Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 48, No 2, Summer 2017 (275-284)
DOI: 10.22059/ijhs.2017.124217.769

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۴۸، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۶ (ص ۲۸۴-۲۷۵)

ارزیابی تحمل به خشکی و اثرگذاری‌های آن بر ویژگی‌های رشدی برخی توده‌های هندوانهٔ ابوجهل (*Citrullus colocynthis* (L.) Schrad)

محمدرضا حسندخت[1*]، مهدی بیگدلو[2]، فروزنده سلطانی[3] و رضا صالحی محمدی[3]
۱، ۲ و ۳. استاد، دانشجوی سابق دکتری و استادیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
(تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۲/۲۸ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۱)

چکیده

هندوانهٔ ابوجهل *Citrullus colocynthis* L. **یکی از گونه‌های گیاهی متحمل به خشکی است که به‌طور گسترده در مناطق بیابانی ایران پراکنده شده است. برای ارزیابی تحمل به خشکی آن آزمایش در مزرعهٔ تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد که در آن سطوح آبیاری به‌عنوان کرت اصلی در دو سطح (۱۰۰ درصد و ٦۰ درصد ظرفیت زراعی) و توده‌ها به‌عنوان کرت فرعی در هفت سطح (کرمان، سیستان و بلوچستان، خوزستان، یزد، هرمزگان، بوشهر و اصفهان) بودند. در پایان دورهٔ رشد، عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های مقاومت به خشکی در شرایط تنش و بدون تنش خشکی برای غربالگری توده‌های هندوانهٔ ابوجهل اندازه‌گیری شد. بیشترین میانگین عملکرد میوه در بوته در شرایط تنش و بدون تنش خشکی به‌ترتیب به تودهٔ اصفهان (۲/٥٤ کیلوگرم در بوته) و تودهٔ کرمان (۵/۷۳ کیلوگرم در بوته) و کمترین عملکرد به ترتیب به تودهٔ بوشهر (۱/۲۷ کیلوگرم در بوته) و تودهٔ سیستان و بلوچستان (۳/٥٤ کیلوگرم در بوته) تعلق داشت. اجزای عملکرد تودهٔ اصفهان کمترین درصد تغییرپذیری را در شرایط تنش و بدون تنش خشکی نشان داد. بررسی شاخص‌های مقاومت به خشکی و همبستگی بین شاخص‌ها به همراه تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد تودهٔ اصفهان به‌عنوان تودهٔ متحمل و دارای عملکرد پایدار، توده‌های یزد و هرمزگان توده‌هایی نیمه متحمل با عملکرد به نسبت پایدار، تودهٔ کرمان دارای عملکرد بالا در شرایط بدون تنش و غیرمتحمل به تنش خشکی، توده‌های بوشهر و خوزستان دارای عملکرد پایین و حساسیت بالا به تنش خشکی و تودهٔ سیستان و بلوچستان به‌عنوان توده‌ای با ظرفیت عملکرد پایین و به نسبت متحمل به تنش خشکی بودند. به‌طورکلی تودهٔ اصفهان تحمل بالایی به تنش خشکی داشت و مناسب برای برنامه‌های بهنژادی هندوانه‌های تجاری است.**

واژه‌های کلیدی: **تودهٔ بومی، شاخص‌های مقاومت، عملکرد، ظرفیت زراعی.**

Evaluation of drought stress tolerance and its effects on growth characteristics in some accessions of colocynth (*Citrullus colocynthis* (L.) Schrad)

Mohammad Reza Hassandokht[1*], Mehdi Bigdelo[2], Foruzandeh Soltani[3] and Reza Salehi Mohammadi[3]
1, 2, 3. Professor, Former Ph.D. Student and Assistant Professor, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
(Received: May 18, 2015 - Accepted: Apr. 20, 2016)

ABSTRACT

Colocynth is one of drought tolerant species, which is widely distributed in desert regions of Iran. The experiment was performed in research field of University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran placed in Karaj, as a split plot based on randomized complete block design which irrigation levels were as main plot in two levels (100% and 60% field capacity) and accessions were as sub plot in seven levels (Kerman, Sistan and Baluchestan, Khuzestan, Yazd, Hormozgan, Bushehr and Isfahan). At the end of growth period, yield, yield components and indices of drought resistance were evaluated in two stress and non-stress conditions for screening of colocynth accesstions. The highest yield in stress and non-stress conditions belonged to Kerman (5.73 kg/plant) and Isfahan (2.54 kg/plant) accessions, respectively. Yield components of Isfahan accession showed the lowest variation percent in stress and non-stress drought conditions. Investigation of drought resistance indices and correlation between yield and these indices and principal components analysis showed that Isfahan accession was tolerant with sustainable yield, Yazd and Hormozgan accessions were semi tolerant with relative sustainable yield and Kerman accession had high yield in non- stress and stress drought conditions. Khuzestan and Bushehr accessions were low yield and high sensitivity to drought stress and Sistan and Baluchestan accessions were low yield and relative tolerant to drought stress. Generally Isfahan accession had high tolerant to drought stress and useful for commercial watermelon breeding programs.

Keywords: Accession, field capacity, resistance indices, yield.

* Corresponding author E-mail: mrhassan@ut.ac.ir

مقدمه

کمبود آب یکی از عامل‌های محیطی مهم در کاهش عملکرد گیاهان و تولید محصولات کشاورزی در جهان به شمار می‌آید و این مسئله به‌طور ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان اهمیت بالایی دارد (Kumar *et al.*, 2012). بنابراین بهبود عامل‌های کشت و کار و یافتن گونه‌های گیاهی متحمل یا مقاوم به خشکی برای مناطق خشک یک راهکار اساسی در این زمینه خواهد بود (Dichio *et al.*, 2002). هندوانهٔ ابوجهل با نام علمی *Citrullus colocynthis* (L.) Schrad گیاهی از تیرهٔ کدوسانان (cucurlmitaceae) بوده که میوه‌های کوچک و تلخ سرشار از الکالوییدها دارد (Trease & Evans, 1970). این‌گونه به‌طور گسترده در مناطق بیابانی صحرای بزرگ آفریقا و عربستان توزیع و به‌خوبی با تنش خشکی سازگار شده است (Dane *et al.*, 2006).

این‌گونه در ایران به‌صورت خودرو در بخش‌های خشک و نیمه‌خشک جنوب غربی (خوزستان، بوشهر)، جنوب شرقی (کرمان، بندرعباس، سیستان و بلوچستان)، بخش‌های مرکزی (یزد) و شرق (دشت لوت و دشت کویر) پراکنش دارد (Ghahreman, 2000). بررسی تحقیقات جدید درزمینهٔ بهنژادی هندوانه‌های تجاری نشان می‌دهد که هندوانهٔ ابوجهل از منابع ژنتیکی مناسب برای بالا بردن میزان مقاومت به خشکی در هندوانه‌های تجاری است (Kumar *et al.*, 2012). بررسی و مقایسهٔ ژن‌های دخیل در ایجاد مقاومت به تنش خشکی در هندوانهٔ ابوجهل و هندوانهٔ تجاری نشان داد، در شرایط تنش خشکی میزان بیان این ژن‌ها در هندوانهٔ ابوجهل افزایش می‌یابد، درحالی‌که میزان بیان این ژن‌ها در هندوانهٔ تجاری تغییر چندانی ندارد. با پیوند هندوانهٔ تجاری روی هندوانهٔ ابوجهل معلوم شد که القای این ژن‌ها در طول تنش خشکی در بخش هوایی افزایش می‌یابد. ژن Ccrboh معروف‌ترین ژن شناسایی‌شده در این رابطه است که می‌تواند در برنامه‌های بهنژادی، برای بهبود مقاومت به تنش خشکی در دیگر گونه‌های کدوسانان استفاده شود (Si *et al.*, 2010). شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی واکنش گونه‌های گیاهی در شرایط محیطی مختلف و تعیین میزان تحمل و حساسیت آن‌ها به خشکی ارائه شده است. Rosielle & Hamblin (1981) شاخص تحمل[1] و شاخص متوسط بهره‌وری[2] را معرفی کردند. میزان عددی بالای شاخص تحمل نشانهٔ حساسیت توده‌ها به تنش است، بنابراین توده‌های دارای مقادیر کمتر، متحمل‌تر هستند. بر خلاف شاخص تحمل، در شاخص میانگین بهره‌وری، مقادیر پایین‌تر دلالت بر حساسیت بیشتر توده‌ها به شرایط تنش دارد. Fischer & Mourer (1987) شاخص حساسیت به تنش[3] را پیشنهاد کردند. این شاخص بر پایهٔ عملکرد تک‌تک توده‌ها در هر دو محیط تنش و بدون تنش و همچنین میانگین عملکرد همهٔ توده‌ها در این دو محیط بنا گذاشته شده است و مانند شاخص تحمل، مقادیر بالا دلالت بر حساسیت توده‌ها به تنش دارد. Fernandez (1992) شاخص دیگری با عنوان شاخص تحمل به تنش[4] را معرفی کرد. بر پایهٔ این شاخص، توده‌های با تحمل بالاتر مقادیر بالاتر شاخص تحمل به تنش دارند. این شاخص توانایی شناسایی توده‌های با ظرفیت عملکرد بالا در شرایط بدون تنش و همچنین عملکرد بالا در شرایط تنش را دارد. شاخص دیگر برای تعیین میزان حساسیت توده‌ها به تنش که بر پایهٔ میانگین هندسی عملکرد توده‌ها در شرایط تنش و بدون تنش محاسبه می‌شود، شاخص میانگین هندسی[5] است. مقادیر بالاتر شاخص میانگین هندسی نمایانگر تحمل بالاتر توده‌ها به تنش است (Fernandez, 1992). شاخص میانگین هماهنگی (هارمونیک) بهره‌وری[6] شاخصی است که بیانگر تحمّل به تنش زیاد و ظرفیت عملکرد بالا است (Jafari *et al.*, 2009). شاخص عملکرد محیط بدون تنش و تنش[7] شاخصی به نسبت جدید است که تأکید بر عملکرد بالا و پایدار در دو محیط، به‌ویژه عملکرد در محیط تنش دارد (Moosavi *et al.*, 2008).

افزون بر تعیین شاخص‌های تحمل به خشکی، با اندازه‌گیری تغییرپذیری ویژگی‌های رشدی که در

1. Tolerance index (TOL)
2. Mean productivity (MP)
3. Stress susceptibility index (SSI)
4. Stress tolerance index (STI)
5. Geometric mean productivity (GMP)
6. Harmonic mean (HARM)
7. Stress non-stress production index (SNPI)

شرایط تنش خشکی رخ می‌دهد می‌توان میزان حساسیت و تحمل توده‌های مختلف را ارزیابی کرد، زیرا نخستین واکنش گیاهان در برابر کم‌آبی، کاهش رشد رویشی و ایجاد تغییر در ویژگی‌های رشدی برای زنده ماندن در برابر شرایط نامساعد است (Bosabalidis & Kofidis, 2002). این تغییرپذیری‌ها می‌تواند شامل کاهش ارتفاع بوته، سطح برگ و عملکرد گیاه باشد (Farooq *et al*., 2009).

هدف از این تحقیق ارزیابی مقاومت توده‌های بومی هندوانهٔ ابوجهل و اندازه‌گیری تغییرپذیری ویژگی‌های رشدی ایجادشده در شرایط تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها

در سال ۱۳۹۲ با بهره‌گیری از منابع علمی موجود، رویشگاه‌های هندوانهٔ ابوجهل (*Citrullus colocynthis* L.) در هفت استان کرمان، سیستان و بلوچستان، خوزستان، یزد، هرمزگان، بوشهر و اصفهان شناسایی شد (Ghahreman, 2000). برای به‌دست آوردن بذر مورد نیاز، از هر استان به‌اندازهٔ کافی میوهٔ رسیده در اواخر فصل تابستان گردآوری و در آزمایشگاه بذرگیری شد. بذر توده‌های گردآوری‌شده در اردیبهشت سال ۱۳۹۳ در سینی‌های کشت نشایی حاوی نسبت یکسان از کوکوپیت و پرلیت در گلخانه کشت شد و در مرحلهٔ چهار برگی به مزرعهٔ تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در جادهٔ محمدشهر کرج (ارتفاع از سطح دریا ۱۳۶۰ متر، عرض جغرافیایی N ′۷۷ °۳۳ و طول جغرافیایی E ′۹۲ °۵۰) انتقال داده شدند. پیش از انتقال گیاهان به مزرعه ویژگی‌های خاک آن مانند بافت خاک، ظرفیت زراعی مزرعه، نقطهٔ پژمردگی و عنصرهای غذایی تجزیه شد (جدول‌های ۱ و ۲).

گیاهان با فاصلهٔ ردیف ۱/۵ متر و فاصلهٔ بوته ۱ متر روی ردیف در سه تکرار کشت شدند. در هر کرت دو گیاه وجود داشت. نظام کشت به‌صورت جوی پشته‌ای و روش آبیاری در مزرعه به‌صورت قطره‌ای بود. اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک برای اعمال سطوح مختلف آبیاری به‌صورت دو روز یک‌بار تا عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک، توسط دستگاه TDR تهیه‌شده از شرکت آلمانی Spectrum Technologies Inc انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و دو مشاهده انجام شد که در آن سطوح آبیاری به‌عنوان کرت اصلی در دو سطح (۱۰۰ درصد و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی) و توده‌ها به‌عنوان کرت فرعی در هفت سطح (کرمان، سیستان و بلوچستان، خوزستان، یزد، هرمزگان، بوشهر و اصفهان) بودند. پس از استقرار کامل گیاهان در زمین کشت، دو سطح تنش اعمال شد و تا پایان مرحلهٔ رشدی، مهرماه ۱۳۹۳ ادامه داشت. در انتهای دورهٔ رشد، فراسنجه (پارامتر)های ریخت‌شناختی (مورفولوژیکی) مانند وزن تر بوته، طول بوته، میانگین وزن میوه، شمار میوه در بوته، وزن بزرگ‌ترین میوه و عملکرد میوه اندازه‌گیری و درصد تغییرپذیری عملکرد و اجزای آن محاسبه شد. سپس با استفاده از عملکرد میوه در شرایط تنش و بدون تنش خشکی شاخص‌های کمی تحمل به خشکی برای هر توده محاسبه شد.

جدول ۱. برخی خصوصیات شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

Table 1. Some soil chemical properties of experiment site

Sampling depth (cm)	pH	EC (ds/m)	$CaCO_3$ (%)	Total N (%)	Organic carbon (%)	P	K	Fe	Zn	Mn	Cu
						(mg/kg soil)					
0-30	7.7	1.42	8.7	0.09	0.64	53.1	390	7.5	2.34	23.2	2.28

جدول ۲. برخی خصوصیات فیزیکی خاک محل آزمایش

Table 2. Some soil physical properties of experiment site

Sampling depth (cm)	Gravimetric water content				Bulk apparent (density g/cm^3)	Sand	Clay	Silt	Soil textures
	At 0.33 atmospheres	At 0.5 atmospheres	At 1 atmospheres	At 15 atmospheres					
0-30	21.3	19.4	17.7	11.4	1.41	36	30	34	clay loam

شاخص‌های استفاده‌شده در این تحقیق از رابطه‌های زیر محاسبه شدند.

$$TOL = Y_p - Y_s$$

(Rosielle & Hamblin, 1981)

$$GMP = \sqrt{(Yp \cdot Ys)}$$

(Fernandez, 1992)

$$MP = \frac{(Yp + Ys)}{2}$$

(Rosielle & Hamblin, 1981)

$$STI = \frac{(Yp)(Ys)}{(\bar{Ys})^2}$$

(Fernandez, 1992)

$$HARM = \frac{2(Yp \times Ys)}{Yp + Ys}$$

(Jafari *et al.*, 2009)

$$SNPI = \left[\frac{Yp + Ys}{Yp - Ys}\right]^{\frac{1}{3}} \times [Yp \times Ys \times Ys]^{\frac{1}{3}}$$

(Moosavi *et al.*, 2008)

$$SSI = \frac{1 - (Ys/Yp)}{SI}$$

$$SI = 1 - (\bar{Ys}/\bar{Yp})$$

(Fischer & Maurer, 1978)

$$\text{درصد تغییرات} = \frac{Yp - Ys}{Yp} \times 100$$

(Zeinali Khanghah *et al.*, 2004)

در رابطه‌های بالا TOL شاخص تحمل، GMP شاخص میانگین هندسی، MP شاخص متوسط بهره‌وری، STI شاخص تحمل به تنش، HARM شاخص میانگین هماهنگی بهره‌وری، SNPI شاخص عملکرد محیط بدون تنش و تنش، SSI شاخص حساسیت به تنش، SI شدت تنش، Y_p عملکرد هر توده در شرایط بدون تنش، Y_s عملکرد هر توده در شرایط تنش، $\bar{Y_p}$ میانگین عملکرد توده‌ها در شرایط بدون تنش و $\bar{Y_s}$ میانگین عملکرد توده‌ها در شرایط تنش را نشان می‌دهند. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SAS و مقایسهٔ میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح آماری ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد، تأثیر توده بر شمار میوه در بوته، وزن بزرگ‌ترین میوه و میانگین وزن میوه معنی‌دار بود. از نظر صفات عملکرد، شمار میوه در بوته، طول بوته، وزن بزرگ‌ترین میوه، وزن تر بوته و میانگین وزن میوه بین تیمارهای تنش و بدون تنش تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت، اما اثر متقابل توده و تنش خشکی بر همهٔ صفات مورد بررسی معنی‌دار نبود (جدول ۳).

بر پایهٔ جدول مقایسهٔ میانگین (جدول ۴) بالاترین عملکرد در شرایط تنش متعلق به تودهٔ اصفهان (۲/۵۴ کیلوگرم در بوته) و در شرایط بدون تنش متعلق به تودهٔ کرمان (۵/۷۳ کیلوگرم در بوته) بود و این در حالی است که تودهٔ اصفهان از نظر میانگین عملکرد در شرایط بدون تنش با شرایط تنش در وضعیت مناسبی قرار داشت و کمترین درصد تغییرپذیری (۴۵/۱ درصد) را در بین توده‌ها نشان داد. تودهٔ سیستان و بلوچستان با عملکرد ۳/۳۴ کیلوگرم میوه در بوته کمترین عملکرد را در شرایط بدون تنش و در شرایط تنش تودهٔ بوشهر با عملکرد ۱/۲۷ کیلوگرم میوه در بوته کمترین عملکرد را داشت. Ortega & Kretchman (1982) دریافتند، در شرایط تنش آبی رقابت شدیدی در جذب مواد نورساختی (فتوسنتزی) در گیاه برقرار می‌شود و در عمل این رقابت به سود میوه‌های از پیش تشکیل‌شده و بزرگ‌تر تمام می‌شود. درواقع در چنین شرایطی از تشکیل گل‌ها و میوه‌های جدید جلوگیری به عمل می‌آید. کاهش شمار میوه و عملکرد در هندوانهٔ ابوجهل در تیمار تنش خشکی نشان‌دهندهٔ چنین واقعیتی است. از سویی هرچه آب آبیاری بیشتر شود رشد گیاه بیشتر خواهد شد و می‌تواند شمار میوه‌های بیشتری را تغذیه کند و عملکرد بالایی داشته باشد (Jalilian *et al.*, 2005; Rezvani Moghadam & Sadeghi, 2008). در مورد شمار میوه در بوته، تودهٔ خوزستان در هر دو شرایط بدون تنش و تنش با میانگین ۱۲۸/۷ و ۴۸ میوه در بوته، میانگین بالاتری نسبت به توده‌های دیگر داشت. ولی آنچه مسلم است این توده شمار میوهٔ بیشتری با وزن کمتر تولید کرده است به همین دلیل میانگین وزن میوه در هر دو

شرایط بدون تنش و تنش با میانگین ۳۶ و ۳۷ گرم در هر میوه کمترین میانگین در بین توده‌ها بود. به نظر می‌رسد تولید شمار میوهٔ بیشتر در هر بوته با وزن کم از ویژگی‌های ژنتیکی این توده است که در شرایط تنش شمار میوه‌ها کمتر شده است، ولی وزن میوه‌ها نسبت به شمار آن‌ها تا حدودی تغییر نکرده است. اندازه‌گیری وزن بزرگ‌ترین میوه در بین توده‌ها نیز نشان داد، تودهٔ خوزستان در هر دو شرایط بدون تنش و تنش به‌ترتیب با ۸۴/۹ و ۵۱/۳ گرم وزن میوه کمترین وزن را در بین توده‌ها داشت. تودهٔ کرمان با ۲۰۹/۳ گرم و تودهٔ اصفهان با ۱۲۲/۸ گرم بزرگ‌ترین وزن میوه را در بین توده‌ها داشتند. بیشترین طول بوته در شرایط بدون تنش متعلق به تودهٔ خوزستان (۳۴۰ سانتی‌متر) و کمترین آن متعلق به تودهٔ بوشهر (۲۶۰ سانتی‌متر) بود. همچنین در شرایط تنش تودهٔ سیستان و بلوچستان با۲۶۰ سانتی‌متر بیشترین طول بوته و تودهٔ کرمان با ۱۷۸/۷ سانتی‌متر کمترین طول بوته را داشتند. بررسی رشد، عملکرد و کارایی مصرف آب در خیار گلخانه‌ای در شرایط مختلف رطوبت خاک نشان داد که در شرایط تنش آبی، با افزایش میزان تنش از ۴۵ سانتی‌بار به ۶۵ سانتی‌بار از رشد طولی بوتهٔ خیار گلخانه‌ای به‌طور میانگین از ۷۵۴ سانتی‌متر به ۶۷۳ سانتی‌متر و به‌صورت معنی‌داری کاسته می‌شود (Faramarz Pour *et al.*, 2012) که با نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق همخوانی دارد. محاسبه درصد تغییرپذیری صفات مورد بررسی در شرایط بدون تنش و تنش، یک شاخص مهم برای ارزیابی میزان تغییرپذیری عملکرد یک توده در شرایط تنش نسبت به عملکرد آن در شرایط بدون تنش است. درواقع هرچقدر مدت و شدت تنش بیشتر و توده حساس‌تر باشد درصد این تغییر بیشتر است و هرچقدر این درصد در توده‌ای کمتر باشد آن توده متحمل‌تر است (Zeinali Khanghah *et al.*, 2004). از نظر معیار درصد تغییرپذیری صفات مورد بررسی در این تحقیق، به‌طور میانگین تودهٔ اصفهان کمترین درصد تغییرپذیری و تودهٔ کرمان بیشترین درصد تغییر را داشت (جدول ۴).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژیکی هندوانه ابوجهل

Table 3. Results of analysis of variance for drought stress effect on some morphological traits in colocynth

S.O.V.	df	Means Square					
		Yield	Fruit number	Mean fruit weight	Largest fruit weight	Shoot fresh weight	Plant height
Replication	2	0.97 ns	606.6 ns	774.6 ns	1804.2 ns	2.05 ns	1950.2 ns
Drought stress	1	100.2**	17486.9**	4297.8**	8268.4**	162.7**	81664.3**
Error (a)	2	0.32	189.45	63.71	302.57	0.393	296.17
Accession	6	1.48 ns	2114.5**	2469.3**	5499.1**	2.21ns	2072 ns
Drought stress × Accession	6	0.86 ns	1046.4 ns	611.1 ns	2419.1ns	2.88ns	3083.2 ns
Error (b)	24	1.03	317.1	242.4	1048.2	2.70	2953.1

*، ** و ns: به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد احتمال و عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

*, **, ns: significantly difference at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$ probability levels and non-significantly difference, respectively.

جدول ۴. مقایسه میانگین و درصد تغییرات میانگین صفات تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی در هفت توده هندوانه ابوجهل

Table 4. Mean comparison and percentage of mean traits changing in non-stress and stress conditions in seven accessions of colocynth

Accession	Shoot fresh weight (kg)			Yield (kg per plant)			Plant height (cm)		
	Non-stress	Stress	Changing percent	Non-stress	Stress	Changing percent	Non-stress	Stress	Changing percent
Esfahan	6.54cd	3.99a	38.9	4.63c	2.54a	45.1	273bc	214bc	21.7
Bushehr	6.32cd	2.6bc	59.1	4.40c	1.27c	71.1	260c	193.3de	25.6
Khuzestan	7.82ab	3.02b	61.4	4.69bc	1.53c	67.4	340a	229.3b	32.6
Kerman	8.78a	2.4c	72.7	5.73a	1.49c	73.9	337.3a	178.7e	47.1
Sistan o Baluchestan	5.36d	3.01b	43.8	3.54d	1.38c	61.1	278bc	260a	6.5
Hormozgan	7.95ab	3.7a	53.5	5.38ab	2.00b	62.8	320a	206.7cd	35.4
Yazd	7.13bc	3.65a	48.8	5.47a	2.01b	63.3	308ab	217.7bc	29.4

Values with the same letters are non-significantly different at $P < 0.05$. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵درصد می‌باشد.

ادامه جدول ۴. مقایسه میانگین و درصد تغییرات میانگین صفات تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی در هفت توده هندوانه ابوجهل
Continued table 4. Mean comparison and percentage of mean traits changing in non-stress and stress conditions in seven accessions of colocynth

Accession	Fruit number (per plant)			Mean fruit weight (kg)			Largest fruit weight (kg)		
	Non-stress	Stress	Changing percent	Non-stress	Stress	Changing percent	Non-stress	Stress	Changing percent
Esfahan	46.67e	41. 7b	10.7	101b	63b	37.6	137.2bc	122.8a	10.4
Bushehr	80.67c	27.6cd	65.7	56d	47d	16.1	116.4cd	75.3d	35.3
Khuzestan	128.7a	48a	62.7	36e	37e	-2.8	84.9f	51.3e	39.6
Kerman	48.33e	23.3d	51.7	121a	63b	47.9	209.3a	108.3bc	48.3
Sistan o Baluchestan	47e	25.7d	45.4	79c	53c	32.9	110.6de	107.3bc	2.9
Hormozgan	96.3b	32.6c	66.1	62d	57c	8.1	87.3ef	86.1c	1.3
Yazd	62.33d	25.3d	59.4	87c	80a	8.0	151.2b	113.2b	25.1

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵درصد می‌باشد. Values with the same letters are non-significantly different at $P < 0.05$.

برای تعیین میزان تحمل توده‌های مورد بررسی به تنش خشکی از عملکرد توده‌ها در دو محیط بدون تنش و تنش استفاده شد و میزان حساسیت توده‌ها با شاخص‌های تحمل به خشکی تعیین شد (جدول ۵). بر پایهٔ دو شاخص تحمل و شاخص حساسیت به تنش هرچه میزان عددی این شاخص‌ها کوچک‌تر باشند، تودهٔ مورد نظر متحمل‌تر هستند. تودهٔ اصفهان مقدار عددی پایینی برای این دو شاخص داشت و به‌عنوان متحمل‌ترین توده شناسایی شد و تودهٔ کرمان که مقادیر عددی بالاتری داشت که تودهٔ غیرمتحمل به شرایط تنش خشکی معرفی شد. از سوی دیگر، از نظر شاخص‌های میانگین هندسی، میانگین هماهنگی بهره‌وری، تحمل به تنش و میانگین بهره‌وری که مقادیر عددی بالای آن‌ها دلالت بر تحمل توده‌های تحت بررسی دارد، توده‌های اصفهان و یزد به‌عنوان توده‌های متحمل با عملکرد بالا و توده‌های سیستان و بلوچستان و بوشهر به‌عنوان توده‌های غیرمتحمل با عملکرد پایین در هر دو محیط تنش و بدون تنش شناسایی شدند. همچنین با توجه به شاخص عملکرد محیط بدون تنش و دارای تنش، تودهٔ اصفهان توده‌ای با میزان عددی ۴/۶۹، توده‌ای با تحمل نسبی بالا و تودهٔ بوشهر با میزان عددی ۲/۳۴، توده‌ای با تحمل نسبی پایین معرفی می‌شوند. بنا بر نتایج، در ارزیابی نژادگان (ژنوتیپ)های زیرهٔ سبز تحت تنش خشکی بر پایهٔ شاخص‌های تحمل مشخص شد که نژادگان سدرویی از نظر شاخص‌های میانگین بهره‌وری، شاخص تحمل به تنش و میانگین هندسی کمترین میزان و از نظر شاخص حساسیت به تنش و شاخص تحمل بیشترین میزان را دارد و به‌عنوان حساس‌ترین نژادگان شناخته شد. همچنین نژادگان راور به دلیل داشتن بیشترین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش (نرمال) به‌عنوان متحمل‌ترین نژادگان انتخاب شد (Karimi Afshar *et al.*, 2014). همچنین از شاخص‌های تحمل به تنش برای گزینش نژادگان‌ها در گیاهان زراعی رایج مانند گندم، جو و ذرت بررسی‌های زیادی صورت گرفته است (Moosavi *et al.*, 2008; Mohammadi *et al.*, 2008; Jafari *et al.*, 2009)، که نتایج این تحقیقات، بیانگر کارایی لازم این شاخص‌ها برای شناسایی نژادگان‌های متحمل به خشکی است.

برای رسیدن به بهترین معیار برای ارزیابی تحمل به خشکی توده‌ها، از تجزیهٔ همبستگی بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش با شاخص‌های متحمل به خشکی استفاده شد (جدول ۶). به‌عبارت‌دیگر بهترین شاخص‌ها آن‌هایی هستند که همبستگی بالا با عملکرد میوه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش داشته باشند (Fernandez, 1992). همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد میوه در شرایط تنش با شاخص‌های میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی و تحمل به تنش به ترتیب با ضریب‌های ۰/۶۹۰، ۰/۸۹۲ و ۰/۹۱۱ و در شرایط بدون تنش به ترتیب با ضریب‌های ۰/۸۹۹، ۰/۶۹۹ و ۰/۶۶۳ سبب شد تا این شاخص‌ها به‌عنوان بهترین شاخص‌ها در انتخاب توده‌های متحمل به خشکی معرفی شوند. چون در هر دو شرایط تنش و بدون تنش با عملکرد میوه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند. بنابر نتایج این تحقیق، در بررسی صفات کمی و کیفی توده‌های لوبیا سفید، سه شاخص میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی و تحمل به تنش را به‌عنوان شاخص‌های مناسب انتخاب برای تحمل به

خشکی معرفی کردند (Mohammadi *et al.*, 2008). همچنین به‌منظور تعیین شاخص‌های کمی تحمل به خشکی و شناسایی توده‌های متحمل به خشکی در عدس، شاخص‌های میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی و تحمل به تنش به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها معرفی شده‌اند (Shafiee Khorshidi *et al.*, 2013). شاخص حساسیت به تنش با ضریب ۰/۸۱۷- همبستگی منفی و معنی‌داری با عملکرد میوه در شرایط تنش نشان داد، درحالی‌که در شرایط بدون تنش، این همبستگی معنی‌دار نبود. همبستگی شاخص تحمل نیز با عملکرد میوه در شرایط بدون تنش با ضریب ۰/۸۱۹، معنی‌دار و در شرایط تنش با ضریب ۰/۲۹۷- معنی‌دار نبود. بر پایهٔ منفی بودن همبستگی دو شاخص تحمل و حساسیت به تنش با عملکرد میوه در شرایط تنش، هرچه میزان عددی این شاخص‌ها کمتر باشند، توده‌های مورد نظر متحمل‌تر است، بنابراین انتخاب توده‌ها بر پایهٔ این دو شاخص، کاهش عملکرد در شرایط بدون رخداد تنش را در پی خواهد داشت. نتایج بیان‌شده با نتایج پژوهش‌های پیشین در مورد گیاهان دیگر مانند گندم، جو و سویا همخوانی دارد (Golabadi *et al.*, 2006; Sio-Se Mardeh *et al.*, 2006; Garavandi *et al.*, 2010).

با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مشخص شد که دو مؤلفهٔ اول درمجموع ۹۹/۸۰ درصد از تغییرپذیری‌ها را توجیه کردند، به‌طوری‌که مؤلفهٔ اول به‌تنهایی بیش از ۶۸/۵۹ درصد و مؤلفهٔ دوم حدود ۳۱/۲۱ درصد از تغییرپذیری‌های کل داده‌ها را توجیه کردند (جدول ۷). در این بررسی مؤلفهٔ اول همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد در شرایط تنش و شاخص‌های میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی، تحمل به تنش، میانگین هماهنگی بهره‌وری و عملکرد محیط بدون تنش و تنش داشت که با توجه به این همبستگی مثبت، مؤلفهٔ اول به‌عنوان مؤلفهٔ ظرفیت عملکرد و تحمل به خشکی شناخته می‌شود. این مؤلفه توده‌های دارای عملکرد بالا و متحمل به خشکی را از توده‌های با میانگین عملکرد پایین و حساس جدا می‌کند. با توجه به اینکه مؤلفهٔ دوم با عملکرد در شرایط تنش و شاخص عملکرد محیط بدون تنش و تنش همبستگی منفی و با شاخص تحمل و شاخص حساسیت به تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت، از این‌رو این مؤلفه را می‌توان به‌عنوان مؤلفهٔ حساسیت به تنش نام‌گذاری کرد (Badr Abadi *et al.*, 2012).

جدول ۵. برآورد میانگین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در هفت توده هندوانه ابوجهل

Table 5. Estimation of mean indices of drought stress tolerance in seven accessions of colocynth

Drought tolerance indices	Hormozgan	Sistan o Baluchestan	Bushehr	Esfahan	Yazd	Kerman	Khuzestan
Yp	5.38	3.54	4.40	4.36	5.47	5.73	4.69
Ys	2.00	1.38	1.27	2.54	2.01	1.49	1.53
TOL	3.38	2.15	3.14	2.09	3.46	4.25	3.16
MP	3.69	2.46	2.84	3.59	3.74	3.61	3.11
GMP	3.28	2.21	2.36	3.43	3.31	2.92	2.68
SSI	0.46	0.21	0.24	0.50	0.47	0.36	0.31
STI	0.98	0.95	1.11	0.71	0.99	1.16	1.05
SNPI	3.61	2.49	2.34	4.69	3.63	2.78	2.79
HARM	2.92	1.99	1.97	3.28	2.94	2.36	2.31

جدول ۶. ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تنش خشکی و عملکرد هنداونه ابوجهل تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 6. Correlation coefficients between drought stress indices and yield of colocynth under non stress and drought stress conditions

	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	SSI	STI	SNPI	HARM
Yp									
Ys	0.304								
TOL	0.819**	-0.297							
MP	0.899**	0.690*	0.486						
GMP	0.699*	0.892**	0.164	0.941**					
SSI	0.295	-0.817**	0.788**	-0.151	-0.470				
STI	0.663*	0.911**	0.115	0.921**	0.998**	-0.509			
SNPI	0.309	0.999**	-0.291	0.694*	0/891**	0.909**	-0.814**		
HARM	0.493	0.976**	-0.094	0.822**	0.967**	0.978**	-0.677*	0.972**	

*، ** و ns: به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد احتمال و عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

*, **, ns: significantly difference at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$ probability levels and non-significantly difference, respectively.

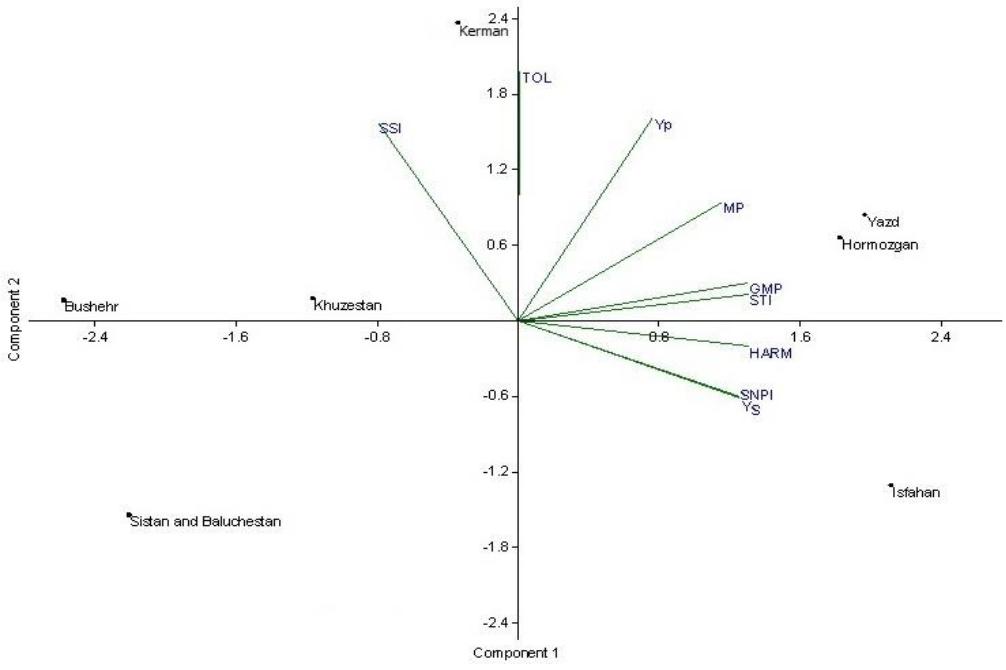
با ترسیم نمودار دووجهی (بای‌پلات) بر پایهٔ دو مؤلفهٔ بالا، می‌توان رابطه‌های بین توده‌ها و شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش را در یک شکل واحد رسم کرد، به‌طوری‌که فاصلهٔ بین توده‌ها با شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش نشان‌دهندهٔ میزان مقاومت به خشکی و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش توده‌ها باشد (شکل ۱).

با توجه به رابطهٔ مؤلفه‌ها و شاخص‌های مورد بررسی ناحیهٔ چهارم نمودار (سمت راست پایین) به‌عنوان ناحیه‌ای مطلوب با ظرفیت عملکرد بالا و حساسیت پایین بود و تودهٔ اصفهان در این ناحیه قرار داشت. توده‌های یزد و هرمزگان در ناحیهٔ سوم (سمت راست بالا) قرار گرفتند که به‌عنوان توده‌های به نسبت متحمل و عملکرد خوب معرفی می‌شوند. تودهٔ کرمان در ناحیهٔ اول (سمت چپ بالا) با عملکرد بالا و حساسیت بالا به تنش خشکی قرار گرفت. توده‌های بوشهر و خوزستان توده‌هایی با عملکرد پایین و حساسیت بالا نسبت به تنش خشکی بودند و تودهٔ سیستان و بلوچستان به‌عنوان توده‌ای با عملکرد پایین و حساسیت به نسبت کم به تنش خشکی بود. تحقیقات نشان داده است، بین توده‌های وحشی گیاهان زراعی تنوع ژنتیکی زیادی وجود دارد و با انجام کارهای بهنژادی می‌توان توده‌هایی با میزان تحمل بیشتری تولید کرد که شمار بیشتری از ژن‌های تحمل به خشکی را داشته باشند (Karami *et al*., 2006).

جدول ۷. مقادیر دو مؤلفه اول برای شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد هندوانه ابوجهل تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 7. The amounts of two first components for drought stress indices and yield of colocynth in non-stress and stress conditions

Component	Total variance	Cumulative proportion	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	SSI	STI	SNPI	HARM
1	68.59	68.59	0.47	0.98	-0.12	0.81	0.96	-0.69	0.97	0.98	0.99
2	31.21	99.80	0.88	-0.18	0.99	0.58	0.28	0.71	0.23	-0.18	0.03



شکل ۱. نمودار دو بعدی شاخص‌های تحمل به خشکی هفت توده هندوانه ابوجهل بر اساس دو مؤلفه اول

Figure 1. Biplot for drought tolerance indices in seven accessions of colocynth based on first two components

نتیجه‌گیری کلی

محدودیت منابع آبی و افزایش آسیب‌پذیری گیاهان مختلف زراعی، باغی و دارویی به‌وسیلهٔ تنش خشکی، گردآوری، نگهداری و ارزیابی گونه‌های وحشی خویشاوند که سازگاری گسترده‌ای داشته را ضروری کرده است. این گونه‌های وحشی، حامل منابع بزرگی از ژن‌های سودمند با واکنش مطلوب به تنش‌های محیطی هستند که به‌طور گسترده در سراسر جهان توسط بهنژادگران در حال بررسی و ارزیابی است. بر پایهٔ نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق می‌توان اظهار داشت که هندوانهٔ ابوجهل سازگاری به نسبت خوبی با شرایط تنش خشکی پیدا کرده است و می‌تواند با بررسی‌های بیشتر در کارهای بهنژادی و کشت در مناطق خشک به‌عنوان پایه برای دیگر گونه‌های تجاری تیرهٔ کدوسانان، به‌ویژه هندوانه، استفاده شود. با توجه به ارزیابی‌های انجام‌شده، می‌توان توده‌های اصفهان، یزد و هرمزگان را به‌عنوان توده‌های متحمل به خشکی با عملکرد به نسبت پایدار و همچنین تودهٔ کرمان را به‌عنوان توده‌ای با عملکرد بالا در شرایط بدون تنش معرفی کرد که نتوانسته است عملکرد بالای خود را در شرایط تنش نیز حفظ کند و از این‌رو در زمره توده‌های غیرمتحمل در شرایط تنش قرار گرفت. این توده چون در شرایط بدون تنش بالاترین اجزای عملکرد مانند وزن تر بوته، طول بوته، میانگین وزن میوه‌ها، وزن بزرگ‌ترین میوه و عملکرد میوه را دارد، برای استفاده در برنامه‌های بهنژادی خاص مناطق بدون تنش قابل توصیه است. به‌طورکلی توده‌های هندوانهٔ ابوجهل می‌تواند منبع بهنژادی مناسبی برای هندوانه به شمار می‌آید.

REFERENCES

1. Badr Abadi, M., Shokrpour, M., Asghari, A. & Esfandyari, E. (2012). Determining relationships among dry matter remobilization and some morphological traits in barley genotypes using factor analysis method under low water stress. *Journal of Crop Breeding*, 4(10), 109-122. (in Farsi)
2. Bosabalidis, A. M. & Kofidis, G. (2002). Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars. *Plant Science*, 163, 375-379.
3. Dane, F., Liu, J. & Zhang, C. (2006). Phylogeography of the bitter apple, *Citrullus colocynthis*. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 54, 327-336.
4. Dichio, B., Romano, M., Nuzzu, V. & Xiloyannis, C. (2002). Soil water availability and relationship between canopy and roots in young olive trees cv. Coratana. *Acta Horticulturae*, 586, 419-422.
5. Faramarz Pour, A., Delshad, M. & Parsi Nejad, M. (2012). An evaluation of growth, yield and water use efficiency of greenhouse cucumber production at different soil moisture circumstances using tensiometer as moisture measuring instrument. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 43(3), 285-292. (in Farsi)
6. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. & Basra, S.M.A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 185-212.
7. Ferandez, G. C. J. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of *the International Symposium "Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, AVRDC Publication*. Tainan, Taiwan, 18, 257-270.
8. Ficher, R. A. & Mourer, R. (1987). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 897-912.
9. Garavandi, M., Farshadfar, M. & Kahrizi, D. (2010). Evaluation of drought tolerance in bread wheat advanced genotypes in field and laboratory conditions. *Seed and Plant Improvement Journal*, 26, 233-252. (in Farsi)
10. Ghahreman, A. (2000). *Colored Flora of Iran*. Tehran, Iran: Forest and Rangelands Research Institute Press.
11. Golabadi, M., Arzani, A. & Mirmohamadi Maibody, S. A. M. (2006). Assessment of drought tolerance in segregation population in durum wheat. *African Journal of Agricultural Research*, 1, 162-171.
12. Jafari, A., Paknejad, F. & Al-Ahmadi, M. (2009). Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. *International Journal of Plant Production*, 3, 33-38.
13. Jalilian, J., Modaresesanavi, S. A. M. & Sabaghpour, S. H. (2005). Effect of plant density and supplemental irrigation on yield, yield component and protein content of four chickpea (*Cicer arietinum*) cultivars under dry land condition. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, 12(5), 1-9. (in Farsi)
14. Karami, E., Ghannadha, M. R., Naghavi, M. R. & Mardi, M. (2006). Identification of drought tolerant genotypes in barley. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 37(1), 371-380. (in Farsi)

15. Karimi Afshar, A., Baghizadeh, A., Mohammedi Nejad, Q. & Abedi, J. (2014). Evaluation of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) genotypes under drought condition based on tolerance indices. In: Proceedings of *the 1st International & 13th Iranian Genetics Congress*, 24-26 May, Teheran, Iran, pp. 1-4.
16. Kumar, R., Solankey, S. S. & Singh, M. (2012). Breeding for drought tolerance in vegetables. *Vegetable Science*, 39(1), 1-15.
17. Mohammadi, M., Taleei, A., Zeinali, H., Naghavi, M. R. & Baum, M. (2008). Mapping QTLs controlling drought tolerance in barley doubled haploid population. *Seed and Plant Improvment Journal*, 24, 1-16. (in Farsi)
18. Moosavi, S. S., Yazdi Samadi, B., Naghavi, M. R., Zali, A. A., Dashti, H. & Pourshahbazi, A. (2008). Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert*, 12, 165-178.
19. Ortega, D. G. & Kretchman, D. W. (1982). Water stress effects on pickling cucumber. *Horticulture Science*, 107, 409-412.
20. Rezvani Moghadam, P. & Sadeghi Samarjan, R. (2008). Effect of sowing dates and different irrigation regimes on morphological characteristics and grain yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) (Cultivar 3279 ILC). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6, 315-325. (in Farsi)
21. Rosielle, A. A. & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspect of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, 21, 943-946.
22. Shafiee Khorshidi, M., Bihamta, M. R., Khialparast, F. & Naghavi, M. R. (2013). Comparison of some common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for drought tolerance. *Iranian Journal of Field Crops Science*, 44(1), 95-107. (in Farsi)
23. Si, Y., Dane, F., Rashotte, A., Kang, K. & Singh, N. K. (2010). Cloning and expression analysis of the Ccrboh gene encoding respiratory burst oxidase in *Citrullus colocynthis* and grafting onto *Citrullus lanatus* (watermelon). *Journal of Experimental Botany*, 61(6), 1635-1642.
24. Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K. & Mohammadi, V. (2006). Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research*, 98, 222-229.
25. Trease, G. & Evans, W. (1970). *Text book of pharmacognasy*. Tindall and Cassell, London, Baillere. pp: 382.
26. Zeinali Khanghah, H., Izanloo, A., Hoseinzadeh, A. H. & Majnoon Hoseini, N. (2004). Determination of the suitable drought resistance indices in commercial soybean varieties. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 35, 875-885. (in Farsi)