



Morphological, Physiological and Biochemical Responses of 'Bidaneh Ghermez' Grape Scion on Seven Rootstocks to Water Deficit, to Identify the Most Tolerant Rootstock and Scion Combination

Saiyed Mohammad Mahdi Mirfatah¹, Mousa Rasouli²,
Mansour Gholami³, Abbas Mirzakhani⁴

1. Department of Grape and Raisin Research Institute, Malayer University, Malayer, Iran. E-mail: mirfatah6992@yahoo.com
2. Corresponding Author, Department of Horticultural Science Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. E-mail: m.rasouli@eng.ikiu.ac.ir
3. Department University College of Omran-Toseeh, Hamedan, Iran. E-mail: mgholami@atr.ac.ir
4. Department of agricultural and horticultural department, Center for Agricultural Research, Education and Natural Resources of Arak Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Arak, Iran. E-mail: abbasmirzakhani@yahoo.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Drought stress is one of the most important abiotic stresses restricting agricultural production, especially horticultural products, in different parts of the world and Iran. Regarding climate changes happened in the last few years, a sustainable production of grape is feasible in regions with drought stress using tolerant cultivars. To this end, an experiment was conducted in a split-plot design based on a randomized complete block (RCBD) with three replications during 2018-2021, at vineyard condition. At first, 'Bidaneh Ghermez' cultivar as scion were grafted on seven grape cultivars ('Bidaneh Ghermez', 'Bidaneh Sefid', 'Rashe', 'Sahani', 'Kare Royeh', 'Moulai', and 'Chafte') then grafted plants were subjected to three levels of drought, including field capacity (FC) (as control), 75% (moderate stress), and 55% (as severe stress) moisture depletion at 5-6-leaf stage. Some morphological, physiological and biochemical traits were measured after two months. The results showed that the interaction of drought × cultivar was significant in terms of leaf surface traits, RWC, soluble carbohydrates, proline, total chlorophyll, carotenoids, catalase, and MDA ($p < 0.01$). In addition, the main effect of drought significantly influenced leaf number, branch length, leaf fresh weight, stomatal density, electrolyte leakage, and cell membrane stability. Furthermore, the result of the mean comparison showed that mounting the severity of drought level led to an increase in the amount of proline and catalase, and a reduction in the amount of total chlorophyll and cell membrane stability. In conclusion, 'Bidaneh Ghermez' cultivar grafted on the rootstocks of 'Chafte', 'Moulai' and 'Kare Royeh' had a higher potential to be used as tolerant cultivars to drought stress compared to the other grafted combinations, examined in a vast majority of the studied traits.
Article history: Received: 29 May 2024 Received in revised form: 28 September 2024 Accepted: 15 October 2024 Published online: Winter 2024	
Keywords: Drought stress, Grape, Proline, Scion and Rootstock.	

Cite this article: Mirfatah, S. M. M., Rasouli, M., Gholami, M. & Mirzakhani, A. (2024). Responses of some morphological, physiological and biochemical characteristics of 'Bidaneh Ghermez' grape scion on seven rootstocks to identify the most tolerant combination of rootstock and scion to drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 55 (4), 679-697. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.377196.2180>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.377196.2180>

Publisher: The University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

Abiotic stresses are of the upmost factors limiting plant production in the world. As an economically important crop, grape can be considered as a model of perennial plant to study plants tolerance to drought

stress. In recent years, different regions in the world, such as the Mediterranean regions of Europe, Southwest Asia, and North America, are allocated to grape cultivation. These regions are generally suffered from drought stress, especially at grape flowering and fruit setting, consequently resulted in a reduction in its yield and fruit quality. Climate change and water stress have increased the number of hot and dry periods in the world, and this condition needs to be regarded when establishing a new vineyard. In general, grape is a commercial fruit with high economic importance, but remarkably affected by abiotic stresses such as drought stress. Therefore, grafting has been widely used in agriculture to increase plants tolerance to abiotic stresses, in a way that it contributes to breeding programs for selecting drought-tolerant plants through selecting and integrating morphological and physiological traits. In addition to employing methods active in reducing drought, using drought-tolerant cultivars as suitable rootstocks is an appropriate way to alleviate the adversary effect of drought on plants. The tolerance of grape rootstock to drought is different based on the type of variety. A suitable combination of rootstock and scion may improve grape yield under water stress.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of drought stress on the morphological, physiological, and biochemical traits of seven grafted rootstocks, an experiment was conducted in a split-plot design based on a randomized complete block (RCBD) with three replications, during 2018-2021. Rootstocks ('Bidaneh Ghermez', 'Bidaneh Sefid', 'Rashe', 'Sahani', 'Kare Royeh', 'Moulai' and 'Chafte' cultivars) were obtained from orchard collections in Qazvin, Kordestan and Malayer universities and planted in an orchard located at the Agricultural Research Station of the Center for Research and Education of Markazi Province in March 2018. On the following year, scions of 'Bidaneh Ghermez' were grafted on all seven rootstocks. Grafted plants, at 5-6-leaf stage, were subjected to three levels of drought, including field capacity (FC) (as control), 75% moisture (as moderate stress), and 55% moisture (as severe stress). The studied traits were leaf number, branch length, leaf area, wet and dry leaf weight, stomatal density, electrolyte leakage, cell membrane stability, relative water content (RWC), chlorophyll, carotenoid, proline, soluble carbohydrate, malondialdehyde (MDA) and catalase, which were measured in plants exposed to drought stress condition for two months.

Results and Discussion

Our findings showed that the interaction effect of drought stress $\times$ cultivar was significant in terms of leaf surface traits, soluble carbohydrates, proline, total chlorophyll, carotenoid, catalase, RWC, and MDA ($p < 0.01$). Furthermore, the main effect of drought stress had a significant effect on leaf number, branch length, leaf fresh weight, stomatal density, electrolyte leakage and cell membrane stability. The result of the mean comparison showed that the severe drought increased the amount of proline and catalase in the treated plants, but reduced total chlorophyll content and cell membrane stability. In general, the 'Bidaneh Ghermez' cultivar (as scion), grafted on 'Chafte', 'Moulai' and 'Kare Royeh' cultivars (as rootstocks), provided a higher potential to tolerate drought stress, as compared to other scion-rootstock combination examined in this experiment. In addition, our findings revealed that drought not only decreased photosynthetic pigments and conversely increased cell membrane electrolyte leakage, but also higher content of proline and MDA as well as antioxidant activities. Moreover, the results showed that raising drought level led to a reduction in the plant growth parameters and shoot morphology characteristics. In this research, some cultivars, such as 'Chafte', 'Moulai' and 'Kare Royeh', accumulated lower MDA rather than other cultivars, indicating their tolerance to drought stress. In our research, treated cultivars were found to have more ion leakage in comparison to the control, especially at severe drought stress. At moderate and severe levels of drought stress, the amount of ionic leakage in 'Bidaneh Ghermez', grafted on the rootstocks of 'Kare Royeh', 'Bidaneh Sefid' and 'Chafte', was lower than that in the remaining rootstocks. Besides, the results showed that the three above-mentioned rootstocks were tolerant to drought because of higher proline content and lower chlorophyll loss, as compared to the other studied rootstocks. Furthermore, the highest chlorophyll content was found in 'Bidaneh Ghermez' grafted on 'Kare Royeh' and 'Chafte' at high level of drought stress. In general, under drought stress, 'Chafte' and 'Kar Royeh' also had lower chlorophyll loss, as compared to the other rootstocks.

Conclusion

An increase in some characteristics of treated cultivars could implicate their tolerance to drought stress. Although the photosynthetic characteristics of plants generally decline due to drought stress, a reduction in these characteristics was not observed remarkably in 'Chafte', 'Moulai' and 'Kare Royeh' cultivars, as compared to other rootstocks, representing their tolerance to drought. Therefore, they may be suggested as drought tolerance rootstocks when using 'Bidaneh Germez' as scion in specific regions of Markazi province that are susceptible to water scarcity.



پاسخ‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی انگور رقم 'بیدانه قرمز' پیوندی روی هفت پایه به تنش کم آبی، جهت شناسایی متحمل‌ترین ترکیب پایه و پیوندک

سیدمحمد مهدی میرفتاح^۱، موسی رسولی^۲ ✉، منصور غلامی^۳، عباس میرزاخانی^۴

۱. پژوهشکده انگور و کشمش دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: mirfatah6992@yahoo.com
۲. گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. رایانامه: mousarasouli@gmail.com
۳. موسسه آموزش عالی عمران و توسعه، همدان، ایران. رایانامه: mgholami@atr.ac.ir
۴. بخش زراعی و باغی، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران. رایانامه: mirz51@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۴ تاریخ انتشار: زمستان ۱۴۰۳ کلیدواژه‌ها: واژه‌های کلیدی: انگور، تنش خشکی، پایه و پیوندک، پرولین.	تنش خشکی یکی از مهمترین محدودیت‌ها در تولید محصولات کشاورزی، به‌خصوص باغبانی در نقاط مختلف جهان و ایران می‌باشد. با توجه به تغییرات اقلیمی که در چند سال اخیر اتفاق افتاده است، می‌توان با بررسی و انتخاب ارقام متحمل به تنش خشکی، تولید پایدار انگور در شرایط تنش آبی را فراهم نمود. به‌همین منظور، پژوهشی در طی سالهای ۱۳۹۷-۱۴۰۰ در شرایط باغ و به صورت آزمایش اسپیلت پلات بر پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار برای بررسی تأثیر تغییرپذیری پتانسیل آب خاک برصفت ریخت‌شناختی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام انگور متحمل تا حساس به خشکی انجام شد. تیمارها شامل هفت رقم انتخابی انگور ('بیدانه قرمز'، 'بیدانه سفید'، 'رشه'، 'سahانی'، 'کره رویه'، 'مولایی' و 'چفته') به‌عنوان پایه، و پیوندک رقم 'بیدانه قرمز' و سه سطح تنش خشکی، شامل رطوبت زراعی (شاهد)، ۷۵ درصد (تنش متوسط) و ۵۵ درصد (تنش شدید) تخلیه رطوبت زراعی بودند. در این تحقیق، صفات تعداد برگ، طول شاخه، سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، تراکم روزنه، نشت یونی، میزان پایداری غشای سلولی، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل، کارتنوئید، پرولین، کربوهیدرات محلول، میزان مالون دی‌آلدئید و کاتالاز اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی و رقم بر صفات سطح برگ، محتوای نسبی آب برگ، کربوهیدرات محلول، پرولین، کلروفیل کل، کارتنوئید، کاتالاز و مالون دی‌آلدئید مورد بررسی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین، اثرات ساده تنش خشکی بر صفات تعداد برگ، طول شاخه، وزن تر برگ، تراکم روزنه، نشت یونی و پایداری غشای سلولی معنی‌دار بود. با تنش آبی شدیدتر، میزان پرولین و کاتالاز افزایش و میزان کلروفیل کل و پایداری غشای سلولی کاهش یافت. به‌طور کلی، انگور رقم 'بیدانه قرمز' پیوند شده روی پایه‌های 'چفته'، 'مولایی' و 'کره رویه' در اغلب صفات، پتانسیل بالاتری را از نظر تحمل به تنش خشکی در شرایط تاکستان نسبت به دیگر ترکیب‌های پیوندی مورد آزمایش نشان دادند.

استناد: میرفتاح، سیدمحمد مهدی؛ رسولی، موسی؛ غلامی، منصور و میرزاخانی، عباس (۱۴۰۳). پاسخ‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی انگور رقم 'بیدانه قرمز' پیوندی روی هفت پایه در شرایط تنش کم آبی، جهت شناسایی متحمل‌ترین ترکیب پایه و پیوندک. نشریه علوم باغبانی ایران، ۵۵ (۴)، ۶۷۹-۶۹۷. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.377196.2180>



مقدمه

تنش‌های غیرزیستی از جمله مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید گیاه در جهان هستند (Sahitya, 2018). به منظور کاهش اثرات تنش، گیاهان واکنش‌های تطبیقی مختلفی را جهت حفظ رشد و بهره‌وری ایجاد کرده‌اند (Skirycz & Inze., 2010). این واکنش‌ها شامل طیف وسیعی از پاسخ‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در گیاهان است. به عنوان مثال، تنش خشکی اغلب باعث پژمرده شدن و زرد شدن برگ‌های انگور می‌شود (Fanizza & Ricciardi., 2015). گیاه همچنین با بستن روزنه‌ها و تجمع املاح سازگار برای حفظ پتانسیل آبی کمتر به تنش خشکی پاسخ می‌دهد (Skirycz & Inze., 2010). محتوای کلروفیل نیز در شرایط تنش خشکی در طول رشد گیاه به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. علاوه بر این، تنش خشکی با تاثیر مستقیم بر میزان فتوسنتز و تبادل گازی برگ مانع رشد در گیاهان می‌گردد (Siddique et al., 2016).

انگور یک محصول مهم اقتصادی است، که می‌تواند به عنوان یک ریز میوه چند ساله مدل برای مطالعه تحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرد (Gambetta et al., 2020). مناطق وسیعی در سراسر جهان به کشت انگور اختصاص داده شده است. از این میان، دوره رسیدن انگور در مناطق مدیترانه‌ای اروپا، جنوب غربی آسیا و آمریکای شمالی در مواجهه با یک خشکسالی فصلی قرار داشته که بر عملکرد و کیفیت میوه تأثیر می‌گذارد (Prinsi et al., 2018). در سال‌های اخیر، تغییرات آب و هوایی باعث افزایش سال‌های گرم و طولانی‌تر شدن دوره‌های خشک گردیده است. این بدان معنا است که تاکستان‌های مدرن باید واقعیت افزایش تعداد دوره‌های خشکسالی را در نظر بگیرند (Doulati Baneh et al., 2019).

اگرچه انگور یک گونه نسبتاً متحمل به خشکی در نظر گرفته می‌شود، اما تفاوت‌های زیادی از این لحاظ بین رقم‌های مختلف انگور وجود دارد (Asadi et al., 2019; Aydemir et al., 2021). این گیاه، با توجه به سیستم ریشه‌ای گسترده خود، می‌تواند حتی در شرایط بسیار خشک زنده بماند، اما خشکسالی ممکن است بر عملکرد و کیفیت آن تأثیر منفی بگذارد (Marín et al., 2021). واکنش انگور نسبت به کمبود آب، در افزایش کارایی کشت و پرورش ارقام متحمل به خشکی بسیار مهم است. عملکرد و کیفیت حبه‌ها در انگور به میزان سازگاری این گیاهان به شرایط خشکی بستگی دارد (Gambetta et al., 2020). در شرایط تنش خشکی، توسعه پایه‌های متحمل، که با افزایش فعالیت‌های اکسیداتیو تحت تغییرات محیطی مختلف کشت انگور را پایدار می‌کند، ضروری است. در طول زندگی، گیاهان برای مقابله با تنش خشکی عمدتاً از سازوکار حرکت روزنه برای کنترل تعرق استفاده نموده و تراکم روزنه‌ها برای یک دوره خشکی طولانی مدت تغییر می‌کند (Marguerit et al., 2012). پیوند، یک روش بسیار قدیمی است که به طور گسترده در تولید مدرن بسیاری از گیاهان باغی برای اهداف مختلف، مانند تکثیر کلونال، ایجاد مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زای خاک، افزایش مقاومت در برابر تنش‌های غیرزیستی و بهبود عملکرد و کیفیت گیاهان باغی استفاده می‌شود (Warschefsky et al., 2016). به طور کلی برنامه‌های اصلاحی جهت انتخاب پایه متحمل به خشکی از طریق ادغام صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک به عنوان راهی جهت انتخاب غیرمستقیم بهترین عملکرد در شرایط تنش‌های محیطی پیشنهاد می‌گردد. علاوه بر روش‌های کاهش تنش خشکی، استفاده از ارقام و پایه‌های متحمل به خشکی نیز راه‌کاری مناسب برای مقابله با تنش خشکی است (Fahim, et al., 2022). مشخص شده است که پایه نقش مهمی در تحمل به تنش خشکی ایفا می‌کند، انتخاب پایه مناسب می‌تواند راندمان تعرق و مصرف آب را بهبود بخشد. تحمل پایه‌های انگور به تنش خشکی به طور قابل توجهی در ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت است (Gullo et al., 2018). از جمله راه‌های بهبود عملکرد انگور در شرایط تنش‌های اسموتیک، استفاده از ترکیب مناسب پایه و پیوندک می‌باشد. بنابراین، گونه‌های انگور وحشی و برخی از ارقام بومی و محلی از مواد ژنتیکی مهمی برای کشت انگور در مواجهه با تنش‌های زیستی و غیرزیستی، در هر دو بخش پایه و پیوندک محسوب می‌شوند.

استان مرکزی یکی از استان‌های صنعتی و کشاورزی کشور ایران است و انگور در کنار بقیه محصولات کشاورزی این استان یکی از مهمترین محصولات باغبانی می‌باشد. در ایران و به خصوص استان مرکزی تاکنون بررسی پیوندک رقم 'بی دانه قرمز' بر روی پایه‌های متحمل تا حساس در شرایط تنش آبی، اعمال شده در شرایط باغ، و اندازه گیری ویژگی‌های مهم

فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی ارقام پیوندی، و تاثیر پایه‌ها روی آنها با تنش خشکی انجام نشده است. لذا، هدف از انجام این تحقیق بررسی تحمل به تنش خشکی انگور رقم 'بیدانه قرمز'، به عنوان یکی از ارقام غالب کشت شده در سطح تاکستان‌ها، روی پایه های انتخابی جهت شناسایی متحمل ترین ترکیب پایه و پیوندک به تنش خشکی در شرایط باغ، در آب و هوای استان مرکزی بود.

پیشینه پژوهش

بررسی های پیشین نشان داده است که تنش خشکی بر ویژگی های ظاهری و فیزیولوژیک انگور موثر است و ارقام مختلف پاسخ های متفاوتی را به شرایط تنش خشکی نشان می دهند. در یک مطالعه افزایش تنش خشکی در ۶ رقم انگور میزان پارامترهای رشدی (تعداد برگ، طول شاخه) را کاهش داد و بیشترین کاهش در تنش خشکی ۲۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (Fahim et al., 2022). مقایسه ارقام انگور 'یاقوتی'، 'بیدانه سفید' و 'عسگری' از نظر تحمل خشکی دلالت بر این داشت که با افزایش تنش خشکی، پایه 'یاقوتی' که رقمی نسبتاً متحمل به شرایط خشکی است بیشترین تعداد برگ را دارا بود (Aran et al., 2017). همچنین، مقایسه ۲۰ رقم انگور ایرانی و خارجی نشان داد که پس از سه ماه اعمال تنش خشکی رقم 'رشه' بیشترین تعداد برگ را دارا بود. برعکس، کمترین تعداد برگ در ارقام 'شیرازی' و 'فخری' مشاهده شد. کمترین میزان کاهش تعداد برگ به ترتیب مربوط به ارقام 'خلیلی سفید' و 'یاقوتی' بود و ارقام 'بیدانه قرمز' و 'فخری'، در شرایط تنش خشکی، بیشترین میزان کاهش تعداد برگ را داشتند (Khandani et al., 2022). مشخص شده است که به طور طبیعی پایه های انگور مقاوم به خشکی، رشد شاخه های پیوندک ها را در شرایط کم آبی حفظ می کنند (Kucukbasmaci & sabir, 2019). وزن تر و خشک برگ و اندام هوایی شاخص های مهمی برای غربال و شناسایی ژنوتیپ های مقاوم به خشکی در نظر گرفته می شوند (Bikdeloo et al., 2021). هنگامی که پیوندک ها روی پایه های انگور مقاوم به خشکی پیوند زده می شوند، وزن خشک برگ آنها بیشتر از گیاهان پیوندی حاوی پایه های حساس می شود (Gullo et al., 2018). تغییرات میکرومورفولوژیکی برگ ها و ساقه ها نیز باعث افزایش جذب آب پیوندک ها می شود. پایه های مقاوم به خشکی، قطر و تراکم آوندهای آوند چوبی را افزایش داده و تعداد آمبولی ها را در محل پیوند کاهش می دهند تا ظرفیت هدایت هیدرولیکی افزایش یابد، در نتیجه مقاومت پیوندک به خشکی تغییر می کند (Bauerle et al., 2011). افزایش شدت تنش خشکی، طول شاخه اصلی را در همه ارقام مورد بررسی در یک پژوهش کاهش داد (Bahrani et al., 2020). در بررسی دیگری رقم شفته در شرایط تنش خشکی بیشترین طول شاخه را دارا بود که که نشان دهنده سازگاری این رقم به شرایط تنش و ادامه رشد آن بود (Sokhtsarai et al., 2014). گزارشات متعددی دلالت بر کاهش تعداد برگ در پاسخ به تنش خشکی در ارقام 'بیدانه سفید'، 'چفته' و 'یاقوتی' (Jalil Marandi et al., 2011)، ارقام 'رشه'، 'قل' و 'بی دانه قرمز' در تنش شدید (Ghaderi et al., 2010) و ارقام 'ساهانی' و 'فرخی' و 'بیدانه سفید' دارد (Karami et al., 2017). تحقیقات نشان داده است که پایه نه تنها برای مدیریت آفات و بیماری ها، بلکه ابزاری حیاتی برای افزایش کیفیت انگور با مدیریت موثر تنش های غیرزیستی، به ویژه تحمل به خشکی و شوری عمل می کند (Walker et al., 2014). پیوند پیوندک های انگور روی پایه های مختلف مانند 'Paulsen 1103'، می تواند با افزایش سطح تماس ریشه با خاک ساختار سیستم ریشه ای گیاه را اصلاح نموده سبب افزایش جذب آب از لایه های عمیق تر خاک و افزایش تحمل به خشکی گردد (Ferlito et al., 2020). علاوه بر این، پایه های خاصی مانند 'M4' با حفظ هدایت روزنه ای و فتوسنتز بالاتر، احتمالاً به دلیل توانایی آنها در تنظیم سیگنال های اسید آبسازیک، به تحمل خشکی انگورهای پیوندی کمک می کنند (Prinsi et al., 2021). در سال های اخیر نیز گزارش های متعددی در مورد پاسخ به تنش زیستی و غیرزیستی در انگورهای وحشی و بومی به شکل ترکیب مناسب پایه و پیوندک گزارش شده است (Daldoul et al., 2020). نتایج به دست آمده از بررسی اثر تنش خشکی بر برخی صفات فیزیولوژیک روی سه رقم انگور 'فخری'، 'ملایی' و 'قلاتی' با سه تیمار شامل پتانسیل آب خاک در محدوده ۰/۲ (شاهد)، ۰/۷ - و ۱/۱ - مگاپاسکال در شرایط گلخانه ای نشان داد که هر دو سطح تنش اثر معنی داری بر

شاخص‌های نسبت وزن خشک به سطح برگ، پایداری غشای سلولی، غلظت کلروفیل، پرولین، کربوهیدرات‌های محلول، محتوای آب نسبی برگ، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز داشتند (Asadi et al., 2019).

روش شناسی پژوهش

این پژوهش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مرکز تحقیقات و آموزش استان مرکزی، با موقعیت جغرافیایی ۳۴ درجه و ۷ دقیقه شمالی و ۴۹ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۷۶۰ متر از سطح دریا طی سالهای ۱۴۰۱-۱۳۹۷ با شرایط خاک (خاک لومی رسی با میزان ماده آلی ۰/۴ درصد، و پی اچ ۷/۸ و میزان هدایت الکتریکی ۱/۲ میکرو زیمنس بر سانتیمتر) بررسی شد. در مرحله اول این آزمایش، قلمه‌های ارقام 'چفته'، 'مولایی' و 'کره رویه' از کلکسیون باغ استان قزوین، 'رشه' و 'ساهانی' از کلکسیون انگور دانشگاه کردستان، 'بیدانه سفید' از کلکسیون دانشگاه ملایر و رقم 'بیدانه قرمز' (خود ریشه) از تاکستان‌های انتخابی منطقه هزاوه و خنداب استان مرکزی، که در بررسی‌های قبلی به‌عنوان رقم نمونه انتخاب شده بود، گردآوری و در زمین مورد نظر کشت گردیدند (تمامی مراحل آزمایش از کشت قلمه‌ها تا عملیات پیوند بطور کامل در باغ احداث شده و در شرایط فضای باز انجام شد). عملیات آماده سازی زمین و کشت قلمه‌های انتخابی از اسفند ماه سال ۱۳۹۷ آغاز گردید. سپس، عملیات داشت این پایه‌ها در سال اول رشد (۱۳۹۸) به‌صورت کامل انجام گرفت. از فروردین ماه تا اوایل خرداد ماه سال بعد، پیوندک‌های انگور رقم 'بیدانه قرمز' روی پایه‌های انتخابی 'چفته'، 'مولایی'، 'کره رویه'، 'رشه'، 'ساهانی' و 'بیدانه سفید' به‌روش اسکنه خواب و اسکنه سبز پیوند زده شدند. در اواخر خرداد ماه، پس از ۵ تا ۶ برگی شدن، تیمار خشکی اعمال گردید. آزمایش به‌صورت اسپیلیت پلات بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار با تیمار آبیاری به‌عنوان کرت اصلی با سه سطح، شامل محدوده ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد)، محدوده ۷۵ درصد ظرفیت زراعی (تنش متوسط) و محدوده ۵۵ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید) بر اساس تخلیه رطوبت زراعی و تیمار پایه به‌عنوان کرت فرعی در ۷ رقم 'بیدانه قرمز' (خود ریشه) و رقم‌های 'بیدانه سفید'، 'چفته'، 'کره رویه'، 'مولایی'، 'رشه' و 'ساهانی' اجرا شد. تیمار آبیاری به صورت وزنی بر اساس رطوبت خاک اعمال شد. آزمایش از اواخر خرداد و اوایل تیرماه شروع و تا شهریور ماه ادامه داشت و پایه‌ها به مدت دو ماه تحت تنش خشکی بودند. زمان نمونه‌برداری از برگ‌ها و یادداشت‌برداری‌ها تقریباً در انتهای زمان تنش بوده و اغلب از برگ‌های میانی و انتهایی شاخه نمونه‌گیری انجام شد. صفات مورفولوژیک تعداد برگ، طول شاخه، طول میانگره، قطر زیر محل پیوند، قطر بالای محل پیوند، وزن تر برگ، وزن خشک برگ، نسبت وزن تر به وزن خشک برگ، سطح برگ (به کمک کاغذ شطرنجی) (Galmes et al., 2007) و ضخامت برگ به روش‌های معمول اندازه‌گیری شدند. همچنین پایداری غشای سلولی (Sivritepe et al., 2008)، محتوای نسبی آب برگ (Sheng et al., 2010)، کلروفیل کل و رنگیته‌های فتوسنتزی (Lichtenthaler et al., 1987)، اسید آسزیک (Kelen et al., 2004)، نشت یونی (Lutts et al., 1996)، محتوای پرولین (Bates et al., 1973) آنزیم کاتالاز (Chance and Maehly, 1995)، پراکسیداز (Mac and Adam, 1992)، کربوهیدرات محلول (Kochert, 1978)، و مالون دی آلدئید (Wang et al., 2009) سنجش شد.

تجزیه آماری داده‌ها

در این بررسی مقایسه میانگین داده‌ها به‌روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم افزار SAS ۹/۱ اجرا شد و برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل ۲۰۱۶ استفاده شد.

یافته‌های پژوهش

صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی و نوع پایه بر صفات تعداد برگ، وزن تر و خشک برگ در سطح پنج درصد و صفت سطح برگ در سطح یک درصد معنی‌دار، ولی بر صفت طول شاخه و تراکم روزنه معنی‌دار نبود. اما اثر ساده تنش خشکی بر تراکم روزنه و طول شاخه و اثر نوع پایه بر طول شاخه معنی‌دار شد (جدول ۱).

جدول ۱ - نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و پایه بر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی پیوندک انگور 'بیدانه قرمز' روی پایه‌های انتخابی.

درجه آزادی	تعداد برگ	سطح برگ	وزن تر برگ	وزن خشک برگ	تراکم روزنه	طول شاخه	نشت یونی
۲	۱۴۶۶۰/۶۸۲۵۴**	۱۷۶۶/۴۷۴۷۸۷**	۲۷۵۲۰۰/۰۰۰**	۱۸۱۲۳/۸۵۷۱ ^{ns}	۲۴۵/۵۲۳۱۰**	۶۱۶۰/۵۵۰۹۸**	۳۵۸/۸۹۱۸۷۷۸**
۶	۱۹۲۹/۰۶۸۷۸**	۲۹۲/۱۶۵۴۰۲**	۱۳۰۱۵۵/۰۲۶ ^{ns}	۱۳۶۰۳/۸۴۶ ^{ns}	۹۹/۹۹۹۴۱**	۳۶۳/۶۶۸۷۸ ^{ns}	۴۷/۳۹۹۱۸۰۴**
۱۲	۲۳۳۹/۷۷۵۱۳*	۲۴۳/۸۴۹۱۸۲**	۱۲۳۷۳۵/۱۸۵*	۱۸۶۱۲/۶۱۶۴*	۷/۱۸۳۵ ^{ns}	۶۹۸/۹۹۱۸۸ ^{ns}	۱۲/۳۲۴۰۰۱۹*
۳۶	۱۰۹۵/۴۴۴۴	۵۶/۶۸۷۱۷	۴۱۱۷۱/۹۵۸	۶۲۷۴/۴۸۶۸	۵/۹۶۷۵۵	۵۳۰/۱۲۰۳۰	۴/۴۶۵۶۶۵
(%)	۳۰/۹۱	۹/۲۳	۱۲/۰۰	۱۳/۷۵	۹/۲۶	۱۹/۴۳	۸/۰۳
تغییرات							

*, ** و NS: به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

تعداد برگ

مقایسه تیمارها از نظر تعداد برگ نشان داد که در سطح متوسط تنش خشکی، کمترین تعداد برگ 'بیدانه قرمز' پیوندی روی پایه‌های 'ساهانی' (۵۰/۳۳ عدد) و 'چفته' (۵۵/۶۷ عدد) مشاهده گردید. همچنین، نتایج مقایسه میانگین صفت تعداد برگ نشان داد که با افزایش سطح تنش خشکی، کمترین تعداد برگ پیوندک 'بیدانه قرمز' در پایه‌های رقم 'رشه' (۶۴/۶۷ عدد) و 'بیدانه سفید' و 'ساهانی' (۱۰۷ عدد) مشاهده شد (جدول ۳).

ادامه جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و نوع پایه بر خصوصیات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی پیوندک انگور 'بیدانه قرمز' روی پایه‌های انتخابی.

درجه آزادی	پرویلین	کربوهیدرات محلول	مالون دی‌آلدید	کاتالاز	کارتونئید	کلروفیل کل	محتوای نسبی آب برگ	پایداری غشای سلولی
۲	۳۳۳۱/۸۹۲۹۷۳**	۶۲۲/۵۱۴۲۲۱**	۱۵/۹۹۳۱۰۰**	۵۲/۷۵۵۴۷۷۸**	۰/۰۶۴۶۷۷۷۸**	۱/۰۳۷۲۳۳۳**	۱۳۴/۳۵۷۵۳۴۹**	۴۲۴/۴۸۱۸۰۴۸**
۶	۹۱۶/۱۰۶۹۲۵**	۹۴۸/۷۰۰۷۲۵**	۱۹/۹۳۶۵۲۰۱**	۷۵/۲۷/۱۰۳۶۵**	۰/۱۱۶۳۳۳۸۱**	۰/۹۴۹۰۱۷۹۹**	۱۷/۱۱۸۲۶۱۹**	۲۸/۸۸۹۳۸۷۸**
۱۲	۱۵۷/۹۷۴۸۲۵**	۴۱/۸۲۸۶۲۲**	۱/۳۹۴۶۷۴۱**	۷/۰۴۸۵۸۸۹**	۰/۰۱۳۲۷۷۷۸**	۰/۰۷۷۱۳۱۴۸**	۱/۷۴۰۶۰۱۶**	۸/۷۰۳۱۳۶۳ ^{ns}
۳۶	۱/۴۴۴۵۰	۰/۷۴۱۸۹۴	۰/۰۱۶۵۳۷۸	۰/۰۶۱۱۲۶۲	۰/۰۰۱۵۹۱۵۳	۰/۰۱۶۶۰۲۳۸	۰/۲۱۳۹۴۸۴	۵/۲۹۳۲۹۸
(%)	۴/۸۶	۲/۱۲	۳/۶۴	۲/۵۹	۶/۶۸	۷/۵۳	۰/۵۸	۳/۱۲
تغییرات								

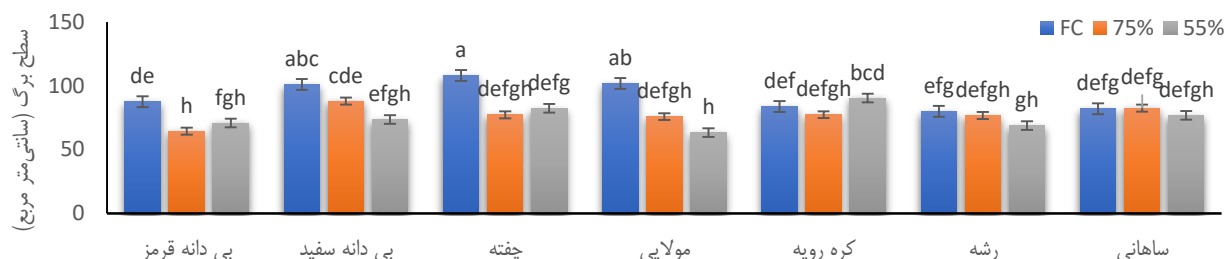
*, ** و NS: به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

طول شاخه

طول شاخه در سطح متوسط تنش خشکی، کمترین درصد کاهش (هفت درصد) را در مقایسه با شاهد در انگور 'بیدانه قرمز' پیوند شده روی پایه های رقم 'مولایی' نشان داد. در حالی که، در سطح شدید کمترین درصد کاهش طول شاخه در رقم های خود ریشه 'بیدانه قرمز' (هشت درصد)، 'بیدانه قرمز' پیوند شده روی پایه های 'بیدانه سفید' (هشت درصد)، و 'بیدانه قرمز' پیوند شده روی پایه 'مولایی' (دو درصد) مشاهده شد (جدول ۲).

سطح برگ

مساحت برگ در سطح متوسط تنش خشکی، کمترین مقدار را در پیوندک روی خود ریشه 'بیدانه قرمز' ($64/43$ سانتی متر مربع) و بیشترین مقدار را در پیوندک پیوندی روی پایه 'بیدانه سفید' ($87/94$ سانتی متر مربع) داشت. همچنین، با اعمال تنش خشکی شدید، برگ پیوندک رقم 'بی دانه قرمز' روی پایه 'مولایی' ($63/36$ سانتی متر مربع) کمترین و پایه رقم 'کره رویه' ($90/27$ سانتی متر مربع) بیشترین سطح برگ را نشان دادند (جدول ۳، شکل ۱).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و پایه بر سطح برگ رقم 'بیدانه قرمز' روی ۷ پایه انگور منتخب

وزن تر و خشک برگ

با اعمال سطح متوسط تنش خشکی، پیوندک انگور 'بی دانه قرمز' پیوندی روی خود ریشه 'بی دانه قرمز' کمترین میزان میانگین وزن تر (1390 میلی گرم) و خشک ($483/67$ میلی گرم) برگ و روی پایه 'بی دانه سفید' بیشترین وزن تر (1826 میلی گرم) و خشک ($628/67$ میلی گرم) را نشان داد. در حالی که، با اعمال تنش شدید پیوندک پیوندی روی پایه 'مولایی' کمترین وزن تر (1313 میلی گرم) و خشک برگ (478 میلی گرم) و روی پایه 'کره رویه' بیشترین میزان وزن تر (2053 میلی گرم) و خشک ($719/67$ میلی گرم) را به دست آورد (جدول ۲).

تراکم روزنه

برگ پیوندک 'بی دانه قرمز' روی پایه رقم 'بی دانه' سفید بیشترین مقادیر تعداد روزنه در واحد سطح را در هر دو سطح تنش خشکی ($29/83$ و $27/71$ عدد، به ترتیب در تنش متوسط و شدید) و برگ پیوندک پیوندی روی پایه 'چفته' کمترین میزان تراکم روزنه را در هر دو سطح تنش خشکی ($19/98$ و $16/01$ ، به ترتیب در تنش متوسط و شدید) به خود اختصاص دادند (جدول ۲).

صفات بیوشیمیایی

نتایج تجزیه واریانس نشان دهنده تأثیر معنی دار اثر متقابل تنش خشکی و پایه صفات محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل کل، کارتنوئید، مالون دی آلدئید، کاتالاز، کربوهیدرات محلول و پرولین برگ در سطح ۱ درصد و بر میزان نشت یونی در سطح ۵ درصد بود. اگرچه، اثر مستقل تنش خشکی و رقم بر پایداری غشا معنی دار بود اما بر پایداری غشای سلولی معنی دار نبود (جدول ۱).

نشت یونی

در میان پایه‌های مورد بررسی، پیوندک 'بیدانه قرمز'، مستقر روی ارقام 'مولایی' و 'رشه' بیشترین مقادیر نشت یونی را در هر دو شرایط تنش متوسط (۳۱/۰۳ درصد) و شدید (۳۵/۴۵ درصد) و پیوندک 'بیدانه قرمز' پیوندی روی پایه 'بیدانه سفید' کمترین مقادیر این شاخص را در هر دو تنش متوسط (۲۳/۹۲ درصد) و شدید (۲۵/۸۸ درصد) نشان دادند (جدول ۲).

پایداری غشای سلولی

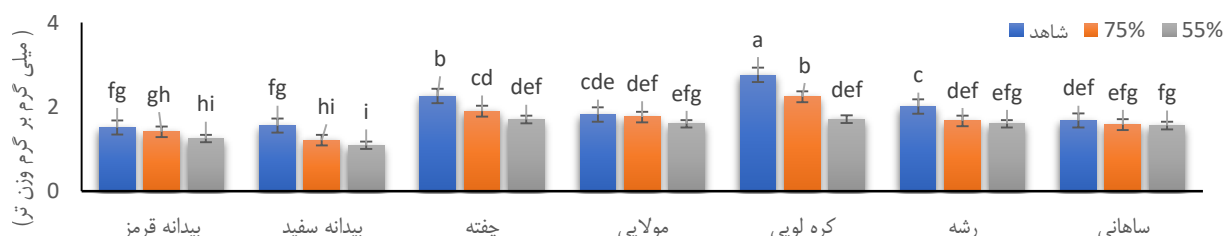
در این پژوهش، بیشترین مقادیر پایداری غشا در دو سطح تنش شدید و متوسط به ترتیب در برگ پیوندک 'بیدانه قرمز' روی پایه 'بی دانه سفید' (۷۲/۲۵ درصد) و پایه 'کره لویی' (۷۶/۵۷) و کمترین مقادیر آن در پایه 'رشه' (به ترتیب ۶۴/۵۳ درصد و ۷۱/۷۱ درصد) مشاهده شد. (جدول ۲).

محتوی نسبی آب برگ

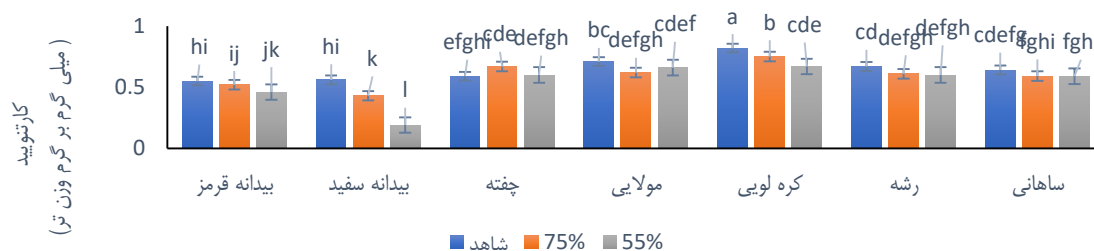
نتایج تجزیه واریانس نشان دهنده تأثیر معنی دار اثر متقابل تنش خشکی و رقم بر میزان محتوای نسبی آب برگ انگور رقم 'بیدانه قرمز' پیوندی روی پایه‌های مورد بررسی در سطح ۱ درصد بود. براساس جدول نتایج مقایسه میانگین‌ها، محتوای نسبی آب برگ با افزایش تنش خشکی در برگ همه پیوندک‌های انگور رقم 'بیدانه قرمز' پیوند شده روی پایه‌های مورد بررسی کاهش یافت. با این وجود در ارقام مختلف انگور مورد بررسی این ویژگی از تنوع نسبتاً بالایی برخوردار بود که نشان دهنده روش‌های متفاوت پاسخ به تحمل تنش خشکی در ارقام مختلف است. نتایج نشان داد که تحت تنش متوسط محتوای نسبی آب برگ پیوندک 'بیدانه قرمز' روی پایه پایه رقم 'ساهانی' کمترین کاهش رطوبت نسبی آب را نسبت به شاهد داشت، در حالی که تحت تنش شدید، برگ 'بی‌دانه قرمز' خود ریشه بیشترین کاهش محتوای نسبی آب برگ (۷۷/۳۰ درصد) را نسبت به شاهد نشان داد. در تنش شدید، محتوای نسبی آب برگ 'بی دانه قرمز' روی پایه 'مولایی' به‌عنوان پایه مورد بررسی نسبت به بقیه ارقام مورد مطالعه کاهش کمتری را در محتوای نسبی آب برگ نشان داد (جدول ۲).

کلروفیل کل و کارتنوئید

در هر دو شرایط تنش خشکی متوسط و شدید مقدار کلروفیل کل و کاروتنوئید در برگ پیوندک رقم 'بیدانه قرمز' پیوندی روی پایه 'کره رویه' از سایر پایه‌ها بیشتر بود، به‌طوری که این مقادیر در شرایط تنش متوسط، به‌ترتیب ۲/۲۴ و ۰/۷۵ میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ و در تنش شدید، به‌ترتیب ۱/۷۱ و ۰/۶۷ میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ ثبت شد. کمترین مقادیر این رنگیزه‌ها در هر دو سطح تنش خشکی در برگ پیوندک پیوندی روی رقم 'بی دانه سفید' مشاهده گردید، به‌طوری که در تنش متوسط مقدار کلروفیل کل و کاروتنوئید، به‌ترتیب ۱/۲۱ و ۰/۴۳ میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ و در تنش شدید، به‌ترتیب ۱/۰۹ و ۰/۱۹ میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ) به‌دست آمد (جدول ۲ و شکل ۲ و ۳).



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و پایه بر میزان کلروفیل برگ رقم 'بیدانه قرمز' بر روی ۷ پایه انگور منتخب



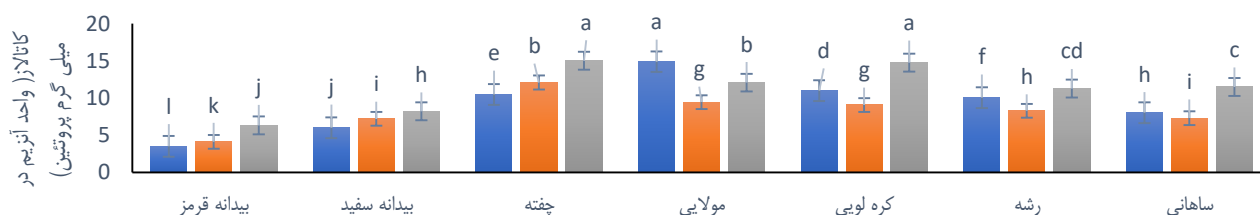
شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و پایه بر میزان کارتنوئید برگ رقم 'بیدانه قرمز' بر روی ۷ پایه انگور منتخب

کاتالاز

بیشترین میزان آنزیم کاتالاز در هر دو شرایط تنش خشکی متوسط و شدید، به ترتیب ۱۲/۰۹ و ۱۵/۰۱ واحد در میلی گرم پروتئین و در در برگ پیوندک بی دانه قرمز مستقر روی پایه چفته ثبت گردید. اما کمترین میزان آن در برگ خود ریشه بی دانه قرمز با میزان ۴/۰۱۱ واحد در میلی گرم پروتئین در تنش متوسط و ۶/۳۲ واحد در میلی گرم پروتئین در تنش شدید مشاهده شد (جدول ۲ و شکل ۴).

مالون دی آلدئید

بیشترین محتوای آنزیم در هر دو شرایط تنش خشکی متوسط (۷/۴۷ میکرو مول در گرم وزن تر) و شدید (۶/۲۹ میکرو مول در گرم وزن تر) در برگ پیوندک بی دانه قرمز روی خود ریشه 'بی دانه قرمز' مشاهده شد در حالیکه کمترین مقدار آن در تنش متوسط (۱/۹۵ میکرو مول در گرم وزن تر) و در تنش شدید (۱/۴۹ میکرو مول در گرم وزن تر) در برگ پیوندک 'بی دانه قرمز' روی پایه 'چفته' ثبت شد (جدول ۲).



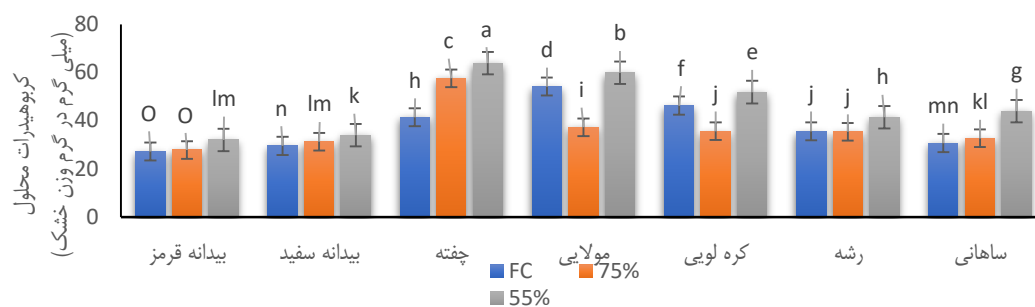
شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و پایه بر آنزیم کاتالاز برگ رقم 'بیدانه قرمز' بر روی ۷ پایه انگور منتخب

کربوهیدرات محلول

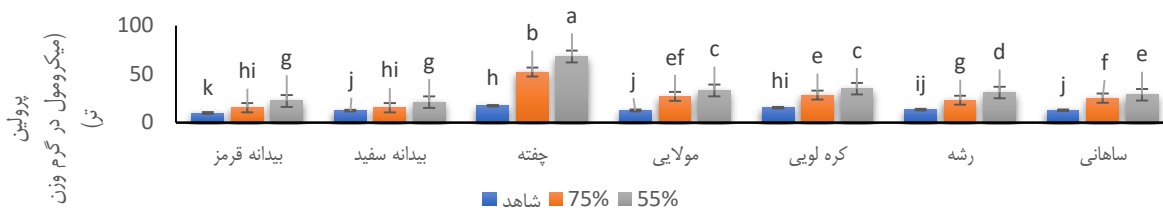
نتایج نشان دهنده کمترین میزان کربوهیدرات محلول در هر دو تنش متوسط (۲۷/۸۴ میلی گرم در گرم وزن خشک) و شدید خشکی (۳۲/۰۱ میلی گرم در گرم وزن خشک) در برگ پیوندک 'بی دانه قرمز' مستقر روی پایه 'بی دانه سفید' بود. اما بیشترین مقادیر آن در شرایط تنش متوسط (۵۷/۵۹ میلی گرم در گرم وزن خشک) و شدید (۶۳/۹۴ میلی گرم در گرم وزن خشک) در برگ پیوندک 'بی دانه قرمز' پیوندی روی پایه 'چفته' مشاهده شد (جدول ۲ و شکل ۵).

پرولین

کمترین میزان پرولین نیز در شرایط تنش خشکی در برگ پیوندک 'بی دانه قرمز' پیوندی روی پایه 'بی دانه سفید' مشاهده شد، این میزان در تنش متوسط ۱۵/۳۳ میکرومول در گرم وزن تر و در تنش شدید ۲۱/۰۲ میکرومول در گرم وزن تر برگ ثبت شد. بیشترین میزان آن نیز در هر دو تنش خشکی متوسط (۵۲/۱۲ میکرومول در گرم وزن تر) و شدید (۶۸/۱۰ میکرومول در گرم وزن تر) در برگ پیوندک مستقر روی پایه 'چفته' ثبت گردید که نشان از تحمل بالاتر این پایه نسبت به بقیه پایه های مورد بررسی دارد (جدول ۲ و شکل ۶).



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و پایه بر میزان کربوهیدرات محلول برگ رقم 'بیدانه قرمز' بر روی ۷ پایه انگور منتخب



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و پایه بر میزان پروتئین برگ رقم 'بیدانه قرمز' بر روی ۷ پایه انگور منتخب

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل پایه و تنش خشکی بر خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک، بیوشیمیایی انگور 'بیدانه قرمز' پیوندی روی پایه های منتخب

تعداد برگی	طول شاخه (میلی متر)	سطح برگ (سانتی متر مربع)	وزن تری (گرم)	وزن خشک برگ (گرم)	تراکم روزنه	نشت یونی (درصد)	پایداری غشای سلولی (درصد)	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	کلروفیل کل (میلی گرم در گرم وزن تازه برگ)	کاتالاز (واحد آنزیم در میلی گرم پروتئین)	کارنتنوئید (میلی گرم در گرم وزن تازه برگ)	پروتئین (میکرومول در گرم وزن تری)	تیپار		
abcd _{۱۳۳/۶۷}	abcd _{۱۲۱/۷۷}	de _{۸۷/۴۸}	cdef _{۱۶۵۶/۷}	bcd _{۵۷۰/۳۳}	a _{۳۳/۹۷}	ghi _{۲۲/۷۰}	ab _{۷۷/۲۸}	b _{۱۶/۸۴}	fg _{۵۷/۱}	d _{۵۷/۳}	hi _{۵۵/۰}	e _{۶۰/۳}	a _{۱۷/۲۷}	b _{۹۴/۹}	۱×B۱A
bcd _{۸۸/۳۳}	abcd _{۱۱۹/۱۷}	abc _{۱۰۱/۰۳}	abc _{۱۹۹۶/۷}	abcd _{۶۶۲/۶۷}	ab _{۳۲/۷۲}	ghi _{۲۲/۴۰}	ab _{۷۷/۵۸}	a _{۰۲/۸۵}	fg _{۶۶/۱}	f _{۱۰۱/۶}	hi _{۵۶/۰}	e _{۶۰/۳}	a _{۵۵/۲۹}	i _{۲۶/۱۲}	۱×B۲A
ab _{۱۵۱/۶۷}	abc _{۲۰۰/۱۲۳}	a _{۱۰۸/۰۹}	ab _{۲۰۹۳/۳}	abc _{۶۹۲/۶۷}	def _{۱۲۵/۱۶}	ghi _{۲۲/۲۲}	ab _{۷۷/۷۰}	def _{۱۲/۸۱}	b _{۲۶/۲}	e _{۴۸/۱۰}	dghi _{۵۸/۰}	i _{۵۴/۱}	b _{۴۶/۴۱}	b _{۲۶/۱۷}	۱×B۳A
bcd _{۱۱۹/۶۷}	bcd _{۱۰۹/۶۷}	ab _{۱۰۱/۸۸}	a _{۰۲۱۲۰}	a _{۷۳۱/۳۳}	cde _{۲۷/۳۳}	ghi _{۲۲/۱۴}	ab _{۷۶/۸۴}	f _{۵۹/۸۰}	cde _{۸۲/۱}	a _{۸۹/۱۴}	b _{۷۱/۰}	i _{۴۶/۱}	d _{۱۶/۵۴}	i _{۵۵/۱۲}	۱×B۴A
abcd _{۱۳۱/۳۳}	a _{۱۵۵/۵۳}	def _{۸۳/۷۴}	cde _{۱۶۵۶/۷}	de _{۵۳۵/۶۷}	abc _{۲۰/۷۶}	hi _{۲۱/۰۴}	ab _{۷۸/۹۵}	de _{۳۳/۸۱}	a _{۷۶/۲}	d _{۰۱/۱۱}	a _{۸۲/۰}	a _{۵۴/۲}	f _{۲۸/۴۶}	hi _{۳۳/۱۵}	۱×B۵A
bcd _{۱۱۹/۶۷}	ab _{۱۳۲/۱۸}	d _{۱۵۵/۲۳}	ef _{۰۰۰۳۹۰}	cde _{۲۷/۲۷}	ghi _{۲۲/۰۱}	ab _{۷۷/۹۸}	de _{۶۲/۸۱}	e _{۰۱/۲}	f _{۶۱/۰}	cde _{۶۷/۰}	b _{۲۸/۲}	i _{۶۱/۲۵}	i _{۳۵/۱۳}	i _{۳۵/۱۳}	۱×B۶A
ab _{۱۳۲}	abcd _{۱۳۰/۹۳}	def _{۸۲}	cde _{۱۶۶۲/۳}	cde _{۵۵۲/۶۷}	bcd _{۲۹/۱۶}	i _{۹/۵۲}	a _{۸۰/۴۶}	e _{۶۷/۸۲}	def _{۶۸/۱}	b _{۰۲/۸}	cde _{۶۶/۰}	i _{۱۲/۳}	m _{۷۳/۲۰}	e _{۹/۱۲}	۱×B۷A
defgh _{۷۷/۳۳}	abcd _{۱۱۱/۱۱}	b _{۶۴/۴۳}	ef _{۰۰۱۳۹۰}	e _{۴۸۲/۶۷}	bcd _{۲۹/۰۶}	bcd _{۲۲/۶۶}	cde _{۲۲/۸۵}	f _{۷۸/۸۰}	gh _{۴۷/۱}	k _{۱۱/۴}	ij _{۵۲/۰}	a _{۴۷/۷}	a _{۸۲/۲۷}	hi _{۲۸/۱۵}	۲×B۱A
bcd _{efgh_{۱۰۸/۳۳}}	cd _{۱۰۰/۲۱}	cde _{۸۷/۸۴}	abcd _{۱۸۲۶/۷}	abcd _{۶۲۸/۶۷}	abcd _{۲۹/۸۳}	efgh _{۲۳/۹۲}	abcd _{۷۶/۰۶}	d _{۹۹/۸۱}	hi _{۲۱/۱}	i _{۹/۷}	k _{۴۲/۰}	e _{۵۵/۵}	lm _{۳۲/۳۱}	hi _{۳۳/۱۵}	۲×B۲A
gh _{۵۵/۶۷}	d _{۸۸/۳۳}	defgh _{۷۷/۱۴}	cde _{۱۶۶۲/۳}	bcd _{۰۰۰۵۶۹}	hi _{۱۹/۹۸}	defgh _{۲۵/۴۰}	bcd _{۷۴/۵۹}	kl _{۶۵/۷۷}	cd _{۹۰/۱}	b _{۹/۱۲}	cde _{۶۷/۰}	i _{۵۹/۵۷}	b _{۱۲/۵۲}	b _{۱۲/۵۲}	۲×B۳A
efgh _{۶۹}	cd _{۱۰۲/۰۵}	defgh _{۷۵/۸۱}	def _{۱۵۲۶/۷}	e _{۴۹۹/۳۳}	cde _{۲۶/۶۷}	b _{۲۱/۰۳}	def _{۲۲/۱۶}	ij _{۷۲/۷۷}	def _{۶۶/۱}	ef _{۶۶/۹}	defgh _{۶۲/۰}	b _{۲۶/۲}	f _{۰۰/۲۷}	e _{۰۰/۲۷}	۲×B۴A
bcd _{efgh_{۱۰۰۶}}	cd _{۹۹/۶۵}	defgh _{۷۷/۳۶}	cde _{۱۶۵۶/۷}	cde _{۰۰۰۵۵۲}	cde _{۲۷/۴۵}	fghi _{۲۳/۴۱}	ab _{۷۶/۵۷}	h _{۲۸/۷۹}	b _{۲۴/۲}	e _{۰۷/۹}	b _{۷۵/۰}	f _{۸/۲}	f _{۰۰/۲۵}	e _{۳۱/۲۸}	۲×B۵A
cde _{efgh_{۷۷/۳۳}}	cd _{۱۰۴/۶۶}	defgh _{۷۶/۷۴}	def _{۰۰۱۵۰۰}	e _{۴۹۶/۳۳}	cde _{۲۷/۳۴}	bcd _{۲۸/۲۸}	ef _{۷۱/۷۱}	g _{۶۰/۷۹}	def _{۶۶/۱}	b _{۲۹/۸}	defgh _{۶۰/۰}	d _{۴۰/۴}	f _{۴۲/۲۵}	e _{۹/۲۲}	۲×B۶A
b _{۵۰/۳۳}	d _{۸۸/۳۰}	defgh _{۸۲/۵۲}	cde _{۱۶۶۶/۷}	abcd _{۶۰۱/۳۳}	cde _{۲۷/۸۵}	b _{۲۰/۷۶}	cde _{۷۲/۷۶}	e _{۹۱/۸۰}	efgh _{۵۸/۱}	i _{۲۹/۷}	fghi _{۵۸/۰}	e _{۵۹/۵}	kl _{۷۰/۲۲}	f _{۱۹/۲۵}	۲×B۷A
a _{۱۸۵}	abcd _{۱۳۳/۶۲}	fghi _{۷۰/۸۱}	cde _{۱۶۱۶/۷}	bcd _{۰۰۰۵۷۲}	cde _{۲۷/۷۱}	b _{۲۰/۷۶}	f _{۶۹/۲۲}	kl _{۰۰/۷۷}	hi _{۲۵/۱}	i _{۳۱/۶}	kl _{۶۶/۰}	b _{۲۹/۶}	lm _{۰۱/۳۳}	e _{۲۷/۲۲}	۳×B۱A
bcd _{efgh_{۱۰۰۷}}	abcd _{۱۳۹}	efgh _{۷۳/۵۸}	cde _{۱۶۱۳/۳}	abcd _{۰۰/۵۹۰}	cde _{۲۶/۶۱}	cde _{۲۶/۶۱}	def _{۷۲/۲۵}	hi _{۵۵/۸۸}	i _{۹/۱}	b _{۲۱/۸}	i _{۹/۰}	d _{۵۲/۴}	k _{۴۶/۳۳}	e _{۰۲/۲۱}	۳×B۲A
bcd _{efgh_{۱۱۶}}	abcd _{۱۲۴}	defgh _{۸۲/۲۴}	bcd _{۱۷۳۶/۷}	cde _{۵۳۷/۶۷}	i _{۱۶/۰۱}	bcd _{۲۸/۶۸}	ef _{۷۱/۳۱}	m _{۷۸/۲۴}	def _{۷۰/۱}	a _{۰۱/۱۵}	defgh _{۶۰/۰}	i _{۴۶/۱}	a _{۴۴/۶۳}	a _{۰۱/۶۸}	۳×B۳A
bcd _{efgh_{۱۱۷}}	bcd _{۱۰۶/۸۳}	b _{۶۲/۲۶}	f _{۱۳۲/۲۳}	e _{۰۰۰۳۷۸}	hi _{۱۹/۱۷}	a _{۳۵/۱۷}	g _{۶۴/۸۱}	i _{۹۱/۷۶}	efgh _{۶۰/۱}	b _{۷/۱۲}	cde _{۶۶/۰}	hi _{۰/۲}	b _{۵۵/۵۹}	c _{۰۷/۳۳}	۳×B۴A
bcd _{efgh_{۱۲۱/۳۳}}	abcd _{۱۲۰/۶۹}	bcd _{۹۰/۱۷}	ab _{۲۰۵۲/۳}	ab _{۱۹۱/۶۷}	fghi _{۲۲/۴۴}	cde _{۲۶/۰۶}	ef _{۷۱/۴۷}	ijk _{۸۲/۷۷}	def _{۷۱/۱}	a _{۲۶/۱۴}	cde _{۶۶/۰}	e _{۴۶/۳}	e _{۸۶/۵۱}	c _{۰۲/۲۵}	۳×B۵A
fgh _{۶۴/۶۷}	cd _{۱۰۴/۲۴}	gh _{۶۸/۸۷}	def _{۱۵۸۶/۷}	cde _{۰۰۰۵۶۲}	efgh _{۴۴/۹۹}	a _{۳۵/۴۵}	g _{۶۴/۵۳}	ijkl _{۷۲/۷۷}	efgh _{۶۰/۱}	cd _{۷۲/۱۱}	defgh _{۶۰/۰}	f _{۱۲/۳}	b _{۴۰/۴۱}	d _{۵۵/۳۰}	۳×B۶A
bcd _{efgh_{۱۰۰۷}}	ab _{۱۵۱/۱۷}	defgh _{۷۶/۳۳}	cde _{۱۶۳۰}	de _{۰۰۰۵۵۸}	gh _{۲۱/۲۴}	b _{۲۱/۲۴}	bc _{۹۷/۲۳}	ij _{kl_{۵۵/۷۸}}	fg _{۵۵/۱}	e _{۴۸/۱۱}	fghi _{۵۸/۰}	d _{۰۵/۴}	e _{۹۷/۴۳}	e _{۶۲/۲۸}	۳×B۷A

B*۱ = رطوبت زراعی (شاهد)؛ B۲ = ۷۵ درصد تخلیه رطوبت زراعی (تنش متوسط)؛ B۳ = ۵۵ درصد تخلیه رطوبت زراعی (تنش شدید)؛ A۱ = بی دانه قرمز؛ A۲ = بی دانه سفید؛ A۳ = چفته؛ A۴ = مولایی؛ A۵ = کره رویه؛ A۶ = ریشه؛ A = ساهانی

بحث

برگ یکی از مهمترین ساختارهای تولید کننده محصولات فتوسنتزی گیاه است. گیاهان غالباً با قرارگیری در معرض تنش خشکی دچار کاهش سطح و تعداد برگ می شوند که از سازوکارهای گیاهان در مقابله با تنش خشکی می باشد. با ادامه یافتن تنش خشکی، گیاه راه کارهای مختلفی را به کار گرفته، و به منظور حفظ وضعیت آب خود برخی تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی را اعمال می نماید (Pinheiro & Chaves., 2011). نتایج اولیه این تحقیق نشان داد که در شرایط تنش خشکی، پایه های مقاوم به تنش خشکی تجمع موادی مانند پرولین و آنزیم های آنتی اکسیدانی را افزایش می دهند، اسمز درون سلولی را تنظیم و آماس سلولی را حفظ می کنند. همچنین، آسیب به غشاء سلولی را کاهش داده و از تخریب آنزیمی جلوگیری می کنند. در این بررسی، تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب و محتوای رنگدانه های فتوسنتزی و افزایش نشت الکترولیت غشای سلولی و تولید بیشتر پرولین، مالون دی آلدئید و کاتالاز شد. نتایج همچنین نشان داد، که با افزایش سطح تنش خشکی روی پایه های ارقام انگور مورد مطالعه، ویژگی های رشدی و مورفولوژیک پیوندک کاهش یافته است. با کم شدن سطح برگ، سطح جذب کننده نور خورشید و فتوسنتزی گیاه کاهش یافته که در نهایت منجر به کاهش ماده خشک و عملکرد گیاه می شود. به طور کلی، به علت کاهش میزان کلروفیل در تنش خشکی میزان تولید مواد قندی محلول باید کاهش یابد، در صورتی که میزان این قندها افزایش می یابد. افزایش این قندهای محلول، مانند گلوکز، ساکارز و فروکتوز، به منظور تنظیم اسمزی و جذب آب توسط گیاه در شرایط تنش خشکی صورت می گیرد. این عمل، از اختلال در غشا جلوگیری نموده و آسیب کمتر می گردد (Bertamini et al., 2006).

برگ انگور تغییرات عمیقی را در سطوح بیوشیمیایی، فیزیولوژیک و مورفولوژیک در شرایط تنش خشکی نشان می دهد، که جهت بهبود کارایی استفاده از آب با فعال سازی عکس العمل های سازگار مفید است (Flexas et al., 2010). در یک پژوهش روی انگورهای ایرانی میزان سطح برگ تحت تأثیر اثر متقابل تیمارهای خشکی کاهش یافت. بالاترین میزان سطح برگ، در تیمار ۲۲ درصد نیاز آبی، مربوط به ارقام 'تبرزه قرمز' و 'حسینی' بود، در حالی که رقم 'فخری' کمترین میزان سطح برگ را داشت. ارقام 'رشه' و 'فلیم سیدلس' به ترتیب کمترین و بیشترین میزان کاهش سطح برگ را در شرایط تنش خشکی نشان دادند. تفاوت سطح برگ بین ارقام مختلف انگور و کاهش آن در شرایط تنش خشکی در همه ارقام مشهود بود (Khandani et al., 2022). پژوهش های انجام شده روی گیاه انگور نشان از حساسیت این گیاه و سطح برگ آن به کمبود آب دارد. کاهش سطح برگ در این شرایط می تواند یکی از اولین پاسخ های دفاعی گیاه به تنش خشکی باشد (Pellegrino et al., 2005). بررسی های دیگر انجام شده روی ارقام انگور نیز کاهش سطح برگ را تحت تأثیر تنش خشکی گزارش نموده اند (Doulati et al., 2019). همچنین، تحت تنش خشکی، طول شاخه به میزان چشمگیری کاهش می یابد. یکی از ویژگی های مهم ارقام مقاوم به تنش خشکی، حفظ بیشتر رشد رویشی در شرایط تنش خشکی بوده که سرانجام می تواند منجر به عملکرد بالاتر شود. در یک بررسی ارقام 'خلیلی سفید' و 'رشه' بیشترین میزان طول شاخه را در طول سه ماه تنش خشکی، در ۲۲ درصد نیاز آبی، در مقایسه با سایر ارقام داشتند (Khandani et al., 2022). گزارش های دیگری مبنی بر اینکه این دو رقم از متحمل ترین ارقام انگور به تنش خشکی می باشند وجود دارد (Ghaderi et al., 2005; Doulati et al., 2019). نتایج این تحقیق و برخی گزارش های دیگر نشان می دهد که در شرایط تنش خشکی رشد طولی شاخه سال جاری انگور کاهش می یابد، که مبین کاهش تقسیم سلولی شاخه می باشد. علاوه بر این، گزارش شده است که ارقام متحمل در شرایط تنش خشکی با داشتن رشد ریشه بهتر، رشد شاخه بیشتری نیز دارند. همچنین، رقم 'رشه' که بعد از رقم خلیلی سفید بیشترین طول شاخه سال جاری را داشت، در مقایسه با سایر ارقام، طولانی ترین ریشه را در شرایط تنش خشکی داشت (Romero et al., 2022; Khandani et al., 2013).

تخریب غشاء سلولی، تعیین کننده سطح تخریب چربی ها در شرایط تنش می باشد. در گیاهان، غشاء قسمتی از گیاه است که اولین آسیب و زیان را در تنش خشکی متحمل می شود. اسیدهای چرب اشباع نشده غشاء به آسانی با گونه های فعال اکسیژن

آزاد واکنش نشان می‌دهند (Kantar et al., 2011). در همه پایه‌های مورد بررسی، با افزایش سطح تنش نشت یونی افزایش یافت، به‌طوریکه در سطح تنش شدید این افزایش نسبت به شاهد چشمگیرتر بوده است. نشت یونی در برگ پیوندک انگور 'بیدانه قرمز' پیوند شده روی پایه‌های 'کره رویه'، 'بیدانه سفید' و 'چفته' تحت تنش خشکی، نسبت به شاهد (خود ریشه) کمتر از بقیه پایه‌های ارقام مورد بررسی بود. این موضوع می‌تواند نشان از تحمل این ارقام، به‌خصوص در رقم 'چفته' و 'کره رویه' به شرایط تنش باشد. با افزایش تنش خشکی، بالا رفتن نشت یونی همراه با کاهش محتوای نسبی آب اتفاق می‌افتد. بر اساس گزارش‌های علمی، با کاهش محتوای نسبی آب بافت گیاه در تنش خشکی، سلول‌ها چروکیده شده و دیواره سلولی پایداری خود را از دست می‌دهد. به طور کلی، حفظ ساختار و ثبات غشاهای تحت تنش خشکی، در زمره مکانسیم‌های اصلی تحمل به خشکی در گیاهان محسوب می‌شود. یافته‌های این تحقیق با نتایج (Hadadinejad et al., 2013)، Ghaderi et al., (2009) و Jie et al., (2010) و Madadi et al., (2021) و Fahim et al., (2023) درخصوص کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی همخوانی داشت. نشت یونی، یکی از شاخصه‌های تخریب غشا است که در اثر تخریب غشای سلولی و خروج یونها صورت می‌گیرد و مقدار آن بیانگر میزان آسیب تنش خشکی به گیاه است (Liu et al., 2011).

در بررسی انجام شده روی برخی ارقام انگور (Singh et al., 2000) در تنش خشکی، افزایش پرولین و قند محلول، و کاهش میزان کلروفیل با افزایش تنش گزارش شده است. طی تحقیقی (Mehri et al., 2015) مشخص شد که افزایش تنش خشکی، کاهش صفات رشدی و افزایش معنی‌دار میزان پرولین، مالون دی آلدئید، و فعالیت آنزیم آنتی اکسیدان کاتالاز را به دنبال دارد. با کم شدن سطح برگ، سطح جذب نور خورشید و به دنبال آن فعالیت فتوسنتزی گیاه کاهش یافته و نهایتاً منجر به کاهش ماده خشک و عملکرد گیاه می‌گردد (Banger et al., 2019). ثابت شده است که در پایه‌های متحمل به خشکی انگور، که در مواجهه با تنش سطح برگ آنها کاهش زیادی نمی‌یابد نقصان تبادل گازی تا حدودی جبران می‌شود (Paranychianakis et al., 2004). نتایج نشان داد که ارقامی که در شرایط تنش خشکی، طول شاخه، تعداد برگ و سطح برگ خود را، جهت انجام فتوسنتز بیشتر، به‌طور چشمگیری کاهش نمی‌دهند، از رقم‌های متحمل به خشکی محسوب می‌شوند. در یک بررسی، در رقم‌های 'توکیلگن' و 'قره شیلیق' تحت تنش خشکی، سطح برگ نسبت به شاهد کاهش کمتری داشت، همچنین، کاهش تعداد برگ نسبت به شاهد در رقم 'توکیلگن' کمتر بود، که احتمالاً جزء ارقام مقاوم محسوب می‌شود (Fahim et al., 2022).

افزایش سطح تنش خشکی در هفت رقم انگور مورد مطالعه در تحقیق اخیر سبب افزایش معنی‌دار میزان مالون دی آلدئید در بیشتر ارقام شد. بیشترین میزان مالون دی آلدئید متعلق به رقم 'آق شیلیق' و کمترین میزان مربوط به رقم 'قره شیلیق' بود. در صورتی که در اثر تنش خشکی سطوح گونه‌های فعال اکسیژن بیش از ظرفیت جاروب گیاه باشد، در غشاهای سلولی پراکسیداسیون لیپیدی رخ می‌دهد و به دنبال آن تجمع ترکیباتی مانند مالون دی آلدئید افزایش می‌یابد و در نتیجه فرایندهای فیزیولوژیکی سلول تحت تأثیر قرار می‌گیرد. افزایش بیش از حد مالون دی آلدئید منجر به عدم کارایی غشای سلولی شده و منجر به مرگ سلول خواهد شد. بنابراین، مالون دی آلدئید به‌عنوان شاخصی جهت آسیب اکسیداتیو تحت شرایط تنش محسوب شده و باعث آسیب سلولی می‌شود (Li et al., 2018). گزارش شده است که با افزایش سطح تنش خشکی میزان مالون دی آلدئید در رقم‌های حساس به خشکی، مانند 'آق شیلیق' و 'کوپک بوغان' به‌مقدار بیشتری افزایش می‌یابد، در حالی که در رقم‌های متحمل 'قره شیلیق' و 'توکیلگن' با افزایش تنش خشکی افزایش زیادی در میزان مالون دی آلدئید مشاهده نشده است که با یافته‌های این پژوهش، در رابطه با هفت پایه مورد بررسی مشابه می‌باشد (Altinci & Cangi, 2019; Fahim et al., 2023). علت اصلی کاهش آسیب سلولی در طول تنش در ارقام پیوندی این پژوهش می‌تواند کاهش محتوای پراکسید هیدروژن باشد. به عبارت دیگر، بین افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی، پرولین و کاهش محتوای پراکسید هیدروژن رابطه منفی وجود دارد. در تحقیق حاضر، در برگ رقم 'بی دانه قرمز' پیوندی روی پایه‌های متحمل به خشکی 'چفته' و 'کره رویه' مقدار نشت یونی در شرایط تنش شدیدتر کمتر از سایر پایه‌ها بود. پیوندک رقم 'بی دانه قرمز' روی پایه‌های 'کره رویه' و 'چفته' پایداری غشای سلولی بهتری نسبت به سایر پایه‌ها در سطح تنش متوسط و شدید نشان دادند، که می‌تواند به دلیل تحمل

و پایداری این پایه‌ها به شرایط خشکی باشد. این پایداری، به علت ذخیره سدیم در دیواره سلولی است که از تخریب دیواره سلولی در طول تنش خشکی جلوگیری می‌کند. علاوه بر این، افزایش سطح فعالیت آنتی اکسیدانی و محتوای پروتئین در این پایه‌ها، باعث افزایش تحمل ارقام پیوندی در محیط تنش خشکی شده، که نتیجه آن کاهش میزان پراکسید هیدروژن و در نهایت کاهش آسیب سلولی در طول تنش خشکی می‌شود. تحقیقات انجام شده در رابطه با کاهش میزان آب آبیاری، در سطوح ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت نسبی آب مزرعه روی پنج رقم انگور روسی و دو رقم انگور ایرانی 'چفته' و 'بیدانه سفید' منجر به کاهش مقدار نسبی آب برگ، میزان کلروفیل a، کلروفیل b، نشأت یونی و شاخص پایداری غشای سلولی گردید، که با نتایج تحقیق حاضر همسو بود (Siedi et al., 2022). همچنین، آزمایش‌های انجام شده روی ارقام 'چفته' و 'بیدانه سفید' (Siedi et al., 2022)، و ارقام 'بلک سیدلس'، 'فلیم سیدلس'، 'ترکمن'، 'سلطان' و شاهانی 'روی پایه 'ch' (Rahmani et al., 2023)، و ارقام انگور 'سahانی' و 'بیدانه سفید' (Ghaderi et al., 2010) نشان داده است که پایداری غشای سلولی با افزایش سطح تنش کاهش می‌یابد، که مشابه با نتایج این پژوهش می‌باشد. برگ رقم "بیدانه قرمز"، پیوندی روی پایه‌های رقم 'چفته'، 'کره رویه' و در برخی موارد 'مولایی' کاهش کلروفیل کمتری نسبت به سایر پایه‌ها داشتند. یکی از دلایل کاهش کلروفیل در تنش خشکی، تخریب ساختار کلروپلاست است. همچنین، می‌تواند به دلیل تغییر متابولیسم نیتروژن، در رابطه با ساخت پروتئین در تنظیم اسمزی باشد. نتایج این آزمایش در صفت پروتئین و مقایسه آن با میزان کاهش کلروفیل، نشان داد که پایه‌های 'چفته'، 'کره رویه' و 'مولایی' با افزایش میزان پروتئین به عنوان یک اسمولیت تنظیم اسمزی و بالا نگهداشتن میزان کلروفیل، نسبت به سایر ارقام مورد بررسی، پایه‌های متحمل‌تری در مقابله با تنش خشکی می‌باشند. تنش خشکی می‌تواند با جلوگیری از بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان، رشد گیاه را به خطر اندازد. نتایج اثر برهمکنش رقم و تنش خشکی بر میزان کلروفیل در یک بررسی نشان می‌دهد که در تمامی پایه‌ها با افزایش تنش خشکی میزان کلروفیل کل کاهش یافته است. بیشترین میزان کلروفیل a در رقم 'سمرقندی' و بیشترین میزان کلروفیل b در رقم 'رطبی' دیده شد. کلروفیل کل در رقم 'چفته' بیشترین بود. در سطح تنش ۲/۵ - مگاپاسکال کمترین میزان کلروفیل به پایه R ۱۱۰ تعلق داشت، و بقیه ارقام اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در سطح شاهد بدون تنش، بیشترین میزان کلروفیل کل در رقم 'رطبی' و کمترین آن در پایه 'R ۱۱۰' دیده شد (Bahrani et al., 2020). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که برگ پیوندک انگور رقم 'بیدانه قرمز' روی پایه 'کره رویه'، 'چفته' و پایه 'مولایی' در سطح تنش متوسط، به ترتیب بیشترین میزان کلروفیل را نسبت به شاهد داشتند. همچنین، برگ انگور 'بیدانه قرمز' پیوندی روی پایه 'کره رویه' و 'چفته' در سطح تنش شدید، بیشترین میزان کلروفیل را نسبت به شاهد نشان دادند. پایه‌های ارقام 'چفته' و 'کره رویه' در مقایسه با سایر پایه‌های ارقام مورد بررسی کاهش کلروفیل کمتری داشتند. مقایسه این پژوهش با پژوهش‌های مشابه نشان می‌دهد که پایه‌های متحمل به خشکی، مانند 'چفته' و 'کره رویه' و 'مولایی' می‌توانند روی پیوندک مستقر بر آنها اثر گذاشته و باعث مقاومت به کاهش کلروفیل در تنش خشکی گردند. (Soukhtasaraee et al., 2017) کاهش میزان کلروفیل a، b و کل را در شرایط تنش شدید و متوسط برای ارقام 'چفته' و 'یاقوتی' کم‌تر از 'بی دانه سفید' گزارش کردند. نتایج مشابهی در ارقام 'یاقوتی' و 'چفته' در این پژوهش به دست آمد. نتایج حاکی از آن است که پایه‌های انگور مورد بررسی کاهش تدریجی کلروفیل را در مواجهه با مقادیر مختلف کم‌آبی نشان دادند، با این فرض ارقام 'سمرقندی'، 'چفته' و 'رطبی' به دلیل کاهش کمتر کلروفیل و نشان دادن پایداری بیشتر، از این نظر نسبت به سایر ارقام تحمل بیشتری را از خود نشان دادند. اثر برهمکنش تنش خشکی و رقم بر میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل در سایر بررسی‌ها نیز نشان داده شده است. اگرچه در بسیاری از ارقام میزان این رنگیزه‌ها در گیاهان در معرض تنش خشکی کاهش یافته است اما در برخی ارقامی افزایش این شاخص‌ها مشاهده شده است (Khandani et al., 2022). نتایج نشان داد که سطح کارتنوئید در برگ پیوندک انگور رقم 'بیدانه قرمز' در پایه‌های پیوندی مورد بررسی کاهش داشت. اما در پایه‌های 'کره رویه'، 'مولایی' و 'چفته' در سطح تنش شدید، میزان کارتنوئید افزایش یافت که می‌تواند نشان از توان این پایه‌ها در جلوگیری از کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی باشد.

نتیجه‌گیری

اگرچه ویژگی‌های فیزیولوژیک کلروفیل کل و کاروتنوئید در شرایط تنش خشکی روند کاهشی داشتند، این کاهش در ارقام 'چفته'، 'مولایی' و 'کره رویه'، در مقایسه با پایه‌های دیگر کمتر بود. در ترکیب پیوندی 'چفته' و 'کره رویه' به‌عنوان پایه و 'بیدانه قرمز' به‌عنوان پیوندک، با توجه به مقادیر پرولین، کربوهیدرات محلول و آنزیم کاتالاز مشخص شد که پایه‌های متحمل‌تری نسبت به سایر ترکیب‌های پیوندی می‌باشند. برگ پیوندک مستقر روی پایه‌های 'چفته' و 'مولایی' دارای کمترین تعداد روزنه در سطح تنش شدید بود. همچنین، در برگ پیوندک 'بیدانه قرمز' روی پایه 'مولایی' کمترین کاهش محتوای نسبی آب برگ در تنش شدید ثبت گردید. ترکیب پیوندی 'چفته' و 'مولایی' به‌عنوان پایه و 'بیدانه قرمز' به‌عنوان پیوندک نیز در این رتبه بندی متحمل به خشکی بودند. بنابراین، می‌توان آنها را در زمره پایه‌های متحمل به خشکی محسوب نمود و جهت استفاده، به‌عنوان پایه برای رقم 'بیدانه قرمز'، از نظر رقم غالب کشت‌شده در شرایط استان مرکزی معرفی نمود. در مجموع، با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش می‌توان پیشنهاد نمود که این ارقام به‌عنوان یک پایه متحمل به تنش خشکی، جهت استفاده، به‌عنوان پایه برای پیوندک رقم 'بیدانه قرمز' در مناطقی از استان مرکزی که دارای کمبود آب هستند مورد استفاده قرار گیرند. همچنین، با توجه به این که محصول رقم 'چفته' از بازار پسندی خوبی نسبت به ارقام دیگر موجود در بازار برخوردار نمی‌باشد، می‌تواند به‌عنوان یک منبع ژنتیکی ارزشمند در برنامه‌های به‌نژادی، به‌منظور افزایش تحمل به تنش خشکی انگور به‌عنوان پایه مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

- دولتی بانه، حامد؛ احمد آلی، جمال و رسولی، موسی (۱۳۹۸). تأثیر تنش خشکی بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی در تعدادی از ارقام تجاری داخلی و خارجی انگور. *پژوهش‌های میوه‌کاری*، ۴(۲)، ۱۲۷-۱۴۲.
- سروری، شیما؛ اصغرزاده، احمد؛ مرجانی، علی و صمدی کاظمی، ملیحه (۱۴۰۱). ارزیابی تحمل برخی از ارقام انگور نسبت به تنش خشکی با استفاده از مطالعات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی. *علوم باغبانی*، ۳۶(۲)، ۳۷۳-۳۸۸. doi: 10.22067/jhs.2021.67767.1004
- سوخت سرائی، رضا؛ عبادی، علی؛ سلامی، سید علیرضا و لسانی، حسین (۱۳۹۶). بررسی شاخص‌های اکسیداتیو در سه رقم انگور (*Vitis vinifera* L.) در شرایط تنش خشکی. *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۴۸(۱)، ۸۵-۹۸. doi: 10.22059/ijhs.2017.106884.592
- مددی، داریوش؛ عبادی، علی؛ دولتی بانه، حامد؛ عبدوسی، وحید و حدادی نژاد، مهدی (۱۴۰۰). پاسخ‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی نهال پیوندی انگور بیدانه سفید روی پایه ایرانی و خارجی در شرایط تنش خشکی. *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۵۲(۲)، ۳۶۷-۳۵۳. doi: 10.22059/ijhs.2020.260522.1463
- مهری، حمیدرضا؛ قبادی، سیروس؛ بانی نسب، بهرام؛ احسان زاده، پرویز و غلامی، مهدیه (۱۳۹۳). بررسی برخی پاسخ‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک چهار رقم انگور ایرانی (*Vitis vinifera* L.) به تنش خشکی در شرایط درون شیشه ای. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۳(۱۰)، ۱۲۶-۱۱۵.

REFERENCES

- Abbaspour, N. & Babaei, L. (2017). Effect of salicylic acid application on oxidative damage and antioxidant activity of grape (*Vitis vinifera* L.) under drought stress condition. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 4(1), 29-50. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2017.227384.176>
- Altıncı, N. T. & Cangi, R. (2019). Drought tolerance of some wine grape cultivars under in vitro conditions. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 36(2), 145-152. <https://doi.org/10.13002/jafag4633>
- Aran, M., Abedi, B., Tehranifar, A. & Parsa, M. (2017). Effects of drought stress on some morphological and physiological properties of three grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Horticulture Science*, 31(2), 315-326 <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.53495>
- Asadi, W., Rasouli, M., Gholami, M. & Maleki, M. (2020). Effect of some cultivars of native grapevine as rootstocks and triachenetanol on the physiology of 'Bidaneh Sefid' grapevine scion

- (*Vitis vinifera* L.), under drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 51(2). doi: 10.22059/ijhs.2019.269570.1539
- Asadi, W., Gholami, M., Rasouli, M. & Maleki, M. (2019). Effect of drought stress on some physiological traits in three varieties of grapes (*Vitis vinifera* L.). *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, 9(3), 45-59. doi: 10.47176/jcpp.9.3.24642
- Bahrani, P., Ebadi, A., Zamani, Z. & Fatahi Moghadam, M. R. (2020). Effects of Drought Stress Levels on Some Morphological and Physiological Traits to Select the Most Tolerant ones as a Rootstock. *Journal of Plant Production Research*, 27(1), 41-56. doi:10.22069/jopp.2020.15230.2369
- Bates, L. S., Waldren, R. P. A. & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00018060>
- Bauerle, T.L., Centinari, M. & Bauerle, W.L. (2011). Shifts in xylem vessel diameter and embolisms in grafted apple trees of differing rootstock growth potential in response to drought. *Planta*, 234(5), 1045-1054. doi:10.1007/s00425-011-1460-6
- Bertamini, M., Zulini, L., Muthuchelian, K. & Nedunchezian, N. (2006). Effect of water deficit on photosynthetic and other physiological responses in grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Riesling) plants. *Photosynthetica*, 44, 151-154. <https://doi.org/10.1007/s11099-005-0173-0>
- Bhargavi, B., Kalpana, K. & Reddy, J.K. (2017). Influence of water stress on morphological and physiological changes in *Andrographis paniculata*. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, 5(6), 1550-1556.
- Bikdeloo, M., Colla, G., Roupheal, Y., Hassandokht, M.R., Soltani, F., Salehi, R., & Cardarelli, M. (2021). Morphological and physio-biochemical responses of watermelon grafted onto rootstocks of wild watermelon [*Citrullus colocynthis* (L.) Schrad] and commercial interspecific cucurbita hybrid to drought stress. *Horticulturae*, 7(10), 359,1-12. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100359>
- Chance, B. & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalases and peroxidases. In *Methods in Enzymology*. Elsevier Science and Technology 2, 764-775.
- Chung, P.J., Jung, H., Choi, Y.D. & Kim, J. K. (2018). Genome-wide analyses of direct target genes of four rice NAC-domain transcription factors involved in drought tolerance. *BMC Genomics*, 19, 1-17. <https://doi.org/10.1186/s12864-017-4367-1>
- Daldoul, S., Boubakri, H., Gargouri, M. & Mliki, A. (2020). Recent advances in biotechnological studies on wild grapevines as valuable resistance sources for smart viticulture. *Molecular Biology Reports*, 47(4), 3141-3153. <https://doi.org/10.1007/s11103-021-01122-2>.
- Doulati Baneh, H., Ahmadaali, J. & Rasouli, M. (2019). Effects of drought stress on some morphophysiological traits of some Iranian and foreign commercial grape varieties. *Pomology Research*, 4(2), 127-142. (In Persian).
- Fahim, S., Ghanbari, A., Naji, A. M., Shokohian, A. A. & Maleki Lajayer, H. (2023). Impact of drought stress on morphological and physiological traits in some Iranian grape cultivars. *Journal of Plant Process and Function*, 11(47), 249-266. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1401.11.47.11.0>
- Fahim, S., Ghanbari, A., Naji, A. M., Shokohian, A. A., Lajayer, H. M., Gohari, G. & Hano, C. (2022). Multivariate discrimination of some grapevine cultivars under drought stress in Iran. *Horticulturae*, 8(10), 871. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8100871>
- Fanizza, G. & Ricciardi, L. (2015). Influence of drought stress on shoot, leaf growth, leaf water potential, stomatal resistance in wine grape genotypes (*Vitis vinifera* L.). *VITIS-Journal of Grapevine Research*, special issue, 29, 371-381 <https://doi.org/10.5073/vitis.1990.29.special-issue.371-381>
- Ferlito, F., Distefano, G., Gentile, A., Allegra, M., Lakso, A. N. & Nicolosi, E. (2020). Scion-rootstock interactions influence the growth and behaviour of the grapevine root system in a heavy clay soil. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 26(1), 68-78. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12415>

- Flexas, J., Galmés, J., Gallé, A., Gulías, J., Pou, A., Ribas-Carbo, M., Tomas, M. & Medrano, H. (2010). Improving water use efficiency in grapevines: potential physiological targets for biotechnological improvement. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16, 106-121. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2009.00057.x>
- Gambetta, G.A., Herrera, J.C., Dayer, S., Feng, Q., Hochberg, U. & Castellarin, S.D. (2020). The physiology of drought stress in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 71(16), 4658-4676. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa245>
- Ghaderi, N., Talaei, A., Ebadi, A. & Lesani, H. (2010). Study of some physiological characteristics in 'Sahani', 'Bidane-sefid' and 'Farkhi' grapes during drought stress and their subsequent recovery. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 41(2), 179-188. (In Persian). [20.1001.1.2008482.1389.41.2.9.5](https://doi.org/10.2008482.1389.41.2.9.5)
- Gullo, G., Dattola, A., Vonella, V. & Zappia, R. (2018). Evaluation of water relation parameters in *Vitis* rootstocks with different drought tolerance and their effects on growth of a grafted cultivar. *Journal of Plant Physiology*, 226, 172-178. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.04.013>
- Kantar, M., Lucas, S. J. & Budak, H. (2011). Drought stress: molecular genetics and genomics approaches. In *Advances in botanical research*, 57, 445-493. Academic Press. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-387692-8.00013-8>.
- Karami, L., Ghaderi, N. & Javadi, T. (2017). Morphological and physiological responses of grapevine (*Vitis vinifera* L.) to drought stress and dust pollution. *Folia Horticulturae*, 29(2), 231-240. [10.1515/fhort-2017-0021](https://doi.org/10.1515/fhort-2017-0021).
- Khandani, Y., Gholami, M., Sarikhani, H. & Chehregani Rad, A. (2022). Response of some vegetative and physiological traits of Iranian and foreign grape cultivars to drought stress. *Journal of Plant Process and Function*, 11(51), 153-174. [20.1001.1.23222727.1401.11.51.10.7.7](https://doi.org/10.1001.1.23222727.1401.11.51.10.7.7)
- Kochert, G. (1978). Carbohydrate determination by the phenol-sulfuric acid method. In J.S. Helebus (ed.), *Handbook of Phycological Methods*, 2, 56-97. Cambridge University Press, Cambridge.
- Kucukbasmaci, A. & Sabir, A. (2019). Long-term impact of deficit irrigation on the physiology and growth of grapevine cv. 'Prima' grafted on various rootstocks. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*, 18(4), 57-70. [doi:10.24326.asphc201946](https://doi.org/10.24326/asphc201946).
- Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in enzymology*, 148, 350-382. Academic Press. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1).
- Lutts, S., Kinet, J.M. & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, 78(3), 389-398. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134>
- Madadi, D., Ebadi, A., Baneh, H. D., Abdousi, V. & Hadadinejad, M. (2021). Morphological and physiological responses of grafted Sultana grapevine on Iranian and American rootstocks to drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 52(2), 353-367. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2020.260522.1463>. (In Persian).
- Marguerit, E., Brendel, O., Lebon, E., Van Leeuwen, C. & Ollat, N. (2012). Rootstock control of scion transpiration and its acclimation to water deficit are controlled by different genes. *New Phytologist*, 194(2), 416-429. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04059.x>
- Marín Eder, D., Armengol, J., Carbonell-Bejerano, P., Escalona, J. M., Gramaje, D., Hernández-Montes, E. & Herralde, F.D. (2021). Challenges of viticulture adaptation to global change: tackling the issue from the roots. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 27, 8-25. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04059.x.ajgw.12463>.
- Mehri, H., Ghobadi, C., Baninasab, B. & Ehsanzadeh, P. (2015). Evaluation of some physiological and morphological responses of four Iranian grapevine (*Vitis vinifera* L.) cultivars to drought stress under in vitro conditions. *Journal of Plant Process and Function*, 3(10), 115-126. (In Persian).

- Molassiotis, A., Job, D., Ziogas, V. & Tanou, G. (2016). Citrus plants: a model system for unlocking the secrets of NO and ROS-inspired priming against salinity and drought. *Frontiers in Plant Science*, 7,183021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00229>.
- Paranychianakis, N.V., Chartzoulakis, K.S. & Angelakis, A.N. (2004). Influence of rootstock, irrigation level and recycled water on water relations and leaf gas exchange of Soultanina grapevines. *Environmental and Experimental Botany*, 52(2), 185-198. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.02.002>
- Pellegrino, A., Lebon, E., Simonneau, T. & Wery, J. (2005). Towards a simple indicator of water stress in grapevine (*Vitis vinifera* L.) based on the differential sensitivities of vegetative growth components. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 11(3), 306-315. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2005.tb00030.x>
- Pinheiro, C. & Chaves, M.M. (2011). Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? *Journal of Experimental Botany*, 62(3), 869-882. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq340>.
- Prinsi, B., Negri, A.S., Failla, O., Scienza, A. & Espen, L. (2018). Root proteomic and metabolic analyses reveal specific responses to drought stress in differently tolerant grapevine rootstocks. *BMC Plant Biology*, 18,1-28. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1343-0>.
- Prinsi, B., Simeoni, F., Galbiati, M., Meggio, F., Tonelli, C., Scienza, A. & Espen, L. (2021). Grapevine rootstocks differently affect physiological and molecular responses of the scion under water deficit condition. *Agronomy*, 11(2),289. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020289>.
- Rahmani, H., Rasoli, V., Abdossi, V. & Ghanbari Jahromi, M. (2023). Ch1 (*Vitis vinifera* L.) rootstock control of scion response to water stress in some commercial grapevine cultivars. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 44(1), 1-8. <https://doi.org/10.21548/44-1-5325>.
- Romero, P., Gil-Muñoz, R., del Amor, F.M., Valdés, E., Fernández, J.I., & Martinez-Cutillas, A. (2013). Regulated deficit irrigation based upon optimum water status improves phenolic composition in Monastrell grapes and wines. *Agricultural Water Management*, 121, 85-101. <https://econpapers.repec.org/scripts/redir.pf?u=https%3A%2F%2Fdoi.org%2F10.1016%252Fj.agwat.2013.01.007;h=repec:eee:agiwat:v:121:y:2013:i:c:p:85-101>.
- Sahitya, U. L., Krishna, M. S. R., Deepthi, R. S., Prasad, G. S., & Kasim, D. P. (2018). Seed antioxidants interplay with drought stress tolerance indices in chilli (*Capsicum annuum* L) seedlings. *BioMed Research International*, 2018(1), 1605096. [10.1155/2018/1605096](https://doi.org/10.1155/2018/1605096). PMID: 29888251; PMCID: PMC5977015.
- Siddique, Z., Jan, S., Imadi, S. R., Gul, A., & Ahmad, P. (2016). Drought stress and photosynthesis in plants. *Water stress and crop plants: a sustainable approach*, 1, 1-11. <https://doi.org/10.1002.9781119054450.ch1>.
- Fatemi, A., Safari, A., Saeidi, M., & Kolahchi, Z. (2023). Effect of Some Inorganic and Organic Fertilizers' Application and Drought Stress on Superoxide Dismutase and Peroxidase Activities and Total Soluble Protein of Bidane-Ghermez Grapevines. *Journal Of Horticultural Science*, 37(2), 325-336. <https://doi.org/10.22067/jhs.2023.73313.1102>.
- Singh, S. K., Sharma, H. C., Goswami, A. M., Datta, S. P., & Singh, S. P. (2000). In vitro growth and leaf composition of grapevine cultivars as affected by sodium chloride. *Biologia plantarum*, 43, 283-286. <https://doi.org/10.1023/A:1002720714781>.
- Sivritepe, N., Yerlikaya, C., Türkan, I., Bor, M., & Özdemir, F. A. (2008). Response of the cherry rootstock to water stress induced in vitro. *Biologia plantarum* 52:573-576. <https://doi.org/10.1007/s10535-008-0114-4>.
- Skirycz, A., & Inzé, D. (2010). More from less: plant growth under limited water. *Current opinion in biotechnology*, 21(2), 197-203. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2010.03.002>.

- Sofo, A., Dichio, B., Xiloyannis, C., & Masia, A. (2005). Antioxidant defences in olive trees during drought stress: changes in activity of some antioxidant enzymes. *Functional Plant Biology*, 32(1), 45-53. <https://doi.org/10.1071/fp04003>.
- Sorori, S., Asgharzade, A., Marjani, A., & Samadi, M. (2022). Evaluation of drought stress tolerance among some of grape cultivars using physiological and biochemical studies. *Journal of Horticultural Science*, 36(2), 373-388. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.236292.1276> (In Persian).
- Srivastava, S., & Srivastava, M. (2014). Morphological changes and antioxidant activity of *Stevia rebaudiana* under water stress. *American Journal of Plant Sciences*, 5(22), 3417. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2014.522357>
- Soukhtesaraee, R., Ebadi, A., Salami, S. A. and Lesani, H. (2017). Evaluation of oxidative parameters in three grapevine cultivars under drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 48(1), 85-98. <https://doi.org/10.22067/jhs.2021.61898.0>. (In Persian).
- Wang, F., Zeng, B., Sun, Z., & Zhu, C. (2009). Relationship between proline and Hg 2+-induced oxidative stress in a tolerant rice mutant. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 56, 723-731. <https://doi.org/10.1007/s00244-008-9226-2>.
- Walker, R. R., Blackmore, D. H., Clingeleffer, P. R., & Emanuelli, D. (2014). Rootstock type determines tolerance of C hardonnay and S hiraz to long-term saline irrigation. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 20(3), 496-506. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12094>.
- Warschefsky, E. J., Klein, L. L., Frank, M. H., Chitwood, D. H., Londo, J. P., von Wettberg, E. J., & Miller, A. J. (2016). Rootstocks: diversity, domestication, and impacts on shoot phenotypes. *Trends in plant science*, 21(5), 418-437. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.11.008>.