Journal of Abiotic Stress in Horticultural Crops
https://jabssh.znu.ac.ir

Research Article
Vol. 1, No. 1, Autumn and Winter 2026, p. 11-25

Physiological response of two Iranian melon accessions to deficit irrigation stress at different growth stages

Farzad Taghadosinia [1], Zahra Ghahremani [*2], Taher Barzegar [3], Jafar Nikbakht [4], Mitra Aelaei [5]

1 - Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
2 - Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
3 - Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
4 - Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
5 - Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
(*- Corresponding author's Email: z.ghahremani@znu.ac.ir)

Received: 02 January 2024
Received in revised form: 08 May 2024
Accepted: 08 May 2024

How to cite this article:
Taghadosinia, F., Ghahremani, Z., Barzegar, T., Nikbakht, J. and Aelaei, M. (2026). Physiological response of two Iranian melon accessions to deficit irrigation stress at different growth stages. *Journal of Abiotic Stress in Horticultural Crops*, *1*(1), 11-25. (In Persian with English abstract). https://doi.org/ 10.30470/ashc.2026.742844

Introduction

Water deficit is an important constraint to melon production, particularly in regions where irrigation water is limited. The effects of water shortage may vary with both genotype and developmental stage, and reproductive stages can be especially sensitive because water availability directly affects flowering and fruit set. Identifying melon accessions that can maintain physiological function and reproductive development under limited water may therefore contribute to more efficient irrigation management and drought-tolerance breeding. This study evaluated the physiological, biochemical, and reproductive responses of two Iranian melon accessions to deficit irrigation imposed at flowering and fruit development stages.

Materials and Methods

The experiment was conducted at the Research Farm of the Faculty of Agriculture, University of Zanjan, using a split-plot arrangement based on a randomized complete block design with three replications. Two Iranian melon accessions, Khatooni and Ivan-e-Key, were evaluated under three irrigation levels corresponding to 100, 80, and 60% of crop evapotranspiration (ETc). Deficit irrigation was imposed at flowering and 20 days after flowering, representing the fruit development stage. Stomatal conductance, leaf relative water content (RWC), total chlorophyll content, proline concentration, and antioxidant enzyme activity were measured. Male and female flower numbers and fruit number per plant were also recorded.

Results and Discussion

Deficit irrigation affected both physiological and reproductive traits, with the strongest effects occurring under 60% ETc. Stomatal conductance, RWC, and total chlorophyll content decreased as water availability declined, indicating deterioration of plant water status and physiological performance under severe water limitation. The reduction was particularly pronounced when stress was imposed at flowering, which appeared to be the more sensitive developmental stage. The 60% ETc treatment at flowering produced the lowest values for several physiological and reproductive traits, including stomatal conductance, RWC, chlorophyll content, male and female flower numbers, and fruit number per plant. In contrast, proline concentration and antioxidant enzyme activity increased under deficit irrigation. These changes suggest that the plants activated biochemical responses as water availability decreased. However, these responses should be interpreted as indicators of stress adjustment rather than, by themselves, direct measures of tolerance. The overall response differed between the two accessions, and Ivan-e-Key showed greater resistance to water deficit across the measured traits. The

Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).
https://doi.org/ 10.30470/ashc.2026.742844

reproductive response was particularly important. Water deficit during flowering reduced male and female flower production and subsequently decreased fruit number per plant. Stress imposed 20 days after flowering also reduced fruit number, but the reduction was less pronounced than that observed when stress occurred during flowering. This indicates that maintaining adequate water availability during flowering is especially important for reproductive development. Across irrigation levels, Ivan-e-Key maintained a higher fruit number than Khatooni. Under full irrigation, Ivan-e-Key produced 3.99 fruits per plant, compared with 3.61 fruits per plant in Khatooni; fruit number declined with increasing water deficit in both accessions.

Conclusions

The response of melon to deficit irrigation depended on both the severity and timing of water limitation. Flowering was the most sensitive stage, and 60% ETc at this stage caused the greatest reductions in physiological and reproductive traits. The increase in proline and antioxidant enzyme activity indicates the activation of biochemical responses to water deficit, while the maintenance of physiological and reproductive performance provides a more meaningful basis for comparing tolerance. Overall, Ivan-e-Key showed better performance and greater resistance to water deficit than Khatooni, suggesting that it may be a useful genetic resource for further studies on drought tolerance and water-saving irrigation strategies in melon.

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the Faculty of Agriculture, University of Zanjan, for providing the facilities and technical support required for this research.

Keywords: Fruits number per plant, Leaf relative water content, Proline, Stomatal conductance.

نشریه تنش‌های غیر زیستی در محصولات باغبانی
https://jabssh.znu.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۱، شماره ۱، پاییز و زمستان ۱۴۰۵، ص. ۱۱ – ۲۵

پاسخ‌های فیزیولوژیکی دو توده خربزه ایرانی به تنش کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشدی

فرزاد تقدسی‌نیا، زهرا قهرمانی*، طاهر برزگر، جعفر نیکبخت، میترا اعلایی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۹

چکیده

کمبود آب محدودیتی عمده است که بر عملکرد مطلوب محصول تأثیر می‌گذارد و در واکنش ژنوتیپ‌های مختلف به کمبود آب برای برقراری کشاورزی پایدار بسیار مهم است. به‌منظور بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی دو توده خربزه ایرانی به تنش کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه پژوهشی دانشگاه زنجان در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل دو توده خربزه ایرانی (خاتونی و ایوانکی)، دو مرحله تنش-دهی شامل (مرحله گل‌دهی و بیست روز بعد از گل‌دهی) و سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) بودند. نتایج نشان داد که تنش آبی در هر دو مرحله باعث افت شاخص‌های فیزیولوژیکی شد. کمترین میزان هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب برگ، محتوای کلروفیل، تعداد گل نر و ماده بوته و تعداد میوه در بوته در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی و آبیاری با ۶۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد. با اعمال تنش آبی، فعالیت آنزیم‌های اکسایشی و محتوای پرولین افزایش یافت. تنش در مرحله گل‌دهی همراه با آبیاری با ۶۰ درصد نیاز آبی، بیشترین تأثیر منفی را بر جای گذاشت. از نظر صفات مورد مطالعه در دو توده خربزه مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود داشت و توده ایوانکی از مقاومت به خشکی بیشتری برخوردار بود. با اعمال تنش کم‌آبیاری در هر دو مرحله تنش‌دهی، تعداد میوه در بوته در هر دو توده خربزه کاهش یافت. در شرایط تیمار، شاهد توده ایوانکی با ۳/۳۹ نسبت به توده خاتونی با ۳/۶۱، از تعداد میوه بیشتری در بوته برخوردار بود.

کلمات کلیدی: پرولین، تعداد میوه در بوته، محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای.

مقدمه

خربزه (*Cucumis melo group.* inodorus)، متعلق به خانواده Cucurbitaceae، یکی از مهم‌ترین محصولات سبزی در سراسر جهان است. چین، ترکیه و ایران، سه کشور اصلی تولیدکننده خربزه هستند (FAOSTAT, 2021). ایران به‌عنوان مرکز ثانویه خربزه، دارای ژرم‌پلاسم غنی است و در حال حاضر در بیش از ۸۵۰۰۰ هکتار در کشور کشت می‌شود.

در شرایط کنونی گرمایش جهانی حاصل دخالت‌های انسانی و تغییرات آب‌وهوایی متعاقب آن، خشکی در مناطق مختلف جهان در حال افزایش است؛ بنابراین، کشت خربزه با تنش‌های غیرزیستی همچون کم‌آبی روبه‌رو است که عملکرد گیاه را به خطر می‌اندازد (Ansari *et al*., 2018). اخیراً محققان نشان داده‌اند که در اکثر نقاط ایران، تنش اضافی ناشی از تغییرات اقلیمی و اقتصادی - اجتماعی انتظار می‌رود (Aghapour Sabbaghi *et al*., 2020). خربزه گیاه فصلی گرم است که معمولاً در تابستان بالغ می‌شود و اغلب تحت تأثیر تنش شدید دما و خشکی قرار می‌گیرد (Laur and Tian, 2011). چالش‌های دسترسی به آب آبیاری، تولید خربزه را در بسیاری از نقاط ایران محدود کرده است. برخی از توده‌های خربزه و هندوانه به‌صورت دیم در اکثر نقاط ایران با وجود کم‌بارشی کشت می‌شوند؛ بنابراین، توده‌های خربزه در ایران به‌طور بالقوه به خشکی مقاوم هستند. در آزمایش برزگر و همکاران (۲۰۱۲)، سه سطح آبیاری (شروع آبیاری ۵۰-، ۶۵- و ۷۵- سانتی‌بار) به‌عنوان تیمارهای اعمال خشکی روی رقم خربزه زرد جلالی و سوسکی سبز نشان داد که سطوح خشکی اثرات معنی‌داری بر سطح برگ، طول ساقه، تجمع پرولین، وزن میوه و همچنین عملکرد داشت. یکی از واکنش‌های گیاهان در برابر تنش کم‌آبی، تجمع محافظ‌های اسمزی مانند پرولین است. به‌طور معمول، وقتی گیاهان در شرایط کمبود آب قرار می‌گیرند، می‌بایست غلظت اسمولیت‌هایشان را افزایش دهند تا جذب آب ادامه پیدا کند. در این میان، پرولین رایج‌ترین و عمومی‌ترین اسمولیت است (Wang *et al*., 2009). یکی دیگر از تغییرات بیوشیمیایی که در گیاهان در پاسخ به تنش رخ می‌دهد، تجمع گونه‌های فعال اکسیژن است. تولید این ترکیبات نظیر رادیکال سوپراکسید (O_2^-)، پراکسیدهیدروژن (H_2O_2) و رادیکال هیدروکسیل (OH)، باعث پراکسیداسیون چربی‌ها، غیرفعال شدن آنزیم‌ها، خسارت به اسیدهای نوکلئیک، DNA سلولی و تخریب غشای سلول می‌شوند (Pan *et al*., 2006)؛ علاوه بر آن، گونه‌های فعال اکسیژن می‌توانند با بسیاری از ترکیب‌های سلولی واکنش دهند و باعث خسارت به غشا و سایر ماکروملوکول‌های ضروری از قبیل رنگدانه‌های فتوسنتزی، پروتئین‌ها و لیپیدها شوند (Li-Ping *et al*., 2006). ارزیابی تنش خشکی در چند ژنوتیپ خربزه ایرانی نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش تجمع پرولین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز و کاهش معنی‌دار عملکرد شد (Barzegar *et al*., 2017).

واکنش‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان به کمبود آب بسته به‌شدت تنش و طول دوره آن متغیر است. تنش‌های خفیف تنها فرایندهای حساس را تغییر می‌دهند؛ ولی با افزایش شدت تنش، این تغییرات تشدید می‌شود و فرایندهای دیگر بسته به حساسیت آن‌ها به تنش، تحت تأثیر قرار می‌گیرند (امیری ده‌احمدی، ۱۳۸۸). از طرفی، پاسخ گیاه تحت شرایط تنش به گونه و رقم گیاهی، طول و مدت تنش خشکی، سن و مرحله نموی گیاه، نوع سلول و اندام گیاهی بستگی دارد (Levitt, 1980). گیاهان خانواده کدوییان به دلیل رشد سریع، به‌خصوص در مراحل اولیه رشد (گیاهچه‌ای) و داشتن برگ‌هایی بزرگ و سیستم ریشه‌ای سطحی، به مقدار زیادی آب برای رشد و نمو نیاز دارند و این عوامل باعث شده است که کاهش مقدار رطوبت خاک موجب کاهش عملکرد کدوییان شود (Korkmaz *et al*., 2007). حساس‌ترین مرحله به کمبود آب در خربزه، زمان گلدهی و تشکیل میوه است (Fabeiro *et al*., 2002).

این تحقیق برای تعیین تفاوت‌ها در سطوح فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بین دو توده خربزه ایرانی تحت تنش کم‌آبی انجام شد که ارزیابی پاسخ‌ها به شناسایی سازوکارهای تحمل به کم‌آبی و نگرش بیشتر در سازوکارهای مولکولی تحمل به کم-آبی ناشی از تنش اکسیداتیو و تعیین توده متحمل به کم‌آبیاری کمک خواهد کرد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار (پنج بوته در هر واحد آزمایشی) اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل دو توده خربزه ایرانی (خاتونی و ایوانکی)، دو زمان اعمال تنش کم‌آبیاری (مرحله گل‌دهی و ۲۰ روز بعد از گل‌دهی (مرحله نمو میوه)) و سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) بود. هنگام آماده‌سازی زمین، به میزان ۶

تن در هکتار کود دامی پوسیده استفاده گردید. خصوصیات خاک محل آزمایش و آمار هواشناسی فصل زراعی در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties on the site of experimental field.

Soil texture	EC (dS.m-1)	pH	Nitrogen (٪)	Sodium (gr.kg-1)	potassium (gr.kg-1)	Calcium (gr.kg-1)	Organic matter (٪)
Clay loam	1.49	7.4	0.07	0.13	0.20	0.12	0.94

جدول ۲- میانگین پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک دانشگاه زنجان در فصل زراعی ۱۳۹۶

Table 2- Average climatic parameters of Zanjan Synoptic station during the growth season (2017)

Meteorological parameter	22 May-21 June	22 June-22 July	23 July- 22 August	23 August- 22 September	23 September- 22 October
Rain (mm)	0.01	1.11	5.00	0.00	0.02
Average temperature (C)	22.94	25.71	27.68	24.79	15.73
Minimum temperature (C)	11.29	16.8	17.61	14.68	7.89
Maximum temperature (C)	32.47	33.96	36.82	35.12	25.05

پس از آماده شدن زمین، بذور دو توده خربزه ایرانی (خاتونی و ایوانکی) با فاصله ۵۰ سانتی‌متر روی ردیف و فاصله ۲۰۰ سانتی‌متر بین ردیف کشت گردید. بذر توده خاتونی از مشهد و بذر توده ایوانکی از گرمسار تهیه گردید. پس از جوانه‌زنی بذور، عملیات تنک، خاک‌دهی پای بوته و هرس (حذف ساقه اصلی از بالای دو ساقه فرعی) انجام شد. اعمال تیمارهای آبیاری در هر دو توده در دو مرحله انجام شد. در نصف گیاهان در مرحله گل‌دهی (۴۷ روز بعد از کشت) و در سری دوم گیاهان در مرحله ۲۰ روز بعد از گل‌دهی (۶۷ روز پس از کشت) اعمال گردید.

نیاز آبی برای تیمار شاهد با استفاده از میانگین بلندمدت داده‌های روزانه پارامترهای هواشناسی ثبت‌شده در ایستگاه هواشناسی زنجان (جدول ۲) و رابطه زیر محاسبه شد (Waziri *et al*., 2008):

$$ETC = ET0 \times KC$$

مقادیر تبخیر - تعرق گیاه مرجع (ET_0) و گیاه خربزه (ET_C)

پس از محاسبه مقادیر ET_C، مقادیر نیاز خالص و نیاز ناخالص آب آبیاری گیاه خربزه بر اساس فواصل کشت، نوع سیستم آبیاری (قطره‌ای - نواری) و دور آبیاری (سه روز یک بار) برآورد شد و سپس در هر نوبت آبیاری به گیاه داده می‌شد. فاصله بین قطره‌چکان‌ها ۲۵ سانتی‌متر بود که در واقع هر گیاه توسط دو خروجی آبیاری می‌گردید. برای محاسبه نیاز آبی به‌ازای هر بوته، مجموع آب مصرفی در طول دوره رشد به هر بوته محاسبه گردید. نیاز آبی سایر تیمارها بر اساس نیاز آبی تیمار شاهد (۱۰۰ درصد) و درصد کم‌آبیاری (۸۰ و ۶۰ درصد)، برآورد و توزیع شد.

صفات مورد ارزیابی

پس از شروع گل‌دهی گیاهان، در تیمارهایی که در مرحله گل‌دهی مورد تنش کم‌آبیاری قرار گرفتند، به‌طور تصادفی سه گیاه از هر تکرار انتخاب و به مدت یک ماه، گل‌های نر و ماده گیاه شمارش شدند و میانگین نسبت گل نر به ماده محاسبه شد.

هنگام برداشت تعداد میوه‌ها در هر بوته شمارش شد و میانگین تعداد میوه در بوته به دست آمد.

هدایت روزنه‌ای

به‌منظور اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای در واحد سطح برگ (برحسب میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) از دستگاه پرومتر AP4 (مدل MK, Delta, UK) استفاده شد. زمان اندازه‌گیری در ساعات ۱۱ تا ۱۳ صورت گرفت (Mujdeci *et al*., 2011). اندازه‌گیری‌ها در هر واحد آزمایشی روی پنج برگ و به‌طور تصادفی انجام شد.

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ از هر واحد آزمایشی، سه برگ از قسمت میانی تهیه گردید و در نهایت، محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد -

(Galmés *et al*., 2007). در این معادله، FW وزن تر، DW وزن خشک و TW وزن اشباع است.

رابطه (۲)

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

محتوای کلروفیل

برای سنجش کلروفیل، از بافت تازه برگ استفاده شد. ۰/۱ گرم از بافت برگ با استون ٪۸۰ به‌تدریج سابیده و حجم محلول با استون ٪۸۰ به ۱۰ میلی‌لیتر رسانیده شد و محلول حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در ۵۰۰۰ دور سانتریفیوژ و سپس جذب نوری محلول رویی توسط اسپکتروفتومتر uv/vis مدل Jas.co7800 در طول موج ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر قرائت گردید و کلروفیل کل برحسب میلی‌گرم در گرم بافت تازه برگ بر اساس رابطه ۳ محاسبه شد (Arnon, 1967).

رابطه (۳)

$$\text{Total chlorophyll} = (20.2(A645) + 8.02\ (A663)) \times V/(W\times 1000)$$

V = حجم محلول صاف‌شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)

A= جذب نور در طول موج‌های مشخص‌شده

W= وزن نمونه تر برحسب گرم

محتوای پرولین

برای اندازه‌گیری پرولین، ۰/۵ گرم بافت تازه گیاهی در ۱۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوسالیسیلیک ٪۳ به‌خوبی ساییده شد و سپس مخلوط هموژنیزه‌شده در دستگاه سانتریفیوژ به مدت ۵ دقیقه با دور ۶۰۰۰ سانتریفیوژ شد. سپس ۲ میلی‌لیتر از محلول شناور به فالکون منتقل و ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسیداستیک به آن اضافه شد. محلول حاصل به مدت یک ساعت در حمام آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و بلافاصله پس از خارج کردن از حمام آب، به مدت چند دقیقه در حمام آب یخ قرار گرفت. سپس به هر لوله آزمایش ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد و نمونه‌ها به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه تکان داده شدند تا دو فاز جداگانه تشکیل شود. میزان جذب روشناور آن در دستگاه اسپکتروفتومتر (Jas.co 7800) با طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید. در نهایت، غلظت پرولین برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ با استفاده از منحنی استاندارد پرولین محاسبه شد (Bates, 1973).

فعالیت آنزیم پراکسیداز و کاتالاز

فعالیت این آنزیم‌ها به روش اسپکتروفتومتری (اسپکتروفتومتر JENWAY مدل UV-6505) در دمای آزمایشگاه (۲۵ درجه سانتی‌گراد) اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم پراکسیداز (POX) به روش (Ghanati, 2002) و فعالیت آنزیم کاتالاز به روش (Cakmak and Horst, 1991) بر اساس میزان تجزیه شدن H_2O_2 در طول موج ۲۴ نانومتر تعیین شد.

در نهایت، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹) آنالیز و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای آبیاری، مرحله تنش‌دهی و توده، روی تمامی صفات اثر معنی‌داری داشتند (جدول ۳). برهم‌کنش آبیاری در مرحله تنش‌دهی در صفات کلروفیل، کاتالاز و تعداد میوه در بوته، از نظر آماری معنی‌دار بود. برهم‌کنش آبیاری در توده در صفات کاتالاز، پراکسیداز و تعداد میوه در بوته معنی‌دار شد. اثر متقابل سه‌گانه آبیاری در مرحله تنش‌دهی در توده در صفات هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب برگ و محتوای پرولین معنی‌دار گشت.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشدی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی دو توده خربزه ایرانی

Table 3- Analysis of variance for effect of deficit irrigation treatment at different growth stages on physiological response two Iranian melon accessions.

		Means squares						
S.O. V	**df**	**Stomatal conductance**	**RWC**	**Chlorophyll content**	**Proline content**	**Catalase enzyme activity**	**Peroxidase enzyme activity**	**Fruits number per plant**
Replication	2	4.90 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	0.0008 ^{ns}
Irrigation	2	13411 **	44.89 **	0.145 **	0.97 **	13.50 **	0.420 **	1.156 **
Error a	4	8.99 *	0.030 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	0.002 **	0.0002 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.0009 ^{ns}

		Means squares						
S.O. V	df	Stomatal conductance	RWC	Chlorophyll content	Proline content	Catalase enzyme activity	Peroxidase enzyme activity	Fruits number per plant
Stress stage	1	996**	6.57**	0.016**	0.192**	0.471**	0.015**	0.112**
Irrigation×Stress stage	2	250**	2.35**	0.004**	0.064**	0.250**	0.003^{ns}	0.057*
Error b	6	5.16^{ns}	0.004^{ns}	0.0002^{ns}	0.0002^{ns}	0.0006^{ns}	0.001^{ns}	0.0003^{ns}
accession	1	2926**	9.69**	0.184**	1.05**	0.108**	0.057**	1.235**
Irrigation×accession	2	6.68^{ns}	5.52**	0.0002^{ns}	0.048**	1.96**	0.012**	0.001^{ns}
Stress stage× accession	1	4.23^{ns}	0.846**	0.0001^{ns}	0.019**	0.006^{ns}	0.00001^{ns}	0.001^{ns}
Irrigation×Stress stage× accession	2	23.51**	0.359**	0.0002^{ns}	0.005**	0.003^{ns}	0.000002^{ns}	0.001^{ns}
CV (%)		0.54	0.15	1.81	1.07	0.60	7.04	0.73

معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، ٭ معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns غیرمعنی‌دار

٭٭ns: non-significant difference, *, *: Significant difference at the 5% level , **: Significant difference at the 1% level

هدایت روزنه‌ای: در هر دو توده خاتونی و ایوانکی، با اعمال تنش آبی در هر دو مرحله تنش‌دهی، میزان هدایت روزنه‌ای کاهش یافت. شدت کاهش هدایت روزنه‌ای در مرحله گل‌دهی بیشتر بود. در تحقیق حاضر، کمترین میزان هدایت روزنه‌ای در هر دو توده در شرایط آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه و در تنش کم‌آبیاری در مرحله گل‌دهی گیاه مشاهده شد که احتمالاً به دلیل بیشتر بودن شدت تنش و طولانی‌تر بودن مدت‌زمان تنش این نتیجه حاصل شده است. میزان هدایت روزنه‌ای تیمار شاهد در توده ایوانکی (۲۹۰/۷۹ mmol/m^{-2}s^{-1}) در مقایسه با توده خاتونی (۲۷۲/۵۲ mmol m^{-2}s^{-1}) بیشتر بود؛ ولی شدت کاهش در هر دو توده یکسان بود (جدول ۴). در شرایط کمبود آب، میزان آب برگ در اثر تنش خشکی کاهش می‌یابد و کاهش پتانسیل آب برگ باعث بسته شدن روزنه و در نتیجه، کاهش هدایت روزنه‌ای می‌گردد که این امر به نوبه خود باعث کاهش میزان دی‌اکسید کربن و در نتیجه، کاهش سرعت فتوسنتز و متعاقباً کاهش رشد می‌شود (Ghahremani *et al.*, 2021a; Nezamdoost *et al.*, 2022؛ Ruiz-Sanchez *et al.*, 2014) در شرایط خشکی احتمالاً سیگنال‌هایی از ریشه ارسال می‌شود که عامل بسته شدن روزنه و در نتیجه، کاهش فتوسنتز است. این سیگنال شیمیایی همان آبسزیک‌اسید است که به دلیل افزایش محتوای آبسزیک‌اسید در بافت برگ رخ می‌دهد (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2021, Schoppach *et al.*, 2016). احتمالاً این اختلافات به دلیل تفاوت‌های ژنتیکی این دو توده است. در مطالعه‌ای با ارزیابی تحمل به کم‌آبی برخی از توده‌های خربزه بومی ایران مشاهده شد که هدایت روزنه‌ای در اثر تنش کم‌آبی کاهش یافت. در پژوهش‌های انجام‌شده بین توده‌های خربزه و خیار نیز از لحاظ هدایت روزنه‌ای تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (Heydarian *et al.*, 2018; Ghahremani *et al.*, 2023).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تیمار کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشدی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی دو توده خربزه ایرانی

Table 4. Comparison of the mean for effect of deficit irrigation treatment at different growth stages on physiological response two Iranian melon accessions.

accession	Stress stage	Irrigation levels (% ETc)	Stomatal conductance (mmol m^{-2}s^{-1})	Leaf relative water content (%)	proline content (mg g^{-1} FW)
Khatooni	Flowering	100	272.52±3.04	76.39±0.13	1.2±0.02
		80	241.93±1.96	74.34±0.12	1.4±0.02
		60	196.64±1.61	70.07±0.14	1.75±0.03
	Fruit Set	100	272.52±3.04	76.39±0.13	1.2±0.02

accession	Stress stage	Irrigation levels (% ETc)	Stomatal conductance (mmol $m^{-2}s^{-1}$)	Leaf relative water content (%)	proline content (mg g^{-1} FW)
Ivan-e-Key	Flowering	80	253.43±1.63	75.37±0.14	1.36±0.03
		60	214.65±1.26	72.52±0.09	1.54±0.03
		100	290.79±1.48	74.29±0.12	1.44±0.02
		80	254.60±2.4	73.07±0.09	1.79±0.03
		60	217.74±1.75	71.25±0.07	2.32±0.02
	Fruit Set	100	290.79±1.48	74.29±0.12	1.44±0.02
		80	273.63±1.82	73.63±0.09	1.59±0.03
		60	232.34±1.91	72.33±0.07	1.94±0.02

داده‌ها میانگین سه تکرار هستند و مقادیر مثبت و منفی نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) است.

Values were the means of three replicates and bars represent the standard errors (n = 3).

محتوای نسبی آب برگ: در هر دو توده، با اعمال تنش آبی در هر دو مرحله تنش‌دهی، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت. شدت کاهش محتوای نسبی آب در مرحله تنش‌دهی گل‌دهی بیشتر بود. کمترین میزان محتوای نسبی آب برگ در توده خاتونی با ٪۷۰/۰۷ و در توده ایوانکی با ٪۷۱/۲۵ در شرایط آبیاری با ۶۰ درصد نیاز آبی و تنش در مرحله گل‌دهی مشاهده شد (جدول ۴). محتوای نسبی آب برگ معرف خوبی از وضعیت آب گیاه به‌شمار می‌آید. گزارش شده است که هرچه میزان آب اندام‌های گیاهی بیشتر باشد، گیاه کمتر در شرایط نامساعد محیطی و تولید رادیکال‌های آزاد قرار می‌گیرد و با کاهش محتوای نسبی آب در برگ‌ها، متابولیسم سلولی تغییر می‌کند، فتوسنتز کاهش می‌یابد و تنفس افزایش نشان می‌دهد (Talukdar, 2013). علت کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی آن است که در طول زمان تنش، میزان تعرق بیش از جذب آب گیاه است و در نتیجه، با به هم خوردن تعادل آبی گیاه، محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد (Lawlor and Cornic, 2002). به نظر می‌رسد گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند، فضای بین سلولی و میزان آب در پیکره خود را از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسانند تا آب از بافت خاک با نیروی بیشتری وارد آن‌ها شود که این امر موجب کاهش میزان آب نسبی در شرایط تنش خشکی می‌گردد (Nayyar and Gupta, 2006). کاهش محتوای نسبی آب برگ باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای برای ورود Co_2 به مزوفیل برگ می‌شود و در نهایت، راندمان فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد (Lawlor and Cornic, 2002). محتوای نسبی آب بالاتر به معنای توانایی برگ در حفظ مقادیر بیشتر آب در شرایط کمبود آب است و در صورت کاهش آن، سبب تغییر در غشای یاخته و در نهایت، افزایش نشت الکترولیت‌ها از یاخته‌ها می‌گردد (Shamsi, 2010). گزارش شده است گیاهانی که توانایی بستن روزنه‌هایشان را دارند، می‌توانند محتوای آب برگ‌هایشان را در مقادیر بالاتری حفظ نمایند (Besharati *et al*., 2021).

با توجه به نتایج، میزان محتوای نسبی آب برگ تیمار شاهد در توده خاتونی (٪۷۶/۳۹) بیشتر از توده ایوانکی (٪۷۴/۲۹) بود؛ ولی در شرایط تنش با شدت بیشتری کاهش یافت (جدول ۴). تفاوت میان ارقام و توده‌ها از نظر محتوای نسبی آب برگ ناشی از مکانیسم‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک متفاوت این ارقام در برابر خشکی است. ضخیم بودن کوتیکول یکی از عوامل مهم حفظ محتوای نسبی آب برگ است و ارقامی که برگ‌های آن‌ها از ضخامت کوتیکولی بیشتری برخوردار باشند، در شرایط خشکی مقدار آب بیشتری را در برگ‌های خود حفظ می‌کنند و در برابر خشکی مقاوم‌تر هستند (Arve *et al*., 2011). گزارش‌هایی مبنی بر تحت تأثیر قرار گرفتن محتوای نسبی آب برگ توسط شدت تنش، مدت‌زمان رخداد خشکی و نوع گونه‌ها وجود دارد (Yang and Miao, 2010). در مطالعه‌ای با بررسی اثر تنش کم‌آبی روی برخی توده‌های خربزه بومی ایران مشاهده شد در اثر تنش کم‌آبی، میزان محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت. در پژوهش‌های انجام‌شده بین توده‌های خربزه و خیار نیز از نظر محتوای نسبی آب برگ اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (Heydarian *et al*., 2018; Ghahremani *et al*., 2023).

محتوای پرولین: با افزایش شدت تنش کم‌آبی در هر دو توده و در هر دو مرحله تنش‌دهی، محتوای پرولین افزایش یافت.

کمترین میزان پرولین در توده خاتونی با ۱/۲ mg g^{-1} FW و در توده ایوانکی با ۱/۴۴ mg g^{-1} FW در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۴). پرولین در تمام اندام‌های گیاه سالم در طی تنش کمبود آب تجمع می‌یابد و به‌طور گسترده‌تر و وسیع‌تر در برگ‌ها ظاهر می‌شود. افزایش سریع پرولین با آغاز کاهش پتانسیل آب برگ در شرایط تنش هم‌زمان است و هر عاملی که باعث پایین رفتن آب شود، باعث تجمع این اسیدآمینه می‌شود (Cvikrova *et al*., 2013). بعضی از پژوهشگران اظهار کردند که پرولین به‌عنوان اسمولیتی سازگار می‌تواند بدون آسیب رساندن به مولکول‌های بزرگ، در غلظت‌های زیاد در سلول تجمع یابد (Karimi *et al*., 2020). افزایش غلظت پرولین در گیاهانی که تحت تنش قرار گرفته اند، نوعی سازگاری برای غلبه بر شرایط تنش است (Elewa et al., 2017, Elsayed *et al*., 2019). تجمع پرولین تحت شرایط تنش با تحمل به تنش در بسیاری از گونه-های گیاهی مرتبط است و غلظت آن در گیاهان متحمل نسبت به گیاهان حساس بالاتر است (Ashraf and Foolad, 2007). ازجمله نقش‌های پرولین در گیاهان می‌توان به تنظیم فشار اسمزی برای بهبود جذب آب (Sarabi *et al*, 2017)، مقاومت در برابر تنش‌های اکسیداتیو (Sarabi *et al*, 2017) و محافظت از آنزیم‌ها در برابر دهیدراسیون اشاره کرد (Thomas, 1990)؛ علاوه بر این، پرولین به‌عنوان منبع نیتروژن، در کاهش صدمات و ترمیم رشد در شرایط تنش نقش دارد (Aydin *et al*., 2012). تنش خشکی از دو طریق افزایش بیان آنزیم‌های سنتزکننده پرولین و کاهش فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده پرولین، باعث افزایش میزان پرولین در گیاه می‌شود (Sarabi *et al*, 2017). به‌طور ژنتیکی، میزان پرولین در توده ایوانکی بیشتر از توده خاتونی بود که نشان‌دهنده مقاومت بهتر این توده در برابر تنش-ها است. بیشترین میزان پرولین در توده خاتونی با mg/g^{-1} FW ۱/۷۵ و در توده ایوانکی با ۲/۳۲ mg/g^{-1} FW در مرحله تنش‌دهی گل‌دهی همراه با آبیاری با ۶۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد (جدول ۴). به‌طور مشخص، توده‌هایی که در شرایط تنش، سطوح بالاتری از تجمع پرولین در بافت خود را نشان دادند، توده‌های موفق‌تری از نظر تنظیم وضعیت اسمزی سلول، تولید جاروب‌های گونه‌های فعال اکسیژن، افزایش فعالیت آنزیم‌های سنتزکننده و کاهش و تأخیر در فعالیت عوامل تجزیه‌کننده پرولین بودند. گزارش شد که در خربزه تحت تنش خشکی، آنزیم ساخت پرولین به‌سرعت بیان می‌شود و تجمع پرولین در برگ‌ها، نیاز آبی گیاه را از راه تعدیل اسمزی حفظ می‌کند (Sarabi *et al*, 2017). در پژوهش‌های انجام‌شده بین توده‌های مارچوبه و خیار نیز از نظر محتوای پرولین اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (Namaki *et al*., 2022; Ghahremani *et al*., 2023).

محتوای کلروفیل: با اعمال تنش آبی از میزان کلروفیل کاسته شد. بالاترین میزان کلروفیل مربوط به تیمار شاهد در هر دو توده بود. شدت کاهش کلروفیل در مرحله تنش‌دهی گل‌دهی بیشتر بود. میزان کلروفیل با اعمال تنش آبی با ۶۰ درصد نیاز آبی در مرحله تنش‌دهی گل‌دهی به mg/g^{-1} FW ۱/۱۴ و در مرحله تنش‌دهی بیست روز پس از گل‌دهی به mg/g^{-1} FW ۱/۲۱ رسید (جدول ۵). کمبود آب باعث تسریع تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی در نتیجه زوال غشاهای تیلاکوئید می‌شود که به‌عنوان پایه ساختاری برای جذب، انتقال و تبدیل نور در کلروپلاست‌ها عمل می‌کند که در نهایت باعث پیری گیاهان، شکسته شدن کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل می‌گردد (Tamburino *et al*., 2017).

کاهش سبزینه برگی در شرایط تنش تا حدودی به خاطر کاهش انتقال ازت به سمت بافت‌ها و تغییر در فعالیت آنزیم‌هایی مانند نیترات ردوکتاز است. چون نیتروژن بخشی از مولکول کلروفیل است، از این رو ممکن است کمبود آن در گیاهان، تشکیل کلروفیل را کند نماید؛ به عبارت دیگر، فرایند اصلی تحت تأثیر کمبود آب، فتوسنتز است (Abregas *et al*., 2019, Hildebrandt *et al*., 2015).

گزارش شده است که کاهش محتوای کلروفیل در طول تنش خشکی به طول مدت و شدت خشکی بستگی دارد؛ علاوه بر آن، واکنش مختلف گیاهان به تغییر در میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی علاوه بر تفاوت‌های ژنتیکی ارقام، ممکن است ناشی از متابولیسم متفاوت تحمل گیاهان در برابر تنش خشکی باشد (Farshadfar and Javadinia, 2011). در مطالعه-ای روی خربزه مشاهده شد که با افزایش سطح تنش کم‌آبیاری، میزان کلروفیل در خربزه کاهش یافت (Heydarian *et al*., 2018). در مطالعه‌ای با بررسی اثر تنش کم‌آبی روی چند توده خربزه ایرانی، کاهش میزان کلروفیل در اثر تنش کم‌آبی گزارش شد. هر دو کلروفیل *a* و *b* به کاهش پتانسیل آب خاک حساس هستند؛ بنابراین، کاهش مشاهده‌شده در محتوای این رنگدانه های فتوسنتزی در رابطه با تنش کمبود آب ممکن است با اکسیداسیون رنگدانه کلروفیل ناشی از رادیکال‌های آزاد همراه باشد (Chavoushi *et al*., 2020). در پژوهش‌های انجام‌شده بین توده‌های مارچوبه و خیار از لحاظ میزان کلروفیل نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (Namaki *et al*., 2022; Ghahremani *et al*., 2023).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تیمار کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشدی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی دو توده خربزه ایرانی

Table 5. Comparison of the mean for effect of deficit irrigation treatment at different growth stages on physiological response of two Iranian melon accessions.

Stress stage	Irrigation levels (% ETc)	Chlorophyll content (mg g-1 FW)	Catalase enzyme activity (µmol H2O2.g-1 FW.min-1)	Number of fruits per plant
Flowering	100	1.39±0.08	5.03±0.56	3.8±0.21
	80	1.28±0.08	6.34±0.1	3.66±0.21
	60	1.14±0.07	7.22±0.31	3.08±0.21
20 days after flowering	100	1.39±0.08	5.03±0.56	3.8±0.21
	80	1.33±0.08	5.79±0.09	3.73±0.2
	60	1.21±0.08	7.09±0.24	3.35±0.17

داده‌ها میانگین سه تکرار هستند و مقادیر مثبت و منفی نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) است.

Values were the means of three replicates and bars represent the standard errors (n = 3).

فعالیت آنزیم‌های اکسایشی: با اعمال تنش در هر دو توده، فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش یافت. شدت افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در مرحله تنش‌دهی گل‌دهی بیشتر از مرحله تنش‌دهی دوم بود. بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۷/۲۲ µmol $H_2O_2.g^{-1}$ $FW.min^{-1}$) در شرایط آبیاری با ۶۰ درصد نیاز آبی و تنش در مرحله گل‌دهی مشاهده شد (جدول ۶). بین توده‌ها نیز از لحاظ فعالیت این آنزیم تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در شرایط تیمار شاهد، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در توده خاتونی با $\mu mol\ H_2O_2.g^{-1}\ FW.min^{-1}$ ۴/۵۲ نسبت به توده ایوانکی با $\mu mol\ H_2O_2.g^{-1}\ FW.min^{-1}$ ۵/۵۴، کمتر بود؛ ولی با اعمال تنش با ۶۰ درصد نیاز آبی، شدت افزایش این آنزیم در توده خاتونی با $\mu mol\ H_2O_2.g^{-1}$ $FW.min^{-1}$ ۷/۴۱ نسبت به توده ایوانکی با $\mu mol\ H_2O_2.g^{-1}$ $FW.min^{-1}$ ۶/۸۹، بیشتر شد (جدول ۶).

فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز با افزایش شدت تنش آبی افزایش یافت. میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در توده ایوانکی با $units.g^{-1}\ FW.min^{-1}$ ۰/۷۱ از توده خاتونی با $units.g^{-1}$ $FW.min^{-1}$ ۰/۶ بیشتر بود (جدول ۶).

از آنجا که تنش کمبود آب موجب تشکیل انواع فعال اکسیژن می‌گردد، بسیاری از ترکیبات سلولی از قبیل لیپیدها، اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها، تخریب می‌شوند. سلول‌های گیاهی برای محافظت در مقابل آسیب‌های اکسیداتیو مجهز به سیستم جاروب‌کننده رادیکال‌های آزاد هستند که بخشی از این سیستم شامل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، مانند کاتالاز و پراکسیداز است (Gill and Tuteja., 2010).

یکی دیگر از آنتی‌اکسیدان‌های مؤثر در سیستم دفاعی اکثر گیاهان در مقابله با تنش‌های غیرزنده، آنزیم کاتالاز است. افزایش سرعت فعالیت این آنزیم با افزایش محتوی پراکسید هیدروژن همبستگی دارد و برای افزایش مقاومت به تنش خشکی انجام می‌شود (Amoah *et al*., 2019). کاتالاز یکی از بالاترین سرعت تغییر و تبدیل بین دیگر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را دارا است و در حذف H_2O_2 تولیدشده در پراکسی‌زوم‌ها به‌واسطه اکسیداسیون اسیدهای چرب، تنفس نوری و کاتابولیسم پورین اهمیت بسیاری دارد (Polidoros and Scandalios, 1999). فاروق و همکاران (۲۰۲۱) آسیب کمتر واردشده بر غشاهای یک رقم نخودفرنگی مقاوم به خشکی تحت شرایط تنش شدید خشکی را با فعالیت بالاتر سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در مقایسه با یک رقم حساس به خشکی مرتبط دانستند.

آنزیم پراکسیداز نیز نقشی کلیدی در سم‌زدایی پراکسیدهیدروژن، حذف مالون دی‌آلدئید که منجر به پراکسیداسیون لیپیدی غشا می‌شود و حفظ ثبات دیواره سلولی ایفا می‌کند (Hojati *et al*., 2011). پراکسیداز همچنین در فرایندهای متابولیکی، مانند کاتابولیسم هورمون، دفاع در برابر عوامل بیماری‌زا، اکسیداسیون فنل، ایجاد پیوند با پروتئین‌های ساختاری سلول و پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی نقش دارد. آنزیم پراکسیداز هم در سیتوسول و هم در کلروپلاست وجود دارد و می‌تواند به گونه مؤثری H_2O_2 را حذف نماید؛ بنابراین، افزایش فعالیت این آنزیم در شرایط تنش خشکی احتمالاً نشان‌دهنده تجمع H_2O_2 در شرایط تنش خشکی است (Jiang and Huang, 2001). بالاتر بودن فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در مرحله تنش‌دهی گل‌دهی و آبیاری با ۶۰ درصد نیاز آبی دور از انتظار نیست؛ چراکه احتمالاً شدت آسیب‌های اکسیداتیو در این تیمار با توجه به بیشتر بودن شدت و مدت تنش بیشتر بوده و گیاه برای مقابله با این آسیب‌ها آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بیشتری ساخته است. با بررسی تنش کم‌آبی بر کدوی پوست‌کاغذی شامل شاهد، قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و قطع آبیاری در مرحله میوه‌دهی، افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و

پراکسیداز گزارش شد (Naeemi *et al.*, 2012). در پژوهش‌های انجام‌شده بین توده‌های مارچوبه و خیار از لحاظ فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (Namaki *et al.*, 2022; Ghahremani *et al.*, 2023).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر تیمار کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشدی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی دو توده خربزه ایرانی

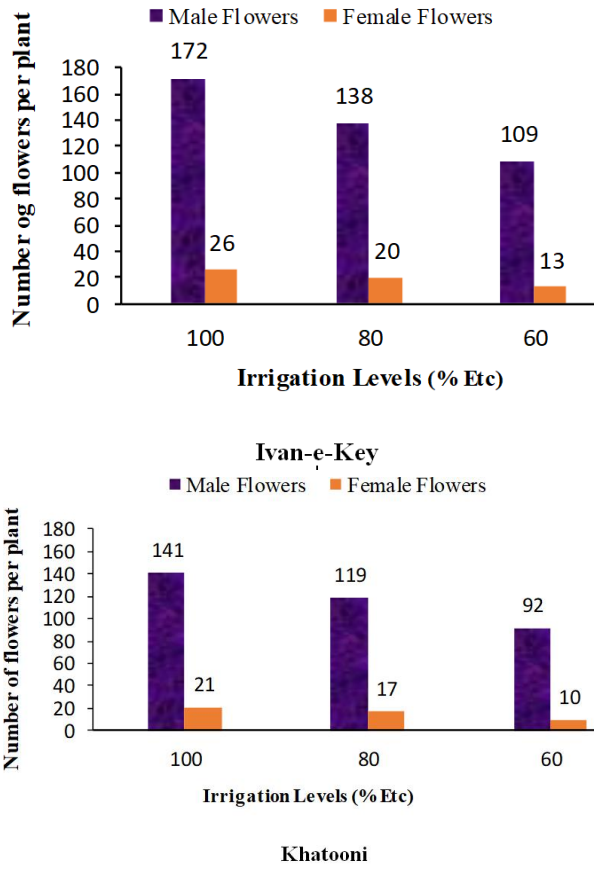
Table 6. Comparison of the mean for effect of deficit irrigation treatment at different growth stages on physiological response of two Iranian melon accessions.

Accession	Irrigation levels (% ETc)	catalase enzyme activity (µmol H2O2.g-1 FW.min-1)	peroxidase enzyme activity (units g-1 FW.min-1)
Khatooni	100	4.52±0.03	0.28±0.02
	80	6.15±0.31	0.4±0.04
	60	7.41±0.11	0.6±0.04
Ivan-e-Key	100	5.54±0.03	0.286±0.02
	80	5.97±0.29	0.53±0.03
	60	6.89±0.04	0.71±0.06

داده‌ها میانگین سه تکرار هستند و مقادیر مثبت و منفی نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) است.

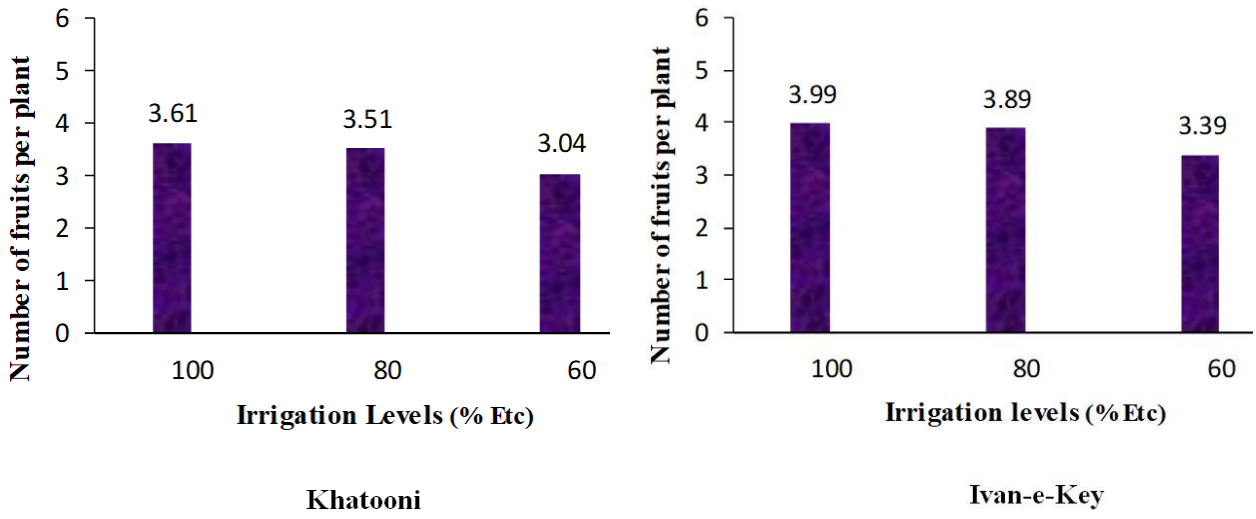
Values were the means of three replicates and bars represent the standard errors (n = 3).

نسبت گل‌های نر به ماده و تعداد میوه در بوته: در هر دو توده خربزه، با اعمال تنش در مرحله گل‌دهی، از تعداد گل‌های نر و ماده کاسته شد. بیشترین میزان گل‌های نر و ماده در شرایط آبیاری کامل حاصل شد. توده ایوانکی به‌طور ژنتیکی نسبت به توده خاتونی از نسبت گل نر و ماده بیشتری برخوردار بود (شکل ۱). با اعمال تنش آبی در هر دو مرحله تنش‌دهی، تعداد میوه در بوته در هر دو توده خربزه کاهش یافت (جدول ۵). در شرایط تیمار شاهد، توده ایوانکی با ۳/۳۹ نسبت به توده خاتونی با ۳/۶۱، از تعداد میوه بیشتری در بوته برخوردار بود (شکل ۲). بروز دوره تنش خشکی از طریق کاهش سطح برگ و ریزش آن‌ها منجر به کاهش منبع فتوسنتزی گیاه و افت فعالیت آنزیم‌های مؤثر بر این فرایند شد و قابلیت تولید گل در واحد سطح را کاهش داد. اعمال تنش رطوبتی در طول مراحل رویشی و زایشی و برخورد مراحل نموی با تنش رطوبتی، موجب ایجاد اختلال در فرایند مذکور و در نتیجه، کاهش تعداد میوه می‌گردد (Rojas *et al.*, 2002). تنش کم‌آبی در دوره گل‌دهی گیاه باعث خشک شدن دانه گرده و کلاله مادگی می‌شود و در گرده‌افشانی حشرات اختلال ایجاد می‌کند. در نتیجه، منجر به کاهش در تعداد میوه بوته می‌شود (راحمی، ۱۳۸۳). با اعمال تنش در مرحله ۲۰ روز پس از گل‌دهی نیز تعداد میوه در بوته کاسته شد؛ ولی شدت کاهش آن نسبت به مرحله تنش‌دهی گل‌دهی کمتر بود (جدول ۵). با توجه به اینکه این گیاهان در این مرحله تنش-دهی قبلاً برای تعداد میوه خاصی برنامه‌ریزی شده بودند و سپس با کمبود آب و مواد غذایی مواجه شدند، احتمالاً به‌منظور کاهش آثار تنش، مجبور به سقط میوه‌های کوچک تازه تشکیل‌شده می-شوند. گزارش شده است که تنش خشکی در مرحله گل‌دهی اساساً بر عملکرد بادمجان مؤثر بود و باعث کاهش تعداد گل در تیمارهای تحت تنش شد (**Sharkey and Seemann., 1989**). با بررسی اثر تنش کم‌آبی روی رشد و عملکرد میوه خربزه و خیار، گزارش شد که تعداد میوه در بوته در اثر تنش کم‌آبی کاهش یافت (Ghahremani *et al.*, 2023; Heydarian *et al.*, 2018).



شکل ۱- تأثیر سطوح مختلف آبیاری در مرحله تنش‌دهی گل‌دهی بر نسبت گل‌های نر به ماده توده‌های خربزه خاتونی و ایوانکی

Figure 1. The effect of different levels of irrigation in the flowering stress stage on male to female flowers ratio of Khatoni and Ivan-e-Key melon accessions



شکل ۲- تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر تعداد میوه در بوته توده‌های خربزه خاتونی و ایوانکی

Figure 2. The effect of different levels of irrigation on the number of fruits per plant in Khatouni and Ivan-e-Key melon accessions

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج، بین دو توده از نظر شاخص‌های فیزیولوژیکی تفاوت معنی‌داری مشاهده شد و توده ایوانکی از نظر مقاومت به خشکی بهتر بود. کاهش آبیاری در هر دو مرحله تنش‌دهی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی اثر منفی داشت و موجب کاهش تعداد گل و تعداد میوه در بوته شد. در اثر تنش کم‌آبی، فعالیت آنزیم‌های اکسایشی و پرولین افزایش یافت که شدت افزایش آن‌ها به سطح تنش کم‌آبیاری و مرحله تنش‌دهی وابسته بود.

References

Abregas, N. F. and Fernie, A.R. 2019. The metabolic response to drought. Journal of Experimental Botany. 70 (4). 1077–1085. https://doi.org/10.1093/jxb/ery437

Aghapour Sabbaghi, M., Nazari, M., Araghinejad, S., and Soufizadeh S. 2020. Economic impacts of climate change on water resources and agriculture in Zayandehroud river basin in Iran. Agricultural Water Management. 241. 106323. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106323.

Amoah, J. N., Ko, C. S., Yoon, J. S., and Weon, S. Y. 2019. Effect of drought acclimation on oxidative stress and transcript expression in wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Plant Interactions. 14 (1): 492-505. https://doi.org/10.1080/17429145.2019.1662098

Ansari, W. A., Atri, N., Singh, B., Kumar, P., and Pandey, S. 2018. Morpho-physiological and biochemical responses of muskmelon genotypes to different degree of water deficit. Photosynthetica 56. 1019–1030. https:// doi. 10.1007/s11099-018-0821-9.

Aydin, A., Kant, C., and Turan, M. 2012. Humic acid application alleviate salinity stress of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants decreasing membrane leakage. African Journal of Agricultural Research. 7(7): 1073-1086. DOI: 10.5897/AJAR10.274

Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal. 5 (23). 112-121.

Arve, L. E., Torre, S., Olsen, J. E., and Tanino, K. K. 2011. Stomatal responses to drought stress and air humidity. In Abiotic stress in plants-Mechanisms and adaptations. DOI: 10.5772/24661

Ashraf, M. and Foolad, M. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany. 59(2): 206-216.

Barzegar, T., Delshad, M., Majdabadi, A., Kashi, A., and Ghashghaei, J. 2012. Effects of water stress on yield, growth and some physiological parameters in Iranian melon. Iranian Journal of Horticultural Science 42, 357–363.

Barzegar, N.; Lotfi, H., Rabiei, V.; Ghahremani, Z., and 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. 13- 25. DOI: 10.22059/ijhs.2017.63643.

Bates, L. S., Waldren, R. P., and Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil. 39(1): 205-207. http://dx.doi.org/10.1007/BF00018060

Besharati, J., Shirmardi, M., Meftahizadeh, H., Dehestani Ardakani, M. and Ghorbanpour, M. 2021. Changes in growth and quality performance of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in response to soil amendments with hydrogel and compost under drought stress. South African Journal of Botany. DOI:10.1016/j.sajb.2021.03.018

Cakmak, I., and Horst, W. J. 1991. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). Physiologia Plantarum. 83(3): 463-468. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1991.tb00121.x

Cvikrova, M., Gemperlova, L., Martincova, O. and Vankova, R. 2013. Effect of drought and combined drought and heat stress on polyamine metabolism in proline-over-producing tobacco plants. Plant Physiology and Biochemistry, 73: 7-15. DOI: 10.1016/j.plaphy.2013.08.005

Chavoushi, M., Najafi, F., Salimi, A., and Angaji, S.A., 2020. Effect of salicylic acid and sodium nitroprusside on growth parameters, photosynthetic pigments and secondary metabolites of safflower under drought stress. Scientia Horticulturae. 259. 108823. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108823

Elewa, T. A., Sadak, M. S. and Dawood, M. G. 2017. Improving drought tolerance of quinoa plant by foliar treatment of trehalose. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 19 (Special Issue): 245-254.

Elsayed, A. I., Elhamahmy, M. A. M., Rafudeen, M., Mohamed, A. H. and Omar, A. A. 2019. The impact of drought stress on antioxidant responses and accumulation of flavonolignans in milk thistle (*Silybum marianum* (L.) Gaertn). Plants, 8 (12): 611-625. https://doi.org/10.3390/plants8120611

Fabeiro, C., De Santa Olalla, F. M. and De Juan, J. A. 2002. Production of muskmelon (*Cucumis melo* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. Agricultural Water Management. 54(2). 93-105. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00151-2

FAO, 2021. FAOSTAT.Available at http://faostat3.fao.org/home/index.html

Farooq, M., Ahmad, R., Shahzad, M., Sajjad, Y., Hassan, A., Maroof Shah, M., Naz, Naz, S. and Ali Khan, S. 2021. Differential variations in total flavonoid content and antioxidant enzymes activities in pea under different salt and drought stresses. Scientia Horticulturae. 287: 1-8. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110258

Farshadfar E and Javadinia J (2011) Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes for drought tolerance. Journal of Seed and Plant Improvement. 27(1). 517-537.

Galmés, J., Flexas, J., Savé, R. and Medrano, H. 2007. Water relations and stomatal characteristics of Mediterranean plants with different growth forms and leaf habits: responses to water stress and recovery. Plant and Soil. 290(1-2): 139-155. DOI:10.1007/s11104-006-9148-6

Ghahremani, Z., Mikaealzadeh, M., Barzegar, T. and Ranjabr, M.E., 2021. Foliar application of ascorbic acid and gamma aminobutyric acid can improve important properties of deficit irrigated cucumber plants (*Cucumis sativus* cv. Us). Gesunde Pflanzen 73, 77–84. https://doi.org/10.1007/s10343-020-00530-6.

Ghahremani, Z., Fathollahi, A., Barzegar, T., Nikbakht, J; Ranjabr, M.E. and Nezamdoost, D.2023. Role of Plant Genetic Resources and γ-Aminobutyric Acid (GABA) to Enhance Drought Tolerance of Cucumber. Agricultural Research. 12. 257-265. DOI: 10.1007/s40003-023-00650-1

Ghanati, F., Morita, A. and Yokota, H. 2002. Induction of suberin and increase of lignin content by excess boron in tobacco cells. Soil Science and Plant Nutrition. 48(3). 357-364. https://doi.org/10.1080/00380768.2002.10409212

Ghassemi-Golezani, K., Farhangi-Abriz, S., Aftab, T. and Yusuf, M. 2021. Plant responses to exogenous salicylic and jasmonic acids under drought stress. Jasmonates and Salicylates Signaling in Plants. Signaling and Communication in Plants. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75805-9_4.

Gill, S.S. and Tuteja, N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry, 48, 909-930. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016

Heydarian, N., Barzegar N., Ghahremani, Z., Nikbakht J. 2018. Effect of water deficit stress on yield, physiological and biochemical traits of some Iranian melon. Journal of Plant Process and Function. 7 (26). 209-221. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016

Hildebrandt, T.M, Nunes Nesi, A., Araújo, W.L. and Braun, H.P. 2015. Amino acid catabolism in plants. Mol. Plant. 8 (11). 1563–157. DOI: 10.1016/j.molp.2015.09.005

Hojati, M., Modarres-Sanavy, S. A. M., Karimi, M. and Ghanati, F. 2011. Responses of growth and antioxidant systems in *Carthamus tinctorius* L. under water deficit stress. Acta Physiologiae Plantarum. 33(1). 105-112. DOI: 10.1007/s11738-010-0521-y

Jiang, Y. and Huang, N. 2001. Drought and Heat stress injury to two cool-season turf grasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. Crop Science. 41:436-442. https://doi.org/10.2135/cropsci2001.412436x

Karimi, S., Zahedi, B. and Mumivand, H. 2020. Evaluation of the effect of drought stress on growth, essential oil and some physiological traits of four Basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars. Journal of Plant Production Research. 27 (2). 201-213. DOI:10.22069/JOPP.2020.16509.2513

Korkmaz, A., Uzunlu, M. and Demirkiran, A. R. 2007. Treatment with acetyl salicylic acid protects

muskmelon seedlings against drought stress. Acta Physiologiae Plantarum. 29(6). 503-508. DOI: 10.1007/s11738-007-0060-3

Laur,L.M. and Li T. 2011. Provitamin A and vitamin C contents in selected California-grown cantaloupe and honeydew melons and imported melons. Journal of Food Composition and Analysis. 24 (2), 194-201. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.07.009

Lawlor, D. W., and Cornic, G .2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Journal of Plant Cell and Environment. 25(2). 275-294. DOI: 10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x

Li-Ping, B .A. I., Fang-Gong, S .U. I., Ti-Da, G. E., Zhao-Hui, S. U.N., Yin-Yan, L. U. and Guang-Sheng, Z. H. O. U. 2006. Effect of Soil Drought Stress on Leaf Water Status, Membrane Permeability and Enzymatic Antioxidant System of Maize. Pedosphere. 16(3). 326-332. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(06)60059-3

Mujdeci, M., Senol, H., Cakmakci, T. and Celikok, P. 2011. The effects of different soil water matric suctions on stomatal resistance. Journal of Food, Agriculture and Environment. 9. 1027-1029.

Naeemi, M., Akbari, G. A, Shirani, R. A., Hasanloo, T. and Akbari, G .A. 2012. Effect of zeolite application and selenium spraying on water relations traits and antioxidant enzymes in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) under water deficit stress conditions. Journal of Crops Improvement. 14. 67-81.

Namaki, A., Ghahremani, Z., Aelaei, M., Barzegar, T. and Ranjabr, M.E. 2022. Morphophysiological responses of asparagus accessions to drought stress under greenhouse condition. Gesunde Pflanzen 74. 925–934. https://doi.org/10.1007/s10343-022- 00667-6

Nayyar, H. and Gupta, D. 2006. Differential sensitivity of C 3 and C 4 plants to water deficit stress: association with oxidative stress and antioxidants. Environmental and Experimental Botany. 58(1): 106-113. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.06.021

Nezamdoost, D., Ghahremani, Z., Baba Akbari, M., Barzegar, T. and Ranjbar, M.E., 2022. Can seed priming with seaweed extract neutralize the effects of salinity on 'New Red Fire' leafy lettuce characteristics? Gesunde Pflanzen. https://doi.org/10.1007/ s10343-022-00738-8

Pan, Y., Wu, L. J. and Yu, Z. L. 2006. Effect of salt and drought stress on antioxidant enzymes activities and SOD isoenzymes of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch). Plant Growth Regulation. 49(2-3). 157-165. DOI: 10.1007/s10725-006-9101-y

Polidoros, N. A. and Scandalios, J. G. 1999. Role of hydrogen peroxide and different classes of antioxidants in the regulation of catalase and glutathione S-transferees gene expression in maize (*Zea mays* L.). Physiology Planetarium. 106: 112- 120. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1999.106116.x

Rahimi, M. 2004. Pollination and fruit formation. Shiraz University Press.

Rojas, M. M., Crosby, K. M. and Louzada, E. S. 2002. Differential gene expression analysis in melon roots under drought stress conditions. Plant Science. 54: 6-10.

Ruiz-Sanchez, M., E. Armada, Y. Munoz, I.E. Garcia de Salamone, R. Aroca, J.M. Ruiz- Lozano, and R. Azcon. 2014. Azospirillum and arbuscular mycorrhizal colonization enhance rice growth and physiological traits under well-watered and drought conditions. Journal of Plant Physiology. 168: 1031-1037. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.12.019

Sarabi, B., Bolandnazar, S., Ghaderi, N. and Ghashghaie, J. 2017. Genotypic differences in physiological and biochemical responses to salinity stress in melon (*Cucumis melo* L.) plants: Prospects for selection of salt tolerant landraces. Plant Physiol. Biochem. 119. 294–311. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.09.006

Schoppach, R., Taylor, D., Majerus, E., Claverie, E., Baumann, U., Suchecki, R., Fleury, D. and Sadok, W., 2016. High resolution mapping of traits related to whole-plant transpiration under increasing evaporative demand in wheat. Journal of Experimental Botany. 67. DOI: 10.1093/jxb/erw125

Shamsi, K. 2010. The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. Journal of Animal and Plant Sciences. 8 (3). 1051-1060.

Sharkey, T. D. and Seemann, J. R. 1989. Mild water stress effects on carbon-reduction-cycle intermediates, ribulose bisphosphate carboxylase activity, and spatial homogeneity of photosynthesis in intact leaves. Plant Physiology. 89(4). 1060-1065. doi: 10.1104/pp.89.4.1060

Tamburino, R., Vitale, M., Ruggiero, A., Sassi, M., Sannino, L., Arena, S., Costa, A., Batelli, G., Zambrano, N., Scaloni, A., Grillo, S. and Scotti, N. 2017. Chloroplast proteome response to drought stress and recovery in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). BMC Plant Biology. 17 (1). 1-14. DOI: 10.1186/s12870-017-0971-0

Thomas, H. 1990. Osmotic adjustment in *Lolium perenne*; its heritability and the nature of solute accumulation. Annals of Botany. 66(5). 521-530.

Wang, W.B., Kim, Y.H., Lee, H.S., Kim, K.Y., Deng, X.P. and Kwak, S.S. 2009. Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. Plant Physiology and Biochemistry. 47 (7). 570-577. DOI: 10.1016/j.plaphy.2009.02.009

Waziri, G., Health, A., Maschi, M., Heydari, N. and Dehghani Sanic, H. 2008. Evaporation-Transpiration of Plants (Translation). National Committee of Irrigation and Drainage of Iran. First Edition, Tehran. 355 p.

Yang, F. and Miao, L. F. 2010. Adaptive responses to progressive drought stress in two poplar species originating from different altitudes. Silva Fennica. 44(1). 23-37. DOI: 10.14214/sf.160