



Evaluation of the Effect of Native Cultivars as a Rootstock on the Tolerance to Drought Stress in 'Crimson Sweet' Watermelon

Jaber Panahandeh^{1✉}, Ali Parsafar², Davoud Zarehaghi³,
Mohammadvali Habibi⁴, Asghar Mohammadi⁵

1. Corresponding Author, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran. E-mail: panahandeh@tabrizu.ac.ir

2. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran. E-mail: parsafarali@tabrizu.ac.ir

3. Department of Soil Engineering Sciences, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran. E-mail: davoudhaghi@tabrizu.ac.ir

4. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran. E-mail: mohammadhabibi23vh@gmail.com

5. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran. E-mail: asghar69.mohammadi@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	The use of drought-tolerant rootstocks, such as seeded and rainfed watermelons, and pumpkins, is an effective solution for increasing tolerance to drought stress in watermelons. For this purpose, this experiment was conducted in a greenhouse to evaluate the effects of irrigation treatment at three levels (1-0.8; 0.6 -0.8; and 0.3-0.6 FC) and rootstock type at five levels (control, three rootstocks of rainfed and seeded watermelons including Sabzevar, Khajahe and Ashtian and one rootstock of pumpkin: Shintoza) on physiological and biochemical parameters in watermelon Crimson Sweet Super Dragon F1. The results showed that the number of leaf stomata in grafted and non-grafted plants decreased with the increase of dryness levels, and the grafted plants on Shintoza rootstock had a higher stomatal density. Drought stress caused a significant decrease in chlorophyll index and leaf relative water content and increased electrolyte leakage in studied watermelons. The total antioxidant capacity and the activity of catalase and peroxidase enzymes increased as a result of drought stress, but this increase was greater in grafted plants on Shintoza and Sabzevar rootstocks than in plants grafted on Ashtian and Khajahe rootstocks as well as watermelons.. Watermelons grafted on Sabzevar and Shintoza rootstocks produced the highest content, while non-grafted and grafted watermelons on Ashtian rootstocks produced the lowest content of leaf phenolic compounds Potassium and phosphorus levels in plants with normal irrigation were higher than plants under stress. As a result, yield and vegetative growth traits were significantly affected by irrigation and transplanting treatments.
Article history: Received: 29 May 2023 Received in revised form: 22 October 2023 Accepted: 24 October 2023 Published online: 22 December 2023	
Keywords: <i>phenol,</i> <i>proline,</i> <i>vegetable grafting,</i> <i>Antioxidant,</i> <i>irrigation treatment.</i>	

Cite this article: Panahandeh, J., Parsafar, A., Zarehaghi, D., Habibi, M. V., & Mohammadi, A. (2023). Evaluation of the Effect of Native Cultivars as a Rootstock on the Tolerance to Drought Stress in 'Crimson Sweet' Watermelon. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 54 (4), 553-573. DOI: <http://doi.org/10.22059/IJHS.2023.356417.2100>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22059/IJHS.2023.356417.2100>

Publisher: The University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

One of the greatest challenges faced by the scientific community in the next few years is minimizing the yield losses caused by drought. Vegetable grafting using rootstocks has emerged as a rapid tool in tailoring plants to better adapt to suboptimal growing conditions. The aim of the present study was to evaluate the

potential of some of these local stands of rainfed watermelon as a rootstock for commercial watermelon and compare them with the commercial base of Shintoza in terms of drought tolerance.

Materials and Methods

Experiments were carried out during two consecutive growing seasons in 2016 and 2017 in an experimental greenhouse at the University of Tabriz, located in Tabriz, in the northwest part of Iran (latitude: 38° 1' 22.23" N, longitude: 46° 25' 9.38" E). We conducted this study to evaluate the response of watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. et Nakai 'Crimson Sweet') to grafting onto three Iranian rainfed and seedy watermelon landraces collected from Khaje, Sabzevar, and Ashtian, along with 'Shintoza' (*Cucurbita maxima* × *Cucurbita moschata*) seedlings as a rootstock for watermelon. Irrigation was applied in three different levels based on FC as 1-0.8; 0.6 -0.8; and 0.3-0.6 FC by furrow irrigation method. Stomatal density, chlorophyll index, phenolic compounds, leaf relative water content (LRWC), electrolyte leakage, and proline concentration were measured at the end of both growing seasons.

Results and Discussion

The results showed that the number of stomata in the Moderate drought and severe drought stress in watermelons transplanted on Shintoza and Sabzevar plants was significantly reduced compared to the first irrigation treatment. In this experiment, the chlorophyll index was affected by Moderate drought stress. The highest amount of electrolyte leakage in both stress showed a significant difference with the plants under normal irrigation. With increasing the drought stress levels, the amount of LRWC in different stands linearly decreased, and its lowest amount was observed in the severe drought stress. The amount of proline generally increased in the leaves of the studied watermelons in response to drought stress. Results showed that the Moderate drought stress caused a significant increase in the total carbohydrate content of the leaf in the studied watermelons. Meanwhile, drought stress caused a decrease in the amount of leaf phenol. Irrigation treatment, base and their mutual effects had a significant effect on the total antioxidant capacity, as well as the activity of catalase and peroxidase enzymes. Drought stress reduces the density of stomata in the leaves, which in turn causes a decrease in photosynthesis and yield of the plants. Preservation of chlorophyll index in plants under drought stress is considered as a desirable trait. LRWC plays a strategic role in drought tolerance of plants by inducing osmotic regulation through the accumulation of osmoprotectants. In our study, the accumulation of proline in the plant was increased under severe drought stress, the high amount of proline in grafted plants may be one of the reasons for the drought tolerance of these plants compared to non-grafted plants. The role of phenolic substances, like antioxidant enzymes, is to stop the activity of enzymes involved in the production of free radicals, and the higher activity of phenol in pumpkin rootstalks may be due to its high ability to donate hydrogen and stabilize a larger amount of free radicals. Potassium is an essential cytoplasmic element, and due to its role in osmotic regulation and its competitive effect with sodium, it is often used as an important element to increase resistance to environmental stresses, including water stress and salinity, as well as pests and diseases. Phosphorus also is one of the important components of enzymes, proteins, ATP, RNA and DNA. ATP plays a role in energy transfer reactions, meanwhile both RNA and DNA are components of genetic information. Phosphorus also plays a crucial role in the synthesis of starch and transportation of carbohydrates.

Conclusion

The high levels of chlorophyll index, phenolic compounds, and LRWC of plants grafted onto Shintoza and Sabzevar rootstocks suggested that an Iranian rainfed and seedy watermelons, Sabzevar, can be regarded as a potential rootstock for watermelon under drought stress without any detrimental effects on the fruit quality.

ارزیابی تاثیر توده‌های بومی به عنوان پایه بر میزان تحمل به تنش خشکی در هندواوانه 'کریمسون سوئیت'

جابر پناهنده^۱ | علی پارسافر^۲ | داود زارع حقی^۳ | محمدولی حبیبی^۴ | اصغر محمدی^۵

۱. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: panahandeh@tabrizu.ac.ir
۲. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: parsafarali@tabrizu.ac.ir
۳. گروه علوم مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: davoudhaghi@tabrizu.ac.ir
۴. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: mohammadhabibi23vh@gmail.com
۵. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: asghar69.mohammadi@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	استفاده از پایه‌های متحمل به خشکی از جمله هندوانه‌های بذری، دیمی و کدو یک راه‌حل موثر در افزایش تحمل به تنش خشکی در هندوانه است. بدین‌منظور این آزمایش بصورت گلخانه‌ای به منظور ارزیابی اثر تیمار آبیاری در سه سطح ظرفیت مزرعه ای (FC 6/0- 3/0 و ۰/۸-۰/۶-۰/۸-۱) و تیمار پایه در پنج سطح (شاهد، سه پایه هندوانه دیم و بذری: سبزواری، خواجه و آشتیان و یک پایه کدو: شینتوزا) بر پارامترهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در هندوانه رقم کریمسون سوئیت سوپر دراگون F1 اجرا شد. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح خشکی تعداد روزنه برگ در گیاهان پیوندی و غیرپیوندی کاهش می‌یابد و گیاهان پیوند شده روی پایه شینتوزا تراکم روزنه‌ای بالاتری داشتند. تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ و افزایش نشت الکترولیت در هندوانه‌های مورد مطالعه شد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در نتیجه تنش خشکی افزایش یافت، اما این افزایش در گیاهان پیوندی روی پایه‌های شینتوزا و سبزواری بیشتر از گیاهان پیوند شده روی پایه‌های آشتیان و خواجه و همچنین هندوانه‌های غیرپیوندی بود. هندوانه‌های پیوند شده روی پایه‌های سبزواری و شینتوزا بالاترین، درحالی‌که هندوانه‌های غیر پیوندی و پیوند شده روی پایه آشتیان کمترین میزان محتوای ترکیبات فنلی برگ را تولید نمودند. سطح پتاسیم و فسفر در گیاهان با آبیاری نرمال بالاتر از گیاهان تحت تنش بود. در نتیجه صفات عملکرد و رشد رویشی بطور معنی داری تحت تاثیر تیمارهای آبیاری و پیوند قرار گرفتند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۲ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۰۱	
کلیدواژه‌ها: آنتی‌اکسیدان، فنل، پرولین، پیوند سبزی‌ها، تیمار آبیاری.	

استناد: پناهنده، جابر؛ پارسافر، علی؛ زارع حقی، داود؛ حبیبی، محمدولی، و محمدی، اصغر (۱۴۰۲). ارزیابی تاثیر توده‌های بومی به عنوان پایه بر میزان تحمل به تنش خشکی در هندوانه 'کریمسون سوئیت'. نشریه علوم باغبانی ایران، ۵۴ (۴)، ۵۷۳-۵۵۳. DOI: <http://doi.org/10.22059/IJHS.2023.356417.2100>



© نویسندگان.

DOI: <http://doi.org/10.22059/IJHS.2023.356417.2100>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

سبزی‌ها نقش عمده‌ای را در اقتصاد کشاورزی کشور ایفا می‌کنند و در بین آن‌ها سبزی‌های تیره کدوئیان همچون هندوانه، خیار و خربزه جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده‌اند. هندوانه رتبه نخست سطح زیر کشت و میزان تولید محصولات جالیزی را در ایران دارا می‌باشد. هندوانه با نام علمی *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai از نظر اهمیت و تولید، مهمترین سبزی از تیره کدوئیان است که تولید جهانی آن بالغ بر ۱۱۸ میلیون تن می‌باشد. ایران با تولید حدود ۴ میلیون تن از این محصول مهم باغبانی جایگاه سوم را پس از چین در تولید جهانی به خود اختصاص داده است (Fao, 2018). هندوانه دارای مقادیر ناچیز مواد کانی و ویتامین است، ولی به خاطر بالا بودن میزان آب و شیرین بودن و طعم دلپذیر مورد توجه مردم دنیا قرار گرفته است (Sorokina et al., 2021). در چند سال گذشته با گسترش موج خشکسالی در کشور تولید این محصول با مشکلاتی مواجه شده است. خشکی یکی از مهمترین تنش‌های غیرزیستی است که تمام جنبه‌های رشد و نمو گیاهان را متأثر می‌سازد و عامل اصلی کاهش تولیدات کشاورزی در جهان می‌باشد (Seleiman et al., 2021). با توجه به محدودیت منابع آب، خشکی به تنهایی بزرگترین تهدید برای امنیت غذایی دنیا است و قحطی‌های بزرگی را در گذشته بوجود آورده است (Farooq et al., 2009). بنابراین، خشکسالی نه تنها تنش ساده‌ای نیست بلکه تعاملات چندگانه با تنش‌های دیگر مانند گرما، سفت شدن خاک، کمبود مواد مغذی و حتی کاهش اکسیژن در خاک را به همراه دارد. کمبود آب همواره یکی از عوامل تهدیدکننده در بهره‌وری از محصولات باغی بوده است، بطوریکه کیفیت و توسعه محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Chaves et al., 2007). استفاده از ارقام مقاوم به تنش خشکی می‌تواند به افزایش تولید و بهره‌وری در مناطق خشک و نیمه خشک کمک کند. از اینرو تلاش‌هایی برای تولید ارقام سبزی‌های با تحمل به تنش خشکی با استفاده از روش‌های اصلاح نباتات کلاسیک صورت گرفته، اما به دلیل پیچیدگی و چندژنی بودن صفات مرتبط با تحمل به خشکی موفقیت چندانی حاصل نشده است (Nilsen & Orcutte, 1996).

پیشینه پژوهش

امروزه در اکثر کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه از تکنیک پیوند به طور گسترده برای پرورش و تولید سبزی‌ها به‌ویژه سبزی‌های تیره کدوئیان در سطح تجاری استفاده می‌شود. این کشورها توانسته‌اند در زمین‌های آلوده و نامناسب برای کشت و کار به محصولاتی با عملکرد بالا دست یابند. پیوند کدوئیان برای اولین بار در ژاپن در اواخر سال ۱۹۲۰ توسط پیوند هندوانه بر روی پایه کدوی حلوایی انجام گرفت. پیوند هندوانه روی پایه کدو حلوایی یک تکنیک شناخته شده در آن زمان بود، با این حال در پیوند هندوانه، پایه‌های کدو بطری شکل و کدو مومی به علت مقاومت در برابر پژمردگی فوزاریومی، نزدیکی خویشاوندی بیشتر به هندوانه و رشد پایدارتر گیاهان پس از پیوند، ترجیح داده شدند (Crino et al., 2007). در ژاپن پیشرفت پیوند در خربزه و طالبی نسبت به هندوانه روند کندی داشت، زیرا این محصولات به بیماری‌های خاکزاد نسبتاً متحمل بودند. کدوی حلوایی، مسمایی، تنبل، خیار، کدوی برگ انجیری و کدوی بطری شکل برای پیوند با خربزه و طالبی سازگار بودند. استفاده تجاری پیوند سبزی‌ها در جهان، با پیوند محصولات تیره کدوئیان بویژه هندوانه بر روی پایه‌های کدو و جنس‌های نزدیک به آن‌ها آغاز شد (Huang et al., 2009). یکی از پایه‌های تجاری مهم در تیره کدوئیان، هیبریدهای حاصل از تلاقی

- 1 Cucurbitaceae
- 2 *Citrullus lanatus*
- 3 *Cucurbita moschata* Duchesne
- 4 *Benincasa hispida*
- 5 *Cucumis melo*
- 6 *Cucurbita pepo*
- 7 *Cucurbita maxima*
- 8 *Cucumis sativus*
- 9 *Cucurbita ficifolia*

دارای توده‌های محلی مختلفی از این محصول است که برخی از آن‌ها به دلیل تحمل بالا به خشکی بصورت دیم پرورش داده می‌شوند.

هدف مطالعه حاضر ارزیابی پتانسیل برخی توده‌های محلی هندوانه دیم به عنوان پایه برای هندوانه تجاری و مقایسه آن‌ها با پایه تجاری شینتوزا از نظر تحمل به خشکی می‌باشد. بدین منظور آزمایشی برای بررسی اثر پیوند هندوانه (رقم تجاری کریمسون سوئیت) روی پایه‌های مختلف هندوانه دیم و بذری ایرانی در کنار یک پایه تجاری کدو (شینتوزا) تحت شرایط تنش خشکی در گلخانه اجرا گردید. طی این آزمایش فرایندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفتند، زیرا قبل از استفاده این تکنیک توسط کشاورزان و تولیدکنندگان، جنبه‌های مختلف آن بایستی مورد مطالعه و تحقیق قرار گیرد.

روش شناسی پژوهش

این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی هیدروپونیک گروه علوم باغبانی، و همچنین آزمایشگاه‌های ژنتیک و اصلاح سبزی‌ها، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و فیزیولوژی سبزی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، واقع در ۱۰ کیلومتری شرق تبریز در سال ۱۳۹۶ اجرا شد.

تهیه و کاشت ترکیبات پایه و پیوندک

بذر هندوانه رقم کریمسون سوئیت سوپر دراگون F₁ از شرکت وارد کننده تهیه و به عنوان پیوندک و همچنین تیمار شاهد بدون پیوند مورد استفاده قرار گرفت. این رقم دارای میوه متوسط و بازارپسند بوده و ویژگی بارز آن زودرس بودن آن است که با توجه به اقلیم و کوتاهی فصل رشد در منطقه انتخاب گردید. از کدوی هیبریدی شینتوزا (*C. maxima* × *C. moschata*) در کنار سه توده هندوانه بذری و دیم بومی ایران به عنوان پایه استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات توده‌های هندوانه دیم و بذری مورد استفاده به عنوان پایه

نام توده	استان محل جمع - آوری	شهرستان محل جمع آوری	نوع استفاده در منطقه	عرض جغرافیایی محل تهیه	طول جغرافیایی محل تهیه
خواجه	آذربایجان شرقی	هریس	هندوانه دیم	۳۸° ۸' ۵۴/۴ N	۳۴° ۳۴' ۱۵/۷۲E
سبزوار	خراسان رضوی	سبزوار	هندوانه بذری	۳۶° ۸' ۵۲/۸N	۵۷° ۴۴' ۳۷/۶۸E
آشتیان	مرکزی	آشتیان	هندوانه دیم	۳۴° ۳۰' ۲۲/۱۷N	۴۹° ۵۸' ۴۶/۳E

(منبع: یافته‌های پژوهش)

قبل از کاشت، بذرها به مدت ۱۲ ساعت در آب ولرم خیس شده و سپس، در سینی‌های نشاء کشت شدند. برای بذر پایه‌ها از سینی‌های ۴۸ حفره‌ای و برای بذر پیوندک از سینی‌های ۷۴ حفره‌ای استفاده شد، و بستر کاشت مورد استفاده شامل پیت و پرلیت به نسبت ۳:۱ بود. به منظور تعیین سرعت جوانه‌زنی، بذور بومی هندوانه از قبل در یک مرحله با شریط مذکور کشت شدند و با توجه به تعیین حدودی سرعت جوانه‌زنی، بذر هندوانه‌های دیم و بذری ۱۶ روز، شینتوزا ۹ روز و رقم پیوندک ۱۰ روز قبل از عمل پیوند کشت شدند. پس از آماده شدن و خیس خوردن بستر کاشت، سینی‌های نشاء مورد نظر بطور کامل با پیت و پرلیت پر شدند. برای کاشت بذور، حفره‌ای به عمق یک سانتی‌متر در هر یک از حفره‌ها ایجاد و در هر حفره یک بذر کاشته شد. برای پوشاندن بذرها نیز از پیت و پرلیت استفاده گردید. بعد از کامل شدن عملیات کاشت بذر و آبیاری، سینی‌های نشاء به

گلخانه با نور کافی و طبیعی ۷۰۰۰ لوکس، دمای ۲۵-۲۸ درجه سلسیوس (روز) و ۱۸-۲۰ درجه سلسیوس (شب) منتقل و برای تغذیه نشاءها از محلول غذایی ۱/۲ هوگلد استفاده گردید.

عملیات و روش پیوند

گیاهچه‌ها در مرحله تک برگ حقیقی آماده عملیات پیوند شدند. از روش پیوند نیم‌انیم تغییر یافته به علت سازگاری بالا و آسانی این روش استفاده گردید (Lee & Oda, 2002).

اتاقک پیوند

گیاهچه‌های پیوند شده به اتاقک پیوند با رطوبت نسبی ۹۵ درصد در ۳ روز اول پس از پیوند، ۸۵ درصد سه روز دوم و ۷۰ درصد سه روز سوم و دمای 2 ± 28 درجه سلسیوس منتقل شدند. در ۳ روز اول اتاقک تاریک و سپس نوردهی به طور تدریجی افزایش داده شد تا روز نهم که به نور طبیعی کامل رسید (Lee & Oda, 2002). برای تامین رطوبت نسبی مورد نظر، از دستگاه رطوبت‌ساز خانگی استفاده شد. شایان ذکر است که گیاهچه‌های پیوندی در داخل اتاقک پیوند به هیچ وجه آبیاری نمی‌شدند. به منظور ایجاد سازگاری، از روز نهم به بعد گیاهچه‌های پیوندی از اتاقک پیوند خارج شده و در محیط گلخانه و در سایه قرار دادند. پس از گذشت دو روز سایه نیز از روی گیاهچه‌ها برداشته شد. با گذشت دو روز دیگر مرحله سازگاری در محیط گلخانه به اتمام رسید و انتقال آن‌ها به گلدان‌های بزرگ برای ادامه آزمایش انجام گرفت.

انتقال نشاءهای پیوندی و غیر پیوندی به گلدان

پس از گذشت ۱۰ روز از زمان پیوند، گیاهچه‌های پیوندی از اتاقک پیوند خارج و به گلخانه‌ای با نور کافی و طبیعی ۲۰۰۰۰ لوکس و دمای ۲۵-۲۷ درجه سلسیوس (روز) و ۱۸-۲۰ درجه سلسیوس (شب) منتقل شدند. به منظور استقرار مناسب گیاهچه‌های هندوانه در گلدان‌ها، عملیات آبیاری به مدت دو هفته هر ۳ روز یکبار انجام شد. عملیات زراعی از جمله کوددهی و حذف علف‌های هرز طبق روال متداول و معمول در کشت هندوانه صورت پذیرفت. از آنجایی که هندوانه حساسیت زیادی به بیماری پژمردگی ریشه دارد قبل از انتقال گیاهچه در بستر جدید، خاک گلدان از مقداری قارچ‌کش متالاکسیل گرانوله استفاده گردید.

اعمال تیمار خشکی و اندازه‌گیری رطوبت خاک

با آغاز رشد رویشی سریع بوته‌ها، تیمارهای تنش خشکی اعمال شدند. به منظور سنجش رطوبت خاک در هر دو آزمایش از دستگاه انعکاس سنج بازه زمانی (TDR) (سانت‌آباربارا - آمریکا) و پروپ ۱۵ سانتی‌متری بصورت عمودی در گلدان‌ها استفاده گردید. در این آزمایش سنجش رطوبت خاک هر دو روز یکبار تا زمان برداشت انجام شد. در تیمار آبیاری نرمال (FC ۰/۸-) عمل آبیاری تنها پس از تخلیه ۲۰ درصد از آب ظرفیت زراعی انجام شد تا رطوبت به سطح ظرفیت زراعی برسد، در تیمار تنش خشکی متوسط (FC ۰/۶-FC ۰/۸) آبیاری تنها پس از تخلیه ۴۰ درصد از آب ظرفیت زراعی و تا رساندن سطح رطوبت به ۰/۸ ظرفیت زراعی انجام می‌گرفت و در تیمار تنش خشکی شدید (FC ۰/۳-FC ۰/۶) نیز آبیاری تنها پس از تخلیه ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی و تا رسیدن به ۰/۶ ظرفیت زراعی صورت می‌پذیرفت. هر زمان که محتوای رطوبت گلدان‌ها به کمتر از سطوح مذکور می‌رسید، آب مورد نیاز هر گلدان برای رساندن رطوبت به سطح مورد نظر (از طریق رابطه ۱) اضافه می‌شد.

$$V = aD (\theta_{v2} - \theta_{v1})$$

رابطه ۱)

1Metalaxyl

2Time Domain Reflectometry (TDR)

V : حجم آب مورد نیاز (سانتی متر مکعب)، D : مساحت گلدان (۶۰۰ سانتی متر مربع)، a : عمق ناحیه آبیاری (۳۰ سانتی متر)، θ
 V_2 : حد بالای سطح رطوبتی مورد نظر، V_1 : محتوای رطوبتی اندازه‌گیری شده با دستگاه تی دی آر (Zarehaghi et al., 2017).

شاخص‌های اندازه‌گیری شده

تراکم روزنه‌ای

اندازه‌گیری تراکم روزنه‌ای در واحد سطح برگ با استفاده از روش کپی‌برداری با لاک بی‌رنگ انجام شد. برای این منظور لاک روی برگ کشیده و بعد از خشک شدن لاک، با استفاده از چسب نواری شفاف از سطح برگ برداشته و روی لام قرار گرفت. شمارش تعداد روزنه‌ها در یک میلی‌متر مربع از سطح زیرین برگ در زیر عدسی $\times 40$ میکروسکوپ نوری انجام گرفت (Kusumi et al., 2012).

شاخص شاخص سبزی (SPAD)

کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج ۵۰ روز پس از اعمال تیمارها اندازه‌گیری شد. برای این منظور از هر گیاه چند برگ تازه توسعه یافته از قسمت میانی گیاه، انتخاب و از قسمت میانی برگ‌ها چند بار اندازه‌گیری انجام گرفت. در نهایت از اعداد به دست آمده توسط دستگاه میانگین گرفته شد.

درصد نشت الکترولیت برگ

این خصوصیت برای تعیین میزان نفوذپذیری غشاء سلولی برگ، مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور ۵۰ روز پس از اعمال تیمارها ۳ گرم از برگ‌های جوان در ابعاد ۱ سانتی‌متر نمونه‌برداری شده و جهت زدودن آلودگی‌های سطحی با آب مقطر شسته شدند. نمونه‌ها پس از شستشو در فالكون‌های حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر دو بار تقطیر قرار داده شدند. فالكون‌ها در دمای اتاق (۲۵ درجه سلسیوس) به مدت ۲۴ ساعت بر روی شیکر با ۱۰۰ دور در دقیقه قرار داده شدند. سپس هدایت الکتریکی اولیه (EC_1) با استفاده از دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس اتوکلاو شده و پس از خنک شدن و رسیدن به دمای محیط هدایت الکتریکی ثانویه (EC_2) اندازه‌گیری شد (Lutts et al., 1995; Huang et al., 2009). در نهایت درصد نشت الکترولیت برگ از طریق رابطه ۲ محاسبه شد.

$$EL (\%) = EC_1/EC_2 \times 100 \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه EL نشت الکترولیت نمونه، EC_1 هدایت الکتریکی اولیه و EC_2 هدایت الکتریکی ثانویه می‌باشد.

درصد محتوی آب نسبی برگ

برای اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ، از هر گیاه یک برگ کامل از میانه گیاه انتخاب شده و از هر برگ ۶ دیسک برگی به قطر ۱ سانتی‌متر تهیه شد. پس از اندازه‌گیری وزن تر، دیسک‌ها در داخل آب مقطر و به مدت چهار ساعت در داخل یخچال نگهداری شدند. بعد از خارج کردن دیسک‌ها از آب مقطر، جهت حذف رطوبت اضافی، سطح آن‌ها با کاغذ صافی خشک شده و وزن آماس شده آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در داخل آون خشک و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. محتوی نسبی آب برگ از رابطه ۳ محاسبه گردید (Smart & Bingham, 1974).

1 Leaf electrolyte leakage percentage

2 Leaf relative water content

$$RWC = [(FW-DW)/(TW-DW)] \times 100$$

رابطه ۳)

در این رابطه RWC محتوای نسبی آب برگ، FW وزن تر برگ، DW وزن خشک و TW وزن برگ در حالت آماس می باشند.

پرولین

به منظور اندازه‌گیری مقدار پرولین ۰/۱ گرم ماده گیاهی در ۱/۵ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد هموزنیزه شد و سپس با کاغذ صافی واتمن ۲ صاف شد. ۸۰۰ میکرولیتر از عصاره صاف شده با ۸۰۰ میکرولیتر نین‌هیدرین و ۸۰۰ میکرولیتر اسید استیک در یک تیوپ ۵ میلی‌لیتری که سر آن با سوزن سوراخ شده بود (به علت ایجاد فشار سر تیوپ باز نشود) به مدت ۱ ساعت در داخل حمام آب گرم در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و پس از یک ساعت نمونه‌ها به سرعت به حمام یخ انتقال یافتند که باعث پایان واکنش شد. پس از سرد شدن نمونه‌ها ۲ میلی‌لیتر تولوئن به ترکیب واکنش اضافه شد و سپس به مدت ۲۰ ثانیه ورتکس گردید. سپس در دمای اتاق به مدت ۱۰ دقیقه نگاه‌داری شد تا اینکه ۲ لایه کاملاً مجزا از هم تشکیل شود و پرولین وارد فاز تولوئن شود. در این حالت یک فاز قرمز رنگ در قسمت بالایی تشکیل شد که میزان جذب نمونه‌های استخراج شده (فاز رنگی) در طول موج ۵۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت گردید (Bates et al., 1973). در این آزمایش ۵۵ روز بعد از اعمال تنش خشکی اندازه‌گیری پرولین انجام شد.

اندازه‌گیری کربوهیدرات کل

اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول با روش Carroll et al. (1958) انجام شد. برای تهیه استاندارد از محلول‌های گلوکز خالص با غلظت‌های ۰،۳۰، ۰،۶۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ پی‌پی‌ام استفاده و منحنی کالیبراسیون ترسیم گردید.

محتوی ترکیبات فنلی برگ، فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی کل و آنزیمی

محتوای ترکیبات فنلی

محتوای ترکیبات فنلی در عصاره متانولی با استفاده از روش فولین‌سیکالچو بعد از ۵۵ روز از اعمال تنش خشکی اندازه‌گیری شد (Bradford, 1976). بدین منظور در یک لوله آزمایش ۳۰ میکرولیتر نمونه (عصاره متانولی)، ۱/۱۱۷ میلی‌لیتر آب مقطر و به دنبال آن ۷۵ میکرولیتر فولین‌سیکالچو اضافه شد و به خوبی تکان داده شد تا مخلوط گردد. این ترکیب به مدت ۱ تا ۸ دقیقه در دمای اتاق قرار داده شد و سپس ۲۲۵ میکرولیتر محلول کربنات سدیم ۲۰ درصد به آن اضافه شد و پس از مخلوط شدن به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سلسیوس قرار گرفت و سپس خوانش جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر انجام شد. منحنی کالیبراسیون با استفاده از اسید گالیک تهیه می‌گردد. محتوای ترکیبات فنلی معادل اکی‌والانت اسید گالیک در ۱۰۰ گرم بافت تازه محاسبه شد (Lin & Tang, 2007). برای تهیه محلول کربنات سدیم ۲۰ درصد، ۲۰۰ گرم کربنات سدیم بدون آب در ۸۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل و سپس جوشانده شد و بعد از خنک شدن تعدادی کریستال کربنات سدیم داخل محلول ریخته شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگاه‌داری شد. محلول با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۱ فیلتر و سپس به حجم ۱ لیتر رسید. این محلول در دمای اتاق به مدت نامحدود قابل نگهداری می‌باشد (در دمای پایین کریستاله شده و قابل استفاده نمی‌باشد). برای تهیه استاندارد گالیک اسید، ۰/۵ گرم گالیک اسید در ۱۰ میلی‌لیتر اتانول حل شده و سپس با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد، بدین ترتیب یک استوک ۵ گرم در لیتر بدست آمد. با استفاده از این استوک محلول‌هایی با غلظت ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر تهیه شد و منحنی استاندارد ترسیم گردید.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ۰/۱ گرم از بافت برگ فریز شده به حدود ۱/۵ میلی لیتر متانول اسیدی (حاوی کلریدریک اسید ۰/۱ نرمال در متانول ۸۰ درصد) اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت یک شب در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شد و سپس به مدت ۵ دقیقه در ۲۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ گردید. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها، از طریق خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد DPPH (۲ و ۲ دی فنیل ۱-پیکریل هیدرازیل) تعیین شد. به این منظور ۵۰ میکرولیتر از عصاره نمونه داخل لوله آزمایش ریخته و ۹۵۰ میکرولیتر محلول DPPH با غلظت ۶۰ میکرومولار به آن‌ها اضافه شد. محلول حاصل به مدت ۳۰ ثانیه ورتکس و به مدت ۳۰ دقیقه در یک محفظه تاریک در دمای اتاق نگهداری شد. سپس میزان جذب شاهد (۱ میلی لیتر محلول ۶۰ میکرومولار DPPH) و نمونه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر تعیین گردید. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به صورت بازدارندگی DPPH و با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد (Lin & Tang, 2007). در این آزمایش ۵۵ روز بعد از اعمال تنش خشکی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی اندازه‌گیری شد. برای تهیه DPPH به غلظت ۶۰ میکرومولار مقدار ۷ میلی‌گرم از این ماده را در ۳۰۰ میلی‌لیتر متانول حل کردیم.

$$\% \text{Scavenging} = ((A \text{ cont} - A \text{ samp}) / A \text{ cont}) \times 100$$

رابطه ۳

در این رابطه A cont جذب نمونه شاهد و A samp

مقدار جذب نمونه است.

فعالیت آنزیم کاتالاز

ارزیابی میزان فعالیت کاتالاز بر اساس روش ارائه شده توسط Aebi (1984) انجام شد. عصاره حاصله مربوط به استخراج آنزیم از فریزر خارج و در یخچال قرار داده شد تا به آرامی ذوب شود. سپس ویال‌های مربوطه در داخل راک‌های مناسب برای ادامه آزمایشات در حمام یخ قرار داده شد. مخلوط واکنش، شامل ۴۰۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن با غلظت ۳۰ میلی‌مولار و ۱۴۰۰ میکرولیتر بافر فسفات (pH=7) در کووت مخلوط گردید و دستگاه اسپکتروفتومتر با استفاده از این مخلوط صفر گردید. دستگاه اسپکتروفتومتر با مشخصات طول موج ۲۴۰ نانومتر، در زمان یک دقیقه و فواصل زمانی جذب نور ۵ ثانیه تنظیم گردید. سپس ۱۵ میکرولیتر عصاره به محلول فوق اضافه و سریعاً مخلوط و تغییرات کاهش جذب نور به مدت یک دقیقه اندازه‌گیری گردید. سپس فعالیت آنزیم با استفاده از ضریب خاموشی ۳۹/۴ میلی‌مولار بر سانتی‌متر محاسبه شد. تهیه بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار، با pH=7 به روش زیر انجام شد. الف: ۶/۸۱ گرم KH_2PO_4 ، ب: ۸/۹۰ گرم $\text{K}_2\text{HPO}_4 (2\text{H}_2\text{O})$ در آب مقطر حل شد و به حجم یک لیتر رسید. سپس دو محلول الف و ب با نسبت ۱:۱/۵ با هم مخلوط شدند. برای تهیه پراکسید هیدروژن ۳۰ میلی‌مولار نیز مقدار ۰/۳۴ میلی لیتر از پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد با بافر فسفات به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد.

فعالیت آنزیم پراکسیداز

ارزیابی میزان فعالیت پراکسیداز بر اساس روش ارائه شده توسط Chance & Maehly (1955) انجام شد. مخلوط واکنش، شامل ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، ۱۴۰۰ میکرولیتر بافر فسفات (pH=7) و ۶۰ میکرولیتر گایاکول ۲۰ میلی‌مولار در کووت مخلوط و دستگاه اسپکتروفتومتر با استفاده از این مخلوط کالیبره شد. دستگاه اسپکتروفتومتر با مشخصات طول موج ۴۷۰ نانومتر، زمان یک دقیقه، فواصل زمانی جذب نور ۵ ثانیه تنظیم گردید. سپس ۱۰۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۱۰ میلی‌مولار به محلول فوق اضافه کرده و سریعاً مخلوط و تغییرات افزایش جذب نور به مدت یک دقیقه اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم با استفاده از ضریب خاموشی ۲۶/۶ میلی‌مولار در سانتی‌متر محاسبه شد. گایاکول ۲۰ میلی‌مولار از ترکیب مقدار ۲۲۰ میکرولیتر از گایاکول در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر تهیه شد. برای تهیه پراکسید هیدروژن ۱۰ میلی‌مولار نیز مقدار ۱۱۳ میکرولیتر از پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد با بافر فسفات به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رقیق شد.

تجزیه عناصر معدنی مواد گیاهی

نمونه گیاهی خشک شده برگ توسط آسیاب پودر گردید و پودر همگن بدست آمده برای هضم با اسید آماده شد. برای هضم با اسید، ابتدا تمامی وسایل و ظروف مورد نیاز با اسید کلریدریک تجاری ۰/۱ درصد شسته شدند. سپس ۰/۵ گرم از ماده پودر شده توزین شد و مواد گیاهی توزین شده با دقت به لوله‌های هضم منتقل شدند. سپس ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ (۶۵ درصد) به هر لوله اضافه شده و پس از چیدن لوله‌ها درون حفره‌های اجاق هضم، روی لوله‌ها با در پوش مخصوص (ساجمه‌های شیشه‌ای) پوشانده شد. در این گروه از لوله‌ها، یک لوله بدون ماده خشک گیاهی و فقط دارای اسید نیتریک به عنوان شاهد قرار داده شد. نمونه‌ها به مدت یک شب (۱۲ ساعت) تا روز بعد بدون اعمال هیچ دمایی نگهداری شدند. در روز بعد نمونه‌ها به مدت سه ساعت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس نگهداری شد و بعد از سه ساعت دما به تدریج تا ۱۱۰ درجه سلسیوس افزایش داده شد، عمل هضم در طول شش ساعت انجام گردید. اتمام هضم با نشانه شفاف شدن (زرد کهربایی) رنگ نمونه‌ها مشخص شد. پس از خنک شدن نمونه‌ها، به هر لوله حدود ۲۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد و محتوای لوله صاف گردید. به این منظور، کاغذهای صافی شماره ۵۴۰ درون قیف‌ها قرار داده شده و قیف‌ها روی بالون‌های ۱۰۰ میلی لیتری قرار گرفتند. برای انتقال کامل محتویات لوله‌های هضم، این کار چندین بار تکرار گردید و برای اطمینان بیشتر کاغذ صافی‌ها هم با مقدار کمی آب شسته شده و در نهایت حجم هر بالون به ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد. عصاره بدست آمده برای اندازه‌گیری فسفر و پتاسیم استفاده گردید (Andrews & Marquez, 2010).

غلظت فسفر

در این روش یون‌های ارتوفسفات در محیط اسیدی با محلول وانادات مولیبدات، کمپلکس زرد رنگ فسفو-وانادو مولیبدات را تشکیل می‌دهند که حداکثر جذب را در طول موج ۴۳۰ نانومتر نشان می‌دهند. برای اندازه‌گیری فسفر به ۰/۵ میلی لیتر عصاره حاصل از هضم، ۰/۵ میلی لیتر معرف نیترووانادو مولیبدات و ۲ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد و پس از گذشت یک ساعت و تشکیل کمپلکس زرد رنگ، مقدار جذب محلول‌ها در طول موج ۴۳۰ نانومتر، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. تهیه معرف نیترو وانادو مولیبدات: ابتدا ۲/۲۵ گرم از آمونیوم هپتامولیبدات در ۴۰ میلی لیتر آب گرم حل شد و همزمان ۰/۱۲۵ گرم آمونیوم وانادات نیز در ۳۰ میلی لیتر آب جوش حل گردید. سپس این دو محلول به یکدیگر اضافه شده و پس از خنک شدن ۲۵ میلی لیتر اسید نیتریک به آن اضافه گردید و نهایتاً حجم نهایی این محلول با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد. تهیه استاندارد فسفر: مقدار ۰/۴۴ گرم از دی هیدروژن پتاسیم فسفات (KH_2PO_4) در آب حل شده و با آب مقطر به حجم یک لیتر رسانده شد. بدین ترتیب استاندارد ۱۰۰ میلی گرم فسفر در لیتر به دست آمد. مقادیر ۰، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ میلی لیتر از استاندارد اصلی فسفر (۱۰۰ میلی گرم در لیتر) به بالن ژوژه ۱۰۰ میلی لیتری منتقل، و ۸ میلی لیتر معرف نیترو وانادو مولیبدات به آن اضافه و با آب مقطر به حجم رسانده شد. این سری محلول‌ها حاوی ۰، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ میلی گرم فسفر در لیتر بوده و در ترسیم منحنی کالیبراسیون به کار رفت (Silva et al., 2017).

غلظت پتاسیم

در این روش عصاره گیاه توسط شعله پروپان و هوا در دستگاه فلاپم‌فتومتر به صورت بخار در می‌آید. در اثر حرارت این عناصر به صورت اتم درآمده و برانگیخته می‌شوند. پس از تحریک اتم‌ها تشعشعات نوری ایجاد شده اندازه‌گیری و در نهایت قرائت به دست آمده به صورت غلظت در ماده خشک گیاهی محاسبه می‌شوند. مقدار ۰/۵ میلی لیتر از عصاره هضم با ۴/۵ میلی لیتر آب مقطر رقیق شد و سپس قرائت دستگاه یادداشت شد و توسط منحنی استاندارد غلظت پتاسیم به صورت میلی گرم در لیتر به دست آمد. در صورتی که غلظت نمونه‌های گیاهی هضم شده بیشتر از عدد دستگاه بود عصاره‌ها مجدداً به نسبت ۱ به ۱۰ یا ۲۰ رقیق شدند. تهیه استاندارد پتاسیم: مقدار ۰/۹۵ گرم پتاسیم کلرید در مقدار کمی آب حل شده و در بالن ژوژه

حجم آن با آب مقطر به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. در این حالت غلظت پتاسیم در محلول بدست آمده ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود. با استفاده از این محلول، یک محلول استاندارد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تهیه شده و از آن برای تهیه سری محلول‌های استاندارد استفاده شد. برای تهیه محلول‌های استاندارد مقدار ۰، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ میلی‌لیتر از محلول ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر برداشته شده و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. عدد دستگاه ابتدا با آب مقطر روی صفر تنظیم گردید و در بیشترین غلظت روی حداکثر تنظیم شد. سپس بقیه محلول‌های استاندارد قرائت شده و از ارقام به‌دست آمده برای رسم منحنی کالیبراسیون استفاده گردید (Silva et al., 2017).

آنالیز داده‌ها

این آزمایش به منظور بررسی اثر تیمار آبیاری در سه سطح ۱FC-۰/۸ FC (آبیاری نرمال)، ۰/۶ FC-۰/۸ FC (تنش متوسط) و ۰/۳ FC-۰/۶ FC (تنش شدید) و تیمار پایه در پنج سطح (شاهد، سه پایه هندوانه دیم و بذری: سبزواری، خواجه و آشتیان و یک پایه کدو: شینتوزا) بر پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در هندوانه رقم کریمسون سوئیت اجرا شد. آزمایش به صورت طرح آزمایشی بلوک‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال متوالی (سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) انجام گرفت. تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از سیستم تجزیه و تحلیل آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام شد و مقادیر میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($p \leq 0.01$) ارزیابی شد.

یافته‌های پژوهش

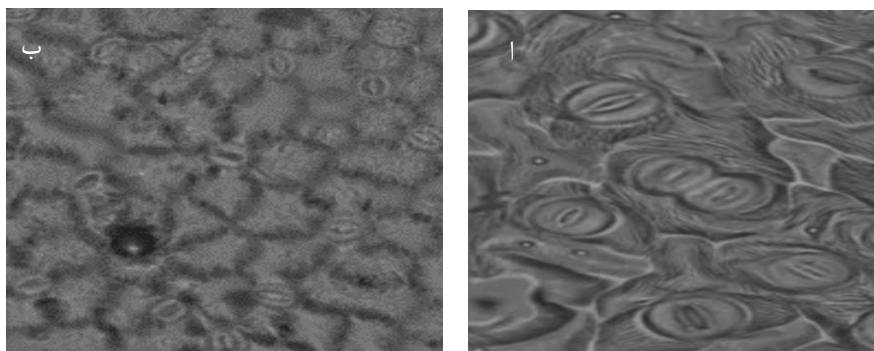
تراکم روزنه‌ای

اثر اصلی تیمار آبیاری، پایه و اثر متقابل آن‌ها بر تراکم روزنه‌ای برگ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش سطوح خشکی تعداد روزنه برگ در گیاهان پیوندی و غیرپیوندی کاهش می‌یابد. بین هندوانه‌های پیوند شده روی پایه‌های دیم و بذری و همچنین تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری از نظر تراکم روزنه‌ای مشاهده نشد، در حالیکه گیاهان پیوند شده روی پایه شینتوزا بطور معنی‌داری تراکم روزنه‌ای بالاتری داشتند (جدول ۲). در این آزمایش تعداد روزنه‌ها در سطوح آبیاری تنش خشکی متوسط و شدید در هندوانه‌های پیوند شده روی پایه‌های شینتوزا و سبزواری بطور معنی‌داری در مقایسه با تیمار آبیاری نرمال کاهش یافته بود. در شکل ۱ تفاوت تراکم روزنه در گیاهان شاهد (آبیاری نرمال) و گیاهان تحت تنش شدید آبی آورده شده است. با توجه به شکل در گیاهان شاهد تراکم روزنه بالا بود در حالی که در گیاهان تحت تنش شدید آبی تراکم روزنه کاهش یافته بود.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر تیمار خشکی و پایه بر صفات تراکم روزنه‌ای برگ هندوانه

تیمار	تراکم روزنه‌ای (میلی متر مربع)
	۲۹.۰ ^{c-e}
شاهد	۲۸.۴ ^{de}
هندوانه/آشتیان	۲۹.۷ ^{b-e}
۱ - ۰/۸ FC	۳۱.۰ ^{b-d}
هندوانه/خواجه	۳۵.۹ ^a
هندوانه/سبزوار	۲۹.۷ ^{b-e}
شاهد	۲۸.۳ ^{de}
هندوانه/آشتیان	۲۸.۶ ^{de}
هندوانه/خواجه	۲۷.۴ ^e
هندوانه/سبزوار	۳۲.۲ ^b
هندوانه/شیتوزا	۲۸.۵ ^{de}
شاهد	۲۹.۸ ^f
هندوانه/آشتیان	۲۷.۰ ^e
۰/۶ - ۰/۳ FC	۲۷.۳ ^e
هندوانه/خواجه	۳۱.۹ ^{bc}
هندوانه/سبزوار	
هندوانه/شیتوزا	

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند (منبع: یافته‌های تحقیق)



شکل ۱. تراکم روزنه‌ها در برگ هندوانه، الف) تراکم روزنه در گیاهان شاهد ب) تراکم روزنه در گیاهان تحت تنش شدید آبی (منبع: یافته‌های تحقیق).

شاخص کلروفیل

تیمار آبیاری اثر معنی‌داری روی شاخص کلروفیل در هندوانه‌های مورد مطالعه داشت. در این آزمایش شاخص کلروفیل تحت تاثیر سطوح آبیاری تنش خشکی متوسط و تنش خشکی شدید نسبت به هندوانه‌های برخوردار از آبیاری نرمال قرار گرفت. بیشترین مقدار این شاخص به میزان ۳۶/۴ در هندوانه‌های پیوند شده روی پایه شیتوزا و کمترین مقادیر آن ۳۴/۱ و ۳۴/۴ نیز به ترتیب در گیاهان غیر پیوندی (شاهد) و هندوانه‌های پیوند شده روی پایه سبزوار مشاهده شد (جدول ۳).

درصد نشت الکترولیت

تنش خشکی تاثیر معنی‌داری بر درصد نشت الکترولیت داشت در صورتی که پایه‌های مختلف و همچنین اثر متقابل آن با تیمار آبیاری تاثیر معنی‌داری روی این صفت نداشت. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که میزان نشت الکترولیت در هر دو سطح تنش افزایش یافت و تفاوت معنی‌داری با گیاهان تحت آبیاری نرمال داشت (جدول ۲).

محتوی نسبی آب برگ

محتوای نسبی آب برگ به طور معنی‌داری تحت تاثیر اثر اصلی تیمار آبیاری و پایه قرار گرفت. با افزایش سطوح تنش خشکی میزان محتوای نسبی آب برگ به صورت خطی دارای روند کاهشی بود و کمترین میزان آن در تیمار تنش شدید مشاهده گردید.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر ساده تیمار آبیاری و پایه بر شاخص کلروفیل، درصد نشت الکترولیت و نسبت محتوای نسبی آب برگ در هندوانه‌های پیوندی و غیر پیوندی

تیمار	شاخص کلروفیل	% نشت الکترولیت	% محتوای نسبی آب برگ
شاهد	۳۴/۱	^b ۵۲/۹	۸۰/۵ ^b
هندوانه/آشتیان	^b ۳۵/۱	^a ۵۴/۷	۸۰/۴ ^b
پایه			
هندوانه/خواجه	^b ۳۵/۵	^b ۵۲/۵	۸۰/۵ ^b
هندوانه/سبزوار	۳۴/۴	^a ۵۳/۵	۸۳/۴ ^a
هندوانه/شیتنوزا	^a ۳۶/۴	^c ۵۰/۵	۸۵/۵ ^a
تیمار آبیاری			
۱ - ۰/۸ FC	۳۷/۱ ^a	۴۱/۴ ^b	۸۷/۱ ^a
۰/۸ - ۰/۶ FC	۳۴/۵ ^b	۵۵/۴ ^a	۸۳/۲ ^b
۰/۶ - ۰/۳ FC	۳۳/۶ ^b	۶۱/۶ ^a	۷۵/۴ ^c

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند (منبع: یافته‌های تحقیق)

مقدار پرولین برگ

مقدار پرولین برگ به طور معنی‌داری تنها تحت تاثیر اثر ساده تیمار آبیاری قرار گرفت. مقدار پرولین بطور کلی در برگ هندوانه‌های مورد مطالعه در پاسخ به تنش خشکی افزایش یافت (جدول ۴)، در این آزمایش تنها تنش شدید توانست تفاوت معنی‌داری در میزان پرولین گیاهان مورد مطالعه ایجاد کند. همچنین هندوانه‌های پیوند شده در مقایسه با شاهد تفاوت معنی‌داری از نظر میزان پرولین برگ نشان ندادند.

کربوهیدرات کل

در این آزمایش تنها تیمار آبیاری تاثیر معنی‌داری روی مقدار کربوهیدرات کل برگ هندوانه‌های مورد مطالعه داشت. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار تنش متوسط خشکی سبب افزایش معنی‌دار مقدار کربوهیدرات کل برگ در هندوانه‌های مورد مطالعه گردید، در حالی که تیمار پایه تاثیر قابل توجهی روی این پارامتر فیزیولوژیکی نداشته است (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر تیمار آبیاری بر صفات فیزیولوژیکی میوه هندوانه

تیمار	پرولین (میلی مولار/گرم وزن تر)	کربوهیدرات (میلی مولار/گرم وزن خشک)
۱ - ۰/۸ FC	۵/۸۴ ^b	۲۴۸ ^b
تیمار آبیاری		
۰/۸ - ۰/۶ FC	۵/۶۴ ^b	۲۹۰ ^a
۰/۶ - ۰/۳ FC	۶/۲۹ ^a	۲۳۴ ^b

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند (منبع: یافته‌های تحقیق)

محتوای ترکیبات فنلی برگ

اثرات ساده تیمار آبیاری، پایه و اثرات متقابل آن‌ها روی مقدار فنل برگ معنی‌دار بود. بطور کلی تنش خشکی سبب کاهش مقادیر فنل برگ شد. در این میان بالاترین سطح فنل در گیاهان پیوند شده روی پایه شینتوزا و در تیمار آبیاری نرمال اندازه‌گیری شد ولی بیشترین میزان کاهش فنل برگ در پاسخ به تیمار تنش شدید مربوط به گیاهان غیرپیوندی بود، درحالیکه هندوانه‌های پیوند شده روی پایه‌های سبزواری، خواجه و آشتیان در پاسخ به تنش خشکی شدید مقدار فنل برگی بیشتری تولید کرده‌اند.

فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی کل و آنزیمی

تیمار آبیاری، پایه و اثرات متقابل آن‌ها تاثیر معنی‌داری بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، و همچنین میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز داشت. مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمار آبیاری و پایه نشان داد که اعمال تنش خشکی موجب افزایش میزان آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز و متعاقب آن سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در گیاهان مورد مطالعه شده است (جدول ۵)، به طوری که بیشترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل و آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در گیاهان در معرض تیمار تنش شدید مشاهده شد. همچنین در بین پایه‌های مورد مطالعه بالاترین میزان آنتی‌اکسیدانی کل در هندوانه‌های پیوند شده روی پایه شینتوزا و سبزواری در تیمار آبیاری نرمال و پایه شینتوزا در تیمارهای تنش متوسط و آبیاری نرمال اندازه‌گیری شد. در مورد آنزیم کاتالاز در تیمار تنش خشکی شدید افزایش چشمگیری نسبت به تیمار آبیاری نرمال و تنش خشکی متوسط مشاهده شد، اما بین ترکیبات پایه‌ای تفاوت معنی‌داری در تیمار تنش خشکی شدید دیده نشد. بیشترین میزان افزایش فعالیت کاتالاز در تیمار تنش خشکی متوسط نسبت به تیمار آبیاری نرمال در هندوانه‌های پیوند شده روی پایه سبزواری و پس از آن گیاهان غیرپیوندی مشاهده شد، در حالی‌که هندوانه‌های پیوند شده روی پایه‌های خواجه و آشتیان افزایش معنی‌داری در فعالیت کاتالاز نشان ندادند. در مورد آنزیم پراکسیداز نیز بیشترین مقادیر آن مربوط بود به هندوانه‌های پیوند شده روی پایه‌های شینوزا و سبزواری در تیمار تنش خشکی شدید و کمترین مقدار در گیاهان پیوند شده روی پایه خواجه در تیمار آبیاری نرمال و همچنین هندوانه‌های غیرپیوندی در تیمار تنش خشکی متوسط اندازه‌گیری شد.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر تیمار آبیاری و پایه بر صفات فیزیولوژیکی میوه هندوانه

تیمار	فنل (میلی‌مولار گالیک اسید/گرم)	ظرفیت آنتی-اکسیدانی (درصد مهارکنندگی)	کاتالاز (میکرومول/دقیقه. میلی گرم پروتئین)	پراکسیداز (میکرومول/دقیقه. میلی گرم پروتئین)
FC ۱-۰/۸	شاهد	g ₅₀ /۲۳	gh _۲ /۶۶	e-g ₆ /۲۳
	هندوانه/آشتیان	fg _{۵۲} /۸۶	h _۲ /۳۰	fg ₆ /۰۷
	هندوانه/خواجه	e-g _{۵۴} /۱۶	gh _۲ /۷۱	g _۵ /۴۳
	هندوانه/سبزواری	e-g _{۵۴} /۵	gh _۲ /۴۵	e-g ₆ /۵۷
FC ۰/۸-۰/۶	هندوانه/شینتوزا	ab _{۶۶} /۲۶	cf _۴ /۳۶	cd _۹ /۰۳
	شاهد	c-e _{۵۸} /۴	d _g ۳/۶۵	fg ₆ /۰۵
	هندوانه/آشتیان	c-e _{۵۸} /۱۱	f-h _۳ /۱۱	d-g _۷ /۲۸
	هندوانه/خواجه	cd ₆₀ /۰۸	e-h _۳ /۵۹	d-g _۷ /۳
FC ۰/۶-۰/۳	هندوانه/سبزواری	bc _{۶۲} /۶۵	a-d _۴ /۷۵	cd _۸ /۶۸
	هندوانه/شینتوزا	ab _{۶۵} /۵۱	b-e _۴ /۳۶	c-d _۹ /۱
	شاهد	d-f _{۵۶} /۸۳	a-d _۴ /۸۵	c-e _۸ /۱۸
	هندوانه/آشتیان	c-e _{۵۷} /۶۸	a-d _۴ /۸۶	d-f _۷ /۶۷
FC ۰/۶-۰/۳	هندوانه/خواجه	cd _{۶۱} /۰۱	a-c _۴ /۹۲	bc _{۱0} /۱
	هندوانه/سبزواری	ab _{۶۶} /۲۸	ab _۵ /۶۸	ab _{۱۱} /۴۱
	هندوانه/شینتوزا	a _{۶۹} /۱۸	a _۵ /۸۴	a _{۱۲} /۹
	شاهد	f _۳		

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند (منبع: یافته‌های تحقیق)

جذب عناصر معدنی

پتاسیم

اثر ساده تیمار آبیاری بر پتاسیم برگ معنی‌دار بود. سطح پتاسیم در گیاهان با آبیاری نرمال بالاتر از گیاهان تحت تنش بود (جدول ۶) و بین ترکیبات مختلف پیوندی تفاوت معنی‌داری از لحاظ میزان پتاسیم برگ مشاهده نشد.

فسفر

اثرات ساده تیمار آبیاری و پایه بر فسفر برگ معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۶) نشان می‌دهد که هندوانه‌های تحت تیمار آبیاری نرمال بالاترین میزان فسفر برگ را در مقایسه با گیاهان تحت تنش داشتند. همچنین، گیاهان پیوند شده روی پایه شینتوزا بالاترین و هندوانه‌های غیرپیوندی پایین‌ترین سطح فسفر برگ را دارا بودند.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر تیمار آبیاری و پایه بر پتاسیم و فسفر برگ گیاهان پیوندی و غیرپیوندی هندوانه

میانگین مربعات			
پتاسیم (میلی گرم/گرم وزن خشک)	فسفر (میلی گرم/گرم وزن خشک)		
۱۲۰ ^a	۳۶/۱ ^c	شاهد	
۱۲۷ ^a	۳۶/۵ ^{bc}	هندوانه/آشتیان	
۱۱۸ ^a	۳۶/۳ ^{bc}	هندوانه/خواجه	پایه
۱۲۰ ^a	۳۶/۷ ^b	هندوانه/سبزوار	
۱۲۵ ^a	۳۷/۱ ^a	هندوانه/شینتوزا	
۱۳۷ ^a	۳۷/۱ ^a	۱ - ۰/۸ FC	
۱۱۴ ^b	۳۶/۴ ^b	۰/۸ - ۰/۶ FC	تیمار آبیاری
۱۱۵ ^b	۳۶/۱ ^b	۰/۶ - ۰/۳ FC	

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند (منبع: یافته‌های تحقیق)

بحث

تنش‌های محیطی همچون خشکی صفات برگ از جمله تراکم روزنه‌ای را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Zhu & Guo, 2009). هدایت روزنه‌ای تابعی از تراکم روزنه، قطر روزنه و اندازه روزنه است و تعداد روزنه بیشتر باعث افزایش هدایت روزنه‌ای و افزایش عملکرد می‌شود. تنش موجب بسته شدن سلول‌های روزنه و کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن در بافت برگ می‌شود، در نتیجه با تجمع NADPH در کلروپلاست و کاهش دسترسی واکنش‌های نوری به NADP⁺ موجب ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاه می‌شود (Rouphael et al., 2012). در پژوهش حاضر نیز با افزایش تنش کم آبی تعداد روزنه‌ها کاهش یافت. شاخص کلروفیل یکی دیگر از صفاتی بود که تحت تنش آبی قرار گرفت، بیشترین مقدار شاخص کلروفیل به میزان ۳۶/۴ در هندوانه‌های پیوند شده روی پایه شینتوزا و کمترین مقادیر آن ۳۴/۱ و ۳۴/۴ نیز به ترتیب در گیاهان غیر پیوندی و هندوانه‌های پیوند شده روی پایه سبزوار مشاهده شد. شاخص کلروفیل اصطلاحی کلی است که با توجه به رنگ برگ می‌تواند غلظت کلروفیل را مورد ارزیابی قرار دهد (Rolando et al., 2015). حفظ شاخص کلروفیل در گیاهان تحت تنش خشکی به عنوان صفتی مطلوب مورد توجه است (Anjum et al., 2011). هرچند در گزارشی تفاوت معنی‌داری از نظر این شاخص بین هندوانه‌های تحت سه رژیم مختلف آبیاری بر اساس تبخیر و تعرق مشاهده نشد (Leskovar et al., 2016). پژوهش‌ها نشان داده است که ارتباط مستقیمی بین محتوی نسبی آب برگ با هدایت روزنه، فتوسنتز و تعریق وجود دارد که این عامل باعث می‌شود گیاهانی که توانایی حفظ محتوی آب خود را دارند عملکرد بهتری نشان دهند. در مقابل گیاهان حساس به تنش کم آبی، توانایی جلوگیری از کاهش تعرق را نداشته که این امر با اثر بر برخی عملکردهای آوند آبکشی و چوبی آنها را در معرض کاهش فشار تورژسانس

و در نهایت پژمردگی قرار می‌دهد (Zhu & Guo, 2009). در پژوهش ما با افزایش تنش کم آبی محتوی آب برگ نیز به صورت خطی کاهش یافت. نتایج مشابهی در هندوانه (Rouphael *et al.*, 2008) و خربزه (Barzegar *et al.*, 2017) تحت تنش خشکی به دست آمده است. هر چند (Rouphael *et al.*, 2008) از نظر محتوای رطوبت نسبی برگ بین هندوانه‌های پیوندی و غیر پیوندی تفاوتی مشاهده نکردند، اما در مطالعه حاضر بیشترین مقدار این شاخص مربوط به گیاهان پیوند شده روی پایه شینتوزا و سبزوار بوده و کمترین میزان آن در گیاهان شاهد و پیوند شده روی پایه آشتیان اندازه‌گیری گردید. محتوای نسبی آب به عنوان شاخص مهمی از وضعیت آب گیاه مورد توجه است. این شاخص در تحمل به خشکی گیاهان نقشی راهبردی را توسط القای تنظیم اسمزی از طریق تجمع اسمولیت‌ها بازی می‌کند (Barnabás *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2012) و کاهش آن در گیاهان تحت تنش خشکی ممکن است به ضعف قدرت رشدی گیاه مربوط باشد (Liu *et al.*, 2002). در پژوهش ما در سال دوم سطح محتوای نسبی آب برگ در تیمار آبیاری نرمال نسبت به سال اول بالاتر بود، که ممکن است اثر عوامل اقلیمی متفاوت و یا مدیریت بهتر گلخانه در سال دوم نسبت به سال اول حادث شده باشد.

تنظیم اسمزی فرآیندی است برای حفظ روابط آبی در حالت پایدار در شرایط تنش کم‌آبی. این فرآیند از طریق تجمع طیف وسیعی از مولکول‌های فعال اسمزی و یون‌ها از جمله قندهای محلول، پرولین و سیتروپولین انجام می‌پذیرد. پرولین که به صورت گسترده‌ای در گیاهان عالی وجود دارد، در مقایسه با سایر اسیدهای آمینه مانند گلوتامین و آسپاراژین به مقدار بیشتری در گیاهان تحت تنش تجمع می‌یابد. در مطالعات زیادی ارتباط مثبت بین تجمع پرولین و تحمل به تنش در گیاهان پیدا شده است (Lutts *et al.*, 1995; Huang *et al.*, 2009). در پژوهش ما در تنش کم آبی شدید تجمع پرولین در گیاه افزایش یافت، مقدار بالای پرولین در گیاهان پیوندی ممکن است یکی از دلایل تحمل به خشکی این گیاهان در مقایسه با گیاهان غیر پیوندی باشد. (Zhang *et al.*, 2010)، با پیوند خیار بر روی پایه کدوی برگ انجیری در تنش سمیت مس نشان دادند که پیوند باعث افزایش مقدار پرولین و پروتئین محلول در برگ‌های خیار می‌شود و پیشنهاد کردند که گیاهان پیوندی توانایی بالایی در حذف ROSها دارند. (Dasgan *et al.*, 2009) گزارش دادند که سیتروپولین در مقابله با تنش شوری نقش موثرتری را در مقایسه با پرولین داشته است. از آنجا که نتایج مطالعه حاضر نیز نشان داد که پرولین نقش چندانی موثری در مقابله با تنش خشکی در هندوانه‌های مورد مطالعه نداشته است، لذا به نظر می‌رسد که این نقش را مولکول‌های مهمتری از جمله سیتروپولین ایفاء نموده باشند.

در پژوهش حاضر گیاهان غیر پیوندی دارای بیشترین مواد قندی بودند، بروز مقادیر بالای کربوهیدرات برگی در گیاهان غیر پیوندی در تیمارهای تنش رطوبتی احتمالاً ناشی از تسهیم مواد پرورده است که تحت شرایط تنش، گیاه به منظور حفظ بقا سهم بزرگتری از مواد پرورده را به برگ‌ها سوق داده است، این در حالی است که این گیاهان در تولید عملکرد محصول تحت تنش رطوبتی موفق عمل نکردند.

بررسی اثرات پنج تیمار مختلف آبیاری روی هندوانه نشان داد که بیشترین میزان قند کل در تیمار اعمال تنش آبی به میزان ۵۰ درصد تبخیر تعرق از زمان شروع گلدهی تا انتهای فصل رشد تولید شد (Kuscu *et al.*, 2015). در مطالعه دیگری که بر روی لوبیا تحت تنش خشکی انجام گرفت بالاترین میزان کربوهیدرات کل محلول، در تیمار آبیاری ۳۰ درصد ظرفیت زراعی بدست آمد، همچنین مقدار آن در تنش خشکی نه روزه به طور معنی‌داری بالاتر از تنش سه روزه اندازه‌گیری شد (Borojordania *et al.*, 2016). در گیاه فرانکنیا نیز بیشترین میزان کربوهیدرات کل محلول برگ در تنش خشکی شدید مشاهده شد (Chegah *et al.*, 2013). اما گزارشاتی در گیاهان مختلف تحت سطوح متفاوت از تنش خشکی نیز وجود دارد مبنی بر اینکه بیشترین مقدار کربوهیدرات کل در سطح متوسط تنش خشکی تولید شده و تنش شدید سبب کاهش میزان آن گردیده است (Medeiros *et al.*, 2012; Samieiani *et al.*, 2014). فنل کل یکی دیگر از مواردی است که نقش مهمی در تنظیم فرایند متابولیک و رشد گیاه بازی می‌کند. علاوه بر این، فنل‌ها با آزاد کردن اتم هیدروژن گروه OH- به عنوان جاروب کننده رادیکال آزاد و همچنین پیش ماده بسیاری از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان هستند و افزایش مقدار ترکیبات فنلی ممکن

است به دلیل افزایش در بیوسنتز آنها باشد (Weidner *et al.*, 2009). کار مواد فنلی همانند آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت متوقف کردن آنزیم‌های درگیر در تولید رادیکال‌ها است و فعالیت بالاتر فنل در پایه‌های کدو ممکن است به دلیل توانایی بالای اهدا هیدروژن آن و تثبیت مقدار بیشتری از رادیکال‌ها باشد. تنش موجب بسته شدن سلول‌های روزنه و کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن در بافت برگ می‌شود، در نتیجه با تجمع NADPH در کلروپلاست و کاهش دسترسی واکنش‌های نوری به NADP⁺ موجب ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاه می‌شود

حفظ شاخص کلروفیل در گیاهان تحت تنش خشکی به‌عنوان صفتی مطلوب مورد توجه است. در بسیاری از محصولات، ثبات غشای سلولی به طور گسترده‌ای به عنوان معیاری برای تمایز ارقام متحمل و حساس به تنش استفاده می‌شود و در برخی موارد ثبات غشاء بالاتر می‌تواند با تحمل به تنش غیر زنده ارتباط داشته باشد. پژوهش‌ها نشان داده است که ارتباط مستقیمی بین محتوی نسبی آب برگ با هدایت روزنه، فتوسنتز و تعریق وجود دارد که این عامل باعث می‌شود گیاهانی که توانایی حفظ محتوی آب خود را دارند عملکرد بهتری نشان دهند. در مقابل گیاهان حساس به تنش کم آبی، توانایی جلوگیری از کاهش تعرق را نداشته که این امر با اثر بر برخی عملکردهای آوند آبکشی و چوبی، آنها را در معرض کاهش فشار تورژسانس و در نهایت پژمردگی قرار می‌دهد.

کار مواد فنلی همانند آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت متوقف کردن آنزیم‌های درگیر در تولید رادیکال‌های آزاد است و فعالیت بالاتر فنل در پایه‌های کدو ممکن است به دلیل توانایی بالای اهدا هیدروژن آن و تثبیت مقدار بیشتری از رادیکال‌ها باشد (Petridis *et al.*, 2012). مطابق نتایج پژوهش حاضر، در گزارشی ترکیبات فنلی برگ در هندوانه‌های پیوند شده روی پایه‌های کدو به شکل معنی‌داری بیش از هندوانه‌های غیر پیوندی بوده است (Yasemin *et al.*, 2010). هر چند Alan *et al.* (2017) تفاوت معنی‌داری از نظر میزان فنل برگ بین ترکیبات مختلف پیوندی هندوانه مشاهده نکردند.

جاروب کردن و سم‌زدایی ترکیبات گونه‌های فعال اکسیژن که توسط آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی و آنزیمی انجام می‌پذیرد سبب محافظت از سلول‌های گیاهی در مواجهه با تنش‌های اکسیداتیو می‌شود (Mollavali *et al.*, 2016). در واقع در شرایط تنش رادیکال‌های آزاد عامل اصلی بروز پراکسیداسیون غشای سلولی هستند، پراکسید شدن غشا نتیجه احتمالی پاسخ سریع به تنش است. یکی از محصولات پراکسید شدن غشا سلولی مالون‌دی‌آلدید است. سطح مالون دی‌آلدید می‌تواند درجه آسیب اکسیداتیو به غشا زیستی را تا اندازه‌ای نشان دهد. بدین منظور سلول‌ها از طریق ساز و کار آنزیمی و غیر آنزیمی رادیکال‌ها را حذف کرده و یا اثرات مخرب آنها را کاهش می‌دهند. مهمترین آنزیم‌های دخیل در این فرایند شامل کاتالاز پراکسیداز آسکوربات پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز هستند (Sinha & Saxena, 2006). کاتالاز به همراه آسکوربات-پراکسیداز جاروب کننده مهم و در نتیجه تنظیم کننده سطح پراکسید هیدروژن در سلول می‌باشد (Dixit *et al.*, 2001). گزارش شده است که با توجه به بیشتر بودن میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در پایه‌های کدو می‌توان نتیجه گرفت که پایه‌های کدو نقش مهمی در کاهش آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش شوری و به خصوص افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ایفا می‌کنند. کاتالاز و پراکسیداز آنزیم‌های مهمی در حذف پراکسید هیدروژن و کاتالیز آن به آب و اکسیژن در میتوکندری هستند (Farooq *et al.*, 2009). در تنش سمیت مس فعالیت کاتالاز و پراکسیداز در خیارهای پیوندی روی پایه کدو به طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان غیر پیوندی بود (Zhang *et al.*, 2010). افزایش مقدار کاتالاز و پراکسیداز در اثر تنش خشکی در گیاهان گوجه فرنگی (Daneshmand *et al.*, 2014) و همچنین تنش شوری، در گیاهان هندوانه پیوند شده روی پایه‌های کدو (Yanyan *et al.*, 2018)، خیار پیوندی (Tarchoun *et al.*, 2022) و گوجه‌فرنگی (He *et al.*, 2009) گزارش شده است.

پتاسیم یک عنصر سیئوپلاسمی ضروری است و به علت نقش آن در تنظیم اسمزی و نیز اثر رقابتی آن با سدیم غالباً به عنوان یک عنصر مهم در جهت افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی از جمله شرایط تنش آبی و شوری و همچنین آفات و

بیماری‌ها در نظر گرفته می‌شود. این عنصر حدود ۶۰ نوع آنزیم را در گیاه فعال می‌کند، همچنین با توجه به اینکه پتاسیم نقش مهمی در باز و بسته شدن روزنه‌ها دارد، لذا تعادل آبی گیاه را کنترل می‌نماید (Tabatabaei, 2013). گزارشات ضد و نقیضی در مورد اثر پایه‌های مختلف کدو بر سطح پتاسیم برگ هندوانه وجود دارد. (Rouphael et al., 2012). گزارش کردند که با پیوند هندوانه روی کدوی PS1313 تحت تنش خشکی، غلظت پتاسیم برگ بصورت خطی کاهش یافت، همچنین هندوانه‌های پیوند شده روی پایه کدو به صورت معنی‌داری پتاسیم بالاتری نسبت به گیاهان غیر پیوندی داشتند. در مطالعه دیگری سطح پتاسیم در هندوانه‌های پیوند شده روی پایه شینتوزا نسبت به هندوانه‌های غیر پیوندی کریمسون سوئیت تفاوت معنی‌داری نشان نداد (Bigdelo et al., 2017). در مقابل Huang et al. (2013) پس از پیوند هندوانه بر روی پایه *Cucurbita moschata* Duch. گزارش کردند که در تنش کمبود پتاسیم مقدار کاهش پتاسیم در ساقه و ریشه گیاهان غیر پیوندی ۳۷ درصد و در گیاهان پیوندی ۱۰ درصد کاهش نشان داد. فسفر نیز یکی از اجزاء مهم آنزیم‌ها، پروتئین‌ها، ATP، RNA و DNA است، ATP در واکنش‌های انتقال انرژی نقش داشته و RNA و DNA از اجزاء اطلاعات ژنتیکی هستند. فسفر همچنین در سنتز نشاسته و انتقال کربوهیدرات‌ها نقش مهمی دارد. روند نزولی کاهش میزان فسفر برگ در هندوانه در اثر تیمار تنش خشکی گزارش شده است، اما تفاوت معنی‌داری از لحاظ فسفر برگ بین گیاهان پیوندی و غیر پیوندی مشاهده نشده است (Rouphael et al., 2010). در حالی که، Bigdelo et al. (2017) گزارش کردند که غلظت فسفر در هندوانه‌های پیوند شده روی پایه شینتوزا به صورت معنی‌دار بیش از گیاهان غیر پیوندی بوده است.

نتیجه‌گیری

صفات عملکرد و رشد رویشی بطور معنی‌داری تحت تاثیر تیمارهای آبیاری و پیوند قرار گرفتند. در تیمار آبیاری نرمال بالاترین عملکرد و رشد رویشی را هندوانه‌های پیوند شده روی پایه شینتوزا و پس از آن هندوانه‌های غیر پیوندی داشتند. در تیمار تنش خشکی شدید ضعیف‌ترین عملکرد مربوط به گیاهان غیر پیوندی و گیاهان پیوند شده روی پایه آشتیان بود، در حالیکه بالاترین عملکرد را هندوانه‌های پیوندی روی پایه‌های شینتوزا و سبزواری کسب کردند. بطور کلی بیشتر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بصورت معنی‌دار تحت تاثیر تیمار آبیاری، پیوند و یا برهمکنش بین آن‌ها قرار گرفتند. در این آزمایش هندوانه‌های پیوند شده روی پایه‌های شینتوزا و سبزواری و خواجه بالاترین شاخص کلروفیل، و محتوای نسبی آب را داشتند و بیشترین تراکم روزنه‌ای نیز در تیمار شینتوزا مشاهده شد. هرچند هندوانه‌های پیوندی روی پایه شینتوزا از نظر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی نتایج برجسته‌تری نسبت به سایر ترکیبات پیوندی و غیر پیوندی از خود بروز دادند. پیشنهاد می‌گردد که این تحقیق روی سایر ارقام تجاری هندوانه با استفاده از پایه‌های دیگر تجاری کدویان و نیز سایر توده‌های هندوانه دیم و بذری ایرانی انجام شود، همچنین توده سبزواری در ارتباط با سایر صفات بیوشیمیایی و مولکولی مرتبط با مقاومت به خشکی از جمله سطوح سیتروپلین و پروتئین‌های مرتبط با تنش مورد ارزیابی قرار گیرد.

منابع

- فاطمه، دانشمند، ۱۳۹۳. پاسخ سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان گیاه گوجه فرنگی به تنش کم آبی و برهم‌کنش آن با آسکوربیک اسید. زیست‌شناسی گیاهی ایران، ۷۲، ۱۹-۷۵.
- اسماعیل، مددخواه. ۱۳۹۶. ارزیابی صفات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد خیار گلخانه‌ای پیوند شده روی پایه‌های کدو تحت تنش شوری ناشی از NaCl در شرایط هیدروپونیک. رساله دکتری. دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.
- سید جلال، طباطبایی. (۱۳۹۲). اصول تغذیه معدنی گیاهان. تبریز: انتشارات دانشگاه تبریز، ۵۶۲ ص.
- مریم، بروجردنیا؛ محمدرضا، بی‌همتا، خلیل، عالمی‌سعید، خلیل و وحید، عبدوسی، (۲۰۱۶). اثر تنش خشکی بر میزان پروپیلین، کربوهیدرات‌های محلول، نشأت الکترولیت‌ها و محتوای آب نسبی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.). مجله علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۸(۲۹)، ۲۳-۴۱.

- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. In *Methods in enzymology* (Vol. 105, pp. 121-126). Academic press.
- Alan, O., Sen, F., & Duzyaman, E. (2017). The effectiveness of growth cycles on improving fruit quality for grafted watermelon combinations. *Food Science and Technology*, 38, 270-277.
- Andrews, P. K., & Marquez, C. S. (2010). Graft incompatibility. *Horticultural reviews*, 15, 183-231.
- Anjum, S. A., Xie, X., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(9), 2026-2032.
- Barnabás, B., Jäger, K., & Fehér, A. (2008). The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, cell & environment*, 31(1), 11-38.
- Barzegar, T., Lotfi, H., Rabiei, V., Ghahremani, Z., & Nikbakht, J. (2017). Effect of water-deficit stress on fruit yield, antioxidant activity, and some physiological traits of four Iranian melon genotypes. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 48, 13-25.
- Bates, L. S., Waldren, R. A., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
- Bigdelo, M., Hassandokht, M. R., Roupael, Y., Colla, G., Soltani, F., & Salehi, R. (2017). Evaluation of bitter apple (*Citrullus colocynthis* (L.) Schrad) as potential rootstock for watermelon. *Australian Journal of Crop Science*, 11(6), 727-732. (In Persian)
- Borojordania, M., Khalil Alami, S., Bi Hamta, M.R., & Abdoussi, V. (2016). The effect of drought stress on the amount of proline, soluble carbohydrates, leakage of electrolytes and relative water content of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Crop Physiology Journal Azad University, Ahvaz Branch*. 29(8), 23-40. (In Persian)
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2), 248-254.
- Carroll, D. (1958). Role of clay minerals in the transportation of iron. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 14(1-2), 1-28.
- Chance, B., & Maehly, A. E. (1955). *Methods in Enzymol. by SP Colowick and NO Kaplan, Academic Press, Inc., New York*, 4, 273.
- Chaves, M. M., Santos, T. P., Souza, C. D., Ortuño, M. F., Rodrigues, M. L., Lopes, C. M., ... & Pereira, J. S. (2007). Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. *Annals of applied biology*, 150(2), 237-252.
- Chegah, S., Chehrazi, M., & Albaji, M. (2013). Effects of drought stress on growth and development frankenia plant (*Frankenia Leavis*). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19(4), 659-666.
- Crino, P., Bianco, C. L., Roupael, Y., Colla, G., Saccardo, F., & Paratore, A. (2007). Evaluation of rootstock resistance to fusarium wilt and gummy stem blight and effect on yield and quality of a grafted 'Inodorus' melon. *HortScience*, 42(3), 521-525.
- Dasgan, H. Y., Kusvuran, S., Abak, K., Leport, L., Larher, F., & Bouchereau, A. (2009). The relationship between citrulline accumulation and salt tolerance during the vegetative growth of melon (*Cucumis melo* L.). *Plant Soil Environ*, 55(2), 51-57.
- Dixit, V., Pandey, V., & Shyam, R. (2001). Differential antioxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (*Pisum sativum* L. cv. Azad). *Journal of Experimental Botany*, 52(358), 1101-1109.
- Fao (2018) Food and agricultural organization of the united nations. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. (Accessed 10 May 2018).
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N. S. M. A., Fujita, D. B. S. M. A., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Sustainable agriculture*, 153-188.
- He, Y., Zhu, Z., Yang, J., Ni, X., & Zhu, B. (2009). Grafting increases the salt tolerance of tomato by improvement of photosynthesis and enhancement of antioxidant enzymes activity. *Environmental and Experimental Botany*, 66(2), 270-278.
- Huang, Y., Li, J., Hua, B., Liu, Z., Fan, M., & Bie, Z. (2013). Grafting onto different rootstocks as a

- means to improve watermelon tolerance to low potassium stress. *Scientia Horticulturae*, 149, 80-85.
- Huang, Y., Tang, R., Cao, Q., Bie, Z. (2009) Improving the fruit yield and quality of cucumber by grafting onto the salt tolerant rootstock under NaCl stress. *Scientia Horticulturae*. 122: 26–31.
- Kuscu, H., Turhan, A. H. M. E. T., Özmen, N., Aydinol, P., Büyükcangaz, H., & Demir, A. O. (2015). Deficit irrigation effects on watermelon (*Citrullus vulgaris*) in a sub humid environment. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 25(6).
- Kusumi, K., Hirotsuka, S., Kumamaru, T., & Iba, K. (2012). Increased leaf photosynthesis caused by elevated stomatal conductance in a rice mutant deficient in SLAC1, a guard cell anion channel protein. *Journal of Experimental Botany*, 63(15), 5635-5644.
- Lee, J. M., & Oda, M. (2002). Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *Horticultural Reviews-Westport Then New York-*, 28, 61-124.
- Leskovar, D., Othman, Y., & Dong, X. (2016). Strip tillage improves soil biological activity, fruit yield and sugar content of triploid watermelon. *Soil and Tillage Research*, 163, 266-273.
- Lin, J. Y., & Tang, C. Y. (2007). Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. *Food Chemistry*, 101(1), 140-147.
- Liu, Y., Fiskum, G., & Schubert, D. (2002). Generation of reactive oxygen species by the mitochondrial electron transport chain. *Journal of Neurochemistry*, 80(5), 780-787.
- Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmont, J. (1995). Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. *Journal of Experimental Botany*, 46(12), 1843-1852.
- Medeiros, D. B., Silva, E. C. D., Santos, H. R. B., Pacheco, C. M., Musser, R. D. S., & Nogueira, R. J. M. C. (2012). Physiological and biochemical responses to drought stress in Barbados cherry. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 24, 181-192.
- Mollavali, M., Bolandnazar, S. A., Schwarz, D., Rohn, S., Riehle, P., & Zaare Nahandi, F. (2016). Flavonol glucoside and antioxidant enzyme biosynthesis affected by mycorrhizal fungi in various cultivars of onion (*Allium cepa* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(1), 71-77.
- Nilsen, E. T., & Orcutte, D. M. (1996). Phytohormones and plant responses to stress. *Physiology of Plant under Stress: Abiotic Factors*, John Wiley and Sons, New York, 183-198.
- Petridis, A., Therios, I., Samouris, G., & Tananaki, C. (2012). Salinity-induced changes in phenolic compounds in leaves and roots of four olive cultivars (*Olea europaea* L.) and their relationship to antioxidant activity. *Environmental and Experimental Botany*, 79, 37-43.
- Rolando, J. L., Ramírez, D. A., Yactayo, W., Monneveux, P., & Quiroz, R. (2015). Leaf greenness as a drought tolerance related trait in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 110, 27-35.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Colla, G., & Rea, E. (2008). Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. *HortScience*, 43(3), 730-736.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Rea, E., & Colla, G. (2012). Improving melon and cucumber photosynthetic activity, mineral composition, and growth performance under salinity stress by grafting onto Cucurbita hybrid rootstocks. *Photosynthetica*, 50, 180-188.
- Rouphael, Y., Schwarz, D., Krumbein, A., & Colla, G. (2010). Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. *Scientia horticulturae*, 127(2), 172-179.
- Samieiani, E., & Ansari, H. (2014). Drought stress impact on some biochemical and physiological traits of 4 groundcovers (*Lolium perenne*, *Potentilla* spp., *Trifolium repens* and *Frankinia* spp.) with potential landscape usage. *Journal of Ornamental plants*, 4(1), 53-60.
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., ... & Battaglia, M. L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2), 259.
- Silva, T. R. D., Cazetta, J. O., Carlin, S. D., & Telles, B. R. (2017). Drought-induced alterations in

- the uptake of nitrogen, phosphorus and potassium, and the relation with drought tolerance in sugar cane. *Ciência e Agrotecnologia*, 41, 117-127.
- Sinha, S., & Saxena, R. (2006). Effect of iron on lipid peroxidation, and enzymatic and non-enzymatic antioxidants and bacoside-A content in medicinal plant *Bacopa monnieri* L. *Chemosphere*, 62(8), 1340-1350.
- Smart, R. E., & Bingham, G. E. (1974). Rapid estimates of relative water content. *Plant physiology*, 53(2), 258-260.
- Sorokina, M., McCaffrey, K. S., Deaton, E. E., Ma, G., Ordoñas, J. M., Perkins-Veazie, P. M., ... & Parnell, L. D. (2021). A catalog of natural products occurring in watermelon - *Citrullus lanatus*. *Frontiers in Nutrition*, 8, 729822.
- Tarchoun, N., Saadaoui, W., Mezghani, N., Pavli, O. I., Falleh, H., & Petropoulos, S. A. (2022). The effects of salt stress on germination, seedling growth and biochemical responses of Tunisian squash (*Cucurbita maxima* Duchesne) germplasm. *Plants*, 11(6), 800.
- Weidner, S., Karolak, M., Karamac, M., Kosinska, A., & Amarowicz, R. (2009). Phenolic compounds and properties of antioxidants in grapevine roots [*Vitis vinifera* L.] under drought stress followed by recovery. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 78(2), 97-103.
- Yanyan, Y. A. N., Shuoshuo, W. A. N. G., Min, W. E. I., Biao, G. O. N. G., & Qinghua, S. H. I. (2018). Effect of different rootstocks on the salt stress tolerance in watermelon seedlings. *Horticultural plant Journal*, 4(6), 239-249.
- Yasemin, E., Ouml; zlem, A., & Nilay, O. Z. (2010). Leaf phenolic content of some squash rootstocks used on watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum and Nakai) growing and phenolic accumulation on grafted cultivar. *African Journal of Agricultural Research*, 5(8), 732-737.
- Zarehaghi, D., Neyshabouri, M. R., Gorji, M., Hassanpour, R., & Bandehagh, A. (2017). Growth and development of pistachio seedling root at different levels of soil moisture and compaction in greenhouse conditions. *Soil and Water Research*, 12(1), 60-66.
- Zhang, L., Gao, M., Hu, J., Zhang, X., Wang, K., & Ashraf, M. (2012). Modulation role of abscisic acid (ABA) on growth, water relations and glycinebetaine metabolism in two maize (*Zea mays* L.) cultivars under drought stress. *International journal of molecular sciences*, 13(3), 3189-3202.
- Zhang, Z. K., Hua, L. I., Yu, Z. H. A. G., Huang, Z. J., Kun, C. H. E. N., & Liu, S. Q. (2010). Grafting enhances copper tolerance of cucumber through regulating nutrient uptake and antioxidative system. *Agricultural Sciences in China*, 9(12), 1758-1770.
- Zhu, Z. S., & Guo ShiRong, G. S. (2009). Activities of antioxidant enzymes and photosynthetic characteristics in grafted watermelon seedlings under NaCl stress.