد غلاف این گیاه را کاهش می‌دهد (۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰). علاوه بر این ارقام بادام‌زمینی بسته به فرم رشد خود عکس‌العمل‌های فتوسنتزی متفاوتی را طی فصل رشد به‌ویژه طی دوره رشد غلاف‌ها در زیر خاک‌نشان می‌دهند (۳).

جهت دستیابی به عملکردهای بالا و پایداری عملکرد در بادام‌زمینی، استفاده از ارقامی که در بهره‌برداری از منابع موردنیاز برای تولید بهتر عمل می‌کنند و کم‌ترین نوسانات عملکردی را در محیط تولید دارند، جزء اولین مؤلفه‌ها است (۶ و ۸). رشد رویشی و زایشی در بادام‌زمینی به‌وسیله ژنوتیپ و عملیات زراعی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۱۱ و ۱۲). دانکن و همکاران (۱۹۷۸) اعلام کردند عملکرد ارقام بادام‌زمینی تابعی از سرعت رشد محصول، تسهیم مواد پرورده فتوسنتزی به غلاف‌های در حال رشد در زیر خاک و طول دوره رشد زایشی آن‌ها است (۱۲). عملکرد غلاف و دانه بادام‌زمینی به‌وسیله عواملی مانند تاریخ کاشت، مقدار نیتروژن داخل بافت‌های گیاه، مواد تنظیم‌کننده رشد و تخصیص مواد پرورده

تغییرات دما، ساعات آفتابی و بارندگی منطقه طی فصل رشد بادام‌زمینی در سال‌های زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به صورت هفتگی (شکل ۱- الف و ب) ارائه شده است. پیش از انجام آزمایش یک نمونه مرکب از خاک محل انجام آزمایش تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن توسط آزمایشگاه آب‌و خاک مؤسسه تحقیقات برنج کشور تعیین گردید (جدول ۱). برای این آزمایش از طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار استفاده شد. ۱۱ ژنوتیپ اسپانیایی به نام‌های ICGV00351، ICGV00420، ICGV87846، ICGV91104، ICGV92222، ICGV93392، ICGV96177، ICGV99010، ICGV99235 و ICGV99017 به همراه ۳ ژنوتیپ ویرجینیایی ICGV02317، ICGV03077، ICGV92116 و رقم ویرجینیایی NC<sub>2</sub> که رقم غالب کشت شده در منطقه است (شاهد) بلوک‌های آزمایشی را تشکیل دادند. همه ژنوتیپ‌ها همانند رقم NC<sub>2</sub> از نوع ایستاده بودند. این ژنوتیپ‌ها از طریق دفتر پنبه و دانه‌های روغنی وزارت جهاد کشاورزی تهیه گردید. زمین محل انجام این آزمایش در سال قبل هم زیر کشت بادام‌زمینی رقم NC<sub>2</sub> بود. جهت تهیه بستر کاشت در هر سال شخم نسبتاً عمیقی در اوایل بهار زده شد. پس از آن با استفاده از روتواتور کلوخه‌های به وجود آمده از شخم، کاملاً خرد شدند. واحدهای آزمایشی در ابعاد ۳ × ۳ متر و به فاصله ۱۰۰ سانتی‌متر از واحد آزمایشی مجاور ایجاد شدند. بین تکرارها نیز فاصله‌ای حدود ۱ متر در نظر گرفته شد.

کاشت همه ژنوتیپ‌های بادام‌زمینی به صورت مسطح و در شرایط دیم انجام گرفت. در سال ۱۳۹۶ بذرها در تاریخ ۳ و ۴ اردیبهشت و در سال ۱۳۹۷ در تاریخ ۱۳ و ۱۴ اردیبهشت کاشت شدند. آرایش کاشت در همه ژنوتیپ‌ها و رقم NC<sub>2</sub> به صورت مربع با فواصل کاشت ۴۵ × ۴۵ سانتی‌متر بود. در هر سال،

فتوستتزی به غلاف‌های در حال رشد در زیر خاک تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۱، ۳، ۴ و ۱۱). وجود رابطه خطی بین نور جذب شده و کل ماده خشک تولید شده در بسیاری از گیاهان زراعی از جمله بادام‌زمینی به اثبات رسیده است (۳). کارایی مصرف نور خصوصیتی است که بیش‌تر تحت تأثیر عوامل ژنتیکی قرار می‌گیرد، ولی عوامل محیطی و عملیات مدیریتی مانند رقم، تاریخ کاشت و تراکم بوته بر آن اثر می‌گذارند که این موضوع ناشی از تأثیر این عوامل بر فرایند فتوستتزی است (۱). مقدار کارایی مصرف نور گزارش شده برای گیاه بادام‌زمینی در مناطق مختلف دنیا متفاوت بوده به طوری که مقدار کارایی مصرف نور برای بادام‌زمینی در هند در شرایط تنش خشکی، ۰/۸۹ (۱۲)، در استرالیا ۱/۷۹ و ۲/۴۹ (۷)، در فلوریدای آمریکا ۲/۲۲ (۱۳)، در استرالیا ۲/۴۹ تا ۳/۰۲ (۸) و در آرژانتین در شرایط آبیاری قطره‌ای ۳/۵۲ و ۳/۹۹ (۹) گرم بر مگاژول گزارش شده است. بنابراین از آنجایی که برای معرفی ژنوتیپ‌های جدید در یک منطقه بررسی شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد و کارایی مصرف نور آن‌ها، نقش مهمی در تعیین مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها با توجه به شرایط اقلیمی منطقه خواهند داشت، در نتیجه این مطالعه با هدف بررسی خصوصیات فیزیولوژیکی رشد و مقدار کارایی مصرف نور در ۱۴ ژنوتیپ جدید بادام‌زمینی و مقایسه آن‌ها با همین خصوصیات در رقم NC<sub>2</sub> به مرحله اجرا درآمد.

### مواد و روش‌ها

این بررسی در دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در زمین زراعی یک کشاورز نمونه در شهرستان آستانه اشرفیه با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۲ متر پایین‌تر از سطح دریا، به مرحله اجرا درآمد.

برای تعیین دوره رشد در همه ژنوتیپ‌ها و رقم NC<sub>2</sub> از کاشت تا برداشت، از روش واحد حرارتی و مجموع درجه حرارت مؤثر استفاده گردید. برای این کار ابتدا واحد حرارتی روزانه از طریق کم کردن دمای پایه از میانگین دمای هوا در آن روز، به دست آمد و پس از آن از جمع کردن واحدهای حرارتی روزانه، مجموع واحدهای حرارتی از زمان کاشت تا زمان برداشت محاسبه گردید. دمای پایه برای بادام‌زمینی ۱۳ و حداکثر دما برای رشد ۳۵ درجه سلسیوس در نظر گرفته شد (۱ و ۳). سرعت رشد محصول و سرعت رشد غلاف بر اساس اطلاعات فنولوژیکی و اطلاعات به‌دست آمده از برداشت نهایی از طریق رابطه‌های ۱ و ۲ برای هر ژنوتیپ محاسبه گردید (۱۵):

قبل از کاشت بر اساس نتایج آزمون خاک حدود ۸۵ کیلوگرم در هکتار اوره، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل، ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به خاک مزرعه محل انجام آزمایش اضافه شد (۳). در زمان گلدهی نیز ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار گچ (۱) جهت تأمین گوگرد موردنیاز رشد غلاف‌ها به‌صورت نواری در کنار بوته‌های بادام‌زمینی به خاک هر واحد آزمایشی اضافه و با عملیات وجین با خاک مخلوط گردید. برای تأمین آهن موردنیاز ژنوتیپ‌های بادام‌زمینی از محلول‌پاشی کلات آهن سکوسترین روی قسمت‌های هوایی بوته‌های بادام‌زمینی در دو مرحله ۵ برگی و گلدهی کامل بوته‌ها به نسبت ۲ در هزار استفاده شد (۲). مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت مکانیکی و با دست انجام گرفت.

$$(1) \quad (\text{تعداد روز از کاشت تا برداشت}) / ((1/65 \times \text{عملکرد غلاف}) + \text{عملکرد قسمت‌های هوایی}) = \text{سرعت رشد محصول}$$

(۲)

$$\text{تعداد روز از کاشت تا برداشت} / ((1/65 \times \text{عملکرد غلاف})) = \text{سرعت رشد غلاف}$$

$$(15) - \text{تعداد روز از کاشت تا 50 درصد گلدهی} -$$

Sunscan مدل SS1-UM-2.0 شرکت دل‌تا تی در مقاطع زمانی مختلف طی دوره رشد به دست آمد. برای تعیین مقدار تشعشع دریافتی ابتدا پروب دستگاه در نزدیک سطح خاک و در زیر بوته‌های بادام‌زمینی به‌گونه‌ای قرار گرفت که انتها و ابتدای پروب دستگاه در فاصله بین ردیف‌های کاشت پای گیاه و عمود بر ردیف‌های کاشت قرار گرفت. پس از آن تشعشع دریافتی در بالای پوشش گیاهی و کف پوشش گیاهی، در سه نقطه از هر کرت در روزهای کاملاً آفتابی بین ساعات ۱۲ تا ۱۴ به‌طور تصادفی اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به‌عنوان تشعشع دریافتی برای هر کرت در نظر گرفته شد. مقدار تشعشع ورودی روزانه با

با استفاده از نسبت سرعت رشد غلاف به‌سرعت رشد محصول در هر ژنوتیپ، ضریب تسهیم محاسبه شد (۱۲).

برای محاسبه کارایی مصرف نور مقدار ماده خشک تجمعی، شاخص سطح برگ و مقدار تابش تجمعی جذب شده طی ۶ مرحله از شروع گلدهی (R<sub>1</sub>) تا قبل از رسیدگی فیزیولوژیک غلاف‌های بادام‌زمینی (R<sub>8</sub>) با فواصل ۱۰ روزه در فصل رشد اندازه‌گیری شدند. مقدار ماده خشک تجمعی از طریق نمونه‌برداری از بوته‌های بادام‌زمینی به روش گاردنر و همکاران تعیین گردید (۶). مقادیر شاخص سطح برگ و مقدار تشعشع دریافتی با استفاده از دستگاه

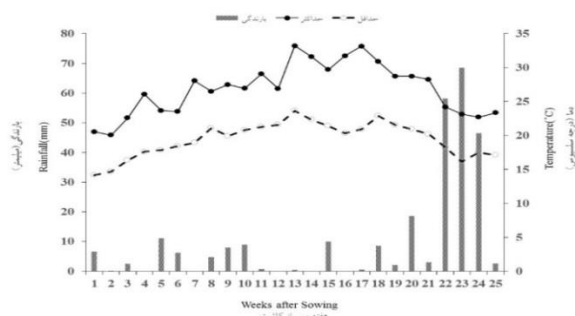
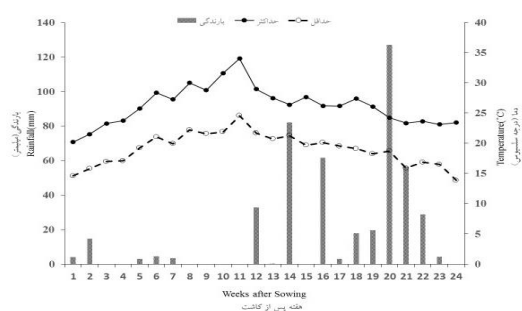
استفاده از ساعات آفتابی اخذ شده از ایستگاه سینوپتیک کاشهر و بر اساس رابطه آنگستروم:  $\frac{I}{I_0} = A + B(n/N)$  تصحیح گردید که در این رابطه I مقدار تشعشع روزانه بالای پوشش گیاهی با توجه به ساعات آفتابی، n تعداد ساعات آفتابی، N طول روز و A و B ضرایب آنگستروم هستند که مقادیر آن‌ها برای شهرستان آستانه اشرفیه به ترتیب

۰/۲۵ و ۰/۵ در نظر گرفته شدند. مقادیر تابش جذب شده روزانه با داشتن مقادیر شاخص سطح برگ و تابش ورودی روزانه بر حسب مگاژول در مترمربع در روز محاسبه شدند. سپس کارایی مصرف نور از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک کل (گرم بر مترمربع) و تشعشع تجمعی (مگاژول بر مترمربع) برآورد گردید (۱۰، ۱۵، ۱۶ و ۱۸).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی.

Table 1. Selected physical and chemical characteristics of experimental field soil.

|  |   |  |   |   |  |  |  |                   |                          |
|--|---|--|---|---|--|--|--|-------------------|--------------------------|
| روری قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)<br>Available Zinc (mg.Kg <sup>-1</sup> ) | آهن قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)<br>Available Iron (mg.Kg <sup>-1</sup> ) | کلسیم محلول خاک (میلی‌اکی‌ولان در لیتر)<br>Soil solution calcium (meq/l) | کلسیم تبادل‌ناپذیر خاک (میلی‌اکی‌ولان در ۱۰۰ گرم خاک)<br>Soil exchange calcium (meq/100g) | پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)<br>Available Potassium (mg.Kg <sup>-1</sup> ) | فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)<br>Available Phosphorus (mg.Kg <sup>-1</sup> ) | نیترژن کل (درصد)<br>Total Nitrogen (%) | هدایت الکتریکی خاک (دسی‌زیمنس بر متر)<br>EC (ds/m) | اسیدیته خاک<br>pH | بافت خاک<br>Soil texture |
| 4.3  | 4.4   | 5.2  | 28.3  | 183   | 8.1  | 0.041                                  | 0.64   | 7.5               | Silty Loam               |



شکل ۱- مشخصات آب‌وهوایی منطقه آستانه اشرفیه در سال زراعی ۱۳۹۶ (راست) و ۱۳۹۷ (چپ).

Fig. 1. The climatic properties of Astaneh Ashrafiyeh region in 2016 (right) and 2017 (left) cropping seasons.

نارس، از قهوه‌ای شدن قسمت داخلی غلاف و رنگ قسمت بیرونی آن که معیاری برای جداسازی غلاف‌های رسیده از غلاف‌های نارس است، استفاده گردید (۱). غلاف‌ها به مدت یک هفته در هوای آزاد

جهت محاسبه عملکرد غلاف بادام‌زمینی، ابتدا غلاف‌های کاملاً رسیده از بوته‌های واقع در منطقه برداشت هر کرت (۱۰ بوته) جدا شدند. برای جداسازی غلاف‌های کاملاً رسیده از غلاف‌های



### نتایج و بحث

سرعت رشد محصول: نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد اثر ژنوتیپ بر سرعت رشد محصول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین سرعت رشد محصول در رقم NC<sub>2</sub> و ژنوتیپ‌های ICGV99019، ICGV87846، ICGV92116، ICGV00420 مشاهده شد که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. اما کم‌ترین سرعت رشد محصول در ژنوتیپ‌های ICGV99017 و ICGV00351 مشاهده گردید (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل افزایش سرعت رشد محصول در رقم شاهد و چهار ژنوتیپ ICGV92116، ICGV99019، ICGV87846، ICGV00420 افزایش بیش‌تر سطح برگ در آنها بود. این موضوع به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل در به‌وجود آمدن اختلاف سرعت رشد مطرح است (۱) و (۳). به‌طور کلی در هر مرحله از رشد که سرعت تولید مواد پرورده فتوسنتزی زیاد باشد، سرعت رشد محصول افزایش پیدا می‌کند از مهم‌ترین عواملی که بر سرعت تولید مواد پرورده فتوسنتزی در ارقام بادام‌زمینی اثر می‌گذارد، شرایط محیطی مساعد مانند دمای هوا و مقدار تابش نور خورشید و نیز بالا بودن کارایی مصرف نور در ارقام مختلف این گیاه است (۴، ۵ و ۶) به‌نظر می‌رسد این شرایط برای ارقام با نیاز حرارتی بیش از ۱۴۰۰ واحد برای تکمیل مراحل رشد خود به‌گونه‌ای فراهم بود که توانستند سرعت رشد محصول خود را افزایش دهند (۳).

سرعت رشد غلاف: تجزیه واریانس مرکب سرعت رشد غلاف بیانگر معنی‌دار شدن اثر ژنوتیپ بر این صفت در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۲). بیش‌ترین سرعت رشد غلاف در ژنوتیپ‌های ICGV99019، ICGV00420، ICGV87846 و رقم NC<sub>2</sub> مشاهده شد (جدول ۳). رشد غلاف‌های

و در سایه جهت کاهش رطوبت قرار گرفتند. پس از آن غلاف‌ها تا رسیدن به وزن خشک ثابت، به مدت ۴۸ ساعت داخل آون تهویه‌دار و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس نگه داشته شدند. پس از خارج کردن غلاف‌ها از آون، وزن خشک غلاف‌ها با استفاده از ترازوی دارای دقت یک‌صدم گرم تعیین گردید.

برای تعیین عملکرد دانه، همه غلاف‌های کاملاً رسیده که قبلاً در آون خشک شده بودند، پوست‌گیری شدند و عملکرد دانه‌های بادام‌زمینی در هر کرت با استفاده از ترازوی دارای یک‌صدم گرم محاسبه گردید. البته قبل از وزن کردن دانه‌ها، آن‌ها به مدت سه ساعت در آون و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس نگه داشته شدند تا به وزن خشک ثابت برسند. برای تعیین عملکرد بیولوژیک، قسمت‌های هوایی بوته‌های واقع در منطقه برداشت هر کرت به همراه گل‌ها، پگ‌ها و غلاف‌های نارس به مدت ۴۸ ساعت تا رسیدن به وزن خشک ثابت داخل آون تهویه‌دار و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس نگه داشته شدند (۱). پس از این مدت وزن خشک این قسمت‌ها با ترازوی دارای دقت یک‌صدم گرم تعیین گردید سپس با اضافه کردن وزن خشک غلاف‌های رسیده به این مقدار عملکرد زیستی در هر کرت محاسبه شد. شاخص برداشت از نسبت عملکرد غلاف به عملکرد بیولوژیک تعیین گردید (۱۲).

برای انجام تجزیه مرکب داده‌ها، ابتدا آزمون بارتلت بر روی داده‌های حاصل انجام گرفت و پس از اطمینان از همگن بودن داده‌های به‌دست‌آمده، تجزیه مرکب داده‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۶/۱۲ انجام شد. تجزیه کلاستر بر اساس میانگین صفات داده‌های اصلی برای همه صفات با استفاده از روش حداقل واریانس وارد با معیار فاصله‌ای اقلیدسی انجام گرفت.

پرورده فتوسنتزی را به سمت خود جذب نمایند. در بادام‌زمینی روزهای بلند سبب کاهش تسهیم مواد به دانه‌ها و غلاف‌ها می‌شود. علاوه بر طول روز، تغییر دما و خصوصیات ژنوتیپ نیز از عوامل مهم تغییر در تسهیم مواد فتوسنتزی هستند (۳ و ۱۰).

**واحد گرمایی از کاشت تا رسیدگی برداشت:** تجزیه واریانس مرکب واحد گرمایی نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار دوره رشد ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۲). به‌طورکلی بر اساس واحد گرمایی، رقم NC<sub>2</sub> به بیش از ۱۸۰۰ درجه روز برای تکمیل دوره رشد خود نیاز داشت. ژنوتیپ‌های ICGV02317 (۱۷۸۴ درجه روز) و ICGV92222 (۱۷۱۴ درجه روز) نیز به واحد گرمایی زیادی برای تکمیل دوره رشد خود نیاز داشتند. ژنوتیپ‌های ICGV92116، ICGV99017، ICGV93392، ICGV91104، ICGV99235 و ICGV96177 نیاز حرارتی تقریباً مشابهی داشتند. چهار ژنوتیپ ICGV00351، ICGV99019، ICGV03077 و ICGV00420 با حدود ۱۴۰۰ واحد حرارتی دوره رشد خود را کامل کردند و دو ژنوتیپ ICGV00350 و ICGV87846 کم‌ترین نیاز حرارتی را از کاشت تا رسیدگی برداشت، داشتند (جدول ۳).

**کارایی مصرف نور:** تجزیه واریانس مرکب کارایی مصرف نور نیز نشان‌دهنده اثر معنی‌دار ژنوتیپ بر این صفت در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۲). بیش‌ترین کارایی مصرف نور در ژنوتیپ‌های ICGV99019، ICGV00420 و رقم NC<sub>2</sub> مشاهده شد درحالی‌که کم‌ترین مقدار کارایی مصرف نور در ژنوتیپ‌های ICGV00351، ICGV99017، ICGV99235 و ICGV96177 به‌دست آمد که جزء ژنوتیپ‌های زودرس بودند (جدول ۳). ژنوتیپ‌های

بادام‌زمینی تابعی از تسهیم مواد پرورده فتوسنتزی به غلاف‌های درحال‌رشد، دمای خاک و جذب مستقیم برخی از عناصر غذایی به‌ویژه کلسیم توسط غلاف‌های درحال‌رشد در زیر خاک است (۱، ۱۴ و ۱۹). به‌نظر می‌رسد بالا بودن ضریب تسهیم و مناسب بودن دمای خاک طی دوره پرشدن غلاف و رشد دانه باعث افزایش سرعت رشد غلاف در ژنوتیپ‌های ذکرشده گردید (۳ و ۱۹).

**ضریب تسهیم:** تجزیه واریانس مرکب ضریب تسهیم نشان‌دهنده اثر معنی‌دار ژنوتیپ بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد بود (جدول ۲). بیش‌ترین ضریب تسهیم در ژنوتیپ‌های ICGV99017، ICGV02317، ICGV93392، ICGV96177 که نیاز حرارتی کم‌تری داشتند و جزء ارقام زودرس قرار گرفتند، مشاهده شد. البته در ژنوتیپ ICGV02317 که نیاز حرارتی بالایی طی دوره رشد خود داشت و ژنوتیپ دیررسی بود، ضریب تسهیم همانند سه ژنوتیپ قبل بود. کم‌ترین تسهیم مواد پرورده فتوسنتزی در ژنوتیپ‌های دیررس ICGV92222، متوسط رس ICGV00350 و ICGV87846 مشاهده گردید.

ضریب تسهیم، تقسیم روزانه مواد پرورده فتوسنتزی بین قسمت‌های رویشی و زایشی گیاه است که نمی‌توان آن را به‌طور مستقیم و به‌صورت روزانه اندازه‌گیری کرد. اما امکان تخمین آن از طریق نسبت سرعت رشد زایشی به‌سرعت رشد رویشی (۱۲) و یا از طریق نسبت وزن قسمت‌های زایشی به عملکرد بیولوژیک (۶ و ۱۹) در بادام‌زمینی وجود دارد. از آنجایی‌که تسهیم مواد پرورده فتوسنتزی مبحث بسیار پیچیده‌ای است، در نتیجه تعیین علت افزایش و یا کاهش تسهیم مواد فتوسنتزی اندکی مشکل می‌شود. زیرا این گیاه از زمان شروع تشکیل غلاف تا انتهای فصل رشد به‌طور مرتب پگ‌ها و غلاف‌هایی تولید می‌کند که هر یک از آن‌ها می‌توانند بخشی از مواد

زراعی اغلب ناشی از تفاوت آن‌ها در مقدار نور جذب‌شده و به عبارت دیگر تفاوت در کارایی مصرف نور آن‌ها است (۲۰). به نظر می‌رسد گسترش عرضی کم‌تر بوته‌ها و تولید انشعابات جانبی کم‌تر ساقه در چهار ژنوتیپ ذکر شده به‌ویژه در ۱۲ تا ۱۶ هفته پس از کاشت، باعث کاهش شاخص سطح برگ در آن‌ها نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها شد و این امر زمینه را برای کاهش قابل‌توجه کارایی مصرف نور در آن‌ها فراهم کرد.

با عملکرد بالا، دارای کارایی مصرف نور و شاخص سطح برگ بیش‌تری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها هستند (۱۳، ۱۶ و ۱۷) مونتیث (۱۹۷۷) گزارش کرد کارایی مصرف نور برای گیاهان زراعی تقریباً ثابت و حدود ۱/۴ گرم ماده خشک به‌ازای هر مگاژول انرژی خورشیدی جذب شده است. وی بیان نمود با وجود این‌که کارایی مصرف نور بیش‌تر تحت‌تأثیر عوامل ژنتیکی است، اما عوامل محیطی، عملیات زراعی و رقم نیز این عامل را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. برخی بررسی‌ها نشان داده‌اند که تفاوت ارقام مختلف گیاهان

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد ژنوتیپ‌های بادام‌زمینی.

Table 2. Combined analysis of variance for physiological growth indices of peanut genotypes.

| میانگین مربعات<br>MS  |   |                                      |  |  | درجه<br>آزادی<br>df | منابع تغییرات<br>S.O.V.         |
|---|---|--------------------------------------|--|--|---------------------|---------------------------------|
| واحد گرمایی از<br>کاشت تا برداشت<br>Heat unit from<br>sowing to<br>harvesting | کارایی<br>مصرف نور<br>Radiation use<br>efficiency | ضریب تسهیم<br>Partitioning<br>factor | سرعت رشد<br>غلاف<br>Pod growth<br>rate | سرعت<br>رشد محصول<br>Crop growth<br>rate |                     |                                 |
| 191158.276*   | 0.089 <sup>ns</sup>                               | 598.48 <sup>ns</sup>                 | 525.50 <sup>ns</sup>                   | 81.32 <sup>ns</sup>                      | 1                   | سال<br>Year (Y)                 |
| 5508.681  | 0.037   | 219.13                               | 174.04                                 | 52.02                                    | 4                   | سال (تکرار)<br>Y (Replication)  |
| 88143.384**   | 0.621**   | 412.19*                              | 797.55**                               | 919.68**                                 | 14                  | ژنوتیپ<br>Genotype              |
| 1765.234 <sup>ns</sup>  | 0.043 <sup>ns</sup>                               | 106.62 <sup>ns</sup>                 | 103.47 <sup>ns</sup>                   | 35.63 <sup>ns</sup>                      | 14                  | ژنوتیپ × سال<br>Genotype × year |
| 6741.23   | 0.022   | 186.67                               | 178.46                                 | 128.47                                   | 56                  | خطای آزمایش<br>Error            |
| 11.41   | 9.20  | 15.00                                | 25.39                                  | 20.37                                    |                     | ضریب تغییرات (درصد)<br>C.V. (%) |

<sup>ns</sup>، \* و \*\* به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

<sup>ns</sup>, \* and \*\* non significant, significant at 5 and 1 probability level, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین شاخص‌های فیزیولوژیک رشد ژنوتیپ‌های بادام‌زمینی.

**Table 3. Mean comparison of physiological growth indices of peanut genotypes.**

| واحد گرمایی از کاشت تا برداشت<br>Heat unit from sowing to harvesting (GDD) | کارایی مصرف نور<br>Radiation use efficiency (g.MJ <sup>-1</sup> ) | ضریب تسهیم<br>Partitioning factor | سرعت رشد غلاف<br>(گرم بر مترمربع در روز)<br>Pod growth rate g.m <sup>-2</sup> .day <sup>-1</sup> | سرعت رشد محصول<br>(گرم بر مترمربع در روز)<br>Crop growth rate g.m <sup>-2</sup> .day <sup>-1</sup> | ژنوتیپ‌ها<br>Genotypes |
|--|---|-----------------------------------|--|--|------------------------|
| 1419.93 <sup>g</sup>   | 1.11 <sup>e</sup>   | 0.87 <sup>ab</sup>                | 2.63 <sup>e</sup>  | 3.02 <sup>e</sup>  | ICGV00351              |
| 1572.68 <sup>d</sup>   | 2.02 <sup>a</sup>   | 0.83 <sup>ab</sup>                | 5.60 <sup>a</sup>  | 6.68 <sup>a</sup>  | ICGV99019              |
| 1450.38 <sup>f</sup>   | 1.88 <sup>ab</sup>  | 0.80 <sup>ab</sup>                | 4.68 <sup>bcd</sup>  | 5.82 <sup>ab</sup>   | ICGV03077              |
| 1714.83 <sup>c</sup>   | 1.82 <sup>b</sup>   | 0.77 <sup>ab</sup>                | 3.52 <sup>cde</sup>  | 4.52 <sup>de</sup>   | ICGV92222              |
| 1556.13 <sup>d</sup>   | 1.85 <sup>ab</sup>  | 0.76 <sup>ab</sup>                | 5.08 <sup>ab</sup>   | 6.62 <sup>a</sup>  | ICGV92116              |
| 1343.98 <sup>h</sup>   | 1.74 <sup>abc</sup>   | 0.82 <sup>ab</sup>                | 4.91 <sup>ab</sup>   | 5.93 <sup>ab</sup>   | ICGV00350              |
| 1486.43 <sup>e</sup>   | 2.01 <sup>a</sup>   | 0.80 <sup>ab</sup>                | 5.40 <sup>a</sup>  | 6.75 <sup>a</sup>  | ICGV00420              |
| 1563.98 <sup>d</sup>   | 1.16 <sup>c</sup>   | 0.91 <sup>a</sup>                 | 3.58 <sup>cde</sup>  | 3.92 <sup>de</sup>   | ICGV99017              |
| 1784.73 <sup>f</sup>   | 1.50 <sup>bc</sup>  | 0.94 <sup>a</sup>                 | 4.80 <sup>bc</sup>   | 5.10 <sup>bcd</sup>  | ICGV02317              |
| 1563.98 <sup>d</sup>   | 1.56 <sup>bc</sup>  | 0.93 <sup>a</sup>                 | 4.86 <sup>bc</sup>   | 5.20 <sup>bcd</sup>  | ICGV93392              |
| 1367.58 <sup>h</sup>   | 1.68 <sup>bc</sup>  | 0.74 <sup>b</sup>                 | 4.75 <sup>bcd</sup>  | 6.69 <sup>a</sup>  | ICGV87846              |
| 1548.88 <sup>d</sup>   | 1.64 <sup>bc</sup>  | 0.87 <sup>ab</sup>                | 5.04 <sup>bc</sup>   | 5.74 <sup>bcd</sup>  | ICGV91104              |
| 1572.53 <sup>d</sup>   | 1.20 <sup>de</sup>  | 0.85 <sup>ab</sup>                | 4.15 <sup>cd</sup>   | 4.85 <sup>cde</sup>  | ICGV99235              |
| 1563.98 <sup>d</sup>   | 1.27 <sup>de</sup>  | 0.94 <sup>a</sup>                 | 5.02 <sup>ab</sup>   | 5.30 <sup>bcd</sup>  | ICGV96177              |
| 1822.98 <sup>a</sup>   | 2.03 <sup>a</sup>   | 0.89 <sup>a</sup>                 | 5.75 <sup>a</sup>  | 6.73 <sup>a</sup>  | NC <sub>2</sub>        |
| 25.07  | 0.17  | 0.15                              | 1.54   | 1.31   | LSD (5%)               |

میانگین‌های هر ستون که دارای حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد به روش LSD معنی‌دار نمی‌باشند

Means in each column followed by the same letter are not significantly different at 5% probability based on LSD

سطح، بستگی به تعداد غلاف در واحد سطح و وزن هر غلاف داشته و تعداد غلاف نیز بستگی به تعداد پگ و غلاف‌های تولید شده در زمان مناسب برای پرشدن دارد. میزان رشد غلاف و رشد دانه تا رسیدن آن، بستگی به دمای هوا و تأمین و عرضه مواد کربنی از طریق فتوسنتز دارد (۱، ۶ و ۱۴). بنابراین عملکرد غلاف بادام‌زمینی به وسیله واریته، فاصله کاشت، مصرف کود، رطوبت خاک و انواع خاک تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۳). قسمت عمده‌ای از تفاوت عملکرد در بین ارقام بادام‌زمینی با سرعت رشد تقریباً یکسان، ناشی از تفاوت در تقسیم مواد فتوسنتزی روزانه به

**عملکرد غلاف:** نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد غلاف بادام‌زمینی نشان داد اثر ژنوتیپ بر عملکرد غلاف در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بالاترین عملکرد غلاف بادام‌زمینی از رقم NC<sub>2</sub> و ژنوتیپ‌های ICGV99019، ICGV92116، ICGV00350 و ICGV00420 به دست آمد در حالی که کم‌ترین عملکرد غلاف در ژنوتیپ ICGV00351 مشاهده‌گری (جدول ۵). به نظر می‌رسد برتری عملکرد غلاف ژنوتیپ‌های بادام‌زمینی با بالا بودن سرعت رشد غلاف و ضریب تسهیم آن‌ها (جدول ۳) در ارتباط است. عملکرد غلاف بادام‌زمینی در واحد

نور خورشید مؤثرند (۳). به نظر می‌رسد گسترش عرضی بوته‌ها در پنج ژنوتیپ فوق که به طور کامل فاصله بین ردیف‌های کاشت و نیز فاصله دو بوته روی ردیف‌های کاشت را طی ۱۲ تا ۱۶ هفته پس از کاشت پرکرده بودند، باعث افزایش تولید ماده خشک و در نتیجه افزایش عملکرد بیولوژیکی در آن‌ها شده باشد که این موضوع باتوجه به مقدار کارایی مصرف نور و سرعت رشد محصول این ژنوتیپ‌ها نسبت به سایرین قابل توجه است.

**شاخص برداشت:** نتایج تجزیه واریانس مرکب شاخص برداشت بادام‌زمینی نشان داد اثر ژنوتیپ بر شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بالاترین مقدار شاخص برداشت از رقم  $NC_2$  و ژنوتیپ‌های ICGV92116، ICGV00420، ICGV990170، ICGV02317 و ICGV96177 به دست آمد درحالی‌که کم‌ترین مقدار شاخص برداشت در ژنوتیپ ICGV00351 مشاهده گردید (جدول ۵). دانکن و همکاران (۱۹۷۸) گزارش کردند شاخص برداشت بادام‌زمینی می‌تواند به طور قابل توجهی تابعی از سرعت رشد محصول، تسهیم مواد پرورده به غلاف‌های درحال‌رشد در زیر خاک و طول مدت مؤثر پرشدن غلاف‌ها باشد (۱۲). بررسی این موارد در پنج ژنوتیپ دارای بیش‌ترین مقدار شاخص برداشت توجه‌کننده این موضوع است. اما از آنجایی‌که شاخص برداشت در این گیاه به شدت تحت تأثیر عواملی مانند جذب عناصر غذایی از خاک توسط ریشه‌ها و غلاف‌های درحال‌رشد در زیر خاک است (۱) بنابراین به نظر می‌رسد توانایی جذب آب از خاک در شرایط دیم توسط این ژنوتیپ‌ها نیز یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در تغییرات شاخص برداشت آن‌ها باشد.

غلاف‌ها است. این امر به منشأ مواد پرورده تولید شده، مخزن‌های مختلف فیزیولوژیکی برای مواد پرورده و ظرفیت انتقال مواد پرورده بین مبدأ و مقصد بستگی دارد (۹، ۱۰ و ۱۹).

**عملکرد دانه:** نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه بادام‌زمینی نیز بیانگر اثر معنی‌دار ژنوتیپ بر این صفت در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۴). بالاترین عملکرد دانه در رقم  $NC_2$  و ژنوتیپ‌های ICGV00350، ICGV00420، ICGV92116 مشاهده شد درحالی‌که کم‌ترین مقدار عملکرد دانه در ژنوتیپ ICGV00351 با عملکرد دانه ۷۶۹ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۵). عملکرد دانه بادام‌زمینی تابعی از سرعت رشد غلاف و درصد مغزدهی که نشان‌دهنده تسهیم مواد فتوسنتزی بین دانه‌ها و پوسته غلاف است (۳). علاوه بر این طول مدت پرشدن دانه‌ها نیز یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در عملکرد دانه است که احتمالاً این موضوع نیز در رقم  $NC_2$  و ژنوتیپ‌هایی که دارای عملکرد دانه بیش‌تری هستند، باعث افزایش عملکرد دانه شده است (۳ و ۱۱).

**عملکرد بیولوژیکی:** نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد بیولوژیکی بادام‌زمینی نشان داد اثر ژنوتیپ بر عملکرد بیولوژیکی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بالاترین عملکرد بیولوژیکی در رقم  $NC_2$  و ژنوتیپ‌های ICGV99019، ICGV03077، ICGV00350، ICGV00420 و ICGV87846 مشاهده شد درحالی‌که کم‌ترین مقدار عملکرد زیستی در ژنوتیپ ICGV00351 مشاهده گردید (جدول ۵). نحوه رشد ساقه‌های جانبی در ژنوتیپ‌های بادام‌زمینی و تولید گل روی آن‌ها از مهم‌ترین عواملی هستند که در گسترش عرضی بوته‌ها و در نتیجه پوشش بیش‌تر سطح زمین جهت دریافت

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب عملکرد غلاف و صفات وابسته به آن.

**Table 4. Combined analysis of variance for pod yield and associated characteristics.**

| میانگین مربعات               |                                  |                           |                          | درجه آزادی<br>df | منابع تغییرات<br>S.O.V.         |
|------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------|---------------------------------|
| MS                           |                                  |                           |                          |                  |                                 |
| شاخص برداشت<br>Harvest index | عملکرد زیستی<br>Biological yield | عملکرد دانه<br>Seed yield | عملکرد غلاف<br>Pod yield |                  |                                 |
| 6.30 <sup>ns</sup>           | 192949347.61 <sup>**</sup>       | 29903.40 <sup>ns</sup>    | 88485.38 <sup>ns</sup>   | 1                | سال<br>Year (Y)                 |
| 92.26                        | 174916.20                        | 754501.13                 | 552007.11                | 4                | سال (تکرار)<br>Y (Replication)  |
| 146.36 <sup>*</sup>          | 6216926.92 <sup>**</sup>         | 717521.37 <sup>**</sup>   | 2108512.14 <sup>**</sup> | 14               | ژنوتیپ<br>Genotype              |
| 43.39 <sup>ns</sup>          | 1047858.22 <sup>ns</sup>         | 70775.87 <sup>ns</sup>    | 216380.33 <sup>ns</sup>  | 14               | ژنوتیپ × سال<br>Genotype × year |
| 77.47                        | 1301010.30                       | 1693223.94                | 482989.24                | 56               | خطای آزمایش<br>Error            |
| 19.43                        | 24.21                            | 25.88                     | 25.65                    |                  | ضریب تغییرات (درصد)<br>C.V. (%) |

<sup>ns</sup>, \* و \*\* به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد  
<sup>ns</sup>, \* and \*\* non significant, significant at 5 and 1 probability level, respectively

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد غلاف و صفات وابسته به آن در ژنوتیپ‌های بادام زمینی.

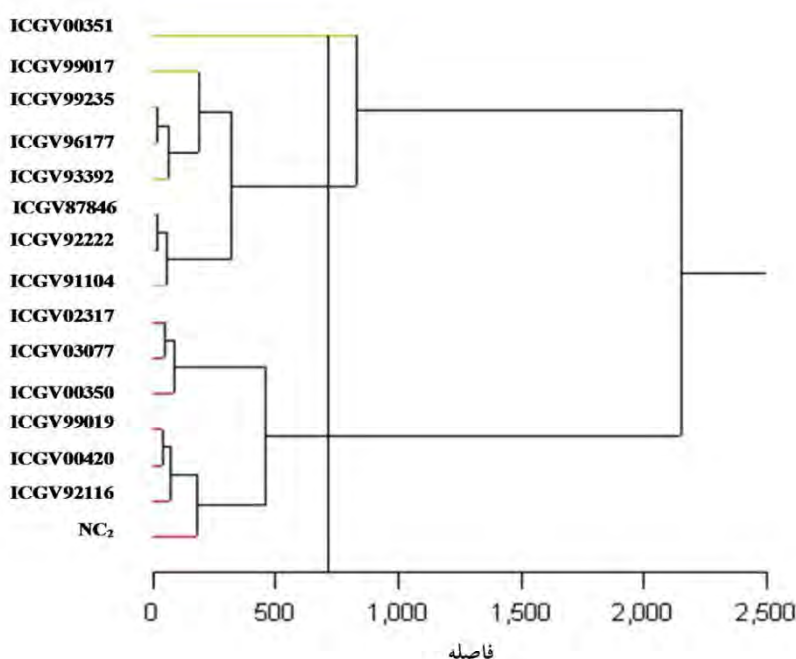
**Table 5. Mean comparison of pod yield and associated characteristics in peanut genotypes.**

| شاخص برداشت<br>Harvest index (%) | عملکرد زیستی<br>Biological yield (kg ha <sup>-1</sup> ) | عملکرد دانه<br>seed yield (kg ha <sup>-1</sup> ) | عملکرد غلاف<br>Pod yield (kg ha <sup>-1</sup> ) | ژنوتیپ‌ها<br>Genotypes |
|----------------------------------|---|--|---|------------------------|
| 41.69 <sup>bc</sup>              | 2499.04 <sup>g</sup>                                    | 768.64 <sup>f</sup>                              | 1314.51 <sup>g</sup>                            | ICGV00351              |
| 46.14 <sup>bc</sup>              | 6016.5 <sup>a</sup>                                     | 1874.92 <sup>a</sup>                             | 3229.05 <sup>a</sup>                            | ICGV99019              |
| 45.28 <sup>ab</sup>              | 5228.03 <sup>a</sup>                                    | 1785.83 <sup>abc</sup>                           | 2955.32 <sup>abc</sup>                          | ICGV03077              |
| 43.69 <sup>b</sup>               | 4780.02 <sup>bcd</sup>                                  | 1464.42 <sup>bcde</sup>                          | 2579.83 <sup>bcd</sup>                          | ICGV92222              |
| 54.05 <sup>a</sup>               | 4689.04 <sup>cde</sup>                                  | 1977.32 <sup>a</sup>                             | 3397.33 <sup>a</sup>                            | ICGV92116              |
| 46.56 <sup>ab</sup>              | 5059.51 <sup>ab</sup>                                   | 1899.85 <sup>a</sup>                             | 3029.71 <sup>abc</sup>                          | ICGV00350              |
| 48.06 <sup>ab</sup>              | 5360.06 <sup>ab</sup>                                   | 1924.25 <sup>a</sup>                             | 3304.02 <sup>a</sup>                            | ICGV00420              |
| 48.06 <sup>ab</sup>              | 3282.51 <sup>fg</sup>                                   | 1257.93 <sup>e</sup>                             | 2053.71 <sup>fg</sup>                           | ICGV99017              |
| 49.47 <sup>ab</sup>              | 4368.55 <sup>bcd</sup>                                  | 1766.12 <sup>abc</sup>                           | 2841.02 <sup>bcd</sup>                          | ICGV02317              |
| 43.72 <sup>b</sup>               | 4508.03 <sup>ab</sup>                                   | 1401.34 <sup>cde</sup>                           | 2440.32 <sup>cdef</sup>                         | ICGV93392              |
| 47.42 <sup>c</sup>               | 5349.51 <sup>a</sup>                                    | 1468.22 <sup>bcde</sup>                          | 2537.05 <sup>bcd</sup>                          | ICGV87846              |
| 44.54 <sup>ab</sup>              | 4754.03 <sup>ab</sup>                                   | 1483.91 <sup>bcde</sup>                          | 2669.51 <sup>bcd</sup>                          | ICGV91104              |
| 42.12 <sup>bc</sup>              | 4263.53 <sup>def</sup>                                  | 1383.17 <sup>de</sup>                            | 2313.07 <sup>ef</sup>                           | ICGV99235              |
| 49.35 <sup>ab</sup>              | 3753.51 <sup>efg</sup>                                  | 1347.46 <sup>de</sup>                            | 2334.06 <sup>ef</sup>                           | ICGV96177              |
| 48.05 <sup>ab</sup>              | 5755.52 <sup>a</sup>                                    | 2039.41 <sup>a</sup>                             | 3630.52 <sup>a</sup>                            | NC2                    |
| 10.18                            | 1319.2  | 768.64 <sup>f</sup>                              | 803.79  | LSD (5%)               |

میانگین‌های هر ستون که دارای حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد به روش LSD معنی‌دار نمی‌باشند  
Means in each column followed by the same letter are not significantly different at 5% probability based on LSD

خصوصیات درون‌گروهی مشابه و بین‌گروهی غیرمشابه قرار گرفتند. گروه اول شامل ژنوتیپ ICGV00350، گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های ICGV96177، ICGV99235، ICGV99017 و ICGV92222، ICGV87846، ICGV93392 و ICGV91104 و گروه سوم شامل ژنوتیپ‌های ICGV00350، ICGV03077، ICGV02317 و ICGV92116، ICGV00420، ICGV99019 رقم NC<sub>2</sub> بودند.

**تجزیه خوشه صفات مورد مطالعه:** پس از تبدیل هر یک از متغیرهای مورد مطالعه به توزیع نرمال در تجزیه خوشه‌ای جهت تعیین فاصله بین ژنوتیپ‌ها از مربع فاصله اقلیدسی و روش وارد استفاده گردید. نتایج تجزیه خوشه بر اساس میانگین صفات داده‌های اصلی برای همه صفات انجام شد که نتایج آن‌ها به صورت دندروگرام در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل مذکور مشاهده می‌شود با توجه به نقطه برش، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در سه گروه با



شکل ۲- دندروگرام ژنوتیپ‌های بادام‌زمینی مورد مطالعه بر اساس روش حداقل واریانس وارد.

Fig. 2. Dendrogram for Peanut genotypes base on Ward Least Variance Method.

ژنوتیپ‌ها در مجموع خصوصیات فیزیولوژیک بررسی شده و کارایی مصرف نور، مشابه رقم NC<sub>2</sub> عمل نمودند؛ ولی دوره رشد کوتاه‌تری داشتند. این موضوع از نظر کاهش نیاز آبی بسیار بااهمیت است زیرا کاشت بادام‌زمینی در استان گیلان به صورت دیم صورت می‌گیرد.

### نتیجه‌گیری

سه ژنوتیپ ICGV99019، ICGV00420 و ICGV92116 به ترتیب با نیاز حرارتی ۱۴۳۹، ۱۴۸۶ و ۱۵۵۶ درجه روز در مقایسه با نیاز حرارتی رقم NC<sub>2</sub> (۱۸۲۲ درجه روز)، عملکرد غلاف و دانه مشابه با این رقم دارند و می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های جایگزین مورد توجه قرار گیرند. زیرا این

منابع

1. Smartt, J. 1994. The groundnut crop. A scientific basis for improvement. London. Chapman & Hall, 734p.
2. Safarzade Vishekaei, M.N. 2017. Effect of iron and zinc on yield and qualitative characteristics of peanut seed in Guilan province. Final report of the research project. Islamic Azad University, Rasht Branch, 95p. (In Persian)
3. Maiti, R. and Ebeling P.W. 2002. The peanut (*Arachis hypogaea*) crop. Science Publisher, Inc. 376p.
4. Reddy, T.Y., Reddy, V.R. and Anbumozhi, V. 2003. Physiological responses of groundnut (*Arachis hypogea* L.) to drought stress and its amelioration: a critical review. Plant Growth Reg. 41: 75-88.
5. Pallas, J.E. and Samish Y.B. 1974. Photosynthetic response of peanut. Crop Sci. 14: 478-482.
6. Bell, M.J., Wright, G.C. and Harch, G. 1993. Environmental and agronomic effects on the growth of four peanut genotypes in a sub-tropical environment. I. Dry matter accumulation and radiation use efficiency. Exp. Agric. 29: 473-490.
7. Bell, M.J., Wright, G.C. and Hammer, G.L. 1992. Night temperature affects radiation-use efficiency in peanut. Crop Sci. 32: 1329-1335.
8. Chapman, S.C., Ludlow, M.M., Blamey, F.P.C. and Fischer, K.S. 1993. Effect of drought during early reproductive development on growth of cultivars of groundnut (*Arachis hypogaea* L.): I. Utilization of radiation and water during drought. Field Crops Res. 32: 193-210.
9. Collino, D.J., Dardanelli, J.L., Sereno, R. and Racca, R.W. 2001. Physiological responses of Argentine peanut varieties to water stress, light interception, radiation use efficiency and partitioning of assimilates. Field Crops Res. 70: 177-184.
10. Craufurd, P.Q., Vara Prasad P.V. and Summerfield, R.J. 2002. Dry matter production and rate of change of harvest index at high temperature in peanut. Crop Sci. 42: 146-151.
11. Gardner, F.P. and Auma, E.O. 1988. Canopy structure, light interception, yield and market quality of peanut genotypes as influenced by planting pattern and planting date. Field Crop Res. 20: 13-29.
12. Duncan, W.G., McCloud D.E., McGraw R.L. and Boote, K.J. 1978. Physiological aspects of peanut yield improvement. Crop Sci. 18: 1015-1021.
13. Bennett, J.M., Sinclair, T.R., Li, M.A. and Boote, K.J. 1993. Single leaf carbon exchange and canopy radiation use efficiency of four peanut cultivars. Peanut Sci. 20: 1-5.
14. Matthews, R.B., Harris, D., Williams, J.H. and Nageswara Rao, R.C. 1988. The physiological basis for yield differences between four genotypes of groundnut (*Arachis hypogaea*) in response to drought.: II. Solar radiation interception and leaf movement. Exp. Agric. 24: 203-213.
15. Williams, J.H. 1992. Concepts for the application of crop physiological models to crop breeding. In: Groundnut- A global Perspective: Proceeding of an International Workshop., 25-29 Nov 1991, ICRISAT Asia Centre, Patancheru, Andhra Pradesh.
16. Hammer, G.L. and Wright, G.C. 2000. A theoretical analysis of nitrogen and radiation effects on radiation use efficiency in peanut. Aust. J. Agric. Res. 45: 3. 575-589.
17. Kiniry, J.R., Simpson, C.E., Schubert, A.M. and Reed, J.D. 2005. Peanut leaf area index, light interception, radiation use efficiency and harvest index at three sites in Texas. Field Crops Res. 91: 297-306.
18. Rosati, A., Metcalf, S.G. and Lampinen, B.D. 2004. A simple method to estimate photosynthetic radiation use efficiency of canopies. Ann. Bot. 93: 567-574.
19. Bell, M.J. and Wright, G.C. 1994. The N<sub>2</sub>-fixing capacity of peanut cultivars with differing assimilate partitioning characteristic. Aust. J. Agric. Res., 45: 1455-1468.
20. Monteith, J.L. 1977. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems, J. App. Ecol. 9: 747-766.



## Identification of anthocyanin compounds in 10 Grape Cultivars (*Vitis Vinifera* L.) By HPLC-DAD Method

Fatemeh Sadeghian<sup>1</sup>, Esmail Seifi<sup>\*2</sup>, Seyyede Sanaz Ramezani<sup>3</sup>,  
Seyyed Alireza Salami<sup>4</sup>

1. Ph.D. Student, Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: [fatemesadeghian66@gmail.com](mailto:fatemesadeghian66@gmail.com)
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: [esmaeilseifi@gau.ac.ir](mailto:esmaeilseifi@gau.ac.ir)
3. Associate Prof., Dept. of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: [ramezani@gau.ac.ir](mailto:ramezani@gau.ac.ir)
4. Associate Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: [asalami@ut.ac.ir](mailto:asalami@ut.ac.ir)

### Article Info

**Article type:**  
Full Length Research Paper

**Article history:**  
Received: 07.24.2022  
Revised: 08.17.2022  
Accepted: 09.11.2022

**Keywords:**

Antioxidant,  
Diversity,  
Malvidin,  
PCA,  
Total phenol

### ABSTRACT

**Introduction and Objectives:** Grapes are a significant source of phenolic compounds, Genetic factors primarily determine anthocyanins, and in grapes, skin color is a critical and influential factor in the large germplasm of grapes. Since about 250 cultivars of 800-1000 grape cultivars are grown in Iran, studying anthocyanin compounds in the available germplasm resources is crucial. Therefore, this study was carried out to investigate the profile and diversity of different polyphenolic and anthocyanin compounds in some colored grapevine cultivars (*V. vinifera* L).

**Materials and Methods:** In this study the cultivars Flame, Crimson, Red Globe, Sahebi ghoochan, Ghare Shire, Sahebi Urmia, Syah Ghare Bagh, Rish baba, Flame seedless and Lale Bidane were investigated. The amount of phenol in the pulp was measured by the Folin-Ciocalteu method, and total flavonoids were measured by aluminum chloride calorimetry method. Total anthocyanin was measured with a spectrophotometer at 760 nm. The evaluation of the individual anthocyanin compounds was done by HPLC-DAD. Analysis of variance for all morphological traits was performed with the software IBM SPSS 26 using the one-way method ANOVA. The correlation among varieties, PCA analysis, and the scatter plot of the distribution according to PC1/PC2 were made with the statistical software SPSS. The distance values were calculated using the Euclidean method, and the dendrogram was generated using the UPGMA method of the NCSS statistical software (NCSS.12).

**Results:** The percentage of total phenols, flavonoids, and anthocyanins in the berries of the studied cultivars were 48, 43, and 9, respectively. The results showed that the highest concentrations of total phenols were found in the cultivars "Crimson" (16.94 mg GAE/100 g), "Red Globe" (13.74 mg GAE/100 g), and "Flame" (13.58 mg GAE/100 g). The highest content of total flavonoids was found in "Flame" (36.47 mg100 g<sup>-1</sup>) and "Red Globe" (10.05 mg 100g<sup>-1</sup>), also the highest content of anthocyanins was found in "Ghare Shire", "Syah Ghare Bagh", "Lale Bidane" and "Sahebi Urmia" with 6.09, 6.59, 3.58 and 2.01 mg kg<sup>-1</sup>, respectively. Among the varieties studied, the lowest content of total anthocyanins, flavonoids, and phenol respectively was observed in "Flame" with 0.23 mg kg<sup>-1</sup> and

---

“Syah Ghare Bagh” with 5.8 mg/kg, and in “Sahebi ghoochan” with 2.88 mg kg<sup>-1</sup>. The composition of pelargonidin and its derivatives was not identified. The concentration of malvidin in “Flame” and “Red Globe” was trace and was not observed in “Sahebi Urmia” and “Lale Bidane”. The correlation results show that the highest positive and significant correlations were between delphinidin 6-acetyl glucoside and cyanidin 6-acetyl glucoside ( $r=0.99$ ). Malvidin showed the highest correlation with delphinidin and petunidin. According to the dendrogram of cluster analysis of ten red cultivars for anthocyanins, they were divided into two main groups. The first group consisted of the two cultivars “Syah Ghare Bagh” and “Ghare Shire”, further away from the other eight cultivars of the second group.

**Conclusion:** The studied cultivars showed significant differences in the individual anthocyanin compounds and the amount of phenol, flavonoids, and total anthocyanins. According to the results, peonidin and malvidin had the highest concentrations in the studied cultivars; In “Syah Ghare Bagh”, the highest concentration of peonidin was found at 54.08 mg kg DW<sup>-1</sup>, and in “Ghare Shire” malvidin with 42.78 mg kg DW<sup>-1</sup>. In addition “Syah Ghare Bagh” and “Ghare Shire” had the highest total anthocyanin concentration. Consequently, these genotypes were located in a separate group by distance from most cultivars based on cluster analyses.

---

Cite this article: Sadeghian, Fatemeh, Seifi, Esmail, Ramezanzpour, Seyyedeh Sanaz, Salami, Seyyed Alireza. 2023. Identification of anthocyanin compounds in 10 Grape Cultivars (*Vitis Vinifera* L.) By HPLC-DAD Method. *Journal of Plant Production*, 30 (1), 225-242.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2022.20456.2956

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## شناسایی ترکیبات آنتوسیانینی در ۱۰ رقم انگور (*Vitis vinifera* L.) با روش HPLC-DAD

فاطمه صادقیان<sup>۱</sup>، اسماعیل سیفی<sup>۲\*</sup>، سیده ساناز رمضانپور<sup>۳</sup>، سید علیرضا سلامی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.  
رایانامه: [fatemesadeghian66@gmail.com](mailto:fatemesadeghian66@gmail.com)
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.  
رایانامه: [esmaeilseifi@gu.ac.ir](mailto:esmaeilseifi@gu.ac.ir)
۳. دانشیار گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.  
رایانامه: [ramezanpours@gu.ac.ir](mailto:ramezanpours@gu.ac.ir)
۴. دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: [asalami@ut.ac.ir](mailto:asalami@ut.ac.ir)

| اطلاعات مقاله  | چکیده  |
|--|--|
| <b>نوع مقاله:</b><br>مقاله کامل علمی-پژوهشی  | <b>سابقه و هدف:</b> انگور یا تاک ( <i>Vitis vinifera</i> L.) منبع مهمی از ترکیبات فنولی و آنتوسیانینی بوده و این ترکیبات خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضدسرطانی قوی دارند. آنتوسیانین‌ها در درجه اول توسط عوامل ژنتیکی تعیین می‌شوند. رنگ پوست میوه در انگور، یک عامل مهم و مؤثر در شناسایی ژرم پلاسما غنی این گیاه و تحت تأثیر مقدار آنتوسیانین است. از آنجایی که حدود ۲۵۰ رقم از مجموع ۸۰۰-۱۰۰۰ ژنوتیپ انگور در ایران رشد می‌کنند، مطالعه ترکیبات آنتوسیانینی در منابع ژرم پلاسمی ضروری است. این مطالعه جهت بررسی تنوع ترکیبات پلی‌فنولی و آنتوسیانینی در ۱۰ رقم رنگی انگور انجام شد.  |
| <b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۱/۰۵/۰۲<br><b>تاریخ ویرایش:</b> ۱۴۰۱/۰۵/۲۶<br><b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۱/۰۶/۲۰ |  |
| <b>واژه‌های کلیدی:</b><br>آنتی‌اکسیدان، تنوع، فنول کل، مالویدین، PCA                                 | <b>مواد و روش‌ها:</b> در این پژوهش، ارقام فلیم، کریمسون، رد گلاب، صاحبی قوچان، قره‌شیره، صاحبی ارومیه، سیاه قره‌باغ، ریش‌بابا، فلیم سیدلس و لعل بیدانه مورد بررسی قرار گرفتند. نمونه‌های انگور رنگی (قرمز و سیاه) زمانی برداشت شدند که مقدار قند آن‌ها در محدوده ۱۹-۲۲ بود و رنگ‌گیری کامل داشتند. میزان فنول کل در گوشت میوه با روش فولین سیوکالتو انجام شد و از اسید گالیک به عنوان استاندارد استفاده گردید. اندازه‌گیری فلاونوئید کل با روش کالری‌متری آلومینیوم کلراید و تعیین مقدار آنتوسیانین پوست حبه به روش وانگر (۱۹۷۹) با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۰ نانومتر انجام شد. اندازه‌گیری ترکیبات آنتوسیانینی در پوست حبه با روش HPLC-DAD انجام شد. تجزیه واریانس همه صفات ریخت‌شناسی توسط نرم‌افزار IBM SPSS 26 و با استفاده از ANOVA یک‌طرفه انجام شد. |

همبستگی ژنوتیپ‌ها و تجزیه PCA و نقشه پراکندگی بر طبق PC1/PC2، با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS رسم شد. مقادیر فاصله بر اساس روش اقلیدسی محاسبه و دندروگرام با استفاده از روش UPGMA توسط نرم‌افزار آماری NCSS12 تهیه شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که بیش‌ترین غلظت فنول کل به ترتیب مربوط به ژنوتیپ کریمسون (۱۶۷۹۴ میلی‌گرم اسید گالیک بر ۱۰۰ گرم)، رد گلوب (۱۳۷۷۴ میلی‌گرم اسید گالیک بر ۱۰۰ گرم) و فلیم (۱۳۵۵۸ میلی‌گرم اسید گالیک بر ۱۰۰ گرم) بود. در صورتی که، بیش‌ترین مقدار فلاونوئید کل مربوط به رقم فلیم (۳۶۷۴۷ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم) و رد گلوب (۱۰۷۰۵ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم) و بیش‌ترین مقدار آنتوسیانین کل در رقم سیاه قره‌باغ (۶۷۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و قره‌شیره (۶۷۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. در بین ارقام مورد بررسی، کم‌ترین میزان فنول کل در ژنوتیپ صاحبی قوچان با ۲/۸۸ میلی‌گرم اسید گالیک بر ۱۰۰ گرم، کم‌ترین میزان فلاونوئید کل در ژنوتیپ قره‌شیره با ۴/۵۶ و همین‌طور کم‌ترین میزان آنتوسیانین کل در رقم فلیم با ۰/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم دیده شد. مشتقات مالویدین (کفویل گلوکوزاید) و نیز پئونیدین و سیانیدین در ۱۰۰٪ نمونه‌ها وجود داشتند. غلظت مالویدین در ژنوتیپ فلیم و رد گلوب در حد جزئی بود و در صاحبی ارومیه و لعل بیدانه مشاهده نشد؛ هم‌چنین، ترکیب پلارگونیدین و مشتقات آن شناسایی نشدند. بیش‌ترین غلظت آنتوسیانین منفرد مربوط به پئونیدین و مالویدین بود. نتایج هم‌چنین نشان داد که بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین دلفینیدین-۶- استیل گلوکوزاید و سیانیدین-۶- استیل گلوکوزاید ( $r=0/99$ ) بود. مالویدین بیش‌ترین همبستگی را با دلفیدین و پئونیدین نشان داد. بر اساس دندروگرام تجزیه خوشه‌ای، ۱۰ ژنوتیپ مورد مطالعه از نظر صفات آنتوسیانینی به دو گروه اصلی تقسیم شدند. گروه اول شامل دو رقم سیاه قره‌باغ و قره‌شیره بود که از گروه دوم فاصله داشتند.

**نتیجه‌گیری:** ارقام مورد مطالعه از نظر ترکیبات منفرد آنتوسیانینی و نیز میزان فنول، فلاونوئید و آنتوسیانین کل تفاوت‌های معنی‌داری نشان دادند. ترکیب پئونیدین و مالویدین بیش‌ترین غلظت را در این ژنوتیپ‌ها داشتند. ژنوتیپ سیاه قره‌باغ و قره‌شیره بیش‌ترین آنتوسیانین کل را نشان دادند. در رقم سیاه قره‌باغ، بیش‌ترین غلظت پئونیدین (۵۴/۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در رقم قره‌شیره بیش‌ترین غلظت مالویدین (۴۲/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) شناسایی شدند. این دو رقم با فاصله از سایر ژنوتیپ‌ها در گروه مجزایی قرار گرفتند.

استناد: صادقیان، فاطمه، سیفی، اسماعیل، رمضانپور، سیده ساناز، سلامی، سید علیرضا (۱۴۰۲). شناسایی ترکیبات آنتوسیانینی در ۱۰ رقم انگور (*Vitis vinifera* L.) با روش HPLC-DAD. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۰ (۱)، ۲۲۵-۲۴۲.

DOI: 10.22069/JOPP.2022.20456.2956



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

پلی فنول‌ها دارای طیف وسیعی از ساختارهای پیچیده هستند که سبب تشکیل رنگ، بو و طعم میوه‌ها و سبزیجات می‌شوند (۱). این ترکیبات در کاهش استرس اکسیداتیو سلول (۲ و ۳)، جلوگیری از آسیب DNA و ترمیم آن، کند کردن رشد و تکثیر سلول‌های سرطانی (۲ و ۴) و در بهبود بیماری‌های عروقی (۵)، میکروبی (۶ و ۷)، گوارشی (۸) و عملکرد سیستم ایمنی مؤثرند (۳ و ۴). محبوب‌ترین انواع پلی فنول‌های ضدسرطانی کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها، ایزوفلاون‌ها، فنول‌ها، ایزوتیوسیانات‌ها و آنتوسیانین‌ها هستند (۲ و ۴). فراوان‌ترین ترکیبات مؤثر در رنگ اکثر میوه‌ها و سبزیجات آنتوسیانین‌ها می‌باشند (۲). شش نوع مختلف آنتوسیانین‌ها بسته به ساختار مولکولی عبارتند از: سیانیدین، دلفینیدین، پلارگونیدین، پئونیدین، پتونیدین و مالویدین (۹ و ۱۰). مشتقات مالویدین و پتونیدین بنفش، مشتقات پئونیدین و سیانیدین قرمز و مشتقات دلفینیدین آبی هستند و شدت رنگ آن‌ها بستگی به مقدار آنتوسیانین موجود در پوست انگور دارد (۱۱). انباشت آنتوسیانین‌ها در انگور از مرحله رنگ‌گیری حبه یا دگرگرمی<sup>۱</sup> شروع می‌شود (۱۲). تنها مشتقات ۳ مونوگلوکوزید آنتوسیانین‌ها در انگور وجود دارند (۱۱). در حالی که مشتقات مختلف ۳-۵ دی-گلیکوزید و نیز سایر ترکیبات فنولی در انگورهای مختلف ثبت شده است (۹)، ولی به نظر می‌رسد که این توزیع متأثر از عواملی مانند گونه، رقم، درجه رسیدگی و شرایط محیطی طی فصل رشد است (۱۲ و ۱۳).

بوته انگور، که به آن تاک نیز می‌گویند، منبع مهمی از آنتی‌اکسیدان‌ها مانند ترکیبات فنولی است که غلظت آن‌ها در هنگام رسیدن تغییر می‌کند (۱۲). هر گروه از خانواده پلی فنول مستقیماً مسئول ویژگی‌های

مهم ارقام خاص انگور و محصولات آن است (۱۴). کیفیت خوشه انگور و بازاریابی آن تا حد زیادی به رنگ پوست وابسته است و همچنین کیفیت آب‌میوه و محصولات فرآوری شده عمدتاً به دلیل رنگ پوست (۱۵) و ترکیب و محتوای آنتوسیانین‌ها تغییر می‌کند (۱۲، ۱۶ و ۱۷). ترکیب آنتوسیانین‌ها در درجه اول توسط عوامل ژنتیکی تعیین می‌شود. محتوای هر یک از آنتوسیانین‌ها در پوست انگور در هر رقم برای مدت معینی پایدار است و درصد آن از سالی به سال دیگر تفاوتی ندارد (۱۱ و ۱۸). در بلوبری (*Vaccinium spp.*) مقدار آنتوسیانین در یک ژنوتیپ رشد کرده در مناطق مختلف تفاوت زیادی نشان می‌دهد (۱۹). بنابراین، رنگ پوست یک عامل مهم در منابع ژرم‌پلاسم انگور است. مطالعه این ترکیبات سابقه طولانی دارد. ابتدا برای شناسایی آنتوسیانین‌ها، کروماتوگرافی کاغذی (PC) و کروماتوگرافی لایه نازک (TLC) استفاده می‌شد (۲۰). سپس کروماتوگرافی مایع با فشار بالا (HPLC) به محبوب‌ترین و پرکاربردترین تکنیک برای تجزیه و تحلیل آنتوسیانین‌ها تبدیل شد (۲۱ و ۲۲). از مزایای HPLC، جداسازی قوی و قابلیت تشخیص فوری و حساسیت زیاد است و در چند دهه اخیر همراه طیف‌سنجی جرمی (۱۱، ۱۸ و ۲۳) و UHPLC-QqQ-MS (۲۴)، به یک ابزار مهم برای شناسایی آنتوسیانین تبدیل شده است.

در انگور، شاخص رسیدن بر اساس محتوای مواد محلول جامد، اسیدیته قابل تیتراسیون و بی‌اچ تعیین می‌گردد (۲۲) و از طرفی بدین منظور از رسیدن فنولی استفاده می‌شود که آنتوسیانین‌ها، تانن‌ها و کل فنول را در نظر می‌گیرند (۱۲). چندین نوع آنتوسیانین از چند رقم گزارش شده‌اند (۱۱، ۲۵ و ۲۶) و به علت کاربردهای گسترده و رو به رشد این ترکیبات در صنایع نساجی، دارویی، بهداشتی، آرایشی و غذایی، مطالعات بیش‌تری در مورد ویژگی‌های آنتوسیانینی و

1- Veraison

### مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها: نمونه‌های مورد مطالعه از انگورهای رنگی (قرمز و سیاه) بودند بنابراین در زمان رنگ‌گیری کامل از سه منطقه ایران برداشت شدند (جدول ۱). نمونه‌ها پس از برداشت بلافاصله به آزمایشگاه علوم باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل شدند. برای اندازه‌گیری آنتوسیانین، پوست حبه‌ها از گوشت جدا و به مدت ۴۸ ساعت در دستگاه خشک‌کن انجامادی (Freeze-dryer Operon Co Ltd) قرار گرفت و تا زمان اندازه‌گیری در فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین‌ها در آزمایشگاه شیمی در دپارتمان DISAFA دانشگاه تورین ایتالیا انجام شد. برای حمل نمونه‌ها از یخ خشک استفاده شد.

در کل ترکیبات فلاونوئیدی در ژنوتیپ‌های مختلف انگور در مناطق مختلف ضروری است (۴۰). هم‌چنین ایران یازدهمین تولیدکننده انگور در جهان است و سطح زیر کشت آن در سال ۲۰۱۸ حدود ۱۶۵۰۹۷ هکتار بوده است (۲۹) و تخمین زده می‌شود که حدود ۲۵۰ رقم از مجموع ۸۰۰-۱۰۰۰ ژنوتیپ انگور در ایران رشد می‌کنند (۲۷ و ۲۸)؛ بنابراین مطالعه ترکیبات آنتوسیانینی و محتوای آن‌ها در ژرم‌پلاسما ایرانی جنس ویتیس بسیار مهم است. این مطالعه با هدف بررسی تنوع ترکیبات منفرد آنتوسیانینی در برخی از ارقام رنگی انگور با استفاده از روش HPLC-DAD انجام شد. فنول، فلاونوئید و آنتوسیانین کل در ارقام بررسی شدند و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای ارقام با توجه به ترکیبات آنتوسیانینی صورت گرفت.

جدول ۱- مختصات جغرافیایی مکان‌های مورد مطالعه، سن و فاصله کاشت ارقام مورد مطالعه.

**Table 1. Geographical characteristics of vineyards, age and distance of planting of studied cultivars.**

| موقعیت در ایران<br>Location in Iran | فاصله کاشت<br>Distance of planting | سن<br>Age | عرض جغرافیایی<br>Latitude | طول جغرافیایی<br>Longitude | ارتفاع از سطح دریا<br>Altitude | ارقام<br>Cultivars  |
|-------------------------------------|------------------------------------|-----------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------|---|
| شرق<br>East                         | 2×3                                | 25        | 37°04'22.5"N              | 58°18'07.9"E               | 1458                           | صاحبی قوچان<br>Sahebi Ghoochan  |
| مرکز<br>Center                      | 2.5×3                              | 15        | 35°46'20.3"N              | 50°56'49.3"E               | 1320                           | فلیم<br>Crimson Flame، کریمسون<br>Red globe و رد گلوب<br>قره‌شیره<br>Ghare shire،<br>صاحبی ارومیه<br>Sahebi urmia،    |
| غرب<br>West                         | 1.5×3                              | 20-25     | 37° 9' 30.3" N            | 45° 28' 4.11" E            | 1570                           | سیاه قره‌باغ<br>Syah Gharebagh،<br>ریش‌بابا<br>Rish baba،<br>فلیم سیدلس<br>Flame seedless و لعل<br>Lale bidane بیدانه |

ژنوتیپ‌ها (Correlation coefficient Pearson)، تجزیه به مؤلفه‌ها (PCA) بر طبق PC1/PC2 و نقشه پراکنندگی با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS صورت گرفت. میانگین پارامترها قبل از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای نرمال شد تا از تأثیرات ایجاد مقیاس‌های مختلف جلوگیری شود. مقادیر فاصله بر اساس روش اقلیدسی محاسبه شد و دندروگرام با استفاده از روش UPGMA توسط نرم‌افزار آماری NCSS 12 رسم گردید.

### نتایج و بحث

ترکیبات پلی‌فنولی به عنوان متابولیت‌های ثانویه غالب در گونه‌های انگور می‌توانند به‌عنوان نشانگرهای مفید در کموتاکسونومی *V. vinifera* استفاده شوند، زیرا ترکیبات آن‌ها در انگور تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است (۱۴ و ۲۷). با توجه به ویژگی‌های بیولوژیک ارگانولپتیک (رنگ، گسی و تلخی)، فلاونول‌ها، استیلبن‌ها و آنتوسیانین‌ها در انگور نقشی کلیدی در کیفیت آب‌میوه و عصاره آن بازی می‌کنند (۲۵ و ۳۲). رقم و سال رشد در مشخصات آنتوسیانین‌ها و نیز در خصوصیات بیوشیمیایی (۳۳ و ۳۴) ارقام نقش دارند، اما بیش‌تر تحت تأثیر مشخصات ژنتیکی رقم و تا حدودی عملیات باغبانی قرار می‌گیرد (۳۴، ۳۵ و ۳۶).

**غلظت فنول، فلاونوئید و آنتوسیانین کل:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ارقام مورد بررسی از نظر غلظت فنول، فلاونوئید و آنتوسیانین کل در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. ارقام در مقدار آنتوسیانین کل تفاوت بیش‌تری نشان دادند (P-value در جدول ۲ گزارش شده است). بیش‌ترین مقدار فنول کل مربوط به ارقام کریمسون، رد گلوب و فلیم به ترتیب با ۱۶/۹۴، ۱۳/۷۴ و ۱۳/۵۸ میلی‌گرم اسید گالیک بر ۱۰۰ گرم بود (جدول ۲). در

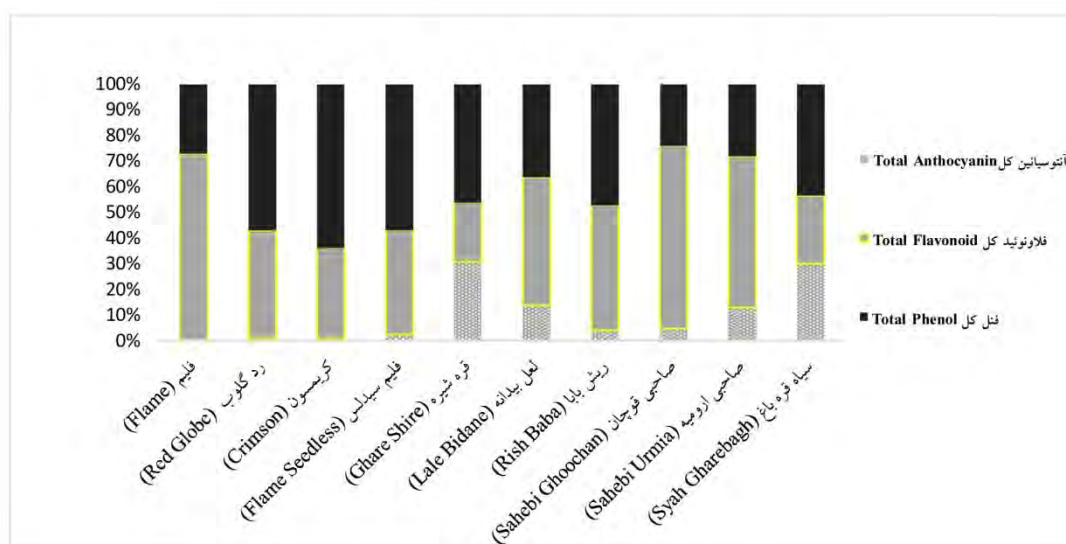
اندازه‌گیری فنول، فلاونوئید و آنتوسیانین کل: میزان فنول کل در گوشت میوه با روش فولین سیوکالتو و با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV-160) در طول موج ۷۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و از اسید گالیک به عنوان استاندارد استفاده گردید (۱۷ و ۳۰). برای اندازه‌گیری فلاونوئید کل، از روش کالری‌متری آلومینیوم کلراید (۹) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۱۵ نانومتر استفاده شد. تعیین مقدار آنتوسیانین کل به روش وانگر (۳۱) صورت گرفت و بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر میوه بیان گردید.

**اندازه‌گیری ترکیبات آنتوسیانینی با HPLC-DAD:** نمونه‌ها طبق روش کدرینا-اوکوتان (۳۲) آماده و تا زمان اندازه‌گیری در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد ذخیره شدند. از استاندارد مالویدین ۳-اُ-گلوکوزید، دلفینیدین ۳-اُ-گلوکوزید و سیانیدین ۳-اُ-گلوکوزید، از Extrasynthèse (جنای، فرانسه)، استفاده شد و در مجموع ۱۵ ترکیب آنتوسیانینی با روش HPLC-DAD در طول موج ۵۲۰ نانومتر شناسایی شد (جدول ۲). عصاره‌های پوست حبه با اسید فسفریک رقیق شده و با فیلتر (۰/۲۰ میکرومتر) در داخل وایال‌های ۱ میلی‌لیتری تزریق شدند. سپس نمونه‌ها در اتوسمپلر HPLC قرار گرفته و آماده تزریق شدند. تجزیه و تحلیل کمی آنتوسیانین‌ها توسط یک سری سیستم (Agilent 1200 (Agilent، Waldbronn، آلمان)، مجهز به ردیاب (DAD (G1316A)، با تزریق ۲۰ میکرولیتر از نمونه‌ها انجام شد. آنتوسیانین‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر تشخیص داده شدند و نتایج به صورت میلی‌گرم معادل هر کیلوگرم حبه در وزن خشک گزارش شد.

**تجزیه آماری:** تجزیه واریانس همه صفات توسط نرم‌افزار IBM SPSS Ver. 26 و با استفاده از ANOVA یک‌طرفه انجام شد. بررسی همبستگی

نشان می‌دهد. آنتوسیانین‌های مشتق شده از سیانیدین منجر به تولید رنگ قرمز و دلفینیدین منجر به ایجاد رنگ آبی در حبه‌ها می‌شوند (۳۶ و ۳۸). در دهه‌های اخیر، مطالعات بسیاری در مورد کنترل ژنتیکی رنگ حبه انگور در ارقام اروپایی، آمریکایی و آسیایی انجام شده است. ژن‌های متصل به DNA، برای چندین فاکتور رونویسی، از جمله ترکیبات هاپلوتیپ MYBA1 و MYBA2 در لوکوس مربوط به رنگ، تعیین‌کننده کلیدی تنوع آنتوسیانین و توسعه رنگ در پوست حبه انگور هستند. هم‌چنین ترانزسپوزون در ناحیه پروموتور MYBA1 و جهش در توالی کدکننده MYBA2 منجر به رنگ سفید پوست شد؛ هاپلوتیپ‌های MYB بر نسبت آنتوسیانین‌های تری/دی هیدروکسیله و آنتوسیانین‌های متیله/غیرمتیله از طریق تنظیم چندین ژن ساختاری دخیل در بیوسنتز آنتوسیانین تأثیر می‌گذارند که منجر به رنگ‌های متنوع می‌شود (۳۸).

صورتی که بیش‌ترین مقدار فلاونوئید کل مربوط به رقم فلیم (۳۶/۴۷ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم) و بیش‌ترین مقدار آنتوسیانین کل در رقم سیاه قره‌باغ، قره‌شیره و لعل بیدانه به ترتیب با ۶/۵۹، ۶/۰۹ و ۳/۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (جدول ۲). در بین ارقام مورد بررسی، کم‌ترین میزان فنول کل در ژنوتیپ صاحبی قوچان با ۲/۸۸ میلی‌گرم اسید گالیک بر ۱۰۰ گرم، کم‌ترین غلظت فلاونوئید کل در ژنوتیپ قره‌شیره با ۴/۵۶ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم و همین‌طور کم‌ترین میزان آنتوسیانین کل در رقم فلیم با ۰/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (جدول ۲). همان‌طور که در بالا ذکر شد، بین میزان رنگ و آنتوسیانین ارتباط وجود دارد. در یک مطالعه دیگر، در ژنوتیپ کابرنت ساوینیون و کابرنت گرینشت با رنگ پوست بنفش تیره مقدار آنتوسیانین بالاتری نسبت به رقم رد گلوب با رنگ پوست قرمز گزارش شده است (۳۷). حبه انگور با توجه به مقدار و ترکیب آنتوسیانین طیف گسترده‌ای از رنگ‌ها را از سبز/زرد تا آبی تیره



شکل ۱- پروفیل فنول، فلاونوئید و آنتوسیانین کل در ارقام مورد بررسی.

Fig. 1. Profile of total phenol, flavonoid and anthocyanin in the studied cultivars.



جدول ۲- محتوای فنول، فلاونوئید و آنتوسیانین کل در ارقام مورد بررسی.

**Table 2. Content of total phenol, flavonoid and anthocyanin in the studied cultivars.**

| آنتوسیانین کل<br>Total anthocyanin<br>mg kg <sup>-1</sup> | فلاونوئید کل<br>Total Flavonoid<br>mg 100g <sup>-1</sup> | فنول کل<br>Total Phenol<br>mg GAE 100 g <sup>-1</sup> | رنگ حبه<br>Color | ژنوتیپ<br>Genotype            |
|---|--|---|------------------|-------------------------------|
| <i>P</i> <0.001   | <i>P</i> <0.001  | <i>P</i> <0.001                                       |                  | <i>P</i> -value               |
| 0.23±0 <sup>f</sup>                                       | 36.47±0 <sup>a</sup>                                     | 13.58±0.06 <sup>b</sup>                               | قرمز Red         | فلیم (Flame)                  |
| 0.27±0 <sup>f</sup>                                       | 10.05±0.22 <sup>c</sup>                                  | 13.74±0.1 <sup>b</sup>                                | ارغوانی Rouge    | رد گلوب (Red globe)           |
| 0.3±0 <sup>f</sup>  | 9.3±0.0 <sup>d</sup>                                     | 16.94±0 <sup>a</sup>                                  | قرمز Red         | کریمسون (Crimson)             |
| 0.61±0 <sup>e</sup>                                       | 9.49±0 <sup>cd</sup>                                     | 13.34±0 <sup>b</sup>                                  | قرمز Red         | فلیم سیدلس (Flame seedless)   |
| 6.09±0.09 <sup>b</sup>                                    | 4.56±0 <sup>h</sup>                                      | 9.14±0 <sup>c</sup>                                   | سیاه Black       | قره شیره (Ghare shire)        |
| 3.58±0.01 <sup>c</sup>                                    | 12.85±0 <sup>b</sup>                                     | 9.34±0.2 <sup>c</sup>                                 | سیاه Black       | لعل بیدانه (Lale bidane)      |
| 0.73±0.01 <sup>e</sup>                                    | 8.25±0.01 <sup>f</sup>                                   | 8.04±0.05 <sup>d</sup>                                | ارغوانی Rouge    | ریش بابا (Rish baba)          |
| 0.58±0.05 <sup>e</sup>                                    | 8.56±0.3 <sup>ef</sup>                                   | 2.88±0.13 <sup>f</sup>                                | قرمز Red         | صاحبی قوچان (Sahebi Ghoochan) |
| 2.01±0.01 <sup>d</sup>                                    | 9.14±0.24 <sup>de</sup>                                  | 4.38±0.07 <sup>e</sup>                                | سیاه Black       | صاحبی ارومیه (Sahebi urmia)   |
| 6.59±0.03 <sup>a</sup>                                    | 5.8±0.03 <sup>g</sup>                                    | 9.52±0.13 <sup>c</sup>                                | سیاه Black       | سیاه قره باغ (Syah Gharebagh) |

در هر ستون، مقادیر با حروف یکسان تفاوت معنی دار ندارند

In each column, the values with the same letter don't have any significant differences

حداکثر مقدار خود می‌رسند (۱۲ و ۲۶). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارقام مورد بررسی در اغلب فاکتورها در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی دار داشتند، ولی در مالوئیدین، پتوئیدین، پتوئیدین کوماریل گلوگوزاید، سیانیدین کوماریل گلوگوزاید، مالوئیدین کفوییل گلوگوزاید، پتوئیدین کوماریل گلوگوزاید و دلفینیدین ۳-کوماریل گلوگوزاید تفاوت معنی داری نشان ندادند (*P*-value) در جدول ۳ گزارش شده است). در شکل ۲، پروفیل ترکیبات آنتوسیانینی شناسایی شده آمده است.

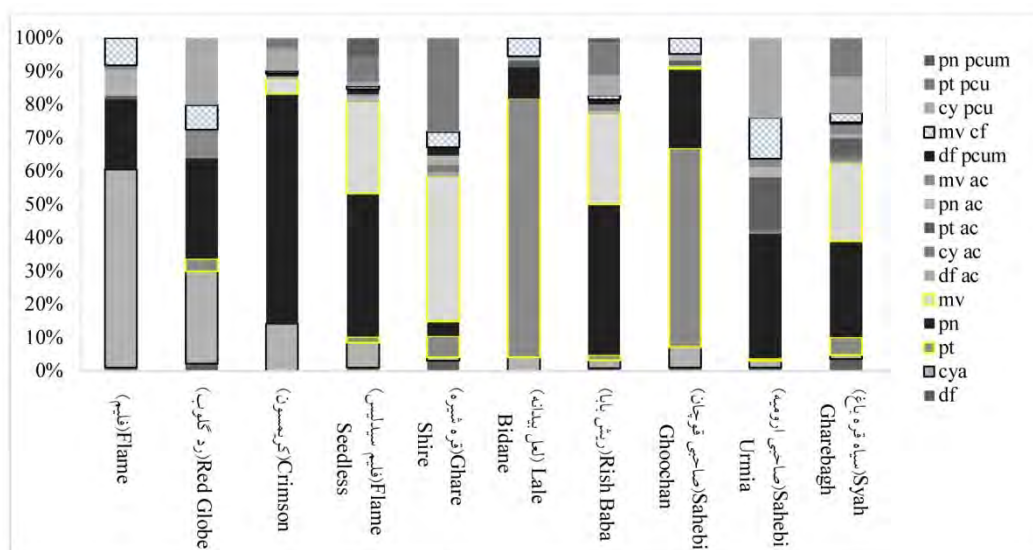
در مطالعه حاضر، فراوانی ترکیبات آنتوسیانینی در ارقام مورد مطالعه عبارت بودند از: مونوگلوکوزیدهای دلفینیدین (۴۰ درصد)، سیانیدین (۳۰ درصد)، ترکیبات مزدوج مربوط به آنها، از جمله استیل، کوماروئیل و کفوئیلها، دلفینیدین ۳- کوماریل گلوگوزاید (۴۰ درصد)، پتوئیدین ۳- کوماریل گلوگوزاید (۴۰ درصد) و پتوئیدین ۶- کوماریل گلوگوزاید (۲۰ درصد) که در ارقام کم‌تری مشاهده

بررسی کمیت و کیفیت ترکیبات آنتوسیانینی: ترکیبات فنولی انگور، به ویژه آنتوسیانین‌ها، به طور گسترده برای اهداف طبقه‌بندی استفاده می‌شوند (۲۳ و ۳۹). ترتیب شستشوی آنتوسیانین‌ها در فاز معکوس به درجه قطبیت آنها مرتبط است، به طوری که ترکیبات قطبی‌تر زودتر آشکار می‌شوند. قطبیت آنتوسیانین‌ها به درجه هیدروکسیل شدن و متیلاسیون از حلقه بنزن وابسته بوده و با افزایش گروه‌های هیدروکسیلی قطبیت آنها بیش‌تر می‌شود. اولین آنتوسیانین شناسایی شده دلفینیدین بوده و به دنبال آن سیانیدین، پتوئیدین، پتوئیدین و مالوئیدین آشکار می‌شوند (۴۰). فهرست ۱۵ ترکیب آنتوسیانینی شناسایی شده (پنج مونوگلوکوزید آنتوسیانین و مشتقات آنها)، به ترتیب زمان بازداری در جدول ۳ آمده است. آنتوسیانین‌ها در ارقام رنگی انگور در مرحله رنگ‌گیری حبه ظاهر می‌شوند و سپس به تدریج در طول رشد تا مرحله بلوغ و رسیدن انباشته شده و در صورت مناسب بودن شرایط محیطی به

قوچان و لعل بیدانه نشان داد و هم‌چنین ترکیب غالب آنتوسیانینی در ارقام ذکر شده بود. در شکل ۳، کروماتوگرام خروجی HPLC-DAD برای دو رقم قره‌شیره و کریمسون نمایش داده شده است.

محتوای کل آنتوسیانین در گونه‌های وحشی بیش‌تر از هیبریدهای بین‌گونه‌ای گزارش شده است. در انگورهای مختص فرآوری (کابرننت سلوینون و مرلو) نسبت به انگورهای تازه‌خوری در همان گونه‌ها، مقدار پلی‌فنول‌ها بالاتر و در نتیجه فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیش‌تری وجود داشت (۳۷). مشتقات مالویدین در انگور غالب هستند (۱۴) و مشتقات پئونیدین نیز از فراوان‌ترین آنتوسیانین‌ها در اکثر انگورهای تازه‌خوری و فرآوری گزارش شده‌اند (۱۷). با توجه به تحلیل‌های انجام شده در این پژوهش، مالویدین و پئونیدین از نظر میزان غلظت غالب هستند. بیش‌ترین مقدار آنتوسیانین در رقم فلیم، سیانیدین با ۲۶/۹، در لعل بیدانه، پئونیدین با ۲۶/۳۶ و در کریمسون، پئونیدین با ۵/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک دیده شد.

شدند. ترکیب پلازگونیدین و مشتقات آن شناسایی نشدند، اگرچه وجود آن‌ها در محصولات فرآوری شده انگور توسط نویسندگان دیگر گزارش شده است (۱۷) و نیز در انگور تازه‌خوری بی.ار.آس- ویتوریا، از ارقام جدید هیبریدی (*Vitis sp.*) به مقدار جزئی (۳۳) و هم‌چنین در *V. rotundifolia* و *V. labrusca* (۱۷)، گزارش شده‌اند. مشتقات مالویدین (کفویل گلوکوزاید) و نیز پئونیدین و سیانیدین در ۱۰۰ درصد نمونه‌ها وجود داشت. غلظت مالویدین در ژنوتیپ فیلم و رد گلوب در حد جزئی بود و در صاحبی ارومیه شناسایی نشد (جدول ۳). پئونیدین و مالویدین بالاترین غلظت را در بین ترکیبات آنتوسیانینی شناسایی شده به ترتیب با ۵۴/۰۸ و ۴۴/۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک در رقم سیاه قره‌باغ نشان دادند (جدول ۳ و شکل ۲). دو ترکیب پئونیدین (کافئویل و استیل) در انواع عصاره و آب‌میوه‌ها شناسایی شده‌اند، اما در انگورهای تازه‌خوری کم‌تر گزارش شده‌اند. ترکیب پئونیدین بیش‌ترین میزان را با ۲۶/۳۶ و ۲۴/۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک، به ترتیب در رقم صاحبی



شکل ۲- پروفیل ترکیبات متفاوت آنتوسیانینی در ژنوتیپ‌های مورد بررسی.

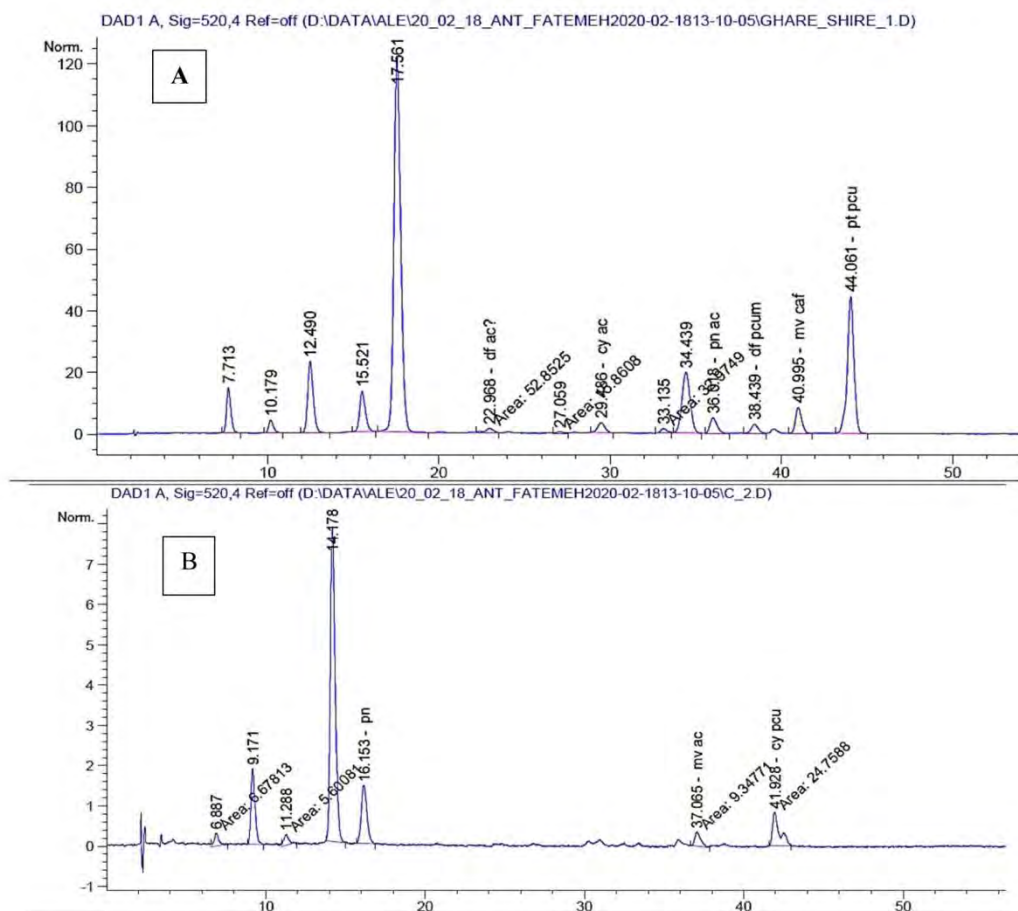
Fig. 2. Profile of different anthocyanin individual compounds in the studied cultivars.

جدول ۳- ترکیبات آنتوسیانینی شناسایی شده با HPLC-DAD در پوست حبه ارقام متفاوت انگور.

**Table 3. Average contents of anthocyanin compounds identified by HPLC-DAD in the skins of different grape Cultivars.**

| سياه قرهباغ<br>Syah<br>Gharebagh | صاحبی ارومیه<br>Sahebi<br>Urums | صاحبی قوچان<br>Sahebi<br>Choochan | ریش بابا<br>Rish<br>Baba | لعل بی دانه<br>Lale Bidane | قرمشیره<br>Ghare<br>Shire | فلم سیدلس<br>Flame<br>Seedless | کریمسون<br>Crimson     | رد گلوب<br>Red<br>Globe | فلم<br>Flame           | P-value | نام اختصاری<br>Abbreviation<br>code | زمان بازداری<br>Retention<br>time | ترکیبات آنتوسیانینی<br>Anthocyanin<br>compounds |
|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|---------|-------------------------------------|-----------------------------------|---|
| 7.02±3.64 <sup>a</sup>           | 1.05±0.2 <sup>ab</sup>          | 0.42±0.22 <sup>b</sup>            | 0.47±0.13 <sup>b</sup>   | 0±0 <sup>b</sup>           | 3.17±1.29 <sup>ab</sup>   | 0.65±0.06 <sup>b</sup>         | 0±0 <sup>b</sup>       | 0.04±0.04 <sup>b</sup>  | 0.16±0.16 <sup>b</sup> | P=0.01  | df                                  | 7.5                               | Delphinidin                                     |
| 2.02±1.01 <sup>b</sup>           | 2.46±0.37 <sup>b</sup>          | 2.58±0.09 <sup>b</sup>            | 1.45±0.29 <sup>b</sup>   | 1.42±0.33 <sup>b</sup>     | 0.93±0.4 <sup>b</sup>     | 4.78±1.02 <sup>ab</sup>        | 1.03±0.63 <sup>b</sup> | 0.54±0.12 <sup>b</sup>  | 9.26±3.38 <sup>a</sup> | P<0.001 | cy a                                | 10.22                             | Cyanidin  |
| 10.11±5.63 <sup>ab</sup>         | 0.67±0.67 <sup>b</sup>          | 24.66±11.87 <sup>a</sup>          | 0.86±0.21 <sup>b</sup>   | 26.36±4.09 <sup>a</sup>    | 6.27±2.85 <sup>ab</sup>   | 1.1±0.16 <sup>b</sup>          | 0±0 <sup>b</sup>       | 0.08±0.04 <sup>b</sup>  | 0±0 <sup>b</sup>       | P<0.001 | pt                                  | 12.29                             | Petunidin                                       |
| 54.08±48.59 <sup>a</sup>         | 40.13±4.79 <sup>a</sup>         | 9.86±2.88 <sup>a</sup>            | 26.26±4.97 <sup>a</sup>  | 3.14±0.62 <sup>a</sup>     | 4.44±1.18 <sup>a</sup>    | 27.32±12.27 <sup>a</sup>       | 5.01±3.15 <sup>a</sup> | 0.58±0.18 <sup>a</sup>  | 3.29±1.19 <sup>a</sup> | P=0.28  | pn                                  | 15.28                             | Peonidin  |
| 44.26±44.26 <sup>a</sup>         | 0±0 <sup>a</sup>                | 0.25±0.25 <sup>a</sup>            | 15.68±2.75 <sup>a</sup>  | 0±0 <sup>a</sup>           | 42.78±18.39 <sup>a</sup>  | 17.31±8.24 <sup>a</sup>        | 0.32±0.32 <sup>a</sup> | tr                      | tr                     | P=0.27  | mv                                  | 17.4                              | Malvidin  |
| 1.54±0.77 <sup>a</sup>           | 0.44±0.07 <sup>abc</sup>        | 0.21±0.21 <sup>bc</sup>           | 0±0 <sup>c</sup>         | 0±0 <sup>c</sup>           | 1.38±0.12 <sup>ab</sup>   | 0±0 <sup>c</sup>               | 0±0 <sup>c</sup>       | 0±0 <sup>c</sup>        | 0±0 <sup>c</sup>       | P<0.001 | df ac                               | 18.74                             | Delphinidin 6-Acetyl-<br>Glucoside              |
| 2.79±1.4 <sup>a</sup>            | 0.74±0.11 <sup>ab</sup>         | 0±0 <sup>b</sup>                  | 0±0 <sup>b</sup>         | 0±0 <sup>b</sup>           | 2.17±0.08 <sup>ab</sup>   | 0±0 <sup>b</sup>               | 0±0 <sup>b</sup>       | 0±0 <sup>b</sup>        | 0±0 <sup>b</sup>       | P<0.001 | cy ac                               | 23.15                             | Cyanidin 6-Acetyl-<br>Glucoside                 |
| 10.06±10.06 <sup>ab</sup>        | 16.94±1.6 <sup>a</sup>          | 0.56±0.38 <sup>b</sup>            | 0±0 <sup>b</sup>         | 0.73±0.01 <sup>b</sup>     | 0±0 <sup>b</sup>          | 0±0 <sup>b</sup>               | 0±0 <sup>b</sup>       | 0±0 <sup>b</sup>        | 0.16±0.16 <sup>b</sup> | P=0.01  | pt ac                               | 28.9                              | Petunidin 6-Acetyl-<br>Glucoside                |
| 1.66±0.94 <sup>abc</sup>         | 3.38±0.17 <sup>a</sup>          | 0.78±0.09 <sup>bc</sup>           | 0.58±0.09 <sup>c</sup>   | 0.31±0.05 <sup>c</sup>     | 2.67±0.38 <sup>ab</sup>   | 1.15±0.29 <sup>bc</sup>        | 0.06±0.06 <sup>c</sup> | 0±0 <sup>c</sup>        | 1.2±0.64 <sup>m</sup>  | P<0.001 | pn ac                               | 32.79                             | Peonidin 6-Acetyl-<br>Glucoside                 |
| 5.39±2.88 <sup>a</sup>           | 2.53±0.15 <sup>ab</sup>         | 0±0 <sup>b</sup>                  | 1.02±0.3 <sup>ab</sup>   | 0.08±0.08 <sup>b</sup>     | 0±0 <sup>b</sup>          | 0.34±0.34 <sup>b</sup>         | 0±0 <sup>b</sup>       | 0.17±0.03 <sup>b</sup>  | 0.21±0.21 <sup>b</sup> | P=0.01  | mv ac                               | 35.70                             | Malvidin 6-Acetyl-<br>Glucoside                 |
| 1.5±1.5 <sup>a</sup>             | 0±0 <sup>a</sup>                | 0±0 <sup>a</sup>                  | 0.86±0.21 <sup>a</sup>   | 0±0 <sup>a</sup>           | 2.38±0.44 <sup>a</sup>    | 1±0.32 <sup>a</sup>            | 0.06±0.06 <sup>a</sup> | 0±0 <sup>a</sup>        | 0±0 <sup>a</sup>       | P=0.3   | df pcum                             | 38.45                             | Delphinidin-3-Comaryl<br>Glucoside              |
| 5.16±3.45 <sup>a</sup>           | 13.33±12.05 <sup>a</sup>        | 2±0.78 <sup>a</sup>               | 0.68±0.16 <sup>a</sup>   | 1.88±0.28 <sup>a</sup>     | 4.74±0.93 <sup>a</sup>    | 0.49±0.25 <sup>a</sup>         | 0.06±0.06 <sup>a</sup> | 0.14±0.14 <sup>a</sup>  | 1.27±0.4 <sup>a</sup>  | P=0.45  | mv cf                               | 39.43                             | Malvidin Caffeyl<br>Glucoside                   |
| 20.75±20.75 <sup>a</sup>         | 25.65±12.93 <sup>a</sup>        | 0±0 <sup>a</sup>                  | 3.69±1.84 <sup>a</sup>   | 0±0 <sup>a</sup>           | 0.1±0.1 <sup>a</sup>      | 0.89±0.45 <sup>a</sup>         | 0.48±0.48 <sup>a</sup> | 0.39±0.19 <sup>a</sup>  | 0±0 <sup>a</sup>       | P=0.2   | cy pcu                              | 41                                | Cyanidin -3-Comaryl<br>Glucoside                |
| 21.68±21.68 <sup>a</sup>         | 0±0 <sup>a</sup>                | 0±0 <sup>a</sup>                  | 5.53±1.42 <sup>a</sup>   | 0±0 <sup>a</sup>           | 27.52±4.52 <sup>a</sup>   | 4.96±2.91 <sup>a</sup>         | 0.23±0.23 <sup>a</sup> | 0±0 <sup>a</sup>        | 0±0 <sup>a</sup>       | P=0.09  | pt pcu                              | 43.83                             | Petunidin -3-Comaryl<br>Glucoside               |
| 0±0 <sup>a</sup>                 | 0±0 <sup>a</sup>                | 0±0 <sup>a</sup>                  | 0.81±0.81 <sup>a</sup>   | 0±0 <sup>a</sup>           | 0±0 <sup>a</sup>          | 3.31±3.31 <sup>a</sup>         | 0±0 <sup>a</sup>       | 0±0 <sup>a</sup>        | 0±0 <sup>a</sup>       | P=0.51  | pn pcum                             | 44.38                             | Peonidin 6-Comaryl<br>Glucoside                 |
| 188.03                           | 107.32                          | 41.31                             | 57.89                    | 33.93                      | 98.55                     | 63.30                          | 7.256                  | 1.93                    | 15.5                   |         |                                     |                                   | مجموع آنتوسیانین ها<br>Sum anthocyanins         |

مقادیر به صورت میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک حبه انگور (پوست) بیان شده‌اند. انحراف معیار در پرانتز گزارش شده است (n=3). به معنی غلط جزئی است. در هر ردیف، مقادیر با حروف یکسان تفاوت معنی داری ندارد. Standard deviation is reported in parentheses (n = 3). "tr" means the value is trace. In each row, the values with the same letter don't have any significant differences



شکل ۳- کروماتوگرام ( $\lambda=520$ ) ترکیبات آنتوسیانینی پوست حبه در دو ژنوتیپ قره شیره (A) و کریمسون (B) با استفاده از

#### HPLC-DAD

Fig. 3. Chromatogram ( $\lambda=520$ ) of “Ghare Shire” (A) and “Crimson” (B) grape skin using HPLC-DAD.

آنتی‌اکسیدانی را افزایش دهند (۲۰). با توجه به این‌که اشکال گلیکوزیده و استیل‌ه مالویدین و پئونیدین در برخی از انگورهای تازه‌خوری نسبتاً فراوان هستند، احتمال این‌که این ژنوتیپ‌ها بتوانند منبع خوبی از نظر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی باشند زیاد است. گزارش شده است که حضور آنتوسیانین و غلظت آن در حبه‌ها ارتباط زیادی با اثرات مثبت آن‌ها در سلامت انسان، از جمله عوامل خطرناک قلبی-عروقی، دارد (۵ و ۴۱).  
**همبستگی ترکیبات آنتوسیانینی:** طبق نتایج، بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را دلفینیدین-۶-استیل‌گلوکوزاید با سیانیدین-۶-استیل‌گلوکوزاید ( $r=0/99$ )، پئونیدین-۶-استیل‌گلوکوزاید با سیانیدین-

مشخص شده است که الگوی آنتوسیانین نه تنها بر رنگ انگور، بلکه بر پتانسیل آنتی‌اکسیدانی آن نیز تأثیر می‌گذارد. برای نمونه، وجود مالویدین و پئونیدین به عنوان عامل مثبت در نظر گرفته می‌شود، زیرا ساختار شیمیایی آن‌ها شامل گروه‌های هیدروکسیل (مانند سایر آنتوسیانیدین‌ها) بوده و در برابر اکسیداسیون مقاومت بالاتری داشته و در نتیجه در پایداری زیاد آن‌ها نقش دارند (۳۱). آسیلاسیون در موقعیت C۶ مولکول گلوکز، با استری کردن توسط اسیدهای استیک، p-کوماریک و کافئیک رخ می‌دهد (۹) و هم‌چنین به نظر می‌رسد که گلیکوزیلاسیون و استیلاسیون آنتوسیانیدین‌ها می‌توانند فعالیت

در برخی منابع به طور مفصل بررسی شده است (۱۰، ۴۲ و ۴۳). گزارش شده است که در ارقام سیب‌زمینی یک همبستگی مثبت و قوی بین دو آنتوسیانین دلفینیدین ۳-p-کوماروئیل روتینوزید-۵- گلوکوزید و پئونیدین ۳-p-کوماروئیل روتینوزید-۵- گلوکوزید وجود دارد (۱۰).

۳- کوماریل‌گلوگوزاید (I=۰/۹۷) و هم‌چنین مالویدین با پئونیدین ۳- کوماریل‌گلوگوزاید (I=۰/۹۷) نشان دادند (جدول ۴). هم‌چنین، مالویدین همبستگی بالایی با دلفینیدین و پئونیدین-۶-استیل‌گلوکوزاید نشان داد. بررسی همبستگی بین ترکیبات پلی‌فنولی مختلف و آنتوسیانینی در سیب‌زمینی، مرکبات و آرابیدوپسیس

جدول ۴- ضرایب همبستگی (پیرسون) صفات آنتوسیانینی اندازه‌گیری شده در ارقام مورد مطالعه.

Table 4. Correlation coefficients (Pearson) between measured traits in studied cultivars.

|         | df      | cya    | pt     | pn      | mv      | df ac   | cy ac   | pt ac   | pn ac   | mv ac  | df pcum | mv cf   | cy pcu | pt pcu |
|---------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|
| df      | 1       |        |        |         |         |         |         |         |         |        |         |         |        |        |
| cya     | -0.158  | 1      |        |         |         |         |         |         |         |        |         |         |        |        |
| pt      | 0.058   | -0.206 | 1      |         |         |         |         |         |         |        |         |         |        |        |
| pn      | 0.659*  | -0.033 | -0.140 | 1       |         |         |         |         |         |        |         |         |        |        |
| mv      | 0.862** | -0.198 | -0.055 | 0.459   | 1       |         |         |         |         |        |         |         |        |        |
| df ac   | 0.925** | -0.243 | 0.084  | 0.469   | 0.872** | 1       |         |         |         |        |         |         |        |        |
| cy ac   | 0.951** | -0.228 | 0.024  | 0.522   | 0.879** | 0.991** | 1       |         |         |        |         |         |        |        |
| pt ac   | 0.442   | -0.068 | -0.098 | 0.754*  | 0.109   | 0.409   | 0.444   | 1       |         |        |         |         |        |        |
| pn ac   | 0.444   | 0.111  | -0.171 | 0.491   | 0.416   | 0.611   | 0.592   | 0.702*  | 1       |        |         |         |        |        |
| mv ac   | 0.822** | -0.083 | -0.054 | 0.897** | 0.511   | 0.632*  | .696*   | 0.759*  | 0.416   | 1      |         |         |        |        |
| df pcum | 0.694*  | -0.204 | -0.113 | 0.293   | 0.959** | 0.780** | 0.770** | -0.032  | 0.435   | 0.279  | 1       |         |        |        |
| mv cf   | 0.349   | -0.084 | -0.047 | 0.558   | 0.141   | 0.463   | 0.462   | 0.916** | 0.879** | 0.533  | 0.093   | 1       |        |        |
| cy pcu  | 0.560   | -0.097 | -0.148 | 0.853** | 0.239   | 0.478   | 0.526   | 0.978** | 0.655*  | .865** | 0.074   | 0.848** | 1      |        |
| pt pcu  | 0.827** | -0.240 | -0.019 | 0.315   | 0.973** | 0.914** | 0.905** | 0.089   | 0.469   | 0.415  | 0.957** | 0.190   | 0.190  | 1      |
| pn pcum | -0.134  | 0.246  | -0.252 | 0.228   | 0.120   | -0.260  | -0.238  | -0.212  | -0.055  | -0.126 | 0.205   | -0.263  | -0.170 | -0.040 |

\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

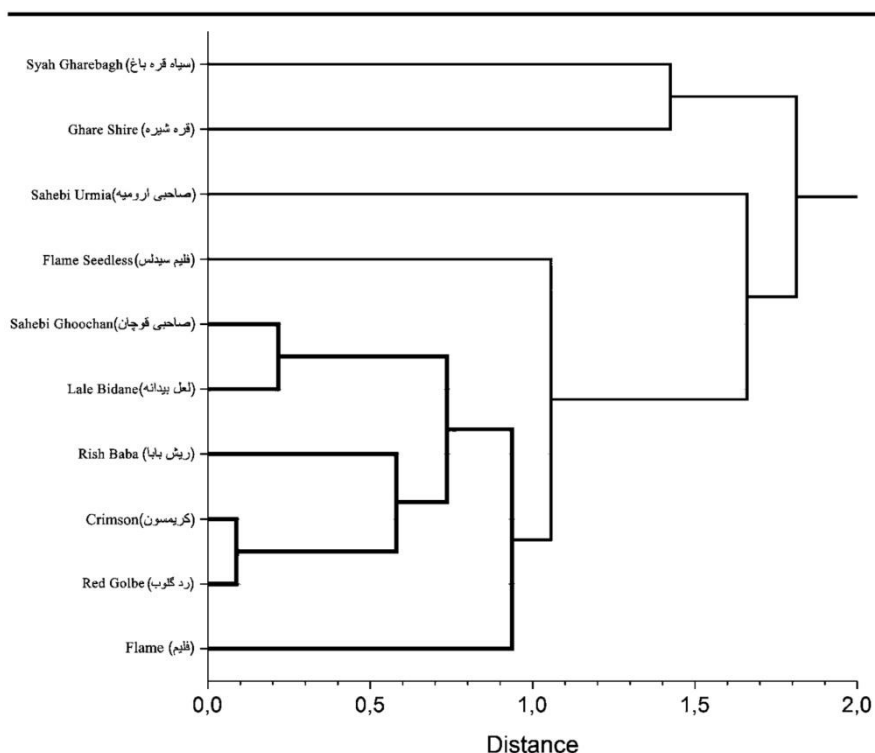
\* and \*\* Correlation is significant at the 0.05 and 0.01 levels, respectively

صاحبی قوچان با لعل بیدانه بودند. این تحلیل برای درک بهتر رابطه بین تنوع و غلظت آنتوسیانین در ارقام انگور انجام شد (شکل ۵ و جدول ۵)، سه جزء اصلی اول (PC 1-3)، ۸۸/۸۴ درصد از کل واریانس را تبیین کردند. این تجزیه نشان داد که می‌توان انواع انگور را بر اساس غلظت‌های آنتوسیانین منفرد شناسایی کرد. در PC1، اکثر متغیرهای آنتوسیانینی

تجزیه خوشه‌ای و تجزیه و تحلیل مؤلفه (PCA): با توجه به دندروگرام UPGMA حاصل از تجزیه خوشه‌ای (شکل ۴)، ۱۰ ژنوتیپ رنگی مورد مطالعه در صفات آنتوسیانینی به دو گروه اصلی تقسیم شدند. گروه اول شامل دو رقم سیاه قره‌باغ و قره‌شیره بود که با فاصله دورتری از هشت رقم دیگر قرار گرفتند. نزدیک‌ترین ژنوتیپ‌ها کریمسون با رد گلوب و

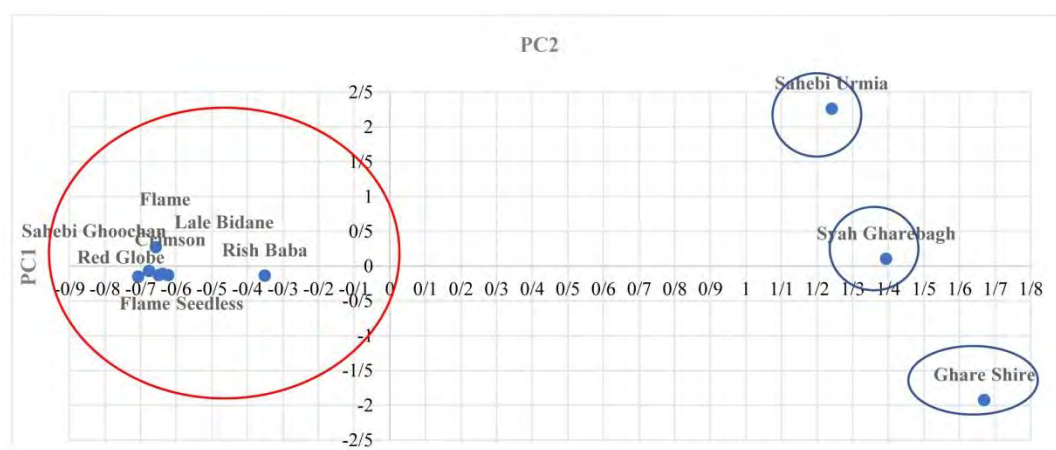
نمونه برداری شده بودند، اما بر اساس تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مؤلفه‌ها در گروه‌های متفاوتی تفکیک نشدند، اما در مورد دو رقم صاحبی قوچان و ارومیه فاصله و تفاوت وجود داشت. با توجه به این‌که این دو رقم تفاوت‌های مورفولوژیکی در ویژگی رنگ حبه و برگ داشتند (نتایج ارائه نشده است)، بدون انجام تجزیه مولکولی نمی‌توان از یکسان بودن آن‌ها اطمینان حاصل کرد. بر روی پایگاه داده Vitis International Variety Catalog اطلاعات دو رقم متفاوت با نام صاحبی با رنگ پوست حبه متفاوت و نیز تمایز در طول آل‌ها ناشی از تجزیه SSR ثبت شده است. نتایج مطالعه حاضر در مورد ترکیبات آنتوسیانینی ارقام مرغوب در نقاط مختلف ایران در زمان برداشت با درجه بریکس بین ۱۹ تا ۲۲ اطلاعات مفیدی حاصل کرده است.

به جز سیانیدین، پتوئیدین و پتوئیدین کوماریل گلوکزاید در ۱۰ ژنوتیپ مورد مطالعه رابطه مثبت و بالاتر از حد ۰/۵۵۵ نشان دادند (جدول ۵). در شکل و جدول ۵، ژنوتیپ‌ها در چهار گروه قرار گرفته و در محور PC2 ژنوتیپ قره‌شیره رابطه منفی و بالایی (۰/۶۸۶-) در میزان دلفینیدین-۳-کوماریل گلوکزاید (۲/۸۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) نشان داد. در نتیجه، آنتوسیانین‌ها می‌توانند نشانگرهای مفیدی برای تشخیص انواع انگور در نظر گرفته شوند. از طرفی استفاده از این ابزار طبقه‌بندی بهتر است با احتیاط صورت گیرد، زیرا غلظت آنتوسیانین نه تنها تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است، بلکه عواملی مانند عملیات زراعی، بلوغ، مرحله رسیدن، آب و هوا و سطح تنش نیز در مقدار و حضور آن‌ها مؤثر هستند (۳۶). ده ژنوتیپ مورد بررسی از سه مکان جغرافیایی متفاوت



شکل ۴- دندروگرام UPGMA ترکیبات متفاوت آنتوسیانینی در ژنوتیپ‌های مورد بررسی.

Fig. 4. Dendrogram of different anthocyanin compounds in the studied cultivars.



شکل ۵- توزیع ۱۰ ژنوتیپ بررسی شده برای دو جزء اصلی (PC2 و PC1) حاصل PCA، بر مبنای داده‌های HPLC-DAD.

Fig. 5. Distributions of the 10 grape cultivars in the two-dimensional space of principle component PC1 and PC2 of PCA based on HPLC-DAD.

جدول ۵- تجزیه PCA صفات آنتوسیانینی ۱۰ ژنوتیپ انگور.

Table 5. PCA analysis on anthocyanin traits of 10 grapevine cultivars.

|                               | PC 1    | PC 2     | PC3      |
|-------------------------------|---------|----------|----------|
| df                            | 0.889** | -0.278   | 0.042    |
| cya                           | 0.060   | 0.598**  | -0.041   |
| pt                            | -0.034  | -0.226   | -0.760** |
| pn                            | 0.663** | 0.628**  | 0.213    |
| mv                            | 0.752** | -0.642** | 0.126    |
| df ac                         | 0.915** | -0.384   | -0.058   |
| cy ac                         | 0.931** | -0.345   | -0.034   |
| pt ac                         | 0.598** | 0.789**  | -0.059   |
| pn ac                         | 0.863** | 0.194    | -0.066   |
| mv ac                         | 0.665** | 0.552**  | 0.109    |
| df pcum                       | 0.691** | -0.686** | 0.123    |
| mv cf                         | 0.717** | 0.555**  | -0.155   |
| cy pcu                        | 0.637** | 0.760**  | 0.029    |
| pt pcu                        | 0.743** | -0.658** | 0.041    |
| pn pcum                       | -0.269  | -0.060   | 0.798**  |
| Eigenvalues                   | 7.071   | 4.318    | 1.344    |
| Total variance (Cumulative %) | 47.141  | 75.924   | 84.887   |

### نتیجه‌گیری کلی

قره‌شیره بیش‌ترین آنتوسیانین کل و پئونیدین را نشان داده و در تجزیه‌های مربوط به طبقه‌بندی (تجزیه خوشه‌ای و PCA) با فاصله از سایر ارقام و در گروه‌های مجزایی قرار گرفتند. به علت کاربردهای گسترده و رو به رشد این ترکیبات در صنایع نساجی، دارویی، بهداشتی، آرایشی و غذایی، مطالعات بیش‌تری در مورد ویژگی‌های آنتوسیانینی و در کل ترکیبات فلاونوئیدی در ژنوتیپ‌های مختلف انگور در مناطق مختلف ضروری است (۴۱).

در این مطالعه، در مجموع پانزده مونوگلوکوزید آنتوسیانین و ترکیبات مشتق شده آن‌ها در ۱۰ رقم بررسی شد. ارقام مورد مطالعه از نظر ترکیبات منفرد آنتوسیانینی و نیز میزان فنول، فلاونوئید و آنتوسیانین کل تفاوت‌های معنی‌داری نشان دادند. ترکیب پئونیدین و مالویدین و ترکیبات استری و استیلی آن‌ها در ژنوتیپ‌ها بیش‌ترین غلظت را نشان دادند. بر اساس تجزیه خوشه‌ای و PCA، ژنوتیپ‌ها در گروه‌های متفاوتی تفکیک شدند. ارقام سیاه قره‌باغ و

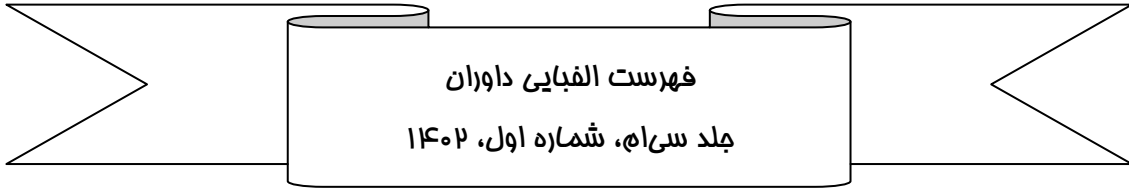
### منابع

- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C. and Jiménez, L. 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability. *Am. J. Clin. Nutr.* 79: 727-747.
- Ali, K., Maltese, F., Choi, Y.H. and Verpoorte, R. 2010. Metabolic constituents of grapevine and grape-derived products. *Phytochem. Rev.* 9: 357-378.
- Archivio, D., Filesì, M., Di Benedetto, C., Gargiulo, R., Giovannini, R. and Masella, C.R. 2007. Polyphenols, Dietary Sources and Bioavailability. *Ann. Ist. Super. Sanita*, 43: 348.
- Abbas, M., Saeed, F., Anjum, F.M., Afzaal, M., Tufail, T., Bashir, M.S., Ishtiaq, A., Hussain, S. and Suleria, H.A.R. 2017. Natural polyphenols: An overview. *Int. J. Food Prop.* 20: 8. 1689-1699.
- Hooper, L., Kroon, P.A., Rimm, E.B. Cohn, J.S., Harvey, I., Le Cornu, K.A., Ryder, J.J., Hall, W.L. and Cassidy, A. 2008. Flavonoids, Flavonoid-Rich Foods, and Cardiovascular Risk: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Am. J. Clin. Nutr.* 88: 38-50.
- Radovanović, B.C., Anđelković, S.M., Radovanović, A.B. and Anđelković, M.Z. 2013. Antioxidant and antimicrobial activity of polyphenol extracts from wild berry fruits grown in southeast Serbia. *Trop. J. Pharm. Res.* 12: 5. 813-819.
- Turkmen, F.U., Takci, H.A.M. and Sekeroglu, N. 2017. Total phenolic and flavonoid contents, antioxidant and antimicrobial activities of traditional unripe grape products. *Indian J. Pharm. Educ. Res.* 51: 489-493.
- Tagliazucchi, D., Verzelloni, E., Bertolini, D. and Conte, A. 2010. *In vitro* bio-accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols. *Food Chem.* 120: 2. 599-606.
- Goufo, P., Singh, R.K. and Cortez, I. 2020. A Reference List of Phenolic Compounds (Including Stilbenes) in Grapevine (*Vitis vinifera* L.) Roots, Woods, Canes, Stems, and Leaves. *Antioxidants*, 9: 5. 398.
- Oertel, A., Matros, A., Hartmann, A., Arapitsas, P., Dehmer, K.J., Martens, S. and Mock, H.P. 2017. Metabolite profiling of red and blue potatoes revealed cultivar and tissue specific patterns for anthocyanins and other polyphenols. *Planta*, 246: 2. 281-297.
- Zhu, L., Zhang, Y. and Lu, J. 2012. Phenolic contents and compositions in skins of red wine grape cultivars among various genetic backgrounds and originations. *Int. J. Mol. Sci.* 13: 3. 3492-3510.
- Shahab, M., Roberto, S. R., Ahmed, S., Colombo, R.C., Silvestre, J.P., Koyama, R. and De Souza, R.T. 2020.



- Relationship between anthocyanins and skin color of table grapes treated with abscisic acid at different stages of berry ripening. *Sci. Hort.* 259: 108859.
13. Downey, M.O., Dokoozlian, N.K. and Krstic, M.P. 2006. Cultural practice and environmental impacts on the flavonoid composition of grapes and wine: a review of recent research. *Am. J. Enol. Vitic.* 57: 3. 257-268.
  14. Gervasi, T., Oliveri, F., Gottuso, V., Squadrito, M., Bartolomeo, G., Cicero, N. and Dugo, G. 2016. Nero d'Avola and Perricone cultivars: determination of polyphenols, flavonoids and anthocyanins in grapes and wines. *Nat. Prod. Res.* 30: 20. 2329-2337.
  15. Carreno, J. and Martinez, A. 1995. Proposal of an index for objective evaluation of the color of red table grapes. *Food Res. Int.* 28: 373-377.
  16. Cooper-Driver, G.A. 2001. Contributions of Jeffrey Harborne and co-workers to the study of anthocyanins. *Phytochem.* 56: 229-236.
  17. Zhang, Q., Zhang, J., Shen, J., Silva, A., Dennis, D.A. and Barrow, C.J. 2006. A simple 96-well microplate method for estimation of total polyphenol content in seaweeds. *J. Appl. Phycol.* 18: 3. 445-450.
  18. Pomar, F., Novo, M. and Masa, A. 2005. Varietal differences among the anthocyanin profiles of 50 red table grape cultivars studied by high performance liquid chromatography. *J. Chromatogr. A.* 1094: 34-41.
  19. Stevenson, D. and Scalzo, J. 2012. Anthocyanin composition and content of blueberries from 730 around the world. *J. Berry Res.* 2: 179-189.
  20. Fong, R.A., Webb, A.D. and Kepner, R.E. 1974. Acylated anthocyanins in a hybrid *Vitis* variety. *Phytochem.* 13: 6. 1001-1004.
  21. Morais, H., Ramos, C., Forgacs, E., Cserhati, T. and Oliiera, J. 2002. Influence of storage conditions on the stability of monomeric anthocyanins studied by reversed phase high performance liquid chromatography. *J. Chromatogr. B.* 770: 297-301.
  22. Rusjan, D., Korosec-Koruza, Z. and Veberic, R. 2008. Primary and secondary metabolites related to the quality potential of table grape varieties (*Vitis vinifera* L.). *Eur. J. Hort. Sci.* 73: 3. 124.
  23. Castillo-Muñoz, N., Gómez-Alonso, S., García-Romero, E. and Hermosín-Gutiérrez, I. 2010. Flavonol profiles of *Vitis vinifera* white grape cultivars. *J. Food Compos. Anal.* 23: 7. 699-705.
  24. Pinasseau, L., Verbaere, A., Roques, M., Meudec, E., Vallverdú-Queralt, A., Terrier, N., Boulet, J.C., Cheynier, V. and Sommerer, N. 2016. A fast and robust UHPLC-MRM-MS method to characterize and quantify grape skin tannins after chemical depolymerization. *Molecules.* 21: 10. 1409.
  25. Cantos, E., Espin, J.C. and Tomás-Barberán, F.A. 2002. Varietal differences among the polyphenol profiles of seven table grape cultivars studied by LC-DAD-MS-MS. *J. Agric. Food Chem.* 50: 20. 5691-5696.
  26. Flamini, R., Mattivi, F., Rosso, M.D., Arapitsas, P. and Bavaresco, L. 2013. Advanced knowledge of three important classes of grape phenolics: anthocyanins, stilbenes and flavonols. *Int. J. Mol. Sci.* 14: 10. 19651-19669.
  27. Doulaty Baneh, H., Grassi, F., Mohammadi, A., Nazemieh, A., De Mattia, F., Imazio, S. and Labra, M., 2007. The use of AFLP and morphological markers to study Iranian grapevine germplasm to avoid genetic erosion. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 82: 5. 745-752.
  28. Najafi, J., Alipanah, L., Ghareyazie, B., Mohammadi, S.A., Hagh Nazari, A. and This, P. 2006. Genetic diversity of Iranian and some of European grapes revealed by microsatellite markers. *Iran. J. Biotech.* 4: 36-44.
  29. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2018. FAOSTAT statistical database. FAO, Rome, Italy.
  30. Slinkard, K. and Singleton, V.L. 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *Am. J. Enol. Vitic.* 28: 1. 49-55.

31. Wagner, G.J. 1979. Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. *Plant physiol.* 64: 1. 88-93.
32. Kedrina-Okutan, O., Novello, V., Hoffmann, T., Hadersdorfer, J., Occhipinti, A., Schwab, W. and Ferrandino, A. 2018. Constitutive polyphenols in blades and veins of grapevine (*Vitis vinifera* L.) healthy leaves. *J. Agric. Food Chem.* 66: 42. 10977-10990.
33. Colombo, R.C., Roberto, S.R., da Cruz, M.A., de Carvalho, D.U., Yamamoto, L.Y., Nixdorf, S.L. and Hermosin-Gutierrez, I. 2021. Characterization of the phenolic ripening development of 'BRS Vitoria' seedless table grapes using HPLC-DAD-ESI-MS/MS. *J. Food Compos. Anal.* 95: 103693.
34. Mazza, G. and Brouillard, R. 1987. Recent developments in the stabilization of anthocyanins in food products. *Food Chem.* 25: 3. 207-225.
35. Spinardi, A., Cola, G., Gardana, C.S. and Mignani, I. 2019. Variation of anthocyanin content and profile throughout fruit development and ripening of highbush blueberry cultivars grown at two different altitudes. *Front. Plant Sci.* 1045.
36. Pejman Mehr, M., Ebadi, A., Mousavi, A., Walker, A.R. and Rahimi, A. 2015. A quantitative and qualitative study of anthocyanins and flavonols in the skin of several grape cultivars using high performance liquid chromatography (HPLC). *Quar. J. Med. Plants.* 4: 56. 123-137. (In Persian)
37. Du, B., He, B.J., Shi, P.B., Li, F.Y., Li, J. and Zhu, M. 2012. Phenolic content and antioxidant activity of wine grapes and table grapes. *J. Med. Plant Res.* 6: 17. 3381-3387.
38. Fang, J., Jogaiah, S., Guan, L., Sun, X. and Abdelrahman, M. 2018. Coloring biology in grape skin: a prospective strategy for molecular farming. *Physiologia plantarum*, 164: 4. 429-441.
39. Mattivi, F., Guzzon, R., Vrhovsek, U., Stefanini, M. and Velasco, R. 2006. Metabolite profiling of grape: flavonols and anthocyanins. *J. Agric. Food Chem.* 54: 20. 7692-7702.
40. Cacho, J., Fernandez, P., Ferreira, V. and Castells, J.E. 1992. Evolution of five anthocyanidin-3-glucosides in the skin of the Tempranillo, Moristel, and Garnacha grape varieties and influence of climatological variables. *Am. J. Enol. Vitic.* 43: 244-248.
41. Albuquerque, B.R., Heleno, S.A., Oliveira, M.B.P., Barros, L. and Ferreira, I.C. 2021. Phenolic compounds: Current industrial applications, limitations and future challenges. *Food Func.* 12: 1. 14-29.
42. Proteggente, A.R., Saija, A., De Pasquale, A. and Rice-Evans, C.A. 2003. The compositional characterisation and antioxidant activity of fresh juices from sicilian sweet orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) varieties. *Free Radic. Res.* 37: 6. 681-687.
43. Schulz, E., Tohge, T., Zuther, E., Fernie, A.R. and Hinch, D.K. 2015. Natural variation in flavonol and anthocyanin metabolism during cold acclimation in *Arabidopsis thaliana* accessions. *Plant, Cell Environ.* 38: 8. 1658-1672.



فهرست الفبایی داوران

جلد سی‌اُم، شماره اول، ۱۴۰۲

|                        |                        |                         |
|------------------------|------------------------|-------------------------|
| دکتر ابوذری            | دکتر مجتبی خوش‌روش     | دکتر یوسف فرخ‌زاد       |
| دکتر میترا اعلائی      | دکتر عبدالستار دارابی  | دکتر خلیل قربانی        |
| دکتر سید رضا امیری     | دکتر رضا دیهیم‌فرد     | دکتر ایوب قربانی دهکردی |
| دکتر ملیحه آب‌شاهی     | دکتر غلامرضا ربیعی     | دکتر حسین کاظمی         |
| دکتر مهدی بیگدلو       | دکتر داریوش رمضان      | دکتر روح‌الله کریمی     |
| دکتر لیلا جعفری        | دکتر ایمان روح‌اللهی   | دکتر زینب محکمی         |
| دکتر سیدمحمد حسینی ملا | دکتر سیده سهیلا زربافی | دکتر سیدجواد موسوی‌زاده |
| دکتر سعید حضرتی        | دکتر ادريس شعبانی      | دکتر علیرضا یاوری       |
| دکتر جلال خورشیدی      | دکتر مصطفی شیرمردی     |                         |



---

## شرایط پذیرش و راهنمای نگارش مقاله

---

مجله پژوهش‌های تولید گیاهی، مقالات تحقیقی و مروری را در زمینه علوم زراعی و باغبانی می‌پذیرد. مقاله‌ای برای چاپ پذیرفته خواهد شد که متن کامل آن قبلاً در هیچ نشریه‌ای منتشر و نیز برای چاپ به سایر نشریات ارائه نشده باشد. مقالات ارسالی می‌توانند به زبان فارسی یا انگلیسی (با شرایط خاص) باشند، ولی چکیده باید به هر دو زبان تهیه شود. در مقالاتی که دارای چند نویسنده هستند، ترتیب اسامی و حقوق نویسندگان بر عهده ارسال‌کننده مقاله خواهد بود. مسئولیت هر مقاله از نظر علمی بر عهده نویسنده (گان) خواهد بود. نشریه در رد یا قبول و حک و اصلاح مقالات آزاد است.

مقاله تحقیقی، مقاله‌ای است حاصل تحقیق و مستند به نتایج پژوهش‌های انفرادی یا جمعی، مقاله مروری شامل ارزیابی و نقد نوشته‌هایی است که در نشریات و کتاب‌های مختلف علمی در همان زمینه به چاپ رسیده است. در این نوع مقالات، نویسنده کارهای پژوهشی گذشته را جهت روشن شدن وضعیت فعلی مسئله، طرح و بررسی قرار می‌دهد و بعد ارتباطات، تناقض‌ها و محدودیت‌های موجود را بیان نموده، سرانجام پیشنهادهای خود را می‌کند. مقالات ترجمه شده فقط در صورتی پذیرفته می‌شوند که حاوی روش یا مسئله علمی بسیار مهمی باشند. هر مقاله تحقیقی باید دارای عنوان، چکیده فارسی، واژه‌های کلیدی به فارسی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، منابع، چکیده انگلیسی و واژه‌های کلیدی به انگلیسی باشد و اصول زیر در آن رعایت شود:

(۱) عنوان مقاله باید کوتاه و گویا باشد و از ۱۵ واژه تجاوز نکند.

(۲) هر مقاله باید دارای یک فایل حاوی مشخصات مقاله شامل نام و نام‌خانوادگی نویسنده (گان)، مرتبه علمی و نشانی به هر دو زبان فارسی و انگلیسی، شماره تلفن و نامبر و پست الکترونیکی باشد.

(۳) چکیده فارسی باید به صورت مبسوط شامل سابقه و هدف، مواد و روش‌ها، یافته‌ها و نتیجه‌گیری باشد و تمام آن در یک صفحه A4 (حداقل ۴۰۰ و حداکثر ۶۰۰ کلمه با فاصله خطوط یک) به (فرمت زیر) باشد:

### چکیده

سابقه و هدف: (B lotus, font size 11)

مواد و روش‌ها: (B lotus, font size 11)

یافته‌ها: (B lotus, font size 11)

نتیجه‌گیری: (B lotus, font size 11)

واژه‌های کلیدی: (B lotus, font size 11)

چکیده انگلیسی باید ترجمه کامل چکیده فارسی و به صورت مبسوط (abstract extended) و در پایان مقاله بعد از منابع با فاصله خطوط یک لحاظ شود و شامل:

(Conclusion; Results; Materials and methods; Background and objectives) باشد (فرمت زیر).

(Center) Title: Times New Romans Font 12 Bold

### Abstract

Background and objectives: Times New Roman (font size: 11)

Materials and methods: Times New Roman (font size: 11)

Results: Times New Roman (font size: 11)

Conclusion: Times New Roman (font size: 11)

Keywords: Times New Roman (font size: 11)

۴) واژه‌های کلیدی در ۳ تا ۵ واژه بلافاصله بعد از چکیده‌های فارسی و انگلیسی آورده شود.

۵) مقدمه باید شامل طرح مسئله، سوابق کار و توجیه اهمیت تحقیق باشد. اهداف مطالعه به‌طور شفاف در انتهای مقدمه ذکر شود.

۶) مواد و روش‌ها شامل وسایل کار، طرح آماری، نحوه داده‌سازی و شیوه اجرای پژوهش است که باید مشخص و روشن بیان شود.

۷) نتایج و بحث شامل درج یافته‌های تحقیق، بحث مستدل (با مرجع) و نتیجه‌گیری خواهد بود. نتایج و بحث با هم تدوین شود. شکل‌ها و جدول‌ها در نتایج و بحث نباید دارای اطلاعات مشابه یا تکراری باشند، داده‌های جدول نباید به‌صورت منحنی یا نمودار (به‌استثنای نقشه) تکرار شوند.

۸) نتیجه‌گیری کلی نتیجه کلی مهم‌ترین یافته تحقیق است که در یک پاراگراف آورده شود.

۹) در صورت ضرورت، تشکر و قدردانی از موسسات و افراد زیر عنوان “سپاسگزاری” قبل از منابع آورده شود.

۱۰) کل منابع به زبان انگلیسی و به‌ترتیب حروف الفبای نام‌خانوادگی نویسندگان و نام سازمان‌هاست. از ارجاع منابع با عنوان “بی‌نام” خودداری شود.

۱۱) منبع مورد استفاده ممکن است کتاب، مقاله یا نشریه باشد. در مورد کتاب باید نام نویسنده(گان)، سال انتشار، عنوان کتاب، ناشر و محل انتشار و تعداد کل صفحات آورده شود.

الف) کتاب تالیف شده در ایران:

1. Parsapajouh, D. 1994. Wood technology. Tehran Univ. Press, 404p. (In Persian)

ب) کتاب به لاتین (رجوع به کل صفحه)

1. Holik, H. 2006. Handbook of paper and board. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 506p.

ج) کتاب به لاتین (صفحه‌های مورد استفاده)

1. Nyland, R.D. 1996. Silviculture, Concepts and applications. Mc Graw-Hill international edition, New York, Pp: 501-553.

۱۲) برای مقالاتی که فصلی از یک کتاب با نویسنده (گان) مجزا هستند (مانند مقاله در همایش‌ها)، این موارد شامل نام نویسنده(گان)، سال انتشار، عنوان مقاله، شماره صفحات، نام نویسنده(گان) (ادیتورها) کتاب، نام کتاب، ناشر و محل انتشار است.

1. Yang, C. and Tao, V. 2005. Distributed geospatial information service. P 113-130, In: S. Rana and J. Sharma (eds), Frontiers of geographic information technology, Springer, London.

۱۳) طرز نگارش منابع فارسی مقاله به انگلیسی باید شامل نام نویسنده(گان)، سال انتشار، عنوان مقاله، نام نشریه کامل یا به اختصار، جلد (شماره) نشریه و شماره صفحات مقاله باشد. مثال:

1. Mohamadi, J. and Shataee, Sh. 2009. Sensitivity Evaluation of spectral vegetation indices using sensitivity functions for stand volume estimation. Gorgan, J. of Wood and Forest Science and Technology. 16: 2.101-120. (In Persian)

مقاله لاتین:

2. Pere, J., Siika-aho, M. and Viikari, L. 1995. Effects of purified Trichoderma reesei cellulose on the fiber properties of kraft pulp. Tappi J. 78:6.71-78.

۱۴) اگر منبع نشریه چاپ شده با نام یک موسسه است، باید شامل نام موسسه، سال انتشار، عنوان نشریه و محل انتشار باشد. برای سایر موارد به آخرین شماره رجوع شود.

۱۵) ارجاع به منابع در متن:

الف: هنگامی که نام نویسندگان در متن آورده می‌شود لازم است نام خانوادگی نویسنده و سال انتشار منبع به سال میلادی نوشته شود و در انتهای جمله نیز شماره منبع قید شود (مطابق نمونه زیر). اگر تعداد نویسندگان بیش از دو نفر باشد، به ذکر نام خانوادگی نویسنده اول و سپس "و همکاران (سال میلادی)" اکتفا شود.

"رتس و توروک (۲۰۰۳) رابطه بخش‌های کشاورزی و صنعت در برخی کشورهای افریقایی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. آنها با بررسی تبعیض بین کشاورزی و صنعت نشان دادند که تبعیض علیه کشاورزی ممکن است نرخ رشد اقتصادی را کاهش دهد و مزیت‌های تکنولوژیکی صنعت را از بین ببرد (۸)."

ب: هنگامی که نیازی به آوردن نام نویسندگان در متن نباشد تنها در انتهای جمله شماره منبع قید شود (مطابق نمونه زیر).

"بخش خدمات، اثرات متقابل زیادی با دیگر بخش‌ها دارد به طوری که براساس مدل‌های شبیه‌سازی شده سهم خالص بخش کشاورزی و صنعت در افزایش تولید ناخالص داخلی از طریق بخش خدمات به ترتیب ۶ و ۲۲ درصد است (۵)."

(۱۶) منابع فارسی ترجمه شده از زبان‌های خارجی باید با نام مترجم ارجاع شود و بعد از عنوان کتاب، یا مقاله، واژه "ترجمه" داخل پرانتز درج شود. مثال:

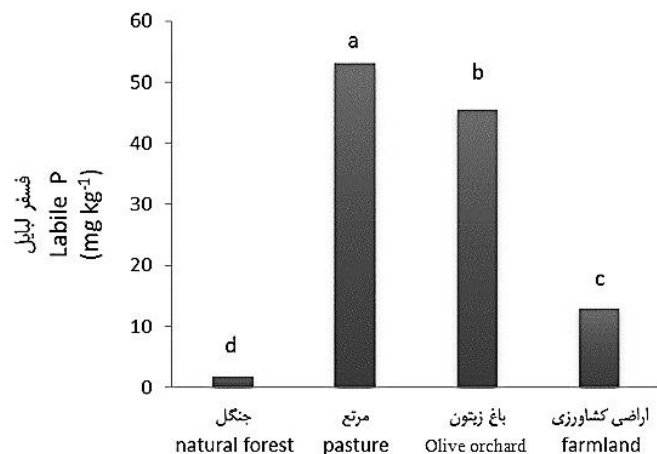
1. Farabi, H. 2000. Manual on acute forest damage. Gorgan Univ. of Agricultural Sciences and Natural Resources Press. 140p. (Translated in Persian)

(۱۷) از به کار بردن کلمات خارجی غیر از اسامی علمی در متن خودداری شود و در صورت نبودن معادل فارسی فراگیر، آنها را به فارسی نوشته و اصل کلمه با ذکر شماره‌های بدون پرانتز در قسمت بالا و در سمت چپ کلمه، به زیرنویس در همان صفحه ارجاع داده شود.

(۱۸) اسامی علمی (جنس و گونه، گیاهان، جانوران) در تمام مقاله با حروف ایتالیک یا مورب تایپ شوند و نام مصنف برای اولین بار و در جلوی آن در داخل پرانتز نوشته شود.

(۱۹) عنوان و اطلاعات هر یک از شکل‌ها و جدول‌ها به دو صورت فارسی و انگلیسی نوشته شوند. عناوین جدول‌ها در بالا و عناوین شکل‌ها در زیر با فرمت وسط چین نوشته شود. از کشیدن هر گونه خط عمودی در جدول خودداری شود. در جدول‌ها و شکل‌ها، واحدهای ویژگی‌های مورد مطالعه در سیستم بین‌المللی (SI) در داخل پرانتز و به انگلیسی نوشته شود مثل (%،  $\text{day mm}^{-1}$ ،  $(\text{mg L}^{-1})$  و  $(\text{mg kg}^{-1})$ . از اعداد انگلیسی در محورهای افقی و عمودی در شکل‌ها استفاده شود. از به کار بردن عنوان‌هایی مانند نمودار، عکس و نقشه، خودداری و آنها با عنوان "شکل" درج شوند (مثال زیر):





شکل ۴- اثر تغییر کاربری اراضی بر غلظت فسفر لبایل -  
Figure 4- Effect of land use change on labile P.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه .

Table 1- Selected physical and chemical characteristics of the studied soils .

| CEC<br>( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) | کربنات کلسیم<br>معادل (%)<br>Calcium<br>carbonate<br>equivalent (%) | کربن آلی (%)<br>Organic carbon (%) | EC( $\text{dSm}^{-1}$ ) | pH(1:2) | بافت خاک<br>Soil<br>texture           | نام کاربری<br>Land use            |
|--|---|------------------------------------|-------------------------|---------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 18.83                                      | 5.31  | 1.58                               | 0.36                    | 7.27    | لوم رسی سیلتی<br>(Silty clay<br>loam) | جنگل طبیعی<br>(natural<br>forest) |
| 13.70                                      | 15.43   | 0.88                               | 0.34                    | 7.32    | لوم رسی سیلتی<br>(Silty clay<br>loam) | مرتع<br>(pasture)                 |
| 13.55                                      | 13.28   | 0.76                               | 0.60                    | 7.31    | لوم رسی سیلتی<br>(Silty clay<br>loam) | باغ زیتون<br>(olive orchard)      |
| 12.30                                      | 13.53   | 0.73                               | 0.40                    | 7.16    | لوم رسی سیلتی<br>(Silty clay<br>loam) | زمین کشاورزی<br>(farmland)        |

۲۰) متن مقاله باید به صورت تک‌ستونی با فاصله خطوط ۱/۵ و با رعایت حاشیه ۲/۵ سانتی‌متر از لبه‌ها و حداکثر در ۱۵ صفحه و با نیم سانتی‌متر تورفتگی در شروع پاراگراف‌ها تایپ شود و از طریق پورتال نشریه ارسال شود. تایپ مقالات در نرم‌افزار **Word 2003** یا نسخه‌های بالاتر میکروسافت توصیه می‌شود.

جدول‌ها و تصاویر نیز در متن مقاله آورده شود و نیاز به بارگذاری فایل مجزا نمی‌باشد. هر جدول یا شکل بلافاصله پس از ارجاع به آن در متن، آورده شود.

اندازه قلم بخش‌های مختلف مقاله به صورت زیر است:

چکیده فارسی و انگلیسی: B lotus و Times New Romans با اندازه ۱۱

متن مقاله: قلم B Lotus و با اندازه ۱۲

عنوان مقاله: B Titr پررنگ (Bold) و با اندازه ۱۲

عنوان‌های فرعی: B Mitra پررنگ (Bold) و با اندازه ۱۲

عنوان جدول‌ها و شکل‌ها: B lotus پررنگ (Bold) و با اندازه ۱۰

کلمه‌ها داخل جدول‌ها و پاورقی: B lotus و با اندازه ۱۰

اعداد داخل جدول‌ها: Times New Roman و با اندازه ۱۰

منابع: Times New Roman و با اندازه ۱۱

(۲۱) ممکن است برای چاپ، شکل‌ها کوچکتر شوند، بنابراین نوشته‌ها و اعداد روی شکل‌ها باید درشت و کاملاً خوانا باشد.

(۲۲) عکس‌ها باید دارای مقیاس باشند و در صورت اقتباس از منبع دیگر باید ذکر شوند.

(۲۳) مسئول مکاتبه هر مقاله لازم است توسط نویسندگان مقاله قبل از ارسال مشخص شود. بنابراین هر گونه مسئولیتی در رابطه با مقاله مربوط به شخص مکاتبه‌کننده است.

(۲۴) دانشجویان دوره کارشناسی‌ارشد و دکترا لازم است قبل از ارسال مقاله هماهنگی و مشاوره لازم را در خصوص مقاله با استاد راهنما به عمل آورند.

(۲۵) همچنین این نشریه گزارش‌های کوتاه علمی و فنی را که تاکنون چاپ نشده پس از اعلام نظر داور تخصصی و تایید هیات تحریریه به‌عنوان Technical report و یادداشت‌های کوتاه علمی جهت چاپ پذیرش می‌نماید. این قبیل گزارش‌ها در ۳ تا ۵ صفحه قابل چاپ خواهند بود (به‌همراه عنوان چکیده‌ها و منابع علمی). در ضمن ساختار کلی گزارش‌های کوتاه علمی همانند یک مقاله کامل می‌باشد.

## Contents

|  |     |
|--|-----|
| <b>The effect of different levels of salinity stress and cultivar on biochemical and physiological characteristics and nutrient concentration of William Sweet (<i>Dianthus barbatus</i>)</b><br>Vahid Ghasemi, Abdollah Ehtesham Nia, Abdolhossein Rezaei Nejad, Hasan Mumivand .....                                       | 1   |
| <b>Parameterization and evaluation of SSM-iCrop2 model to simulate the growth and yield of rice in Iran</b><br>Saleh Keramat, Benjamin Torabi, Afshin Soltani, Ebrahim Zeinali .....   | 21  |
| <b>The Effect of Drought Stress on Morphological and Biochemical Characteristics of Some Lily Species Under <i>in-vitro</i> Condition</b><br>Rezvan Ahadi Rad, Younes Pournbeyrami Hir, Esmaeil Chamani, Hassan Maleki Lajayer, Nouraddin Izadi .....  | 49  |
| <b>Evaluation of yield stability of promising winter rapeseed lines in cold and semi-cold climate of Iran</b><br>Mehrzaad Ahmadi, Mansoor Omidi, Ali Akbar Shah Nejat Bushehri, Nazanin Amirbakhtiar .....   | 67  |
| <b>Effect of sodium nitroprusside (SNP) on morpho-physiological characteristics of peppermint (<i>Mentha piperita</i> L.) under salinity stress</b><br>Kolsoum Arshan, Davood Samsampour, Hossein Pasalari .....   | 85  |
| <b>Simulation of Yield and Water Productivity in New Bread Wheat Cultivars Using DSSAT-Nwheat Model</b><br>Farasat Sajadi, Hossein Sharifan, Habiballah Soughi, Mohammad Abdolhosseini .....   | 103 |
| <b>The effect of gamma aminobutyric acid foliar application on some biochemical characteristics and expression pattern of <i>PAL</i> and <i>CHS</i> genes in Qizil Uzum grape (<i>Vitis vinifera</i> L.)</b><br>Afsaneh Allahveran Oosalo, Lotfali Naseri, Abolfazl Alirezalu, Reza Darvishzadeh, Samad Nejad Ebrahimi ..... | 125 |
| <b>Effects of adding far-red light to the photosynthetic active spectrum on growth and morphological characteristics of basil (<i>Ocimum basilicum</i> L.) under controlled conditions</b><br>Hossein Mazari Manghabi, Mojtaba Delshad, Sasan Aliniaiefard.....  | 149 |
| <b>Effect of deficit irrigation on visual quality, physiological responses, and water use efficiency of <i>Ranunculus asiaticus</i> L.</b><br>Nahid Balasemi, Zeynab Roein, Atefeh Sabouri, Ahmad Reza Dadras .....  | 165 |
| <b>Modeling the yield of rainfed chickpea in dormant seeding using general circulation models in west and north western of Iran</b><br>Seyed Reza Amiri, Hamed Eyni-Nargeseh .....   | 187 |
| <b>Evaluation of physiological growth indices and radiation use efficiency in different peanut genotypes in Guilan province</b><br>Somayeh Fallahi, Mohammad Naghi Safarzade Vishekai, Peyman Sharifi, Hasan Akhgari.....  | 209 |
| <b>Identification of anthocyanin compounds in 10 Grape Cultivars (<i>Vitis Vinifera</i> L.) By HPLC-DAD Method</b><br>Fateme Sadeghian, Esmaeil Seifi, Seyyede Sanaz Ramezanzpour, Seyyed Alireza Salami .....   | 225 |





# Plant Production

(Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources)

Vol. 30, No. 1, 2023

ISSN (Print): 2322-2050  
(Online): 2322-2778

## Contents

- The effect of different levels of salinity stress and cultivar on biochemical and physiological characteristics and nutrient concentration of William Sweet (*Dianthus barbatus*)**  
Vahid Ghasemi, Abdollah Ehtesham Nia, Abdolhossein Rezaei Nejad, Hasan Mumivand ..... 1
- Parameterization and evaluation of SSM-iCrop2 model to simulate the growth and yield of rice in Iran**  
Saleh Keramat, Benjamin Torabi, Afshin Soltani, Ebrahim Zeinali ..... 21
- The Effect of Drought Stress on Morphological and Biochemical Characteristics of Some Lily Species Under *in-vitro* Condition**  
Rezvan Ahadi Rad, Younes Pourbeyrami Hir, Esmaeil Chamani, Hassan Maleki Lajayer, Nouraddin Izadi ..... 49
- Evaluation of yield stability of promising winter rapeseed lines in cold and semi-cold climate of Iran**  
Mehrzaad Ahmadi, Mansoor Omid, Ali Akbar Shah Nejat Bushehri, Nazanin Amirbakhtiar ..... 67
- Effect of sodium nitroprusside (SNP) on morpho-physiological characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress**  
Kolsoum Arshan, Davood Samsampour, Hossein Pasalari ..... 85
- Simulation of Yield and Water Productivity in New Bread Wheat Cultivars Using DSSAT-Nwheat Model**  
Farasat Sajadi, Hossein Sharifan, Habiballah Soughi, Mohammad Abdolhosseini ..... 103
- The effect of gamma aminobutyric acid foliar application on some biochemical characteristics and expression pattern of *PAL* and *CHS* genes in Qizil Uzum grape (*Vitis vinifera* L.)**  
Afsaneh Allahveran Oosalo, Lottfali Naseri, Abolfazl Alirezalu, Reza Darvishzadeh, Samad Nejad Ebrahimi ..... 125
- Effects of adding far-red light to the photosynthetic active spectrum on growth and morphological characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.) under controlled conditions**  
Hossein Mazari Manghabi, Mojtaba Delshad, Sasan Aliniaiefard ..... 149
- Effect of deficit irrigation on visual quality, physiological responses, and water use efficiency of *Ranunculus asiaticus* L.**  
Nahid Balasemi, Zeynab Rocin, Atefeh Sabouri, Ahmad Reza Dadras ..... 165
- Modeling the yield of rainfed chickpea in dormant seeding using general circulation models in west and north western of Iran**  
Seyed Reza Amiri, Hamed Eyni-Nargeseh ..... 187
- Evaluation of physiological growth indices and radiation use efficiency in different peanut genotypes in Guilan province**  
Somayeh Fallafi, Mohammad Naghi Safarzade Vishekaei, Peyman Sharifi, Hasan Akhgari ..... 209
- Identification of anthocyanin compounds in 10 Grape Cultivars (*Vitis Vinifera* L.) By HPLC-DAD Method**  
Fatemeh Sadeghian, Esmaeil Seifi, Seyyede Sanaz Ramezanzpour, Seyyed Alireza Salami ..... 225