Journal of
Plant Environmental Physiology
Print ISSN: 2423-7671
Online ISSN: 2783-4689
PSI
Phycological Society of Iran

Evaluation of some physiological responses of three indigenous watermelon (*Citrullus lanatus* L.) accessions to drought stress

Ali Rouin[1], Amin Baghizadeh[2*], Mahmoud Roghami[3], Amir Mousavi[4]

[1] Department of Horticulture, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran, Email: rouinali007@gmail.com
[2] Department of Biotechnology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran, E-mail: amin_4156@yahoo.com
[3] Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran, Email: mraghami@vru.ac.ir
[4] Department of Plant Molecular Biotechnology, National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology, Tehran, Iran, Email: m-amir@nigeb.ac.ir

Article type:
Research Full Paper

Article history
Received: 14.10.2021
Revised: 31.12.2021
Accepted: 09.01.2022
Published:24.06.2023

Keywords
Electrolyte leakage
Enzymatic antioxidants
Proline
Tolerant indigenous accessions
Yield

Abstract

In view of limitation of water resources in Iran, screening drought-tolerant watermelon genotypes and evaluating their response to drought stress conditions have been a research priority in the country. In order to study the physiologic an agronomic response of indigenous accessions of Aliabad, Sistani, and Torbat to water stress, a field study was carried out as a randomized complete block design with split plot arrangement of treatments under three water regimes, namely 100, 70, and 40% of required water, representing non-stress, mild stress, and severe stress treatments, respectively, at Jiroft region in the spring and summer of 2017 growing seasons. The highest fruit weight and yield were observed at 100% and 70% required water whereas the lowest was achieved at 40% treatment. There were no significant differences among accessions under non-stress and 70% required water treatments while Sistani accession showed a better physiological and agronomic yield in response to increasing water stress level to 40% required water. Increasing drought stress led to an increase in proline concentration and activity of superoxide dismutase and catalase antioxidant enzymes in all accessions, and this increase was higher in Sistani in comparison to other accessions. Based on the results obtained from this research, it could be stated that Sistani accession through maintaining its physiological and agronomic yield showed a better tolerance under adverse drought stress condition in comparison with the other accessions. Finally, utilization of indigenous and tolerant watermelon genotypes in breeding programs and irrigation managements might help in overcoming water shortage.

Cite this article as: Rouin, A., Baghizadeh, A., Roghami, M., Mousavi, A. (2023). Evaluation of some physiological responses of three indigenous watermelon (*Citrullus lanatus* L.) accessions to drought stress. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 70(2): 99-111.

©The author(s)
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch
Doi: 10.30495/iper.2022.1942195.1736
Dor: 20.1001.1.24237671.1402.18.70.2.2

فیزیولوژی محیطی گیاهی
شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۷۶۷۱
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۶۸۹
PSI
انجمن جلبک شناسی ایران
Phycological Society of Iran
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد گرگان

ارزیابی برخی از پاسخ‌های فیزیولوژیکی سه توده بومی هندوانه (*Citrullus lanatus* L.) به تنش خشکی

علی روئین[۱]، امین باقی زاده[۲]*، محمود رقامی[۳]، امیر موسوی[۴]

[۱] گروه باغبانی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، رایانامه: rouinali007@gmail.com

[۲] گروه بیوتکنولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران، رایانامه:amin_4156@yahoo.com

[۳] گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، رفسنجان، ایران، رایانامه: mraghami@vru.ac.ir

[۴] گروه بیوتکنولوژی کشاورزی ، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری، ایران، رایانامه: m-amir@nigeb.ac.ir

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۹
تاریخ چاپ: ۱۴۰۲/۰۴/۰۳

واژه‌های کلیدی:
آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی
پرولین
توده¬های محلی مقاوم
عملکرد
نشت یونی

چکیده

شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش خشکی در هندوانه و ارزیابی پاسخ آن‌ها با توجه به محدود بودن منابع آبی در کشور یک اولویت تحقیقاتی محسوب می‌شود. به منظور ارزیابی پاسخ فیزیولوژیک و زراعی توده‌های هندوانه محلی علی‌آباد، سیستانی و تربت به تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی دارای سه رژیم آبیاری ۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی که به ترتیب به عنوان تیمارهای عدم تنش، تنش خفیف و تنش شدید تقسیم بندی شدند، در بهار و تابستان ۱۳۹۷ در منطقه جیرفت اجرا شد. بیشترین مقدار عملکرد در سطوح ۱۰۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی بود و کمترین آن در سطح ۴۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد. در تیمار عدم تنش و رژیم آبیاری ۷۰ درصد بین توده‌ها از لحاظ عملکرد، محتوای رطوبت نسبی و مقدار پرولین تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. با افزایش تنش و اعمال رژیم آبیاری ۴۰ درصد نیاز آبی، توده سیستانی عملکرد فیزیولوژیک و زراعی بهتری از خود نشان داد. با افزایش مقدار تنش محتوای پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سوپر اکسید دسموتاز و کاتالاز در تمامی توده‌ها افزایش یافت که این مقدار افزایش در هندوانه سیستانی بیشتر از توده‌های دیگر بود. با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان اظهار داشت که توده سیستانی با حفظ عملکرد فیزیولوژیکی و زراعی در شرایط تنش نسبت به دیگر هندوانه‌ها مقاومت بهتری نشان داد. استفاده از توده‌های محلی و متحمل هندوانه در برنامه‌های اصلاحی و مدیریت بهینهٔ آبیاری می‌تواند به کشاورزان در رویارویی با کمبود آب کمک کند.

استناد: روئین، علی؛ باقی‌زاده، امین؛ رقامی، محمود؛ موسوی، امیر. (۱۴۰۲). ارزیابی برخی از پاسخ‌های فیزیولوژیکی سه توده بومی هندوانه (*Citrullus lanatus* L.) به تنش خشکی. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۷۰ (۲)، ۱۱۱-۹۹.

Doi: 10.30495/iper.2022.1942195.1736
Dor: 20.1001.1.24237671.1402.18.70.2.2

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

آب به عنوان یک منبع اقتصادی کمیاب در سرتاسر جهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود که علاوه برتاثیر برکمیت و کیفیت گیاهان، پتانسیل استفاده از زمین‌های زراعی را نیز تحت تأثیر قرار داده است (Ahmad et al., 2018). استفاده از گیاهان و ارقام گیاهی که برای رسیدن به عملکردی مطلوب به مقادیر زیادی از نهاده‌های کشاورزی به‌ویژه آبیاری نیاز دارند، با مفاهیم کلیدی بوم‌شناسی و تولید پایدار محصولات زراعی تناقض دارد. لذا امروزه شناسایی و به کارگیری توده‌های گیاهی بومی با تولید اقتصادی قابل قبول و نیاز آبی پایین، امری ضروری و اجتناب ناپذیر می‌باشد (Behzadnejad et al., 2020).

هندوانه (*Citrullus lanatus*) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده کدوئیان (Cucurbitaceae)، یک گیاه اقتصادی مهم در سرتاسر دنیا محسوب می‌شود به طوری که ۲۲ درصد از سطح زیر کشت کل سبزیجات دنیا را به خود اختصاص داده است (Kuşçu et al., 2015). بنا بر آمار سازمان خواروبار و کشاورزی در سال ۲۰۱۹، ایران با تولید حدود دو میلیون تن هندوانه بعد از کشورهای چین و ترکیه، به عنوان یکی از مهم‌ترین قطب‌های تولید هندوانه در دنیا محسوب می‌شود (FAO, 2019). این در حالی هست که سطح زیر کشت و تولید هندوانه در کشورمان در سال ۲۰۲۰ (سطح زیر کشت حدود ٦٩ هزار هکتار و تولید دو میلیون تن) در مقایسه با سال ۲۰۱۵ (سطح زیر کشت ۱۲۵ هزار و عملکرد ۳/۸ میلیون تن) کاهش چشمگیری داشته است. با توجه به رشد سریع، دوره رشد رویشی کوتاه و محتوای ۹۲-۹۰ درصد آب، این گیاه به‌عنوان یک گیاه با نیاز آبی بالا شناخته می‌شود (Demirbas, 2017). این در حالی هست که در اکثر مناطق ایران کشت و کار هندوانه در مناطق گرم خشک و نیمه‌خشک صورت می‌گیرد که بارندگی به خصوص در تابستان که فصل کشت هندوانه و دیگر صیفی‌جات می‌باشد، بسیار پایین و تبخیر و تعرق بالا می‌باشد که لزوم آبیاری مؤثر برای رسیدن به یک عملکرد اقتصادی و کیفی را ضروری می‌سازد. این در حالی هست که علی‌رغم مشکل کمبود آب در کشور و نبود منابع آبی پایدار، اکثر ارقام تجاری مورد استفاده هندوانه به علت گزینش و اصلاح در شرایط پربازده نسبت به تنش خشکی حساس می‌باشند. به عبارت دیگر، در این مناطق کمبود آب به عنوان یک مشکل اساسی برای مدیریت کشاورزی محسوب می‌شود و از طرفی تلاش‌های اصلاحی برای تولید ارقام مقاوم به علت پیچیده بودن صفات مقاومت به تنش چندان مؤثر نبوده هست. در این میان ارقام بومی مناطق خشک تا نیمه‌خشک به علت سازگاری مطلوب به شرایط تنش می‌توانند یک منبع ژنتیکی مفید از صفات برای بهبود مقاومت به تنش خشکی و برای کاشت در این مناطق مورد استفاده قرا گیرند (Abdelkhalik et al., 2019). به خوبی ثابت شده است که مقاومت و تحمل به تنش خشکی از گونه‌ای به گونه‌ای دیگر و حتی در درون گونه‌ها از رقمی به رقم دیگر متفاوت است. گیاهان مقاوم به تنش خشکی با تجمیع مواد آلی تعدیل کننده فشار اسمزی درون سلولی مانند پرولین، گلایسین، بتائین و غیره می‌توانند مانع هدر روی محتوای آب سلول شده و در نتیجه باعث حفظ ساختار سلولی در شرایط تنش شوند (Huseynova et al., 2016). افزون بر این، تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز و سوپر اکسید دسموتاز نیز در برخی گیاهان تحت شرایط تنش افزایش می‌یابد که این آنزیم‌ها با کاهش تجمع گونه‌های فعال اکساینده می‌توانند نقش بسزایی در تعدیل اثرات تنش در گیاهان مختلف داشته باشند (Ahmad et al., 2018). در این راستا، برزگر و

همکاران (۲۰۱۷) در بررسی اثر تنش خشکی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فیزیولوژیکی چهار ژنوتیپ خربزه (*Cucumis melo* L.) ایرانی نشان دادند که با افزایش تنش خشکی از ٦٦ به ۳۳ درصد نیاز آبی، مقدار پرولین و همچنین میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی افزایش یافت.

اگر چه تحقیقات وسیعی در رابطه با اثر تنش خشکی بر گیاهان مختلف انجام گرفته است اما رفتار گیاه هندوانه به‌ویژه توده‌های بومی آن تحت شرایط کمبود آب به خوبی مطالعه نشده است؛ بنابراین واضح است که ادامه کشت و کار گیاه هندوانه در نواحی خشک تا نیمه‌خشک و تعیین شرایط بهینه برای رسیدن به عملکرد کمی و کیفی مطلوب، نیاز به اطلاعات بیشتری در مورد عکس‌العمل این گیاه به تنش خشکی دارد. همچنین با توجه به این که بخش وسیعی از اراضی زیر کشت هندوانه در ایران در شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک واقع شده‌اند، لزوم شناسایی ارقام متحمل به خشکی برای این مناطق قطعی به نظر می‌رسد؛ بنابراین در تحقیق حال حاضر تأثیر تنش خشکی بر خصوصیات فیزیولوژیک مانند، محتوای نسبی آب برگ، میزان پرولین، نشت یونی، سیستم آنتی‌اکسیدانی و عملکرد در توده‌های مختلف هندوانه مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش و عملیات زراعی: آزمایش مزرعه‌ای در بهار و تابستان ۱۳۹۷ در شهرستان جیرفت با موقعیت جغرافیایی ۱۳ '٤٠ °۲۸ شمالی و " ۱۳ '٤٤ °۵۷ شرقی در ارتفاع ٦۵۰ متر از سطح دریا انجام شد. میانگین دما ۳٤/۸ درجه سانتی‌گراد و بیشینه و کمینه دما به ترتیب ٤۲/۵و ۲٦/۳ درجه سانتی‌گراد در طی فصل رشد گیاه بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول یک نشان داده شده است. آزمایش به‌صورت طرح کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی شامل سه سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی (شاهد)، ۷۰ درصد نیاز آبی (تنش متوسط) و ٤۰ درصد نیاز آبی (تنش شدید) و کرت‌های فرعی شامل سه توده مختلف هندوانه بومی سیستانی، علی‌آباد و تربت بودند. بذرها در شرایط گلخانه در سینی‌های نشاء کشت شده و پس از انتقال به مزرعه در هفتهٔ دوم خردادماه (زمان مستقر شدن گیاهان، مرحله ۳-٤ برگی (Mo et al., 2018) تیمارهای خشکی اعمال شدند. فاصلهٔ بوته روی ردیف ۸۰ سانتی‌متر و فواصل ردیف‌ها از هم سه متر در نظر گرفته شد. هر کرت آزمایشی شامل دو خط وسط از چهار خط کشت به طول هشت متر بود. تغذیهٔ بوته‌ها با استفاده از کود شیمیایی کامل مایع در دو نوبت پس از استقرار نشاء به فاصلهٔ یک هفته در میان صورت گرفت. برای اعمال تیمارهای تنش خشکی، نوع بافت خاک، میزان آب قابل دسترس، رطوبت ظرفیت زراعی و نقطهٔ پژمردگی دائم زمین مورد نظر با انجام آزمایش‌های خاک شناسی تعیین شد. پس از محاسبهٔ میزان ظرفیت زراعی و نقطهٔ پژمردگی و مشخص شدن میزان آب قابل دسترس از طریق تفاضل عدد رطوبتی این دو نقطه، تیمارها بر پایهٔ این دامنهٔ رطوبتی اعمال شدند. همچنین تا پیش از اعمال تنش همهٔ گیاهان هر تیمار به یک میزان آبیاری شدند. با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه، عملیات برداشت محصول در اواسط شهریور انجام گردید.

جدول ۱: خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک محل انجام آزمایش (۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)

مشخصات خاک	
ماده آلی ($mg\ kg^{-1}DM$)	۳۰۰۰
نیتروژن ($mg\ kg^{-1}DM$)	۷۵
فسفر ($mg\ kg^{-1}\ DM$)	۱٤
پتاسیم ($mg\ kg^{-1}\ DM$)	۲٤۰
هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	۲/۵۱
اسیدیته	۷/۵۱
بافت خاک	شنی لومی
رطوبت ظرفیت زراعی (Pw)	۲۳/۳۰
رطوبت نقطه پژمردگی (Pw)	۱۳/۲۱

صفات مورد ارزیابی

محتوای نسبی آب برگ: محتوای نسبی آب برگ با اندازه‌گیری وزن تر، اشباع و خشک برگ هندوانه در ابتدای مرحله گلدهی انجام شد. در پایان با استفاده از فرمول شماره یک محتوای نسبی آب برگ محاسبه شد (Weatherley, 1950).

(فرمول ۱)

۱۰۰×{(وزن اشباع-وزن تر)/(وزن خشک-وزن تر)}

=محتوای نسبی آب برگ

محتوای پرولین: محتوای پرولین با استفاده از روش ناین هیدرین اسید اندازه‌گیری و برآورد شد. در این روش، جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از تولوئن به عنوان تیمار شاهد به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد تعیین گردید (Bates et al., 1973).

نشت یونی: به‌منظور به دست آوردن میزان نشت یونی، از توده‌های مورد مطالعه به‌طور تصادفی یک برگ انتخاب و سطح مشخصی از آن جدا و سپس در ظرف شیشه‌ای دربدار محتوی آب مقطر قرار داده شد. نمونه‌ها به مدت دو ساعت در حمام آب گرم قرار داده شدند و بعد از آن با دستگاه EC متر هدایت‌الکتریکی محلول محتوی برگ‌ها اندازه‌گیری شد (EC_1). سپس نمونه‌ها در اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شدند و مجدداً هدایت الکتریکی محلول اندازه‌گیری شد (EC_2). در نهایت با استفاده از فرمول شماره دو میزان نشت یونی محاسبه گردید (Dionisio-Sese and Tobita, 1998).

(فرمول ۲)

۱۰۰× (هدایت الکتریکی ۲/ هدایت الکتریکی ۱)

=نشت یونی

فعالیت آنزیمی: برای تهیه عصاره آنزیمی میزان ۱۰۰ میلی‌گرم بافت (اندام هوائی) توزین و به همراه یک میلی‌لیتر بافر استخراج شامل فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار با pH=۷/۸، EDTA ۰/۱ میلی‌مولار و ٪۱ PVP در هاون چینی سرد و بر روی یخ همگن گردید. سپس عصاره‌های حاصل در ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند و محلول رویی حاصل در ظرف‌های استریل جمع‌آوری گردید. محلول رویی به دست آمده به عنوان عصاره آنزیمی جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی مورد استفاده قرار گرفت.

به‌منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز، یک میلی‌لیتر مخلوط واکنش شامل بافر فسفات پتاسیم یک مولار (pH = ۷/۸)، پراکسید هیدروژن یک مولار و ده میکرولیتر عصاره خام بود. فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس میزان تجزیه شدن H_2O_2 در طول موج ۲٤۰ نانومتر با استفاده از ضریب خاموشی $mM^{-1}cm^{-1}$ ۳۹/٤ تعیین گردید (Aebi, 1984).

فعالیت آنزیم سوپر اکسید دسموتاز، بر اساس تغییر شیمیائی نیترو بلو تترازولیوم و طبق روش Minami and Yoshikawa (۱۹۷۹) انجام شد. در این روش، فعالیت آنزیم سوپر اکسید دسموتاز بر اساس جذب عصاره در طول موج ٥٦۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد. واحد فعالیت تمامی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان اندازه‌گیری شده به‌صورت تغییرات جذب به میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بیان شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۳) انجام شد. قبل از انجام تجزیه واریانس، از نرمال بودن توزیع باقیمانده‌ها اطمینان حاصل شد. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج

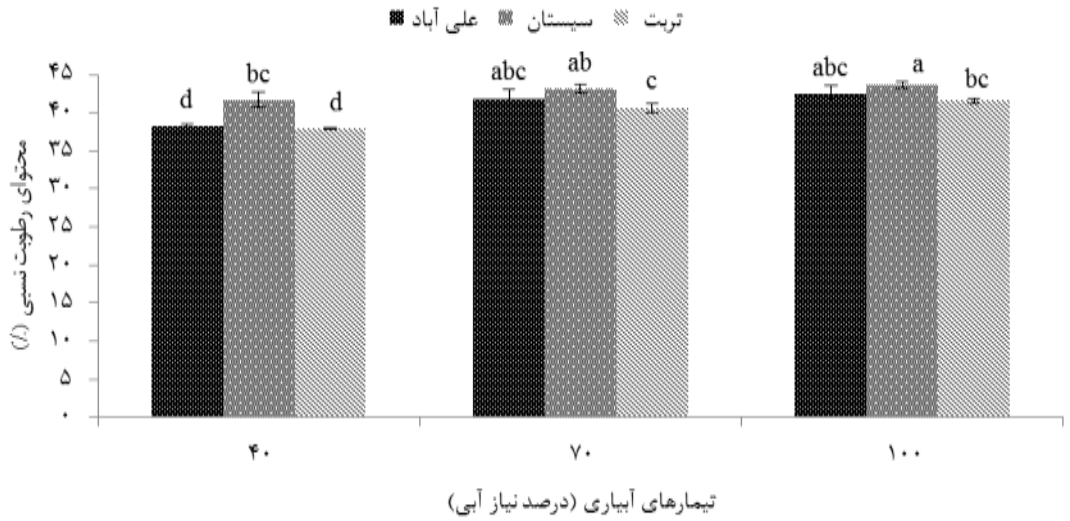
جدول تجزیه واریانس نشان داد که تمامی خصوصیات فیزیولوژیکی مورد بررسی توده‌های هندوانه تحت تأثیر اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ قرار گرفتند (جدول ۲).

جدول ۲: تجزیه واریانس میانگین مربعات اثر آبیاری و ژنوتیپ بر صفات فیزیولوژیک مورد مطالعه و عملکرد هندوانه

منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای رطوبت نسبی	نشت یونی	پرولین	کاتالاز	سوپر اکسید دسموتاز	عملکرد
تکرار	۲	٤/٤٦	۰/۷٤	۰/۰۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰٥	۹/۲٥
آبیاری	۲	۱۷/۹٤**	۳۹/۹۷**	۰/٦۱۹**	۰/۰۷**	۰/۱٦**	۷٤/۰۹**
خطای اصلی	٤	۰/۰۳	۰/٦	۰/۰۳۸	۰/۰۰۹	۰/۰۸٥	٥/۰۲
ژنوتیپ	۲	۸/۲٤*	۲۰/۸۸**	٤۳/۷۰**	۰/۱٤**	۲/۷۷**	٦٥۹/٤۷**
ژنوتیپ×آبیاری	٤	۲۰/٦٥**	۹۰/٦۸**	۰/۹۷**	۰/۰۰٥**	۱۰/۱۲**	٥۲/٥۱**
خطای فرعی	۱۲	۰/۹۲	۰/۰۳٤	۰/۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۲۲	۳/۱۳
ضریب‌تغییرات(C.V٪)	–	۲/۳۳	۱/۹٤	٥/٦۲	٤/۰٤	٤/۸۸	۲/٦۳

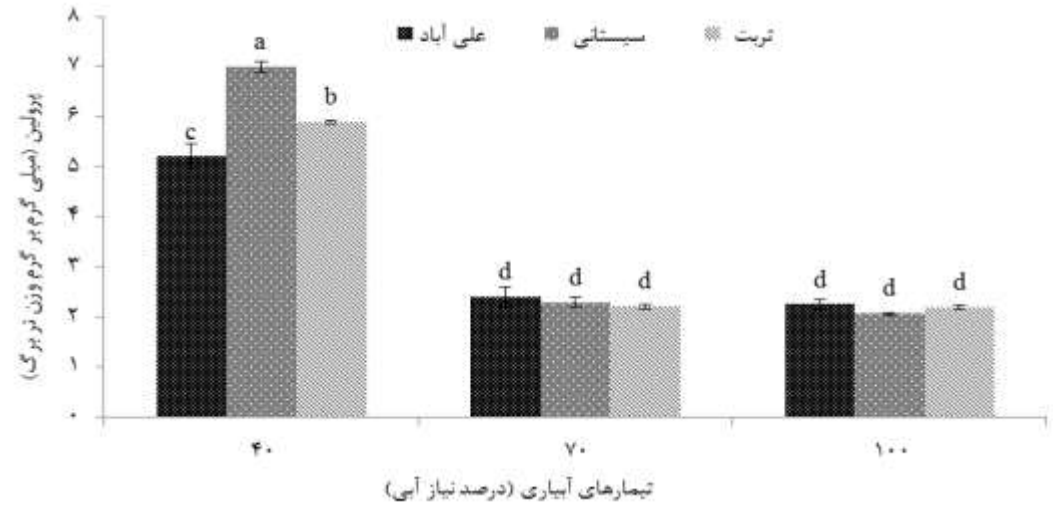
ns ،** و*: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

محتوای نسبی آب برگ: مقایسه میانگین بر همکنش ژنوتیپ و آبیاری نشان داد که بیشترین و کمترین میزان رطوبت نسبی برگ به‌ترتیب مربوط به تیمار عدم تنش (۱۰۰ درصد آب قابل دسترس) و تنش شدید (٤۰ درصد آب قابل دسترس) در تمامی توده‌ها بود (شکل ۱). اختلاف معنی‌داری بین تیمار عدم تنش و تنش خفیف (۷۰ درصد آب قابل دسترس) بین توده‌ها مشاهده نشد (شکل ۱)، به عبارت دیگر تنش خفیف باعث کاهش رطوبت نسبی در توده‌های هندوانه نشد. این در حالی بود که با افزایش تنش به ٤۰ درصد نیاز آبی، بین توده‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده شد، به طوری که کمترین و بیشترین مقدار رطوبت نسبی در تنش شدید به ترتیب متعلق به توده علی‌آباد و سیستانی بود (شکل ۱).



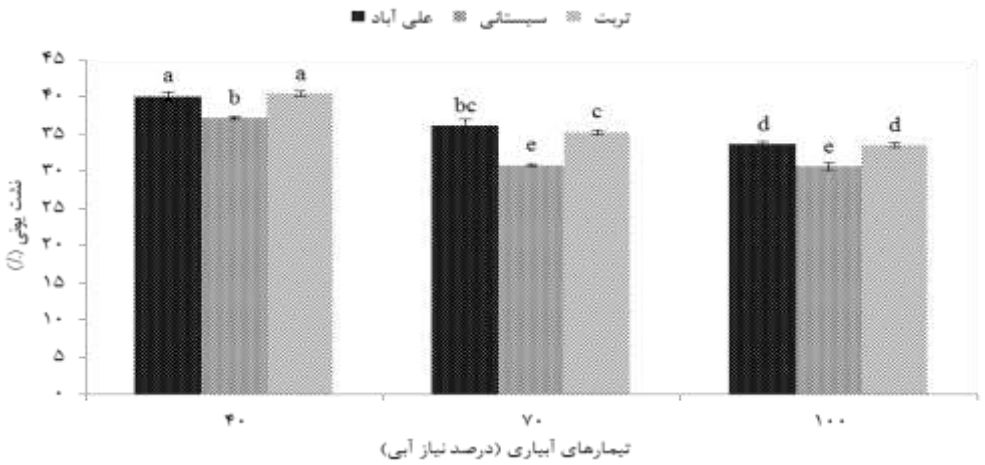
شکل ۱: تأثیر سطوح تنش خشکی بر محتوای رطوبت نسبی (٪) توده‌های مورد مطالعه.

پرولین: میزان پرولین بین سه توده مورد بررسی در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری نداشت، در حالی که با افزایش تنش به ۴۰ درصد نیاز آبی، مقدار پرولین افزایش چشمگیری در هر سه توده از خود نشان داد (شکل ۲). این افزایش مقدار پرولین در واکنش به تنش خشکی شدید (۴۰ درصد آب قابل دسترس) در توده سیستانی بیشتر از دو توده دیگر بود (شکل ۲).



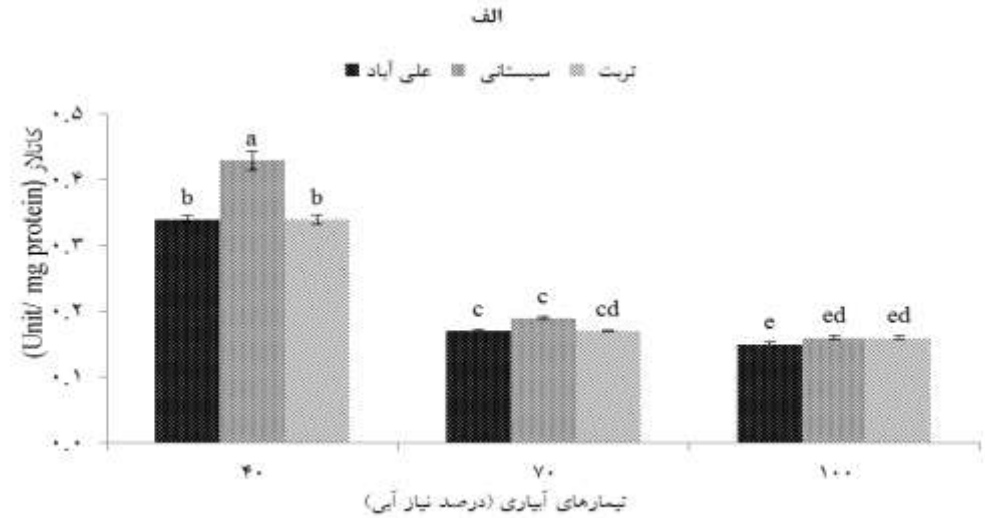
شکل ۲: تأثیر سطوح تنش خشکی بر مقدار پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) توده‌های مورد مطالعه.

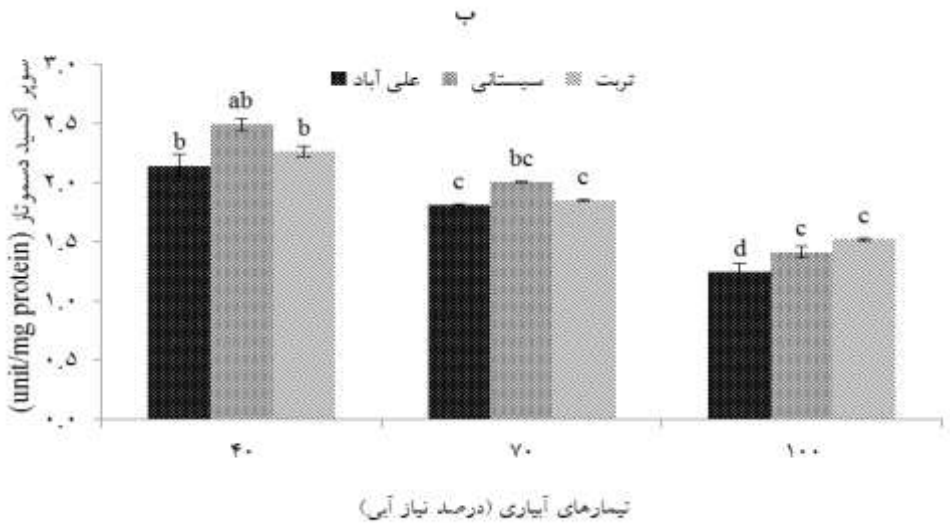
نشت یونی: مقدار نشت یونی توده‌های مورد مطالعه در تیمار تنش ۴۰ درصد نیاز آبی نسبت به تیمار عدم تنش و ۷۰ درصد نیاز آبی افزایش یافت (شکل ۳). توده سیستانی تفاوت معنی‌داری با توده‌های تربت و علی‌آباد در سطوح مختلف نیاز آبی داشت، به طوری که در تیمار تنش خفیف ۷۰ درصد نیاز آبی و تنش شدید ۴۰ درصد نیاز آبی، بیشترین و کمترین مقدار نشت یونی به‌ترتیب متعلق به توده علی‌آباد و سیستانی بود (شکل ۳).



شکل ۳: تأثیر سطوح تنش خشکی بر نشت یونی (٪) توده‌های مورد مطالعه.

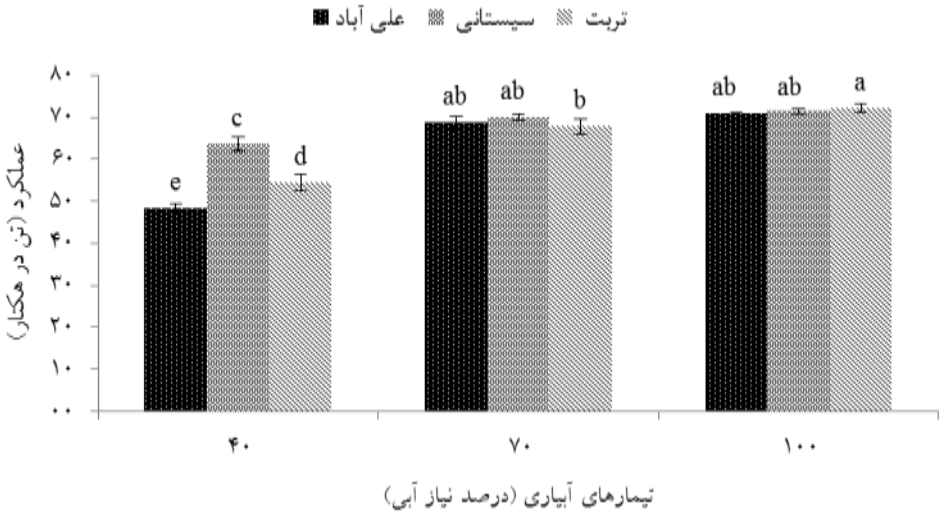
تأثیر تنش خشکی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز و سوپر اکسید دسموتاز): اگرچه فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپر اکسید دسموتاز توده‌های مورد بررسی در تنش ۷۰ درصد نیاز آبی در مقایسه با شرایط عدم تنش افزایش نسبی یافت، اما این افزایش در تنش شدید ٤٠ درصد نیاز آبی نسبت به شرایط عدم تنش و تنش ۷۰ درصد نیاز آبی بسیار بیشتر بود (شکل ٤ الف و ب). در این باره، بیشترین مقدار آنزیم کاتالاز و سوپر اکسید دسموتاز در تیمار تنش شدید کم‌آبی (٤٠ درصد نیاز آبی) و کمترین مقدار در هر سه توده در تیمار بدون تنش آبی (۱۰۰ درصد نیاز آبی) به دست آمد. از طرفی، در شرایط تنش خفیف ۷۰ درصد نیاز آبی بین توده‌ها از لحاظ مقدار آنزیم‌های کاتالاز و سوپر اکسید دسموتاز اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، در حالی که در شرایط تنش شدید ٤٠ درصد نیاز آبی بیشترین مقدار آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی متعلق به توده سیستانی و کمترین متعلق به توده علی‌آباد بود (شکل ٤ الف و ب).





شکل ٤: تأثیر سطوح تنش خشکی بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز (الف) و سوپر اکسید دسموتاز (ب) توده‌های مورد مطالعه.

عملکرد کل: با اعمال تنش ٤٠ درصد نیاز آبی، عملکرد کل به ترتیب در توده‌های علی‌آباد، سیستانی و تربت کاهش ۳۰، ۱۱ و ٢٤ درصدی نسبت به شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی (عدم تنش) نشان داد. این در حالی بود که اختلاف معنی‌داری بین توده‌های علی‌آباد و سیستانی از لحاظ این صفت در تیمارهای ۱۰۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی وجود نداشت (شکل ۵). در شرایط تنش شدید، توده سیستانی با عملکرد مطلوب ٦٣ تن در هکتار بیشترین مقدار این صفت و هندوانه علی‌آباد با تولید ٤٨ تن در هکتار کمترین مقدار را به خود اختصاص دادند (شکل ۵).



شکل ۵: تأثیر سطوح تنش خشکی بر عملکرد (تن در هکتار) توده‌های مورد مطالعه.

بحث

مطالعه پاسخ‌های فیزیولوژیکی به تنش خشکی می‌تواند در اصلاح ارقام گیاهی با عملکرد بالا و پایدار در شرایط خشکی مؤثر باشد. برگ‌ها هنگامی که در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرند تمایل به کاهش قابل توجهی در محتوای رطوبت نسبی دارند، به طوری که محتوای رطوبت نسبی به عنوان معیاری قابل اعتماد جهت اندازه‌گیری وضعیت آب در بافت‌های گیاهی مطرح است (Behzadnejad et al., 2020). در واقع، محتوای رطوبت نسبی برگ از طریق ارتباط مستقیم با حجم سلول ممکن است به طور نزدیک‌تری تعادل بین آب گیاه و سرعت تعرق را نشان دهد (Ahmad et al., 2018). مطالعات متعددی در گیاهان خانواده کدوییان نشان دهنده کاهش رطوبت نسبی آب در اثر تنش خشکی می‌باشد. در مطالعه پاسخ ١٤ توده مختلف گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum*) به تنش خشکی قطع آبیاری اواخر فصل رشد، تنش خشکی شدید (۸ روز بدون آبیاری) نسبت به شرایط عدم تنش (آبیاری کامل) به‌طور متوسط موجب کاهش ۲۸ تا ۳۳ درصدی رطوبت نسبی در واریته‌های مورد بررسی شد، به طوری که واریته‌هایی که محتوای رطوبت نسبی بیشتری را در شرایط تنش حفظ کرده بودند، سازگاری بهتری به خشکی اعمال شده نشان دادند (Aghaie et al., 2019). همچنین مقدار بالاتر رطوبت نسبی در ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در گیاه خیار (*Cucumis sativus* L.) نیز گزارش شده است (Naz et al., 2016). به نظر می‌رسد ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی، تنظیم اسمزی بهتری در شرایط تنش انجام می‌دهند که منجر به حفظ رطوبت نسبی برگ و در نتیجه فتوسنتز و رشد بهتر گیاه می‌شود. در واقع، تنظیم اسمزی با حفظ روابط آبی در شرایط تنش موجب تداوم فعالیت فتوسنتزی از طریق تنظیم هدایت روزنه‌ای و پایداری سیستم فتوسنتزی و در نتیجه رشد بهتر گیاه می‌شود (Shangguan et al., 1999).

پرولین به عنوان یک اسمولیت آمینو اسیدی در تعدیل خسارات ایجاد شده توسط تنش‌های غیر زیستی در گیاهان بسیار مؤثر است (Ahmad et al., 2018). پرولین به بالا بردن فشار اسمزی در گیاهان کمک شایانی نموده و موجب حفظ فشار تورگر و گرادیان جذب آب می‌گردد. به علاوه، چنین ترکیباتی در محافظت از ساختار آنزیم‌ها، هورمون‌های گیاهی، غشاهای پلاسمایی و سایر اجزای سلولی مؤثر بوده و نقش مهمی در حذف گونه‌های فعال اکسیژن ایفا می‌کنند (Szepesi and Szőllősi, 2018). تجمع اسمولیت‌هایی نظیر پرولین به عنوان مکانیسم سازگاری شناخته شده‌ای در گیاهان تحت شرایط تنش مطرح گردیده و پیشنهاد شده است که تجمع پرولین می‌تواند به عنوان ملاک گزینش ارقام مقاوم در اکثر گونه‌ها مد نظر قرار گیرد .در در این راستا، آزمایش‌های متعدد به خوبی ثابت کرده‌اند که ژنوتیپ‌های مقاوم دارای مقادیر بالایی از پرولین هستند که حضور این ترکیب در کنار حفاظت اسمزی می تواند نقش مهمی در ارتقای سیستم آنتی‌اکسیدانی، فعال سازی مسیرهای سم زدایی، حفظ هومئوستازی سلولی و فعالیت‌های غشا در شرایط تنش ایفا کند (Allahdadi and Bahreininejad, 2020). عمده نتایج تحقیقات اثر تنش خشکی بر گیاهان خانواده کدوییان حاکی از افزایش معنی‌دار پرولین در اثر تنش خشکی در ژنوتیپ‌های مقاوم نسبت به ژنوتیپ‌های حساس می‌باشد (Li et al., 2019). در این راستا، Mo و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی ژنوتیپ‌های وحشی و تجاری هندوانه دریافتند که ژنوتیپ‌های وحشی با تجمع اسمولیت‌های آلی از جمله پرولین با حفظ ساختار و عملکرد سلولی تحمل بیشتری به تنش

خشکی از خود نشان می‌دهند. این نتایج را می‌توان به نقش اثبات شده پرولین به عنوان یک محافظ اسمزی در حفظ ساختار و عملکرد سلولی و همچنین بهبود روابط آبی گیاه نسبت داد.

ارزیابی میزان خسارت در نتیجه تنش خشکی از طریق اندازه‌گیری نشت سلولی مورد سنجش قرار می‌گیرد و ژنوتیپ‌هایی که دارای نشت سلولی پایینی باشند آسیب کمتری در مواجه با تنش خشکی متحمل شده‌اند. تنش‌های محیطی سبب افزایش تولید و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن در گیاهان تحت تنش می‌گردد که این ترکیبات موجب پراکسیداسیون ترکیبات لیپیدی بافت‌ها نظیر فسفولیپیدهای غشا می‌شود که این تغییرات با تغییر در ساختار غشا سلول موجب افزایش نفوذ پذیری سلول شده و مواد یونی سلول به بیرون تراوش می‌کنند (Huang et al., 2013). هم راستا با یافته‌های تحقیق حال حاضر، Abdelkhalik و همکاران (۲۰۱۹) و Ram و همکاران (۲۰۱٤) با بررسی اثر تنش خشکی بر هندوانه دریافتند که اعمال تنش شدید (۵۰ درصد نیاز آبی) در مقایسه با شرایط عدم تنش (۱۰۰ درصد نیاز آبی) از طریق افزایش تراوایی غشاء سلولی موجب افزایش نشت یونی و در نتیجه کاهش پایداری غشا سلولی شد.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز و سوپر اکسید دسموتاز نقش کلیدی در بقای گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی ایفا می‌کنند. هر چند میزان این فعالیت، بسته به شدت تنش و مرحله رشد و نمو بافت گیاهی، حساسیت ارقام مختلف و همچنین پتانسیل ژنتیکی گونه‌های مختلف، متفاوت است (Ahmad et al., 2018). در فرایند سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی گیاه، ابتدا آنزیم سوپر اکسید دسموتاز باعث کاتالیز رادیکال اکسیژن به هیدروژن پراکسیداز می‌شود و سپس کاتالاز با شکستن مولکول‌های رادیکال هیدروژن پراکسیداز به اکسیژن و آب نقش مهمی در سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه ایفا می‌کند (Ahmad et al., 2018). افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و سوپر اکسید دسموتاز نشان دهنده ظرفیت سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی در گیاهان تحت شرایط تنش خشکی است. در این راستا، در مقایسه ژنوتیپ‌های حساس و مقاوم به تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول در خربزه (Kavas et al., 2013) و در خیار (Fan et al., 2014)، سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی به‌ویژه آنزیم‌های کاتالاز و سوپر اکسید دسموتاز در هر دو توده حساس و مقاوم در پاسخ به تنش خشکی افزایش یافت، اما این میزان افزایش در توده‌های مقاوم نسب به توده‌های حساس بیشتر بود. در واقع می‌توان علت اصلی تحمل بهتر شرایط تنش در ژنوتیپ‌های مقاوم را افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانتی آنزیمی در کنار حضور اسمولیت پرولین دانست.

عملکرد اقتصادی گیاه هندوانه روند مشابهی مانند دیگر صفات فیزیولوژیکی مورد بررسی داشت این موضوع می‌تواند نشان دهنده این باشد که تنش خشکی با تأثیر بر صفات فیزیولوژیک باعث کاهش عملکرد نهایی در توده‌های مورد بررسی شده است. در بین توده‌های مورد بررسی، توده سیستانی بیشترین عملکرد را از خود نشان داد. به نظر می‌رسد که این توده با حفظ عملکرد فیزیولوژیکی (محتوای نسبی آب و پایداری غشا) و زراعی (عملکرد کل) از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانت‌های آنزیمی (سوپر اکسید دسموتاز و کاتالاز) و غیر آنزیمی (پرولین) توانسته واکنش بهتری به تنش خشکی نشان دهد.

نتیجه‌گیری نهایی

در این مطالعه از بین سه توده هندوانه محلی مناطق خشک و نیمه‌خشک که اغلب در جنوب شرق کشور کشت و کار می‌شوند بر پایه خصوصیات فیزیولوژیک و عملکردی اندازه‌گیری شده، توده

سیستانی در سطوح مختلف تنش خشکی عملکرد مناسب‌تری داشته است. به نظر می‌رسد این عملکرد بهتر به علت حفظ قابلیت فیزیولوژیکی (محتوای نسبی آب و پایداری غشا) و زراعی (وزن میوه و عملکرد کل) از طریق تولید آنتی‌اکسیدانت‌های آنزیمی (سوپر اکسید دسموتاز و کاتالاز) و غیر آنزیمی (پرولین) در شرایط تنش باشد. در بین سیستم آنتی‌اکسیدانی، به نظر می‌رسد پرولین و کاتالاز نقش بیشتری در واکنش به تنش خشکی ایفا کرده‌اند. همچنین این تحقیق نشان داد که با صرفه جویی در مصرف آب آبیاری از طریق کاهش نیاز آبی به ۷۰ درصد می‌توان عملکرد و تولید میوه مشابهی با شرایط عدم تنش داشت، به طوری که در اکثر صفات مورد بررسی تفاوتی بین تنش ۱۰۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی وجود نداشت. این تحقیق نشان داد توده‌های محلی که عملکرد مناسب و در کنار آن تحمل به شرایط خشکی دارند می‌توانند به عنوان منابع ژنتیکی مناسب برای مطالعات بیشتر و وسیع‌تر در مناطق مختلف خشک و نیمه‌خشک کشور که با مشکل محدودیت آب مواجه هستند مورد استفاده قرار گیرند.

References

Abdelkhalik, A., Pascual-Seva, N., Nájera, I., Giner, A., Baixauli, C. and Pascual, B. (2019). Yield response of seedless watermelon to different drip irrigation strategies under Mediterranean conditions. Agricultural Water Management. 212: 99-110.

Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. Methods Enzymol. 105: 121–126.

Aghaie, P., Tafreshi, S.A.H., Ebrahimi, M.A. and Haerinasab, M. (2018). Tolerance evaluation and clustering of fourteen tomato cultivars grown under mild and severe drought conditions. Scientia Horticulturae. 232: 1-12.

Ahmad, Z., Waraich, E.A., Akhtar, S., Anjum, S., Ahmad, T., Mahboob, W. and Rizwan, M. (2018). Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches. Acta physiologiae plantarum. 40(4): 1-13.

Allahdadi, M. and Bahreininejad, B. (2020). Effects of water stress on growth parameters and forage quality of globe artichoke (*Cynara cardunculus* var. scolymus L.). Iran Agricultural Research. 38(2): 101-110.

Barzegar, T., 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. 48: 13-25.

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

Behzadnejad, J., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Aein, A. and Mokhtassi-Bidgoli, A. (2020). Wheat straw mulching helps improve yield in sesame (*Sesamum indicum* L.) under drought stress. International Journal of Plant Production. 14(2): 389-400.

Demirbas, a. (2017). The effects of different fertigation treatments on yield and nutrient uptake of watermelon plants grown as second crop in cukurova region. Horticulture. 61: 327-332.

Dionisio-Sese, M.L. and Tobita, S. (1998). Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. Plant Science. 135:1–9.

Huang, C., Zhao, S., Wang, L., Anjum, S.A., Chen, M., Zhou, H. and Zou, C. (2013). Alteration in chlorophyll fluorescence, lipid peroxidation and antioxidant enzymes activities in hybrid ramie (*Boehmeria nivea* L.) under drought stress. Australian Journal of Crop Science. 7(5): 594-599..

Huseynova, I.M., Rustamova, S.M., Suleymanov, S.Y., Aliyeva, D.R., Mammadov, A.C. and Aliyev, J.A. (2016). Drought-induced changes in photosynthetic apparatus and antioxidant components of wheat (*Triticum durum* Desf.) varieties. Photosynthesis Research. 130(1): 215-223.

Fan, H.F., Ding, L., Du, C.X. and Wu, X. (2014). Effect of short-term water deficit stress on antioxidative systems in cucumber seedling roots. Botanical Studies. 55(1): 46.

Kavas, M., Baloğlu, M.C., Akca, O., Köse, F.S. and Gökçay, D. (2013). Effect of drought stress on oxidative damage and antioxidant enzyme activity in melon seedlings. Turkish Journal of Biology. 37(4): 491-498.

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

Li, H., Yang, X., Chen, H., Cui, Q., Yuan, G., Han, X. and Zhang, X. (2018). Water requirement characteristics and the optimal irrigation schedule for the growth, yield, and fruit quality of watermelon under plastic film mulching. Scientia Horticulturae. 241: 74-82.

Li, H., Mo, Y., Cui, Q., Yang, X., Guo, Y., Wei, C, and Zhang, X. (2019). Transcriptomic and physiological analyses reveal drought adaptation strategies in drought-tolerant and-susceptible watermelon genotypes. Plant Science. 278: 32-43.

Minami, M. and Yoshikawa, H. (1979). A simplified assay method of superoxide dismutase activity for clinical use. Clinica Chimica Acta. 92: 337–342.

Mo, Y., Yang, R., Liu, L., Gu, X., Yang, X., Wang, Y., and Li, H. (2016). Growth, photosynthesis and adaptive responses of wild and domesticated watermelon genotypes to drought stress and subsequent re-watering. Plant Growth Regulation. 79(2): 229-241.

Naz, H.I.R.A., Akram, N.A. and Ashraf, M. (2016). Impact of ascorbic acid on growth and some physiological attributes of cucumber (*Cucumis sativus*) plants under water-deficit conditions. The Pakistan Journal of Botany. 48(3): 877-883.

Shangguan, Z., Shao, M. and Dyckmans, J. (1999). Interaction of osmotic adjustment and photosynthesis in winter wheat under soil drought. Journal of Plant Physiology. 154(5-6): 753-758.

Szepesi, Á. and Szőllősi, R. (2018). Mechanism of proline biosynthesis and role of proline metabolism enzymes under environmental stress in plants. In Plant metabolites and regulation under environmental stress (pp. 337-353). Academic Press.

Weatherley, P. (1950). Studies in the water relations of the cotton plant: I. The field measurement of water deficits in leaves. New Phytologist. 49(1): 81-97.