View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by Directory of Open Access Journals

Iranian Journal of Plant Biology, Vol. 10, No. 2, 2018

Evaluation of growth, yield and physiological responses of some watermelon accessions to water deficit stress

Taher Barzegar [1*], Jasem Parkhideh [1], Fatemeh Nekounam [2], Jafar Nikbakht [3]
[1] Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
[2] Department of Horticultural Sciences, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
[3] Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Abstract
In order to evaluate the tolerance of watermelon (*Citrullus lanatus* L.) accessions to water deficit stress, an experiment was carried out in a split plot based on randomized complete block design with three replicates in research filed of university of Zanjan during 2016. Treatments consisted of three irrigation levels 100%, 70% and 50% Crop Evapotranspiration (ETc) and watermelon accessions (Ananasi, Sharif Abadi, Mahbubi and Charleston Gray commercial cultivar). The results showed that water deficit stress significantly decreased leaf area, plant length, fruit yield, stomata conductance and relative water content (RWC), and increased total soluble solids, peroxidase activity and electrolyte leakage. Amount accessions, the highest leaf area, plant length and yield (84.6 ton/ha) was obtained in Mahbubi accession. The lowest electrolyte leakage and the highest RWC was showed in Ananasi accession, and the highest peroxidase activity in Charleston Gray. Water deficit stress decreased fruit number per plant and fruit weight, although water deficit had no effects on fruit number in Mahbubi accession. The increase in water deficit stress, decreased water use efficiency in "Ananasi", "Sharif Abadi" and "Charleston Gray", but the highest WUE (54.85 $kg.m^{-3}$) was obtained in "Mahbubi" under water deficit 50% ETc. water deficit had no significant effects on fruit pH. According to the results, "Mahbubi" with 46.9% reduction in fruit yield under water deficit 50% ETc had the lowest reduction in fruit yield compared to other accessions that was higher tolerance accession to water deficit stress.

Keywords: Electrolyte leakage, Fruit yield, Total soluble solids, Water deficit, Water use efficiency

* Corresponding Author: tbarzegar@znu.ac.ir

Copyright©2018, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

زیست‌شناسی گیاهی ایران، سال دهم، شمارهٔ سی و ششم، تابستان ۱۳۹۷، صفحهٔ ۷۳-۸۸
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۰۳
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۰۵/۰۲
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۶/۱۸

بررسی واکنش‌های رشدی، عملکردی و فیزیولوژیک برخی توده‌های هندوانه (*Citrullus lanatus* L.) به تنش کم‌آبی

طاهر برزگر [۱*]، جاسم پرخیده [۱]، فاطمه نکونام [۲]، جعفر نیکبخت [۳]
[۱] گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
[۲] گروه علوم باغبانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۳] گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

چکیده
برای ارزیابی تحمل به تنش کم‌آبی توده‌های هندوانه (*Citrullus lanatus* L.)، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۵ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری در سه مقدار ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و توده‌های هندوانه شامل سه تودهٔ آناناسی، شریف‌آبادی، محبوبی و رقم تجاری چارلستون‌گری بودند. نتایج نشان دادند تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری سطح برگ، طول بوته، عملکرد، هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ را کاهش و مواد جامد محلول کل، درصد نشت یونی و فعالیت آنزیم پراکسیداز را افزایش داد. بین توده‌ها، بیشترین سطح برگ، طول بوته و عملکرد (۸۴/۶ تن در هکتار) در تودهٔ محبوبی به دست آمد. کمترین درصد نشت یونی و بیشترین محتوای نسبی آب برگ در تودهٔ آناناسی و بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در رقم چارلستون‌گری مشاهده شد. تنش کم‌آبی، تعداد میوه و وزن میوه را کاهش داد؛ اگرچه در تودهٔ محبوبی بر تعداد میوه در بوته تأثیری نداشت. با افزایش تنش کم‌آبی، کارایی مصرف آب در توده‌های آناناسی و شریف‌آبادی و رقم چارلستون‌گری کاهش یافت؛ ولی در تودهٔ محبوبی بیشترین کارایی مصرف آب (۵۴/۸۵ کیلوگرم در متر مکعب) در شرایط آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی به دست آمد. تنش کم‌آبی تأثیر معنی‌داری بر اسیدیتهٔ میوه نداشت. باتوجه‌به نتایج، تودهٔ محبوبی با ۴۶/۹ درصد کاهش عملکرد در شرایط آبیاری ۵۰ درصد، کمترین کاهش عملکرد را نسبت به سایر توده‌ها داشت و نسبت به کم‌آبی متحمل‌تر بود.

واژه‌های کلیدی: عملکرد میوه، کارایی مصرف آب، کم‌آبی، مواد جامد محلول، نشت یونی

[*] نگارندهٔ مسئول: نشانی پست الکترونیک: tbarzegar@znu.ac.ir، شمارهٔ تماس: ۰۲۴۳۳۰۵۲۳۳۰

Copyright©2018, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

مقدمه

هندوانه (*Citrullus lanatus* L.) یکی از محصولات مهم جالیزی است. سطح زیر کشت هندوانه در ایران ۱۳۲۷۸۶ هکتار و متوسط عملکرد آن ۲۶/۸ تن در هکتار است و با تولید ۳۵۶۸۱۳۴ تن رتبهٔ دوم جهان را دارد (FAO, 2014). بررسی گستردهٔ کم‌آبی، رویکردی ارزشمند برای تولید پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. اهداف این رویکرد به بیشینه رساندن بهره‌وری مصرف آب و ایجاد بازده ثابت است. این روش در محصولات مختلف برای افزایش بهره‌وری آب بدون کاهش شدید عملکرد، موفقیت‌آمیز بوده است (Geerts and Raes, 2009). محدودیت رشد برگ و افزایش مقاومت روزنه‌ای به تبادلات گازی، کاهش جریان آب و تغذیهٔ معدنی را از ریشه به‌سوی قسمت‌های هوایی گیاه سبب می‌شود که بر جذب خالص تأثیر می‌گذارد و درنتیجه، تولید و تخصیص کربوهیدرات به قسمت‌های بالایی گیاه ازجمله میوه‌ها کاهش می‌یابد و به کاهش عملکرد منجر می‌شود (Shaw *et al*., 2002). علاوه‌براین، زمانی‌که منبع آب محدود است، ساختار گیاهی با افزایش نسبت ریشه به ساقه تغییر می‌کند (Chaves *et al*., 2003). بیشترین عملکرد بازارپسند هندوانه، در آبیاری کامل و کمترین آن در تنش شدید مشاهده شد (Kuşçu *et al*., 2015). تنش کم‌آبی در مرحلهٔ گل‌دهی، کاهش عملکرد و در مرحلهٔ تشکیل میوه کاهش کمیت و کیفیت میوهٔ طالبی را باعث می‌شود و در مرحلهٔ رسیدن بر کیفیت (مقدار قند) این میوه تأثیر می‌گذارد (Fabeiro *et al*., 2002). گیاهان برای کاهش آثار منفی خشکی از سازوکارهای متنوعی استفاده می‌کنند. این سازوکارها دامنهٔ گسترده‌ای از سلول تا کل گیاه دارد. گیاه با سازوکارهایی مانند کاهش سطح برگ و در مقیاس سلولی با افزایش سوخت‌وساز و تنظیم پتانسیل اسمزی با تجمع ترکیبات آلی در سلول‌های خود آثار زیان‌بار تنش را کاهش می‌دهد (Yamaguchi-Shinozaki *et al*., 2002). غلظت آمینواسیدها به‌ویژه پرولین به‌دنبال تنش آبی افزایش می‌یابد. از مهم‌ترین نقش‌های فیزیولوژیک تجمع پرولین در واکنش به کمبود آب، تنظیم فشار اسمزی و حفاظت از آنزیم‌های سیتوپلاسمی و ساختمانی غشاء است (Heuer, 1994). تجمع پرولین بر اثر تنش خشکی، در هندوانهٔ وحشی (Zulu, 2009) و نشاهای خربزه (Kavas *et al*., 2013) گزارش شده است. معرفی رقم‌های متحمل به کم‌آبی و توسعهٔ کشت آنها راه‌حل‌هایی سودمند برای کاهش آثار زیان‌بار تنش خشکی هستند.

اگرچه اثر تنش کم‌آبی بر رشد، عملکرد و فعالیت‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بسیاری از گیاهان بررسی شده است، اطلاعات اندکی دربارهٔ پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیک توده‌های *C. lanatus* به تنش کم‌آبی وجود دارد؛ بنابراین، هدف پژوهش حاضر بررسی پاسخ‌های رشد و فیزیولوژیک توده‌های هندوانه به تنش کم‌آبی بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۵ انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی، تیمار آبیاری در سه مقدار ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و فاکتور فرعی، سه

تودهٔ هندوانهٔ آناناسی، محبوبی و شریف‌آبادی و یک رقم تجاری چارلستون‌گری بود. بذور توده‌های هندوانه از زنجان تهیه و در نهم خرداد ۱۳۹۵ به‌صورت مستقیم در مزرعه کشت شدند. فاصلهٔ ردیف‌ها ۲۰۰ سانتی‌متر و فاصلهٔ بوته‌ها ۷۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. به‌این‌ترتیب هر واحد آزمایشی شامل هشت بوته بود. جداول ۱ و ۲ به‌ترتیب ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش و ویژگی‌های شیمیایی آب استفاده‌شده را نشان می‌دهند.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

عمق نمونه‌برداری (سانتی‌متر)	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	بافت خاک	مادهٔ آلی (٪)	پتاسیم (گرم بر کیلوگرم)	سدیم (گرم بر کیلوگرم)	کلسیم (گرم بر کیلوگرم)	نیتروژن (٪)	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	pH
۰-۳۰	۳۷	۳۸	۲۵	لوم رسی	۰/۹۴	۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۰۷	۱/۴۹	۷/۴

جدول ۲- نتایج تجزیهٔ شیمیایی آب استفاده‌شده برای آبیاری

pH	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	سدیم (میلی‌گرم بر لیتر)	پتاسیم (میلی‌گرم بر لیتر)	کلسیم (میلی‌گرم بر لیتر)	منیزیم (میلی‌گرم بر لیتر)	کلر (میلی‌گرم بر لیتر)	کربنات (میلی‌گرم بر لیتر)	بی‌کربنات (میلی‌گرم بر لیتر)	سولفات (میلی‌گرم بر لیتر)
۷/۲۸	۲/۷۱	۱۵۲	۲/۷۴	۴۰۰	۲۴۱/۶	۴۳۵/۳	۰/۰	۱۵۹	۵۵۰/۵

در آزمایش حاضر به‌طور منظم آبیاری کامل برای همهٔ گیاهان تا مرحلهٔ پنج‌برگی انجام شد و تیمارهای کم‌آبی در مرحلهٔ شش تا هفت‌برگی اعمال شدند. نیاز آبی گیاهان شاهد با میانگین بلندمدت داده‌های روزانهٔ شاخص‌های هواشناسی ثبت‌شده در ایستگاه هواشناسی سینوپنیک زنجان (جدول ۳) و رابطهٔ ۱ برآورد شد.

رابطهٔ ۱ $ET_C = ET_0 \times K_C$

در این رابطه، ETc، نیاز آبی هندوانه (میلی‌متر در روز)؛ ET_0، تبخیر - تعرق گیاه مرجع چمن (میلی‌متر در روز) و Kc، ضریب گیاهی هندوانه است. مقادیر ET_0 براساس روش استاندارد فائو - پنمن - مانتیث برآورد شدند. پس از محاسبهٔ مقادیر ETc، مقادیر نیاز خالص و نیاز ناخالص آب آبیاری گیاه هندوانه براساس فواصل کشت، نوع سیستم آبیاری (قطره‌ای - نواری) و دور آبیاری (دو روز) برآورد و سپس در هر نوبت آبیاری به گیاه داده شدند. نیاز آبی سایر تیمارهای کم‌آبی براساس نیاز آبی تیمار شاهد (۲۳۰۵ مترمکعب در هکتار) و درصد تنش آبی برآورد و توزیع شد (Vaziri *et al.*, 2009)

جدول ۳- میانگین بلندمدت شاخص‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک زنجان در دورهٔ رشد گیاه هندوانه

دمای هوا (درجهٔ سانتی‌گراد)			نقطهٔ شبنم (درجهٔ سانتی‌گراد)	سرعت باد (متر بر ثانیه)	ساعات آفتابی	رطوبت نسبی (درصد)		
کمینه	بیشینه	میانگین				کمینه	بیشینه	متوسط
۱۳/۷	۳۱/۲	۲۲/۵	۶/۷	۱/۶	۱۰/۹	۲۱	۵۸	۳۹/۵

صفات ارزیابی‌شده: در پایان فصل رشد، طول بوته برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. برای محاسبهٔ تعداد میوه در هر بوته، متوسط وزن میوه و عملکرد کل، میوه‌ها برحسب زمان رسیدگی آنها برداشت شدند و درنهایت، تعداد میوه برای هر بوته و عملکرد کل به دست آمد. کارایی مصرف آب (WUE) برحسب کیلوگرم در مترمکعب با تقسیم‌کردن عملکرد (Y) برحسب کیلوگرم در هکتار به آب مصرفی (W) برحسب متر مکعب در هکتار در فصل رشد برآورد شد (رابطهٔ ۲).

رابطهٔ ۲ $WUE=Y/W$

میانگین سطح برگ با دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل Delta T Devices، شرکت Cambridge، انگلستان) برحسب سانتی‌متر مربع به دست آمد. سفتی گوشت میوه با دستگاه سفتی‌سنج پنج کیلوگرمی (۵) (OSK-10576، ساخت کشور ژاپن) اندازه‌گیری شد. بدین‌منظور، لایهٔ پوست روی میوه از سه نقطهٔ متفاوت حذف شد و نوک فشارسنج با قطر ۱۱ میلی‌متر، داخل بافت میوه فشار داده شد و میزان سفتی برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع خوانده شد. برای اندازه‌گیری اسیدیتهٔ میوه از عصارهٔ تهیه‌شده از قسمت میانی گوشت میوه و pH متر رومیزی (مدلC863، شرکت Consort، بلژیک) استفاده شد. مقدار مواد جامد محلول با رفرکتومتر دستی (مدل N1، شرکت Atago، ژاپن) برحسب درصد بریکس ثبت شد.

هدایت روزنه‌ای با دستگاه پرومتر (مدل AP، شرکت Delta، انگلستان) برحسب سانتی‌متر بر ثانیه در برگ‌های میانی (گره‌های ۶ تا ۱۲) بین ساعات ۱۰ تا ۱۴ اندازه‌گیری و محتوای نسبی آب برگ با رابطهٔ ۳ محاسبه شد.

رابطهٔ ۳ $RWC= (FW-DW)/(TW-DW) \times 100$

در این رابطه، FW، وزن تر؛ DW، وزن خشک و TW، وزن اشباع است. وزن اشباع با قرارگرفتن نمونه‌ها در آب به‌مدت ۲۴ ساعت در شرایط تاریکی به دست آمد؛ سپس این نمونه‌ها در آون در دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد (Hanson and Hitz, 1982).

برای محاسبهٔ نشت یونی از روش Ben Hamed و همکاران (۲۰۰۷) استفاده شد. درصد نشت یونی (EL) از رابطهٔ ۴ با تقسیم هدایت الکتریکی اولیه (EC_1) بر هدایت الکتریکی سلول‌های مرده (EC_2) محاسبه شد.

رابطهٔ ۴ $EL= (EC1/EC2) \times 100$

فعالیت آنزیم پراکسیداز با روش Chance و Maehly (۱۹۵۵) براساس میزان اکسیدشدن گایاکول در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر برحسب واحد بر گرم وزن تر در دقیقه با اسپکتروفتومتر (مدل6505، شرکت JENWAY، انگلستان) در

دمای آزمایشگاه (۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری محتوای پرولین برگ با روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) با اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر انجام شد و درنهایت باتوجه‌به نمودار استاندارد به‌دست‌آمده از غلظت‌های مختلف پرولین خالص که به‌صورت یک رابطهٔ رگرسیونی است، برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد.

تحلیل آماری: درنهایت، تحلیل داده‌ها و مقایسهٔ میانگین‌ها با نرم‌افزار آماری SAS نسخهٔ ۹/۱ و با آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج

سطح برگ و طول بوته: تنش کم‌آبی، سطح برگ و طول بوته را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. بیشترین سطح تک‌برگ (۹۰/۴۴ سانتی‌متر مربع) در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و کمترین آن (۳۶/۳۸ سانتی‌متر مربع) در تنش ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد (جدول ۴). همچنین سطح برگ و طول بوته بین توده‌های هندوانه تفاوت معنی‌داری نشان داد؛ به‌طوری‌که بیشترین سطح برگ (۷۵/۱۵ سانتی‌متر مربع) در تودهٔ محبوبی و رقم چارلستون‌گری (۷۲/۴۶ سانتی‌متر مربع) و کمترین آن (۴۳/۱۴ سانتی‌متر مربع) در تودهٔ آناناسی مشاهده شد. بیشترین طول بوته (۵۹/ ۳۰۵ و ۲۸۹/۹۱ سانتی‌متر) مربوط به توده‌های محبوبی و شریف‌آبادی بود (جدول ۵).

جدول ۴- مقایسهٔ میانگین صفات رشدی، عملکرد و مواد جامد محلول اندازه‌گیری‌شده در مقادیر مختلف آبیاری

آبیاری (درصد نیاز آبی)	طول بوته (سانتی‌متر)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	مواد جامد محلول (درصد بریکس)	عملکرد (تن در هکتار)
۱۰۰	۳۱۱/۶۹ ۱۱±/۸۸ ^{a}	۹۰/۴۴ ± ۷/۴۷ ^{a}	۸/۱۱ ± ۰/۱۶ ^{b}	۸۵/۹۰ ± ۴/۰۹ ^{a}
۷۰	۲۶۵/۸۲±۱۸/۴۲ ^{b}	۵۹/±۷۰ ۴/۲۵ ^{b}	۸/۴۶ ± ۰/۱۹ ^{ab}	۴۶/۶۰ ± ۱/۶۹ ^{b}
۵۰	۱۸۷/۳ ± ۱۸/۳۴ ^{c}	۳۶/۳۸ ± ۳/۰۱ ^{c}	۹/۱۷ ± ۰/۲۰ ^{a}	۲۷/۱ ± ۱/۷۳ ^{c}

مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند. حروف متفاوت بیان‌کنندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح $p<۰/۰۵$ هستند.

جدول ۵- مقایسهٔ میانگین صفات رشدی، عملکرد و مواد جامد محلول اندازه‌گیری‌شده در توده‌های مختلف هندوانه

توده‌های هندوانه	طول بوته (سانتی‌متر)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	مواد جامد محلول (درصد بریکس)	عملکرد (تن در هکتار)
آناناسی	۲۱۸/۲۲ ± ۲۱/۰۴ ^{b}	۴۳/۱۴ ± ۶/۳۷ ^{c}	۹/۰۳۰±۰/۲۴ ^{a}	۳۸ ± ۲/۰۵ ^{b}
چارلستون‌گری	۲۰۶/۱۴ ± ۲۴/۸۹ ^{b}	۷۲/۴۶ ± ۸/۹۴ ^{a}	۹/۰۵۰±۰/۱۶ ^{a}	۴۶/۸± ۴/۲۹ ^{b}
شریف‌آبادی	۹۱/۲۸۹ ± ۲۱/۹۸ ^{a}	۵۷/۹۵ ± ۶/۳۰ ^{b}	۸/۱۷ ۰±۰/۲۶ ^{b}	۴۳/۵ ± ۲/۰۴ ^{b}
محبوبی	۳۰۵/۵۹ ± ۱۸/۱۸ ^{a}	۷۵/۱۵ ± ۱۲/۴۵ ^{a}	۸/۰۶۰±۰/۱۵ ^{b}	۸۴/۶ ± ۳/۱۲ ^{a}

مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند. حروف متفاوت بیان‌کنندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح $p<۰/۰۵$ هستند.

عملکرد و اجزای عملکرد: بین مقادیر آبیاری ازنظر عملکرد میوه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین عملکرد (۸۵/۵ تن در هکتار) در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و کمترین عملکرد (۲۷/۱ تن در هکتار) در تنش کم‌آبی ۵۰ درصد به دست آمد (جدول ۴). اثر متقابل توده‌ها و مقادیر مختلف آبیاری بر تعداد میوه و متوسط وزن میوه معنی‌دار بود. باتوجه‌به نتایج، تنش کم‌آبی در تودهٔ محبوبی تأثیری بر تعداد میوه نداشت و در توده‌های آناناسی و شریف‌آبادی و رقم چارلستون‌گری تعداد میوه را کاهش داد. بیشترین تعداد میوه در تودهٔ محبوبی (۳ عدد) در هر سه مقدار آبیاری و برای توده‌های آناناسی (۲/۶ عدد) و شریف‌آبادی (۲/۸ عدد) در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود. بیشینه متوسط وزن میوه (۷/۹۵ کیلوگرم) در رقم چارلستون‌گری در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و کمترین متوسط وزن میوه به‌ترتیب در توده‌های آناناسی (۱/۴ کیلوگرم) و شریف‌آبادی (۱/۸۶ کیلوگرم) در تیمار کم‌آبی ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به دست آمد (جدول ۶).

جدول ۶- تأثیر مقادیر مختلف آبیاری بر صفات تعداد و وزن میوه، اسیدیتهٔ میوه، پرولین وکارایی مصرف آب توده‌های مختلف هندوانه

آبیاری (درصد نیاز آبی)	توده‌های هندوانه	تعداد میوه	وزن متوسط میوه (کیلوگرم)	اسیدیتهٔ میوه	پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	سفتی گوشت میوه (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم در مترمکعب)
۱۰۰	آناناسی	۲/۶۶ ± ۰/۳۳ a	۳/۲۵ ± ۰/۳۱ de	۵/۲۳ ± ۰/۱۲ a	۲/۲۹ ± ۰/۰۶ g	۳/۸۱ ± ۰/۲۳ bcd	۲۷/۵۰ ± ۵/۶۳ ef
	چارلستون‌گری	۱/۵ ± ۰/۰۶ cd	۷/۹۵ ± ۰/۴۲ a	۵/۰۵ ± ۰/۰۴ abc	۳/۳۶ ± ۰/۳۰ fg	۶/۲ ± ۰/۳۵ a	۳۷/۷۲ ± ۲/۲۴ cd
	شریف‌آبادی	۲/۸ ± ۰/۲۴ a	۳/۶۲ ± ۰/۲۷ cd	۵/۰۷ ± ۰/۱۰ abc	۳/۱۷ ± ۰/۴۱ fg	۲/۹۳ ± ۰/۰۸ de	۳۲/۱ ± ۳/۷۱ de
	محبوبی	۳ ± ۰/۰۰ a	۵/۵۶ ± ۰/۴۰ b	۴/۸۳ ± ۰/۰۵ cd	۳/۱۴ ± ۰/۰۴ fg	۴/۶۵ ± ۰/۴۳ bc	۵۱/۷۶ ± ۳/۷۵ ab
۷۰	آناناسی	۲/۳۰ ± ۰/۳۳ ab	۲/۴۳ ± ۰/۰۴ ef	۵/۱۲ ± ۰/۰۲ ab	۲/۸۹ ± ۰/۲۶ fg	۳/۱۳ ± ۰/۲۲ de	۲۵/۲ ± ۴/۰۱ ef
	چارلستون‌گری	۱ ± ۰/۰۰ d	۴/۴۱ ± ۰/۴۲ c	۵/۱۷ ± ۰/۰۵ a	۵/۲۴ ± ۰/۱۵ cd	۴/۹۲ ± ۰/۴۱ b	۱۹/۵۳ ± ۱/۸۶ fg
	شریف‌آبادی	۱/۸ ± ۰/۰۷ bc	۳/۲۹ ± ۰/۲۴ de	۴/۸۹ ± ۰/۰۳ bcd	۳/۸۴ ± ۰/۱۰ ef	۳/۷۳ ± ۰/۰۳ de	۲۶/۸ ± ۲/۱۲ ef
	محبوبی	۳ ± ۰/۰۰ a	۳/۳۲ ± ۰/۲۴ de	۴/۷۶ ± ۰/۰۵ d	۵/۹۱ ± ۰/۳۲ c	۳/۴۷ ± ۰/۰۸ cde	۴۴/۱۷ ± ۳/۲۱ bc
۵۰	آناناسی	۱ ± ۰/۰۰ d	۱/۴۰ ± ۰/۲۲ f	۵/۲۱ ± ۰/۰۵ a	۴/۴۵ ± ۰/۴۰ de	۲/۴۲ ± ۰/۱۰ e	۸/۷۳ ± ۱/۳۸ h
	چارلستون‌گری	۱ ± ۰/۰۰ d	۳/۰۶ ± ۰/۳۵ de	۵/۲۹ ± ۰/۰۶ a	۷/۱۵ ± ۰/۲۳ b	۳/۷۶ ± ۰/۲۲ bcd	۱۹/۰۲ ± ۲/۱۷ fgh
	شریف‌آبادی	۱ ± ۰/۰۰ d	۱/۸۶ ± ۰/۰۷ f	۴/۸۲ ± ۰/۰۶ cd	۵/۰۵ ± ۱/۱۹ cd	۲/۶۳ ± ۰/۰۶ de	۱۱/۵۲ ± ۰/۴۵ gh
	محبوبی	۳ ± ۰/۰۰ a	۲/۹۵ ± ۰/۴۱ de	۴/۷۸ ± ۰/۰۳ d	۹ ± ۰/۱۴ a	۲/۷۶ ± ۰/۲۶ de	۵۴/۸۵ ± ۷/۶۴ a

مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند. حروف متفاوت بیان‌کنندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح $p<0/05$ هستند.

کارایی مصرف آب: اثر متقابل توده‌ها و مقادیر مختلف آبیاری بر کارایی مصرف آب معنی‌دار بود. در توده‌های آناناسی و شریف‌آبادی و رقم چارلستون‌گری با کاهش آبیاری (از ۱۰۰ تا ۵۰

درصد نیاز آبی گیاه)، میزان کارایی مصرف آب کاهش یافت؛ ولی در تودهٔ محبوبی با کاهش آبیاری از ۱۰۰ به ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه، کارایی مصرف آب کاهش یافت و با کاهش آبیاری به ۵۰ درصد، کارایی مصرف آب افزایش یافت؛ به‌طوری‌که بیشترین کارایی مصرف آب (۵۴/۸۵کیلوگرم بر متر مکعب) در تودهٔ محبوبی و کمترین آن (۸/۷۳ کیلوگرم بر متر مکعب) در تودهٔ آناناسی در شرایط تنش کم‌آبی ۵۰ درصد به دست آمد (جدول ۶). باتوجه‌به نتایج، اگرچه در همهٔ توده‌ها و تنها رقم آزمایش‌شده متوسط وزن میوه بر اثر تنش کم‌آبی کاهش یافت، در تودهٔ محبوبی برخلاف سایر توده‌ها، تعداد میوه در بوته در هر سه مقدار آبیاری مشابه بود و درنتیجه با کاهش ۵۰ درصدی حجم آب مصرفی، عملکرد میوه نسبت به سایر توده‌ها کاهش کمتری داشت. به‌همین‌دلیل، کارایی مصرف آب در این توده افزایش یافت.

مواد جامد محلول: تنش کم‌آبی میزان مواد جامد محلول میوه را بهبود بخشید؛ به‌طوری‌که بیشترین مقدار مواد جامد محلول (۹/۱۷ درصد بریکس) در تنش کم‌آبی ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به دست آمد (جدول ۴). توده‌ها نیز ازنظر مقدار مواد جامد محلول تفاوت معنی‌داری داشتند. بیشترین مقدار مواد جامد محلول (۹/۰۳ و ۹/۰۵ درصد بریکس) به‌ترتیب در تودهٔ آناناسی و رقم چارلستون‌گری به دست آمد (جدول۵). باتوجه‌به نتایج، تودهٔ آناناسی و رقم چارلستون‌گری در مقایسه با توده‌های شریف‌آبادی و محبوبی، مواد جامد محلول بیشتری داشتند.

سفتی گوشت میوه: مقادیر مختلف آبیاری تأثیر معنی‌داری بر سفتی گوشت میوه در توده‌های مختلف هندوانه داشتند. در تودهٔ شریف‌آبادی با کاهش آبیاری به ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه ابتدا سفتی گوشت میوه افزایش و سپس با کاهش آبیاری به ۵۰ درصد، سفتی گوشت میوه کاهش یافت که تفاوت معنی‌داری با آبیاری ۱۰۰ درصد نداشت؛ ولی در توده‌های آناناسی و محبوبی و رقم چارلستون‌گری، تنش کم‌آبی سفتی گوشت میوه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد؛ به‌طوری‌که بیشترین سفتی گوشت میوه (۶/۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) در رقم چارلستون‌گری در تیمار آبیاری شاهد و کمترین آن (۲/۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) در تودهٔ آناناسی در تیمار کم‌آبی ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به دست آمد (جدول ۶).

اسیدیتهٔ میوه: اثر متقابل توده‌ها و مقادیر مختلف آبیاری در اسیدیتهٔ میوه اثر معنی‌داری داشت و بیشترین اسیدیتهٔ میوه (۵/۲۳ و۵/۲۱) در تودهٔ آناناسی به‌ترتیب در تیمارهای آبیاری ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی و در رقم چارلستون‌گری (۵/۱۷ و ۵/۲۹) به‌ترتیب در تنش کم‌آبی ۷۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به دست آمد؛ درحالی‌که کمترین اسیدیته (۴/۷۶ و ۴/۷۸) در تودهٔ محبوبی در تیمارهای کم‌آبی ۷۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به دست آمد. باتوجه‌به نتایج، تیمار آبیاری تأثیری بر اسیدیتهٔ میوه نداشت و در همهٔ توده‌ها بین تیمارهای آبیاری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶).

نشت یونی: تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری درصد نشت یونی را افزایش داد؛ به‌طوری‌که بیشترین میزان نشت یونی (۸۵ درصد) در تیمار کم‌آبی ۵۰ درصد و کمترین آن (۷۱/۹ درصد) در تیمار آبیاری ۱۰۰

درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد (جدول ۷). بین توده‌های هندوانه، درصد نشت یونی تفاوت معنی‌داری داشت و کمترین درصد نشت یونی (۷۵/۵ درصد) در تودهٔ آناناسی و بیشترین درصد نشت یونی در تودهٔ محبوبی مشاهده شد که با تودهٔ شریف‌آبادی و رقم چارلستون‌گری تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۸).

جدول ۷- مقایسهٔ میانگین صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری‌شده در مقادیر مختلف

مقادیر آبیاری (درصد)	نشت یونی (درصد)	آنزیم پراکسیداز (واحد برگرم وزن تر در دقیقه)	هدایت روزنه‌ای (سانتی‌متر بر ثانیه)	محتوای نسبی آب برگ (درصد)
۱۰۰	۷۱/۹ ± ۱/۲۱ c	۰/۲۸ ± ۰/۰۴ c	۰/۶۱ ± ۰/۱۰ a	۸۱/۴۵ ± ۲/۰۵ a
۷۰	۸۰/۷ ± ۱/۰۴ b	۰/۴۹ ± ۰/۰۱ b	۰/۳۲ ± ۰/۰۳ b	۷۸ ± ۱/۴۳ a
۵۰	۸۵ ± ۱/۶۰ a	۰/۷ ± ۰/۰۲ a	۰/۲۳ ± ۰/۰۲ b	۷۰/۸۱ ± ۱/۶۱ b

مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیارند. حروف متفاوت بیان‌کنندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح $p<۰/۰۵$ هستند.

جدول۸- مقایسهٔ میانگین صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری‌شده در توده‌های مختلف هندوانه

توده‌های هندوانه	نشت یونی (درصد)	آنزیم پراکسیداز (واحد برگرم وزن تر در دقیقه)	هدایت روزنه‌ای (سانتی‌متر بر ثانیه)	محتوای نسبی آب برگ (درصد)
آناناسی	۷۵/۵ ± ۲/۵۷ b	۵۱/۰۳ ± ۰/۰ b	۰/۴۷ ± ۰/۱۲ a	۸۰/۲۸ ± ۱/۹۱ a
چارلستون‌گری	۷۹/۹ ± ۱/۶۸ a	۷۳/۰۲ ± ۰/۰ a	۰/۳۹ ± ۰/۱۰ a	۷۵/۹۹ ± ۱/۰۸ ab
شریف‌آبادی	۷۹/۴ ± ۲/۴۶ a	۰/۲۵ ± ۰/۰۱ c	۰/۴۶ ± ۰/۰۶ a	۷۵ ± ۱/۴۰ b
محبوبی	۸۲ ± ۲/۳۹ a	۰/۴۶ ± ۰/۰۶ b	۰/۲۳ ± ۰/۰۳ a	۷۵/۷۳ ± ۲/۰۵ ab

مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند. حروف متفاوت بیان‌کنندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح $p<۰/۰۵$ هستند.

محتوای پرولین: اثر متقابل توده‌ها و مقادیر مختلف آبیاری اثر معنی‌داری در محتوای پرولین برگ داشت. با افزایش تنش کم‌آبی، محتوای پرولین در بافت برگ همهٔ توده‌های هندوانه افزایش یافت. بیشترین محتوای پرولین (۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تودهٔ محبوبی در تنش کم‌آبی ۵۰ درصد نیاز آبی و کمترین آن (۲/۲۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تودهٔ آناناسی در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد به دست آمد (جدول ۶).

هدایت روزنه‌ای: هدایت روزنه‌ای بر اثر اعمال تنش کم‌آبی کاهش یافت؛ به‌طوری‌که بیشترین مقدار هدایت روزنه‌ای در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کمترین آن در تیمار آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد (جدول ۷). تفاوت هدایت روزنه‌ای بین توده‌ها به‌اندازهٔ کافی بزرگ نبود و ازلحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین آنها مشاهده نشد؛ ولی کمترین میزان هدایت روزنه‌ای مربوط به تودهٔ محبوبی بود (جدول ۸).

محتوای نسبی آب برگ: تیمار آبیاری بر محتوای نسبی آب برگ تأثیر معنی‌داری داشت. در بررسی

حاضر گیاهان در تنش کم‌آبی محتوای آب خود را در مقایسه با گیاهان شاهد از دست دادند. محتوای نسبی آب برگ گیاهان از ۸۱/۴۵ درصد در آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۷۰/۸۱ درصد در شرایط تنش کم‌آبی ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه کاهش نشان داد؛ ولی بین تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد و ۷۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۷). بین توده‌ها، بیشترین محتوای نسبی آب در تودهٔ آناناسی (۸۰/۲۸ درصد) و کمترین آن در تودهٔ شریف‌آبادی (۷۵ درصد) بود که تفاوت معنی‌داری با تودهٔ محبوبی و رقم چارلستون‌گری نداشتند (جدول ۸).

آنزیم پراکسیداز: کاهش آب آبیاری بر آنزیم پراکسیداز اثر معنی‌داری داشت؛ به‌طوری‌که کاهش آبیاری از ۱۰۰ به ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه افزایش میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز را از ۰/۲۸ به ۰/۷ واحد در گرم وزن تر در دقیقه باعث شد (جدول ۷). همچنین نتایج نشان دادند توده‌های هندوانه ازلحاظ فعالیت آنزیم پراکسیداز با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارند که بیشترین فعالیت (۰/۷۳ واحد در گرم وزن تر در دقیقه) و کمترین فعالیت (۰/۲۵ واحد در گرم وزن تر در دقیقه) آنزیم پراکسیداز به ترتیب در رقم چارلستون‌گری و تودهٔ شریف‌آبادی مشاهده شد (جدول ۸).

بحث

تنش کم‌آبی، طول بوته و سطح برگ را کاهش داد. یکی از پاسخ‌های مهم گیاه به تنش خشکی کاهش سطح برگ است. برپایهٔ گزارش‌های موجود بر اثر تنش کم‌آبی، سطح کل برگ در بسیاری از گیاهان مانند هندوانه (Suyum *et al*., 2012) و طالبی (Ahmadi-Mirabad *et al*., 2014) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. احتمالاً کاهش سطح برگ به‌دلیل کاهش محتوای نسبی آب برگ و به‌دنبال‌آن کوچک‌شدن اندازهٔ سلول‌ها، کاهش تقسیم سلول‌های مریستمی و درنتیجه کندشدن رشد برگ، توقف تولید برگ، تسریع پیری و ریزش برگ‌ها است (Osuagwu *et al*., 2010). کاهش طول بوته نیز ممکن است به‌دلیل افزایش ضعیف حجم سلولی در شرایط تنش کمبود آب باشد؛ به‌طوری‌که تنش کم‌آبی، گسترش و رشد سلول را به‌دلیل کم‌بودن فشار تورژسانس کاهش می‌دهد (Shao *et al*., 2009). کاهش طول بوته در تنش آبی به‌دلیل کاهش رشد گیاه است که به‌علت بسته‌شدن روزنه‌ها بر اثر کاهش پتانسیل آب خاک اتفاق می‌افتد (Shao *et al*., 2008). نتایج به‌دست‌آمده با نتایج Ahmadi-Mirabad و همکاران (۲۰۱۴) هم‌خوانی داشتند.

در بررسی حاضر، عملکرد میوهٔ هندوانه با افزایش آب آبیاری افزایش یافت. علاوه‌براین، افزایش حجم آب آبیاری با افزایش تعداد میوه و متوسط وزن میوه، عملکرد را افزایش داد. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج بررسی‌های پیشین مبنی بر کاهش عملکرد هندوانه در تنش کم‌آبی هم‌خوانی دارند (Kuşçu *et al*., 2015). در دورهٔ تنش، سطح کل برگ هر گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد و کاهش سطح برگ بر اثر تنش کم‌آبی، دلیل اصلی کاهش عملکرد است (Shao *et al*., 2008). تنش کم‌آبی در مرحلهٔ رویشی اعمال شد؛ بنابراین بر گل‌دهی و تشکیل میوه اثر گذاشت و درنتیجه تعداد میوه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کمبود بیش از حد آب، تعداد میوه را در بوته به‌دلیل

افزایش سقط گل کاهش می‌دهد (Shishido *et al.*, 1992). باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده کاهش سطح برگ، تعداد و متوسط وزن میوه در تنش کم‌آبی به کاهش عملکرد کل منجر شدند. تنش کم‌آبی بر تعداد میوه در تودهٔ محبوبی اثر نگذاشت و کاهش عملکرد این توده به‌دلیل کاهش وزن میوه بود و در سایر توده‌ها تعداد میوه و وزن میوه بر اثر کم‌آبی کاهش یافتند.

یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در برنامه‌ریزی آبیاری، کارایی مصرف آب یا مقدار مادهٔ خشک تولیدی به‌ازای واحد آب مصرفی است که عملکرد اقتصادی، عملکرد زیستی و میزان آب مصرفی از عوامل تعیین‌کنندهٔ آن هستند. در شرایط نزدیک به تنش کمبود آب، گیاه در مقایسه با شرایط آبی، نسبت به میزان آب مصرف‌شده محصول بیشتری تولید می‌کند (Shabiri *et al.*, 2006) نتایج نشان دادند تنش کم‌آبی کارایی مصرف آب را کاهش داد و بین توده‌ها بیشترین کارایی مصرف آب مربوط به تودهٔ محبوبی بود. Li و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند کارایی مصرف آب گیاه گوجه‌فرنگی با افزایش آب آبیاری بهبود یافت.

شیرینی میوه از شاخص‌های مهم تعیین کیفیت میوهٔ هندوانه است (Yativa *et al.*, 2010). تنش کم‌آبی، افزایش محتوای مواد جامد محلول میوه را در همهٔ توده‌ها باعث شد. یکی از وظایف مهم گیاه در تنش خشکی، حفظ آماس سلولی با تنظیم اسمزی است که این عمل با فرایند فعال تجمع مواد حل‌شدنی مناسب هنگام رشد و تنش آب رخ می‌دهد (Blum, 1988). تجمع مواد جامد محلول در سلول و کاهش میزان آب ذخیره‌شده در میوه به‌دلیل افزایش تولید هورمون آبسزیک اسید و غلبه بر کاهش پتانسیل اسمزی در شرایط خشکی هستند (Long *et al.*, 2004). Kuşçu و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی دوسالهٔ (۲۰۱۱ و ۲۰۱۲) تنش کم‌آبی در هندوانه در مراحل مختلف رشد (رویشی، گلدهی، تشکیل میوه و مرحلهٔ رسیدن) به این نتیجه دست یافتند که بیشترین مقدار مواد جامد محلول در شرایط کم‌آبی در مراحل رشد رویشی و گل‌دهی به دست آمد.

بر اثر تنش خشکی، روزنه‌ها بسته می‌شوند و تبخیر و تعرق کاهش می‌یابد و باتوجه‌به‌اینکه کلسیم به‌صورت توده‌ای همراه آب در آوندهای چوبی انتقال می‌یابد؛ بنابراین، جذب کلسیم کاهش می‌یابد و باتوجه به نقش کلسیم در پایداری و استحکام دیواره و غشای سلولی، کاهش جذب این عنصر بر اثر کم‌آبی نرم‌شدن گوشت میوه را سبب می‌شود (Babalar *et al.*, 1998). تنش کم‌آبی تولید اتیلن و درنتیجه تنفس را افزایش می‌دهد. اتیلن به‌دلیل تنظیم بیان ژنها و آنزیم‌های دخیل در واکنش‌های مربوط به دیوارهٔ سلولی تغییر سفتی بافت میوه را سبب می‌شود. بر اثر عمل اتیلن فعالیت آنزیم پلی گالاکتروناز بیشتر می‌شود و کاهش سفتی بافت میوه را سبب می‌شود (Stella *et al.*, 2005). در بررسی دوسالهٔ اثر مقادیر مختلف آبیاری بر رقم Sancho خربزه گزارش شد در سال اول به‌دلیل نزدیک‌بودن مقادیر آبیاری (۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد تبخیر و تعرق محصول) تفاوت معنی‌داری بین سفتی گوشت میوهٔ گیاهان قرارگرفته در تیمارهای آبیاری مشاهده نشد؛ ولی در سال دوم با اعمال تنش آبی شدیدتر (۴۰، ۶۰ و ۱۴۰ درصد تبخیر و تعرق

محصول) مشاهده شد کمبود آب اثر منفی بر سفتی گوشت میوه دارد و میوه‌های با گوشت سفت‌تر در گیاهان قرارگرفته در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد مشاهده شدند (Cabello *et al*., 2009).

مقدار اسیدیته نقش مهمی در تعیین ویژگی‌های کیفی میوه ایفا می‌کند. نتایج نشان دادند تنش کم‌آبی تأثیری بر اسیدیتهٔ میوه ندارد؛ ولی بین توده‌ها ازنظر ژنتیکی تفاوت معنی‌داری در اسیدیتهٔ میوه وجود داشت. در گیاه خربزه نیز تنش‌های مختلف آبیاری بر اسیدیتهٔ میوه اثر نداشت (Cabello *et al*., 2009).

در تنش کم‌آبی، درصد نشت یونی در همهٔ توده‌ها افزایش یافت. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج پژوهش‌های پیشین مبنی‌بر افزایش نشت یونی با پیشرفت تنش خشکی هم‌خوانی داشتند (Guo *et al*., 2006; Mohammadzade and Soltani , 2015). تنش خشکی اختلال در فعالیت‌های غشای سلول را باعث می‌شود و به‌دنبال‌آن، شاخص‌های پایداری غشای سلول در گیاهان کاهش می‌یابد که باعث نشت یونی از داخل سلول به بیرون آن می‌شود (Hassani Moghadam *et al*., 2016). تنش کم‌آبی با القای تنش اکسیداتیو و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن، پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشاهای سلولی را سبب می‌شود و نفوذپذیری غشا و نشت یونی را افزایش می‌دهد.

با افزایش تنش کم‌آبی محتوای پرولین برگ‌ها در همهٔ توده‌ها افزایش یافت. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج اعمال تنش کم‌آبی در دستنبو، طالبی ایرانی (Zaynali *et al*., 2012) و خربزه (Kavas *et al*., 2013) هم‌خوانی دارند. تحمل به تنش خشکی به توانایی گیاه برای ادامهٔ حیات هنگام کاهش پتانسیل آب بافت‌های گیاهی گفته می‌شود. سازوکارهای تحمل به خشکی، بیشتر حفظ تورژسانس سلولی با تجمع نمک‌های محلول درون‌سلولی یا مقاومت پروتوپلاسمی هستند. ازجمله مهم‌ترین موادی که تجمع آنها در سلول‌های گیاهی در تنش خشکی افزایش می‌یابد، آمینواسید آزاد پرولین است که حفظ پتانسیل اسمزی نقش دارد (Zafari and Niknam, 2012).

با اعمال تنش کم‌آبی، هدایت روزنه‌ای برگ‌ها کاهش یافت. Kusvuran (۲۰۱۰) در بررسی آثار شوری و خشکی بر توده‌های خربزه مشاهده کرد گیاهان تنش‌دیده، به‌طور معنی‌داری هدایت روزنه‌ای کمتری نسبت به گیاهان آبیاری‌شده دارند که میزان تعرق برگ را در شرایط شوری و خشکی کاهش می‌دهد. بررسی‌ها نشان دادند به‌دنبال کمبود آب، تولید آبسزیک اسید در برگ‌ها افزایش می‌یابد که بسته‌شدن روزنه‌ها و درنتیجه کاهش هدایت روزنه‌ای برگ را موجب می‌شود (Zhang and Davies, 1989).

در پژوهش حاضر، با افزایش تنش کم‌آبی، محتوای نسبی آب به‌صورت معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت. کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی ممکن است به این دلیل باشد که هنگام تنش، میزان تعرق گیاه بیش از جذب آب است و درنتیجه با به‌هم‌خوردن تعادل آبی گیاه، محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد (Lawlor and Cornic, 2002). همچنین کاهش محتوای آب برگ ممکن است به‌علت کاهش دسترسی به آب در شرایط تنش یا کاهش سطح جذب ریشهٔ گیاه و درنتیجه جبران‌نشدن آب

ازدست‌رفته با تعرق باشد (Smart and Bingham, 1974). همچنین در تأیید نتایج پژوهش حاضر، گزارش شده است محتوای نسبی آب گیاه هندوانه در تنش خشکی به میزان ۲۰ تا ۲۵ درصد کاهش یافت (Ferus *et al.*, 2011)

پراکسیداز، آنزیم تنش شناخته شده است. در گیاهان عالی آنزیم پراکسیداز در تعدادی از فرایندهای سلولی مانند سازوکار دفاعی میزبان، اتصال عرضی مونومرهای گلیکوپروتئین‌های غنی از هیدروکسی پرولین موجود در دیوارهٔ سلولی، اتصال عرضی پلی ساکاریدهای پکتیکی به یکدیگر با اسیدهای فنولی در دیوارهٔ سلولی و عمل چوبی‌شدن و چوب‌پنبه‌ای‌شدن شرکت می‌کند (Reddy *et al.*, 2004). آنزیم پراکسیداز نقش کلیدی در سم‌زدایی پراکسید هیدروژن، حذف مالون‌دی‌آلدهید که منجر به پراکسیداسیون لیپیدی غشاء می‌شود و حفظ ثبات دیوارهٔ سلولی ایفا می‌کند (Hojati *et al.*, 2011). در بررسی‌ها بر مرحلهٔ نشایی برنج مشخص شد افزایش فعالیت پراکسیداز در گیاهان قرارگرفته در تنش خشکی با واکنش‌های اکسندهٔ به‌وجودآورندهٔ رادیکال‌های آزاد و پراکسیدهای آلی همبستگی دارد و پراکسیداز نقش مؤثری در پاک‌کردن هیدروژن پراکسید دارد (Sharma and Dubey, 2005).

جمع‌بندی

نتایج پژوهش حاضر نشان دادند کاهش آب مصرفی بروز تنش را در گیاهان باعث شد؛ به‌طوری‌که بر شاخص‌های رشد، عملکرد و فیزیولوژیک گیاه مؤثر بود و تنش کم‌آبی، مواد جامد محلول، محتوای پرولین، نشت یونی و آنزیم پراکسیداز را افزایش و طول بوته، سطح برگ، تعداد میوه، متوسط وزن میوه، عملکرد، سفتی گوشت میوه، هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ را کاهش داد. توده‌های هندوانه ازنظر عملکرد تفاوت معنی‌داری با هم داشتند؛ به‌طوری‌که بیشترین عملکرد در تودهٔ محبوبی در آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد. تنش کم‌آبی کاهش تعداد میوه و وزن میوه را باعث شد و کارایی مصرف آب را کاهش داد. در تودهٔ محبوبی بر اثر تنش کم‌آبی، تعداد میوه در بوته کاهش و کارایی مصرف آب افزایش یافت. بیشترین میزان پرولین (۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و مقدار کارایی مصرف آب (۵۴/۸۵ کیلوگرم در متر مکعب) در تودهٔ محبوبی در تنش کم آبی ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به دست آمد. باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده، تودهٔ محبوبی با ۴۶/۹ درصد کاهش عملکرد در شرایط آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی، کمترین کاهش عملکرد را نسبت به سایر توده‌ها داشت و نسبت به کم‌آبی متحمل‌تر بود.

سپاسگزاری

از معاونت پژوهشی دانشگاه زنجان بابت تأمین امکانات پژوهش حاضر و آقای مهندس نوری، کارشناس مزرعهٔ تحقیقاتی سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Ahmadi-Mirabad, A., Lotfi, M. and Roozban, M. R. (2014) Growth, yield, yield components and water use efficiency in irrigated cantaloupes under full and deficit irrigation. Electronic Journal of Biology 10(3): 79-84.

Babalar, M., Dolati Baneh, A. and Shraftyan, D. (1998) Effect of calcium chloride on the quality of post-harvest storage of two varieties of grape and currant Shahroudi. Iranian Journal of Horticultural Science 15(1): 31-40 (in Persian).

Bates, L. W., Aldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

Ben Hamed, K., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A. and Abdelly, C. (2007) Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. Plant Growth Regulators 53: 185-194.

Blum, A. (1988) Plant breeding for stress environment. Chemical Rubber Company (CRC) Press, Inc., Boca Raton.

Cabello, M. J., Castellanos, M. T., Romojaro, F., Martinez-Madrid, C. and Ribas, F. (2009) Yield and quality of melon grown under different irrigation and nitrogen rates. Agricultural Water Management 96: 866-874.

Chance, B. and Maehly, A. C. (1955) Assay of catalase and peroxidases. Methods in Enzymology 2: 764-775.

Chaves, M. M., Maroco, J. P. and Pereira, J. S. (2003) Understanding plant responses to drought from genes to whole plant. Functional Plant Biology 30: 239-264.

Fabeiro, C., Martin de Santa Olalla, F. 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: 93-105.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome (2014) FAOSTAT: core production data. Retrieved from http://faostat.fao.org/site/340/default.aspx. On: 15 September 2017.

Ferus, P., Ferus Ova, S. and Kona, J. (2011) Water dynamics and productivity in dehydrated watermelon plants as modified by red polyethylene mulch. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 35: 391-402.

Geerts, S. and Raes, D. (2009) Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agricultural Water Management 96: 1275-1284.

Guo, Z., Ou, W., Lu, S. and Zhong, Q. (2006) Differential response of antioxidative system to chilling and drought in four rice cultivars differing in sensitivity. Plant Physiology and Biochemistry 44: 828-836.

Hanson, A. D. and Hitz, W. D. (1982) Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. Annual Review of Plant Biology 33: 163-203.

Hassani Moghadam, E., Esna-Ashari, M. and Rezainejad, A. (2016) Effect of drought stress on some physiological characteristics in six commercial Iranian pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars. Plant Production Technology 15: 1-11 (in Persian).

Heuer, B. (1994) Osmoregulatory role of proline in water and salt stressed plants. In: Handbook of plant and crop stress (Ed. Pessarakli, M.) 363-383. Marcel Dekker publisher, New York.

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.

Kavas, M., Cengiz, M. and Akca, O. (2013) Effect of drought stress on oxidative damage and antioxidant enzyme activity in melon seedlings. Turkish Journal of Biology 37: 491-498.

Kuşçu, H., Turhan, A., Ozmen, N., Aydınol, P., Büyükcangaz, H. and Demir, A. O. (2015) Deficit irrigation effects on watermelon (*Citrullus vulgaris*) in a sub-humid environment. Journal of Animal and Plant Sciences 25(6): 1652-1659.

Kusvuran, S. (2010) Relationships between physiological mechanisms of tolerances to drought and salinity in melons. PhD thesis, University of Cukurova, Adana, Turkey.

Lawlor, D. W. and Cornic, G. (2002) Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell and Environment 25: 275-294.

Li, X. L., Liu, F. L., Li, G. T., Lin, Q. M. and Jensen, C. R. (2010) Soil microbial response, water and nitrogen use by tomato under different irrigation regimes. Agricultural Water Management 98(3): 414-418.

Long, R. L., Walsh, K. B., Rogers, G. and Midmore, D. M. (2004) Sourse-sink manipulation to increase melon fruit biomass and soluble sugar content. Australian Journal of Agricultural Research 55: 1241-1251.

Mohammadzade, Z. and Soltani, F. (2015) Morphological and physiological response of two accessions of *Citrullus colocynthis* to drought stress induced by polyethylene glycol. Iranian Journal of Plant Physiology 5(3): 1361-1371.

Osuagwu, G. G. E., Edeoga, H. O. and Osuagwu, A. N. (2010) The influence of water stress (drought) on the mineral and vitamin potential of the leaves of *Ocimum gratissimum* L. Recent Research in Science and Technology 2: 27-33.

Reddy, A. R., Chaitanya, K. V. and Vivekanandan, M. (2004) Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology 161: 1189-1202.

Shabiri, S., Ghasemi-Ghalezani, K., Gholchin, A. and Saba, J. (2006) The effect of irrigation water on the phenology and yield of three genotypes chickpea (*Cicer arietinum* L.). Journal of Agricultural Sciences 16(2): 137-147 (in Persian).

Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A. and Zhao, C. X. (2008) Water deficit stress induced anatomical changes in higher plants. Comptes Rendus Biologies 331(3): 215-225.

Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A., Manivannan, P., Panneerselvam, R. and Shao, M. A. (2009) Under standing water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants–biotechnologically and sustainably improving agriculture and the ecoenvironment in arid regions of the globe. Critical Reviews in Biotechnology 29(2): 131-151.

Sharma, P. and Dubey, R. S. (2005) Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. Plant Growth Regulation 46: 209-221.

Shaw, B., Thomas, T. h. and Cooke, D. T. (2002) Responses of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to drought and nutrient deficiency stress. Plant Growth Regulation 37: 77-83.

Shishido, Y., Yahashi, T., Seyama, N. and Imada, S. (1992) Effects of leaf position and water management on translocation and distribution of 14C assimilates in fruiting muskmelons. Journal of the Japanese Society for Horticultural Sciences 60: 897-903.

Smart, R. and Bingham, G. E. (1974) Rapid estimates of relative water content. Plant Physiology 53: 258-260.

Stella, S., Costa, F., Bregoli, A. M. and Sansavini, S. (2005) Study on expression of gene involved in ethylene biosynthesis and fruit softening in apple and nectarine. Acta Horticulturae 682: 141-147.

Suyum, K., Dasgan, H. Y., Sari, N. and Kusvuran, S. (2012) Genotypic variation in the response of watermelon genotypes to salinity and drought stresses. In: Proceedings of the 15th National Vegetable Symposium, Konya,Turkey.

Vaziri, Zh., salamat, A., Ansari, M., Meschi, M., Heidari, N. and Dehqany

Sanych, H. (2009) Evapotranspiration plant (water consumption guidelines for plants) (Translation). Publications of the National Committee of Irrigation and Drainage, Tehran (in Persian).

Yamaguchi-Shinozaki, K., Kasuga, M., Liu, Q., Nakashima, K., Sakuma, Y., Abe, H., Shinwari, Z. K., Seki, M. and Shinozaki, K. (2002) Biological mechanisms of drought stress response. Japan International Research Center for Agricultural Sciences Working Report 1-8.

Yativa, M., Harary, I. and Wolf, S. (2010) Sucrose accumulation in watermelon fruits: Genetic variation and biochemical analysis. Journal of Plant Physiology 167: 589-596.

Zafari, S. and Niknam, V. (2012) Effect of phytoplasma infection on metabolite content and antioxidant enzyme activity in lime (*Citrus aurantifolia*). Acta Physiologiae Plantarum 34: 561-568.

Zaynali, N., Delshad, M., Kashi, A. K. and Haghbin, K. (2012) Effect of water stress on yield and fruit quality of some Iranian melons. Iranian Journal of Horticultural Science 43(4): 403-410 (in Persian).

Zhang, J. and Davies, W. J. (1989) Abscisic acid produced in dehydrating roots may enable the plant to measure thewater status of the soil. Plant, Cell and Environment 12: 73-81.

Zulu, N. S. (2009) Wild watermelon (*Citrullus lanatus* L.) landrace production in response to three seedling growth media and field planting dates. MSc thesis, University of KwaZulu-Natal, Pietermaritzburg, South Africa.