Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 48, No 4, Winter 2017 (1099-1113)
DOI: 10.22059/ijfcs.2017.211455.654151

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۴۸، شمارهٔ 4، زمستان ۱۳۹۶ (ص ۱۱۱۳-۱۰۹۹)

پاسخ‌های فیزیولوژی زیرهٔ سبز (*Cuminum cyminum L*) به تنش کم‌آبی

حسین کاظمی[۱]، سید محمد مهدی مرتضویان*[۲] و مجید قربانی جاوید[۳]

۱، ۲و۳. به ترتیب، کارشناس ارشد، دانشیار و استادیار گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت۹۵/۰۹/۱۶ - تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۰۲)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر تنش کم‌آبی بر برخی از صفات فیزیولوژی، آزمایشی در قالب طرح لاتیس ساده با استفاده از ۴۹ بوم‌جور (اکوتیپ) بومی زیرهٔ سبز (*Cuminum cyminum*) در دو تکرار در شرایط تنش کم‌آبی و عادی در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در ایستگاه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران اجرا شد. صفاتی مانند غلظت اسیدآمینهٔ پرولین، محتوای قندهای محلول، اسانس، سبزینهٔ (کلروفیل) a، سبزینهٔ b، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد، تأثیر تنش کم‌آبی بر همهٔ صفات مورد بررسی معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود. با اعمال تنش، به ترتیب غلظت سبزینهٔ a، b، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد دانه ۴۰، ۳۲، ۵۲، ۹ و ۱۹ درصد کاهش یافت و بر غلظت پرولین، قندهای محلول و اسانس ۳۰، ۵۵ و ۵۶ درصد افزوده شد. با توجه به نتایج مقایسهٔ میانگین نیز به ترتیب بوم‌جورهای کاشمر، چترود، ایوانکی، گنبد، اردکان، سیوند، قائن و بانه بیشترین میزان کاروتنوئید، سبزینهٔ a، سبزینهٔ b، محتوای نسبی آب برگ، قندهای محلول، پرولین، درصد اسانس و عملکرد دانه را داشتند. به‌طورکلی گیاه دارویی زیرهٔ سبز به‌عنوان یک گیاه نیمه مقاوم به تنش کم‌آبی از سازوکارهای فیزیولوژیکی مختلفی برای رویارویی با تنش استفاده می‌کند که با روش‌های بهنژادی می‌توان در جهت تولید رقم‌های متحمل با عملکرد کافی از آن‌ها بهره جست.

واژه‌های کلیدی: اسانس، پرولین، تنش کم‌آبی، زیرهٔ سبز، ویژگی‌های فیزیولوژی.

Physiological responses of cumin (*Cuminum cyminum* L.) to water deficit stress

H. Kazemi[1], S.M.M. Mortazavian*[2] and M. Ghorbani Javid[2]
1.2 and 3. Former MSc Student, Associat and Assistant Professors, respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, College of Aburaihan, University of Tehran
(Received: December 6, 2016 - Accepted: February 20, 2017)

ABSTRACT

To study the effect of water stress on some physiological characteristics, an experiment was carried out in a simple lattice design with two replications under normal and low irrigated conditions using 49 cumin endemic ecotypes collected from different parts of Iran in the crop year 2011-2012 in college of Aburaihan, University of Tehran. Physiological traits including content of proline, soluble sugars, essential oil, chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids and relative water content were measured beside grain yield**.** The results showed significant effect of drought stress on all the traits. Drought stress decreased chlorophyll a, b and carotenoids content, grain yield and relative water content about 40, 32, 52, 19 and 9 percent, respectively. Meanwhile, contents of proline, soluble sugars and essential oils increased about 30, 55 and 56 percent, respectively. According to the results of mean comparisons, ecotypes of Kashmar, Chatrood, Ivanaki, Gonbad, Ardekan, Sivand, Qaen and Baneh had the high amount of carotenoids, chlorophyll a, chlorophyll b, relative water content, soluble sugars, proline, essential oil content and grain yield, respectively. In general, cumin as a moderately tolerant plant to water deficit exploit different physiological mechanisms to cope with stress and breeding strategies focusing on physiological aspects can be applied to improve high yield cultivars tolerant to drought stress.

Key words: *Cuminum cyminum*, drought stress, Essential oil, Physiological traits, Proline.

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

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

گیاهان دارویی از منابع بسیار ارزشمند در عرصه‌های گستردهٔ منابع طبیعی ایران هستند که در صورت شناخت علمی، اهلی کردن، کشت، توسعه و بهره‌برداری بهینه می‌توانند نقش مهمی در سلامت جامعه، اشتغال‌زایی و صادرات غیرنفتی داشته باشند. زیرهٔ سبز (*Cuminum cyminum*) گیاهی یک‌ساله و متعلق به تیرهٔ چتریان است که از مهم‌ترین و پرکاربردترین گیاهان دارویی این تیره به شمار می‌آید و به‌طور عمده به‌منظور استفاده از اسانس تولیدی از آن در صنایع مختلف دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی کشت می‌شود (Omidbaigi, 2007). میوهٔ زیرهٔ سبز حاوی ۵-۲ درصد اسانس است که قسمت اعظم آن از پاراسیمول، آلفا و بتا پینن، کومین الکل، کومین‌آلدهید، آلفا و بتا فلاندرن، اورژنول، پریلاآلدهید، آلفا ترپینئول و میرسن تشکیل شده است. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عامل‌های محدودکنندهٔ رشد گیاهی و یک فرآیند پیچیدهٔ فیزیکی، شیمیایی و زیستی (بیولوژیکی) است که بسیاری از مسیرهای سوخت و سازی (متابولیکی) مانند نورساخت (فتوسنتز)، تنفس، جذب و انتقال آب، عنصرهای کانی، فعالیت آنزیم‌ها و انتقال و تجمع مواد آلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد بنابراین تأثیر تخریبی تنش خشکی به‌ویژه در مناطقی که میزان ذخایر آبی کم است یا توزیع بارندگی مناسبی ندارند، بیش از هر تنش غیرزندهٔ دیگر مشاهده می‌شود (Einizade *et al*., 2016). و در گیاهان متحمل و سازگار برخی تغییرات ریخت‌شناختی (مورفولوژیکی) و سوخت‌وسازی در پاسخ به تنش‌ها رخ می‌دهد که باعث سازگاری گیاه به شرایط محیطی محدودکننده می‌شود (Blum, 1996). Gholi Nejad *et al*., (2014) در بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی (۳۰، ۶۰ و ۱۰۰درصد ظرفیت زراعی) بر فعالیت برخی آنزیم‌های پاداکسندگی (آنتی‌اکسیدانی)، رنگدانه‌های نورساختی، پرولین و عملکرد گاوزبان (*Borago officinalis*) نتیجه گرفتند که با افزایش شدت تنش خشکی میزان عملکرد و رنگدانه‌های نورساختی کاهش و میزان پرولین و آنزیم‌های پاداکسنده افزایش می‌یابد. در گیاه اسانس‌دار مرزنجوش *Origanum majorana* در نتیجهٔ کمبود آب، میزان اسانس و چربی بیشتر شد و به دلیل کاهش تقسیم یاخته‌ای، طول برگ‌ها کم شد (Rizopoulou & Diamantoglon, 1991). ازآنجاکه تنش خشکی از جمله بزرگ‌ترین چالش‌ها در تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک، از جمله ایران به شمار می‌رود، شناخت واکنش‌های متفاوت گیاهان دارویی به کمبود آب اهمیت خاصی دارد (Moghaddam *et al*., 2014). با ارزیابی توده‌های بومی از هر گیاه که در شرایط تنش کم‌آبی قادر به تولید عملکرد به نسبت قابل قبولی باشند، می‌توان با اطمینان بیشتری در نواحی خشک و نیمه خشک آن‌ها را کشت کرد. ازآنجاکه گیاهان در دورهٔ رشد با تنش‌های پرشمار محیطی از جمله تنش خشکی روبه‌رو می‌شوند، بررسی اثرگذاری‌های تنش خشکی بر ویژگی‌های فیزیولوژی گیاه در انتخاب رقم‌های مقاوم به خشکی و همچنین ذخیره و مصرف کارآمد آب، مؤثر خواهد بود. هر یک از تنش‌ها می‌توانند با توجه به میزان حساسیت و مرحلهٔ رشد گونهٔ گیاهی تغییرات ریخت‌شناختی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی چندی را در گیاهان سبب شوند که این امر سبب بازدارندگی شدیدی در رشد گیاه و در نتیجه سبب کاهش محصول می‌شود (Imam & Zavarehi, 2005). خشکی در بین عامل‌های تنش‌زای غیرزنده به تنهایی مسبب کاهش ۴۵ درصدی عملکرد گیاهان زراعی در نقاط مختلف جهان بوده است (Kafi *et al*., 2009). تنش خشکی در حقیقت عامل کاهش پتانسیل آب خاک است. در چنین شرایطی گیاه به‌منظور ادامهٔ جذب آب و بقای خود، از راه تجمع ترکیب‌های اسمزی از جمله پرولین و کربوهیدرات‌های محلول، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد و یا به عبارت دیگر، تنظیم اسمزی انجام می‌دهد (Imam & Zavarehi, 2005). تنظیم اسمزی یک پدیدهٔ فیزیولوژی است که در فرآیند آن مواد محلول با وزن مولکولی کم که مواد سازگار نامیده می‌شوند، در گیاهان تجمع پیدا می‌کنند و سبب حفظ فشار آماس یاخته‌ها، ثبات و پایداری غشاها و ماکرومولکول‌ها،

Archive of SID

www.SID.ir

طویل شدن یاخته‌ها، باز کردن شکاف روزنه‌ها و ادامهٔ نورساخت، بقاء در هنگام پسابیدگی و گسترش بیشتر ریشه می‌شوند. در شرایط تنش خشکی، فعالیت آنزیم-هایی چون کلروفیلاز و پراکسیداز افزایش یافته و در فعالیت آنزیم‌های مسئول ساخت (سنتز) سبزینه (کلروفیل) اختلال ایجاد می‌شود و باعث کاهش سبزینه و به دنبال آن سبب کاهش نورساخت می‌شود (Smirnoff, 1993) Karimzadeh *et al*., (2014) در نتایج تحقیقات خود روی گیاه دارویی بادرشبو (*Deracocephalum moldavica L.*) دریافتند که با اعمال تیمارهای خشکی ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، بیشترین میزان پرولین و قندهای محلول و درصد اسانس به تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی اختصاص یافته بود. Heidary *et al*. (2014) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کردند، بروز تنش خشکی میزان سبزینه، سرعت نورساخت و محتوای نسبی آب برگ در گیاه آنیسون (*Pimpinella anisum L.*) را کاهش داده است. یکی از مهم‌ترین تغییرات ناشی از تنش خشکی کاهش محتوای نسبی آب برگ است. محتوای نسبی آب برگ بالاتر به معنای توانایی برگ در حفظ مقادیر بیشتری آب در شرایط تنش است که از راه قابلیت تنظیم اسمزی و یا توانایی ریشه در جذب به دست می‌آید (Kafi *et al*., 2009). این صفت می‌تواند توانمندی گیاه را در تحمل تنش خشکی نشان دهد. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک (پرولین، قندهای محلول، سبزینهٔ a، سبزینهٔ b و کاروتنوئید)، درصد اسانس و عملکرد دانهٔ بومجورهای زیرهٔ سبز و همچنین معرفی مقاوم‌ترین آن‌ها با توجه به ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده برای استفاده در برنامه‌های به نژادی انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این بررسی، ۴۹ بومجور مختلف زیرهٔ سبز پس از گردآوری از نواحی عمدهٔ کشت و کار گیاه زیرهٔ کشور در قالب طرح آزمایشی لاتیس ساده با دو تکرار طی سال زراعی ۹۲-۹۱ در ایستگاه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران واقع در پاکدشت بررسی شد. از لحاظ جغرافیایی این مکان در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۹ دقیقهٔ شمالی، طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۰ دقیقهٔ شرقی و ارتفاع ۱۰۲۷ متری از سطح دریا واقع شده است. از نظر اقلیم، منطقهٔ پاکدشت جزء مناطق خشک به شمار آمده و بارندگی‌ها به‌طور عمده در دو فصل پاییز و زمستان صورت می‌گیرد. بومجورها بی‌درنگ پس از پایان سرمای زمستان و مساعد شدن شرایط کشت در کرت‌هایی به طول ۲ متر، فاصلهٔ ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصلهٔ بین بوته‌های ۵ سانتی‌متر و عمق کاشت حدود ۲-۱ سانتی‌متر کشت شدند. هر کرت شامل ۴ ردیف و با فاصلهٔ ۶۰ سانتی‌متر از کرت مجاور در نظر گرفته شد. پیش از کاشت عملیات خاک‌ورزی انجام شد. پس از آغاز زمان تنش در اوایل دورهٔ گلدهی بر پایهٔ آزمون اولیهٔ خاک هنگامی‌که درصد رطوبت در سایت تنش به ۳۰ درصد ظرفیت زراعی رسید آبیاری دوباره انجام شد (Beltrano & Ronco, 2008). همهٔ عملیات داشت مانند مبارزه با علف‌های هرز به‌طور یکنواخت برای کرت‌های آزمایشی اعمال شد. در آغاز مرحلهٔ گلدهی برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک شامل غلظت اسیدآمینهٔ پرولین، محتوای قندهای محلول، محتوای نسبی آب برگ، غلظت سبزینهa، سبزینهb و کاروتنوئید اندازه‌گیری شدند. نمونه‌گیری پس از اعمال تنش در آغاز مرحلهٔ گلدهی، پس از حذف اثر حاشیه از بافت تازهٔ برگ گیاه (۵ تا ۱۰ بوته از هر بومجور) انجام شد و بی‌درنگ در نیتروژن مایع منجمد شد و به فریزر ۸۰- منتقل شدند.

برای اندازه‌گیری میزان سبزینهٔ a، b و کاروتنوئید میزان ۰/۲ گرم از بافت تازهٔ برگی با ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به‌تدریج در هاون سائیده شد تا سبزینه وارد محلول استونی شود. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰۰ دور سانتریفیوژ و جذب نوری سبزینهٔ a، b و کاروتنوئید به ترتیب در طول‌موج‌های ۶۴۵،۶۶۴ و ۶۸۰ نانومتر با دستگاه طیف‌سنج نوری (اسپکتروفتومتر مدل Lambda 25 UV/VIC) خوانده شد و غلظت سبزینه‌های a و b و کاروتنوئید برحسب میلی‌گرم بر گرم برگ تازه به ترتیب با استفاده از رابطه‌های (۱)، (۲) و(۳) به دست

Archive of SID

www.SID.ir

آمد (Arnon, 1949).

(۱) سبزینهٔ a {12.7(D645)-2.69(D664)}/1000w

(۲) سبزینهٔ b {22.9(D645)-4.68(D664)}×v)/1000w

(۳) کاروتنوئید D۴۸۰+(0.114×D664-.۶۳۸×D645)

V و w به ترتیب نشان‌دهندهٔ حجم و وزن نمونهٔ برگی هستند.

برای سنجش پرولین از روش Bates *et al*., (1973) استفاده شد. در آغاز ۰/۵ گرم نمونهٔ برگ گیاهی در ۵ میلی‌لیتر محلول اسید سولفوسالیسیلیک ۳درصد همگن (هموژنیزه) شده و با کاغذ صافی صاف می‌شود.

جدول۱. صورت ۴۹ بوم‌جور مورد بررسی متعلق به استان‌های مختلف ایران

Table1. List of 49 studied cumin ecotypes/sub-populations from 9 different provinces in Iran

Sample	Populations	Sub-Populations /Ecotypes	Sample	Populations	Sub-Populations /Ecotypes	Sample	Populations	Sub-Populations /Ecotypes
1	Fars	Sarvestan	18	Kerman	Kooh-banan	35	Semnan	Shahmirzad
2	Fars	Sepidan	19	Kerman	Mahan	36	Semnan	Sorkheh
3	Fars	Sivand	20	Kerman	Ravar	37	Semnan	Ivanaki
4	Fars	Estahban	21	Kerman	Rafsanjan	38	Semnan	Kalateh
5	Yazd	Ardekan	22	Kerman	Sirjan	39	Northern-	Esfarayen
6	Yazd	Bafq	23	Kerman	Zarand	40	Khorasan	Shirvan
7	Yazd	Sadoq	24	Southern-	Qaen	41	Northern-	Bojnord
8	Yazd	Khatam		Khorasan		42	Khorasan	Baneh
9	Yazd	Sadroea	25	Southern-	Nahbandan	43	Northern-	Gonabad
10	Golestan	Maraveh-		Khorasan		44	Khorasan	Ferdows
11	Golestan	Tapeh	26	Southern-	Birjand	45	Northern-	Torbat-
12	Golestan	Aq-Qala		Khorasan		46	Khorasan	Heidareh
13	Golestan	Jat	27	Southern-	Sarayan	47	Khorasan-Razavi	Torbat-Jam
14	Kerman	Gonbad		Khorasan		48	Khorasan-Razavi	Kashmar
15	Kerman	Baft	28	Southern-	Darmian	49	Khorasan-Razavi	Taybad
16	Kerman	Bardsir		Khorasan			Khorasan-Razavi	Bardsekan
17	Kerman	Chatrood	29	Esfahan	Feridan		Khorasan-Razavi	
		Joopar	30	Esfahan	Semirom		Khorasan-Razavi	
			31	Esfahan	Ardestan		Khorasan-Razavi	
			32	Esfahan	Naien			
			33	Esfahan	Khansar			
			34	Esfahan	Natanz			

۲ میلی‌لیتر از محلول را در فالکن ضدعفونی شده ریخته و آن را با ۲ میلی‌لیتر معرف نین هیدرین (برای تهیهٔ این معرف ۱/۲۵ گرم نین هیدرین در ۳۰ میلی-لیتر اسید استیک و ۲۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۶ مولار حل می‌شود) مخلوط کرده و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک به آن اضافه می‌شود. نمونه‌ها را به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجهٔ سلسیوس در حمام بن ماری قرار داده و پس از آن به مدت ۱۵ دقیقه در یخ قرار داده می‌شوند. پس از این مرحله به هر لولهٔ آزمایش ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه کرده و نمونه‌ها را با همزن به مدت ۲۰- ۱۵ ثانیه به هم زده تا کامل یکنواخت شوند. با توجه به منحنی استاندارد پرولین، از بخش (فاز) رویی برای تعیین غلظت پرولین در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر استفاده شد. برای رسم منحنی استاندارد پرولین از غلظت‌های ۰، ۱۲/۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میکرو مولار (µM) پرولین استفاده کرده و تولوئن نیز به‌عنوان شاهد (سطح ۰) استفاده شد. با توجه به مقادیر جذب نوری و غلظت‌های محلول ذخیره، منحنی استاندارد رسم شد. میزان قندهای محلول با استفاده از روش فنل اسیدسولفوریک اندازه-گیری شد (Irrigoyen *et al*., 1992). در این روش به ۰/۱ گرم از بافت خشک گیاهی به‌طور جداگانه ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد اضافه و به مدت یک هفته در یخچال نگه‌داری شدند. هر روز نمونه‌ها به هم زده شدند تا قندهای محلول جدا شوند. پس از یک هفته از محلول رویی نمونه‌ها ۱ میلی‌لیتر برداشته و به حجم ۲ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس ۱ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ به نمونه‌ها اضافه و توسط تکان دادن (ورتکس) به‌خوبی به هم زده شد. لولهٔ آزمایش به مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب

Archive of SID

www.SID.ir

گرم قرار داده شد. پس از این مدت در آزمایشگاه سرد شد و سرانجام نیم ساعت به حال خود رها شد و پس از آن میزان جذب با دستگاه طیف‌سنج نوری در طول‌موج ۴۸۵ نانومتر خوانده و از محلول‌هایی با غلظت ۰، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ میلی‌گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر گلوکز برای تهیهٔ منحنی استاندارد استفاده شد.

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، به دلیل اینکه تهیهٔ برش (دیسک) برگی از برگ‌های زیرهٔ سبز امکان‌پذیر نبود، از برگ کامل استفاده شد. در آغاز گلدهی از هر بوم‌جور به‌صورت تصادفی یک برگ کامل از برگ‌های میانی به تفکیک در هر محیط (آبیاری عادی و تنش خشکی) گردآوری و پس از توزین با دقت ۰/۰۰۱ گرم، به پتری‌دیش‌های درداد حاوی آب دو بار تقطیر انتقال یافتند و به مدت ۲۴ ساعت برای آبگیری کامل در دمای ۴ درجهٔ سلسیوس در سردخانه و تاریکی نگه‌داری شدند. پس از خارج کردن برگ‌ها برای حذف رطوبت اضافی، آن‌ها را در دو لایهٔ کاغذ صافی خشک کرده و سپس وزن آماس آن‌ها اندازه‌گیری شد. برگ‌های بالا در آون ۷۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک‌شده و دوباره توزین شدند. و در نهایت با رابطهٔ زیر محتوای نسبی آب اندازه‌گیری شد (Mahmood *et al*., 2003).

$$RWC=(F_W-D_W)/(T_W-D_W)\times 100$$

F_W وزن تازهٔ برگ، D_W وزن خشک برگ، T_W وزن آماس برگ

برای تهیهٔ اسانس بذرهای بوم‌جورها پس از برداشت و خشک شدن کامل با استفاده از دستگاه مخلوط‌کن خرد و پودر شد. سپس با روش تقطیر با آب[1] و با استفاده از دستگاه کلونجر به مدت دو ساعت برای هر نمونه (۴۰ گرم بذر و ۴۰۰ سی‌سی آب)، اسانس استخراج و درصد اسانس بوم‌جورها بر پایهٔ وزن خشک دانه‌ها محاسبه شد (Sefid kon & Rahimi Bidgoli, 2002). در نهایت، داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیهٔ واریانس شدند و میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

1. Hydrodistilation

نتایج و بحث

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیهٔ واریانس مرکب داده‌ها نشان داد، تأثیر تنش کم‌آبی بر همهٔ ویژگی‌های مورد بررسی (کارتنوئید، سبزینهٔ a، سبزینهٔb، محتوای نسبی آب برگ، قندهای محلول، پرولین، اسانس و عملکرد دانه) معنی‌دار ($p\leq 0.01$) بود که نشان‌دهندهٔ وجود تنوع کافی بین بوم‌جورهای مورد بررسی است. اثر متقابل بوم‌جور در شرایط (عادی و تنش) نیز برای همهٔ ویژگی‌های مورد بررسی معنی‌دار بود (جدول۲). این نتایج دال بر این است که میزان تغییر بوم‌جورهای مختلف در شرایط متفاوت رطوبتی برای ویژگی‌های بررسی‌شده یکسان نبوده و بوم‌جورها واکنش‌های متفاوتی در دو شرایط تنش و عادی داشتند. وجود اثر متقابل بوم‌جور در شرایط نشان می‌دهد، نمی‌توان بر پایهٔ میزان این ویژگی‌ها در شرایط آبیاری طبیعی، میزان آن‌ها را در شرایط تنش کم‌آبی برآورد کرد (Khezri Afravi *et al*., 2010). بنا بر نتایج به‌دست‌آمده از محاسبهٔ درصد تغییرات ویژگی‌ها، می‌توان اذعان کرد که ویژگی‌هایی که دچار کمترین درصد تغییرات پس از اعمال تنش شدند (یعنی تنش کم‌آبی تأثیر کمتری بر آن‌ها داشته است) به‌عنوان ویژگی‌های پایدار برای هر دو شرایط به شمار می‌آیند. با توجه به مطالب یادشده، ویژگی‌های میزان اسانس، محتوای نسبی آب برگ و میزان پرولین پایداری مناسبی داشتند (جدول۳). نتایج به‌دست‌آمده از محاسبهٔ ضریب تغییرات به‌دست‌آمده برای همهٔ ویژگی‌های مورد بررسی نشان داد، آزمایش به‌کاررفته دقت بالایی دارد. بیشترین و کمترین میزان ضریب تغییرات به ترتیب مربوط به ویژگی‌های اسانس (۱۷/۲۵) و محتوای نسبی آب برگ (۶۱/۲) است (جدول۲).

کارتنوئید

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج بررسی‌ها نشان داد، تنش کم‌آبی باعث کاهش ۵۲ درصدی محتوای کارتنوئید در بوم‌جورهای مورد بررسی شد به‌طوری‌که در شرایط آبیاری عادی ۵۴/۹۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بود و در شرایط تنش کم‌آبی به ۲۶/۰۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک رسید (جدول ۳). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود میزان کارتنوئید بوم‌جورهایی مانند سمیرم و قائن افت کمتری داشته و می‌تواند دلیلی بر پایداری بیشتر میزان کارتنوئید این بوم‌جورها باشد، در مقابل میزان کارتنوئید بوم‌جورهای رفسنجان، نایین، ایوانکی و گنبد در شرایط تنش افت بیشتری داشته است که نشان‌دهندهٔ تأثیر بیشتر تنش خشکی بر کاهش میزان کارتنوئید این بوم‌جورها است. همچنین بنا بر نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها، بوم‌جورهای ایوانکی و قائن بیشترین و بوم‌جورهای سمیرم و گنبد کمترین میزان کاروتنوئید را به ترتیب در شرایط آبیاری عادی و تنش کم‌آبی داشتند (شکل ۱).

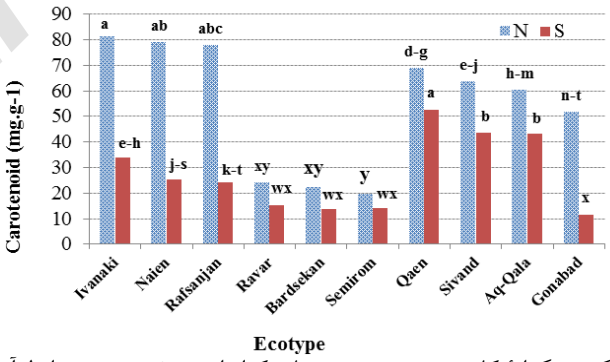
جدول ۲. تجزیهٔ واریانس مرکب (میانگین مربعات) ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شدهٔ بوم‌جورهای زیرهٔ سبز در شرایط عادی و تنش

Table 2. Combined variance analysis (mean square) of measured traits in cumin ecotypes in normal and drought stress conditions.

S.O.V	df	CAR	Cha	CHb	RWC	SHC	PRO	EO	Gy
place	1	40831.93**	2937.52**	1152.85**	2978.92**	477.32**	15.13**	13.58**	30814.66**
Ecotype in place (Error a)	2	18.72	10.01	4.83	7.17	1.026	0.01	0.11	7977.13
Ecotype (G)	48	377.35**	78.13**	36.51**	43.14**	59.99**	2.30**	0.70**	856.51**
Ecotype in place	48	255.39**	40.01**	16.51**	26.53**	3.33**	0.16**	0.11**	90.78**
Error b	292	10.04	3.60	3.66	4.17	0.49	0.001	0.092	57.71
CV (%)		7.826	12.32	15.58	9.77	9.77	5.51	17.25	12.23

CAR: Carotenoid; Cha: Chlorophyll a; CHb: Chlorophyll b; RWC: Relative water content; SHC: Soluble carbohydrates; PRO: Proline; EO: Essential oil content; Gy: Grain yield.

Setayeshmehr & Ganjali. (2013) تغییرات سوخت‌وسازی (متابولیکی) را عامل کاهش سطح رنگیزه‌های در شرایط تنش خشکی بیان کردند. این محققان در نتایج بررسی‌های خود گزارش کردند، کارایی استفاده از کربن و افزایش تولید اتانول و لاکتات سبب کاهش ساخت کاروتنوئیدها می‌شود. همچنین کاهش میزان کاروتنوئید در شرایط تنش نیز می‌تواند به علت تجزیهٔ بتاکاروتن و تشکیل زآزانتین در چرخهٔ زانتوفیل باشد (Kabiri *et al*., 2014). کاهش محتوای کاروتنوئید در شرایط تنش خشکی در دیگر بررسی‌ها نیز گزارش شده است (Akbari ., 2016 ; Azari Nasrabad *et al*., 2016).



شکل ۱. مقایسهٔ میانگین رنگدانهٔ کاروتنوئید در بوم‌جورهای کرانه‌ای زیرهٔ سبز در شرایط آبیاری عادی و تنش کم‌آبی

Figure1. Mean comparison of carotenoid pigments in boundary ecotypes of *Cuminum cyminum* in normal and drought stress conditions

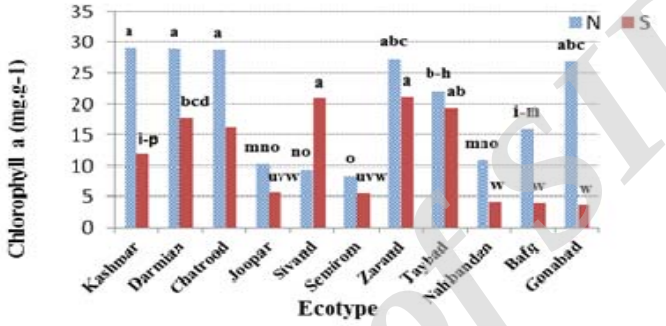
سبزینهٔ a

نتایج بررسی‌ها نشان داد، تنش کم‌آبی بر محتوای سبزینهٔ a مؤثر بوده و باعث کاهش ۴۰ درصدی

Archive of SID

www.SID.ir

محتوای سبزینهٔ a در بوم‌جورهای مورد بررسی شد (جدول۳). اما با توجه به شکل ۲ این افت سبزینه در بوم‌جورهای گنبد، کاشمر، بافق و چترود زیاد و در بوم‌جورهای سمیرم، تایباد و زرند کمتر بوده است. کاهش محتوای سبزینه در شرایط تنش کم‌آبی، احتمال دار به دلیل افزایش تخریب این رنگیزه‌ها و یا کاهش ساخت آن‌ها و همچنین، اختلال در فعالیت‌های آنزیمی مسئول ساخت رنگدانه‌های نورساختی باشد (Heidary *et al.*, 2014). بالاترین میزان سبزینهٔ a در بوم‌جور کاشمر برابر ۲۹/۱۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک در شرایط آبیاری عادی و کمترین میزان در بوم‌جور گنبد برابر ۳/۷۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک در حالت تنش کم‌آبی به دست آمد (شکل ۲). نتایج به‌دست‌آمده با تحقیقات انجام‌یافته توسط Azari Nasrabad *et al.*, (2016) در سورگوم دانه‌ای، Heidary *et al.*, (2014) در آنیسون، Gholi Nejad *et al.*, (2014) در گاوزبان همخوانی و با نتایج Khazaei & Sayari (2014) در فلفل دلمه‌ای مغایرت داشت.



شکل۲. مقایسهٔ میانگین رنگدانهٔ سبزینهٔ a در بوم‌جورهای کرانه‌ای زیرهٔ سبز در شرایط آبیاری عادی و تنش کم‌آبی.
Figure 2. Mean comparison of chlorophyll a pigment in boundary ecotypes of *Cuminum cyminum* in normal and drought stress conditions.

سبزینهٔb

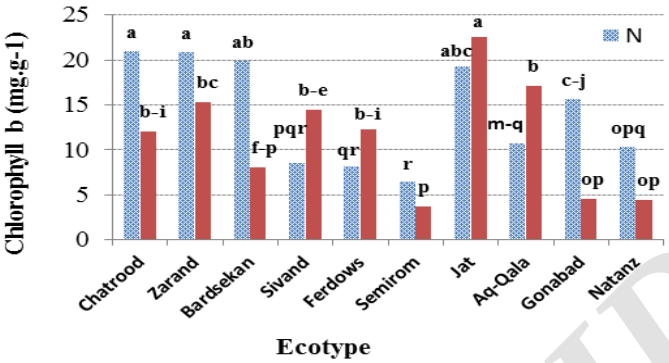
نتایج بررسی‌ها نشان داد، به‌طور میانگین در بوم‌جور-های بررسی‌شده میزان سبزینهٔ b در شرایط تنش کم-آبی ۹/۸۵۵ میلی‌گرم برگرم وزن خشک و در شرایط عادی ۱۴/۷۰۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک به دست آمد که تنش کم‌آبی باعث کاهش ۳۲ درصدی محتوای سبزینهٔ b شد (جدول۳). اما با توجه به شکل ۳ این افت سبزینهٔ b در بوم‌جورهای گنبد، برداسکن و چترود زیاد و در بوم‌جورهای سمیرم و زرند کمتر بوده است. همچنین در برخی بوم‌جورها مانند آق‌قلا، جت، فردوس و سیوند در شرایط تنش افزایش میزان سبزینه را مشاهده شد. افزایش میزان سبزینه در اثر تنش کم‌آبی به دلیل افزایش وزن مخصوص برگ است. تنش میزان سطح برگ را کاهش می‌دهد که ناشی از کاهش اندازهٔ یاخته است. بنابراین در شرایط بروز تنش به دلیل وجود یاخته‌های بیشتر در واحد وزن برگ، میزان سبزینه نیز افزایش می‌یابد (Sayari., Khazaei & 2014). همچنین بنا بر نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها، بوم‌جورهای چترود و جت بیشترین، و بوم‌جورهای سمیرم و نطنز کمترین میزان سبزینهٔ b را به ترتیب در شرایط آبیاری عادی و تنش کم‌آبی داشتند (شکل ۳). میزان رنگدانه‌ها در گیاهان زنده یکی از عامل‌های مهم حفظ ظرفیت نورساختی است (Jiang & Huang, 2001). نتیجهٔ فعالیت پژوهشی برخی از محققان نشان داده است، تنش کم‌آبی باعث کاهش پتانسیل آب برگ و افزایش میزان برخی از هورمون‌ها مانند اتیلن و اسیدآبسزیک و فعالیت کلروفیلاز به‌طور ناگهانی زیاد شده و موجب تخریب سبزینه می‌شود (Loggini *et al.*, 1999). از سویی، طی تنش خشکی تولید رادیکال‌های اکسیژن افزایش می‌یابد و این رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیهٔ رنگدانه می‌شود (Schutz & Fangmeir, 2001). نتایج به‌دست‌آمده با نتایج Abdul

Archive of SID

www.SID.ir

Wasea & Khalid (2011) روی گیاه جعفری[1] Sabet et al., (2010)Teimouri روی گیاه زعفران[2]، (2013)Setayeshmehr & Ganjali., روی شوید[3] همخوانی داشت.

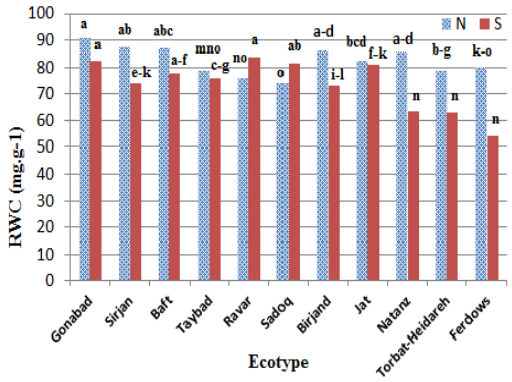
1. *Tagetes erecta* L.
2 . *Crocus sativus* L.
3. Anethum graveolens L.



شکل ۳. مقایسهٔ میانگین رنگدانهٔ سبزینهٔ b در بوم‌جورهای کرانه‌ای زیرهٔ سبز در شرایط آبیاری عادی و تنش کم‌آبی.
Figure 3. Mean comparison of chlorophyll b pigment in boundary ecotypes of *Cuminum cyminum* in normal and drought stress conditions.

محتوای نسبی آب برگ

نتایج تجزیهٔ واریانس مرکب نشان داد، تأثیر تنش کم‌آبی بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود و درمجموع باعث کاهش ۹ درصدی آن شد (جدول ۳). که این کاهش در مورد بوم‌جورهای فردوس، نطنز زیاد و در بوم‌جورهای راور، صدوق و تایباد نیز کاهش قابل‌توجهی در محتوای نسبی آب برگ رخ نداده است. نتایج مقایسهٔ میانگین نیز نشان داد، در شرایط آبیاری عادی بیشترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به بوم‌جورهای گنبد و سیرجان بوده و در شرایط تنش کم‌آبی بوم‌جورهای راور و گنبد بیشترین محتوای نسبی آب برگ را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین بوم‌جورهای فردوس و تربت‌حیدریه کمترین محتوای نسبی آب برگ را در هر دو شرایط (آبیاری عادی و تنش کم‌آبی) داشتند (شکل ۴). در کل مشاهده‌ها گویای این بود که بوم‌جور گنبد در هر دو محیط (آبیاری عادی و تنش کم‌آبی) بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ را دارد که نشان‌دهندهٔ توانایی حفظ مقادیر بیشتر آب در شرایط تنش است. ازآنجاکه محتوای آب برگی، یک شاخص مناسب برای تنش آبی گیاه است (Rezaei Chyanh *et al.*, 2012)، از نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق می‌توان دریافت که تنش آبی اعمال‌شده بر سوخت‌وساز گیاه زیرهٔ سبز مؤثر بوده و حرکت آب در طی شیب کاهش پتانسیل آب به درون گیاه هدایت یافته است. Rezaei Chyanh *et al.*, (2012) در نتایج بررسی‌های خودروی گیاه رازیانه دریافتند که میزان تنش خشکی تأثیر مشخصی روی موقعیت آبی گیاه داشته و با افزایش سطح تنش خشکی از ۶۰ میلی‌متر به ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، به‌طور میانگین ۲۷ درصدی از میزان محتوای نسبی آب برگ‌ها کاسته می‌شود. محققان دیگر در بررسی‌های خود نیز نتیجهٔ به‌دست‌آمده از این تحقیق را تأیید می‌کنند (Damayanthi *et al.*, 2010; Heidary *et al.*, 2014; Sabet Timori *et al.*, 2010; Talebi *et al.*, 2013).



Archive of SID

www.SID.ir

شکل ۴. مقایسهٔ میانگین محتوای نسبی آب برگ در بوم‌جورهای کرانه‌ای زیرهٔ سبز در شرایط آبیاری عادی و تنش کم‌آبی.

Figure 4. Mean comparison of relative water content in boundary ecotypes of *Cuminum cyminum* in normal and drought stress conditions.

میزان پرولین

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیهٔ واریانس مرکب نشان داد، تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر میزان تجمع تنظیم‌کنندهٔ اسمزی پرولین در گیاه زیرهٔ سبز داشت و باعث افزایش ۳۰ درصدی میزان پرولین شد (جدول۳). بوم‌جورهای گنبد و کلاته افزایش محسوس‌تری نسبت به دیگر بوم‌جورها در افزایش میزان پرولین در شرایط تنش خشکی داشتند. همچنین نتایج به‌دست‌آمده از بررسی مقایسهٔ میانگین برای صفت پرولین نشان داد، در شرایط آبیاری عادی بوم‌جورهای اردکان و بجنورد و در شرایط تنش کم‌آبی بوم‌جورهای اردکان و اردستان بیشترین میزان پرولین را به خود اختصاص دادند و بوم‌جورهای کاشمر و قائن کمترین میزان پرولین را در هر دو شرایط (آبیاری عادی و تنش کم‌آبی) را داشتند. در کل مشاهده‌ها نشان داد، بوم‌جور اردکان در هر دو محیط (آبیاری عادی و تنش کم‌آبی) بالاترین میزان پرولین را داشت. پرولین اسیدآمینه‌ای است که افزایش غلظت آن فراوان‌ترین و عمومی‌ترین پاسخی است که به‌محض تنش مشاهده می‌شود (Suriyan & Chalermpol, 2009). همچنین مشخص شده است که تجمع پرولین در سیتوپلاسم مانند یک اسمولیت در حفاظت ساختمان ماکرومولکول‌ها، حفظ تورم و کاهش آسیب به غشاء عمل کرده و به‌عنوان منبع انرژی، کربن و نیتروژن در گیاهان به شمار می‌رود (Sanchez *et al*., 1998). همچنین، پرولین محلول می‌تواند حلالیت پروتئین‌های مختلف را تحت تأثیر قرار داده و از تغییر ماهیت آن‌ها جلوگیری کند. آنزیم‌ها نیز به دلیل ساختمان پروتئینی خود تحت تأثیر این سازوکار پرولین قرار گرفته و محافظت می‌شوند (Kuznetsov & Shevykova., 1999). بدین ترتیب، با سازوکار تنظیم اسمزی تحمل گیاهان به تنش کم‌آبی افزایش یافته و درنتیجه به حفظ و پایداری یاخته‌ها کمک می‌کند. Rezapor *et al*., (2011) با بررسی تأثیر تنش خشکی روی تنظیم‌کننده‌های اسمزی در گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) دریافتند که با افزایش سطح تنش مقادیر پرولین و کربوهیدرات افزایش می‌یابد.

میزان قندهای محلول

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد، بین بوم‌جورها از لحاظ میزان قندهای محلول تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲). به‌طور میانگین در بوم‌جورهای بررسی‌شده میزان قندهای محلول در شرایط تنش کم‌آبی ۸/۷۳۱ میلی‌گرم برگرم وزن خشک و در شرایط عادی ۵/۶۱۰ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک به دست آمد و تنش کم‌آبی باعث افزایش ۵۵ درصدی میزان قندهای محلول شد (جدول۳). اما با توجه به شکل ۶ این افزایش قندهای محلول در بوم‌جورهای بردسیر، شهمیرزاد، سیوند و سرایان زیاد بوده است. نتایج مقایسهٔ میانگین نشان داد، بوم‌جورهای سیوند و بردسیر بیشترین میزان قندهای محلول در هر دو شرایط (آبیاری عادی و تنش کم‌آبی) را به خود اختصاص داده‌اند که نشان می‌دهد این دو بوم‌جور بیشتر از سازوکاری که توسط قندهای محلول برای افزایش تحمل به خشکی کنترل می‌شود، استفاده می‌کنند. همچنین بوم‌جور تایباد کمترین میزان قندهای محلول را در هر دو شرایط (آبیاری عادی و تنش کم‌آبی) داشت (شکل ۶). تجمع قندهای محلول درون یاخته‌ها در تنظیم اسمزی نقش مهمی را ایفاء کرده و کمک می‌کند تا پتانسیل آب یاخته کاهش‌یافته و آب بیشتری برای حفظ آماس در شرایط تنش کم‌آبی درون یاخته باقی بماند (Kafi & Damghani, 2000). این سازوکار موجب پایداری غشاهای زیستی، پروتئین‌ها، افزایش نورساخت و مقاومت به تنش خشکی می‌شود (Sato *et al*., 2004). این نتیجه با نتایج تحقیقات انجام‌گرفته در رازیانه[1] (Rezaei Chyanh *et al*., 2012) و سورگوم دانه‌ای[2] (Azari Nasrabad *et al*., 2016) همخوانی داشت.

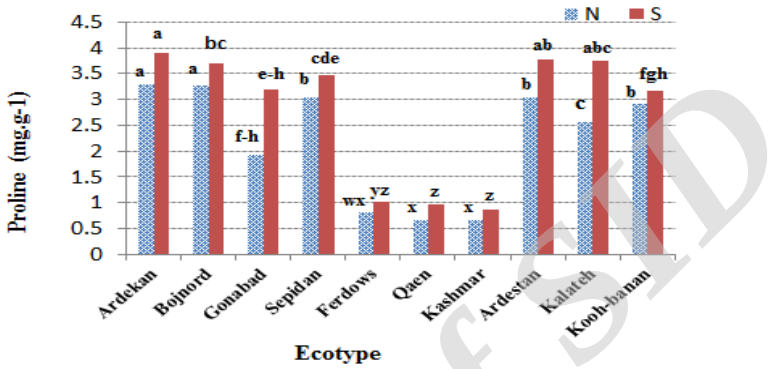
1. *Foeniculum vulgare* L.
2. *sorghum Vulgare* L.

Archive of SID

www.SID.ir

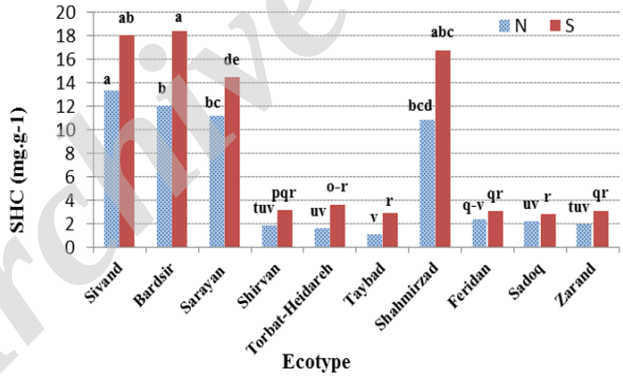
درصد اسانس

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیهٔ واریانس مرکب نشان داد، تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر درصد اسانس در گیاه زیرهٔ سبز داشت و باعث افزایش ۵۶ درصدی میزان اسانس شد (جدول۳). همچنین نتایج به‌دست‌آمده از بررسی مقایسهٔ میانگین برای صفت درصد اسانس نشان داد، در شرایط آبیاری عادی بوم‌جورهای ایوانکی و بافت بیشترین درصد اسانس و بوم‌جور سیوند کمترین میزان درصد اسانس را به خود اختصاص دادند. در شرایط تنش کم‌آبی بوم‌جورهای نهبندان و قائن بیشترین درصد اسانس و بوم‌جورهای صدوق و چترود کمترین درصد اسانس را داشتند (شکل۷).



شکل ۵. مقایسهٔ میانگین پرولین در بوم‌جورهای کرانه‌ای زیرهٔ سبز در شرایط آبیاری عادی و تنش کم‌آبی.

Figure 5. Mean comparison of proline content in boundary ecotypes of *Cuminum cyminum* in normal and drought stress conditions.



شکل ۶. مقایسهٔ میانگین قندهای محلول در بوم‌جورهای کرانه‌ای زیرهٔ سبز در شرایط آبیاری عادی و تنش کم‌آبی.

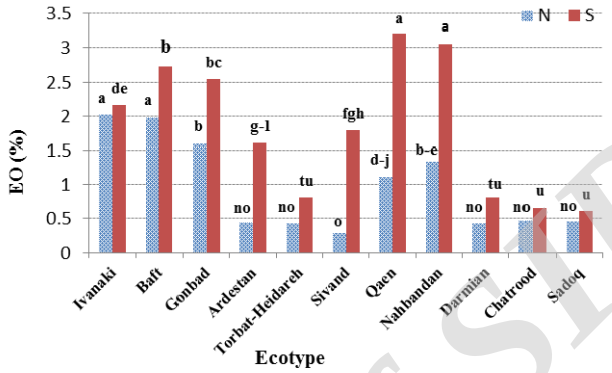
Figure 6. Mean comparison of soluble sugar content in boundary ecotypes of *Cuminum cyminum* in normal and drought stress conditions.

تنش خشکی درصد روغن‌های اسانسی بیشتر گیاهان دارویی را افزایش می‌دهد، چون در موارد تنش متابولیت‌های بیشتری تولیدشده و این مواد باعث جلوگیری از عمل اکسایش (اکسیداسیون) در یاخته می‌شوند (Farahani *et al.*, 2008). متابولیت‌های ثانویهٔ گیاهان دارویی نتیجهٔ بارز تنش‌ها هستند. بنابراین محصولات دارویی برخلاف همهٔ محصولات کشاورزی که در اوضاع تنشی از نظر تولید آسیب می‌بینند در این شرایط، تولید شیمیایی بیشتر و در نتیجه بازدهٔ اقتصادی برتری پیدا می‌کنند. بنابراین در پرورش این گیاهان همان‌قدر که وجود آب یکی از امکانات زیست‌محیطی است کمبود آب هم یک واقعیت است که توان افزایش مواد مؤثره را داشته باشد. با این تلقی محدودیت آب نه تنها یک عامل

Archive of SID

www.SID.ir

نامساعد، بلکه راهکاری بدون هزینه برای نوعی تولید است (Andalibi *et al*, 2010). هنگامی‌که آب و در نتیجه عنصرهای غذایی در دسترس گیاه است گیاه کربن را بهتر برای رشد اختصاص می‌دهد، ولی با کاهش آب آبیاری میزان دسترسی به عنصرهای غذایی کمتر شده و رشد گیاه بیش از نورساخت محدود می‌شود و در نتیجه بخش بیشتری از مواد نورساختی به تولید متابولیت‌های ثانویه و اسانس‌ها اختصاص می‌یابد (Pouryousef, 2013). افزایش درصد پایهٔ گیاهان دارویی همیشه‌بهار (Jafarzadeh *et al*., 2014) و گشنیز (Einizadeh *et al*., 2016) در شرایط تنش خشکی تأییدکننده مطالب بالا است.

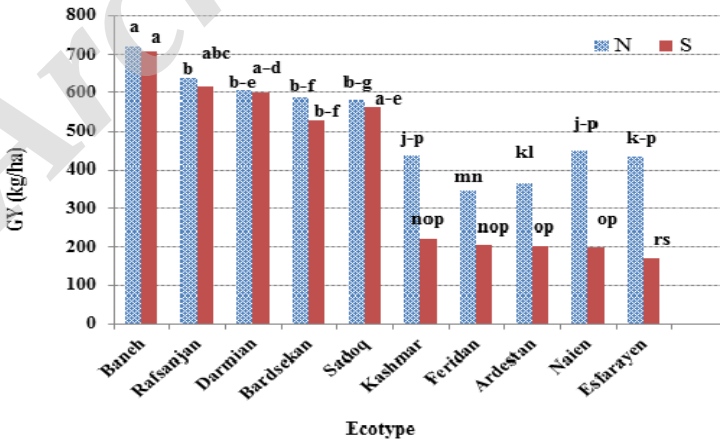


شکل ۷. مقایسهٔ میانگین اسانس در بوم‌جورهای کرانه‌ای زیرهٔ سبز در شرایط آبیاری عادی و تنش کم‌آبی.

Figure 7. Mean comparison of essential oil content in boundary ecotypes of *Cuminum cyminum* in normal and drought stress conditions.

عملکرد دانه

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیهٔ واریانس مرکب نشان داد، تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد در گیاه زیرهٔ سبز داشت و باعث کاهش ۱۹ درصدی عملکرد دانه شد. به‌طوری‌که در شرایط آبیاری عادی ۴۴۴/۶۰ کیلوگرم در هکتار بود و در حالت تنش کم‌آبی به ۳۵۶/۵۶ کیلوگرم در هکتار رسید (جدول ۳). کاهش عملکرد دانه در بوم‌جورهای اسفراین و نایین زیاد بوده است که گویای تأثیر زیاد تنش کم‌آبی بر عملکرد دانهٔ این بوم‌جورها است (شکل ۸).



شکل ۸. مقایسهٔ میانگین عملکرد دانه در بوم‌جورهای کرانه‌ای زیرهٔ سبز در شرایط آبیاری عادی و تنش کم‌آبی.

Figure 8. Mean comparison of grain yield in boundary ecotypes of *Cuminum cyminum* in normal and drought stress conditions.

Ghafari *et al*. (2014) اختلال در دانه‌بندی به دلیل افزایش ناباروری دانه‌های گرده و آسیب‌پذیری به

Archive of SID

www.SID.ir

اندام نورساخت‌کننده در نتیجهٔ ریزش زودهنگام برگ‌ها را از دلایل اصلی کاهش عملکرد دانسته‌اند. Pouryousef (2013)نیز در نتایج آزمایش‌های خود روی رازیانه گزارش کرد، بروز تنش کم‌آبی در فرآیند مراحل مختلف نموی باعث کاهش طول دورهٔ نورساختی، کاهش انتقال مواد به‌دست‌آمده از نورساخت جاری به دانه، کاهش سهم انتقال دوبارهٔ مواد ذخیره‌شده در ساقه به دانه و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود. نتایج مقایسهٔ میانگین نشان داد، در هر دو شرایط آبیاری عادی و تنش کم‌آبی بیشترین عملکرد دانه مربوط به بوم‌جورهای بانه و رفسنجان بوده که می‌توان نتیجه گرفت که تنش کم‌آبی کمترین میزان تأثیر بر کاهش عملکرد این بوم‌جورها را داشته است. همچنین بوم‌جورهای فریدن و اسفراین کمترین عملکرد دانه را به ترتیب در شرایط آبیاری عادی و تنش کم‌آبی داشتند. نتایج به‌دست‌آمده با تحقیقات یافته توسط Khazaei & Sayari., (2014) روی فلفل دلمه‌ای Gholi Nejad *et al*., (2014) روی گاوزبان Azari Nasrabad *et al*. (2016) روی سورگوم دانه‌ای Jian Yong *et al*. (2016) روی گندم همخوانی داشت.

جدول ۳. میانگین و درصد کاهش ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده در شرایط تنش کم‌آبی نسبت به آبیاری عادی

Table3. Average and reduction percentage of measured traits under drought stress compared to normal conditions.

Traits	Environment	Average	Trait changes in normal conditions relative to water deficit
CAR ($mg.g^{-1}$)	No stress Drought	54.926 26.059	-52.55**
Chlorophyll a ($mg.g^{-1}$)	No stress Drought	19.264 11.522	-40.191**
Chlorophyll b($mg.g^{-1}$)	No stress Drought	14.706 9.855	-32.983**
(%) RWC	No stress Drought	81.993 74.196	-9.509**
($mg.g^{-1}$) SHC	No stress Drought	5.610 8.731	+55.631**
($mg.g^{-1}$) Proline	No stress Drought	1.796 2.352	+30.927**
(%) EO	No stress Drought	0.941 1.469	+56.053**
GY (kg/ha)	No stress Drought	444.60 356.56	-19.802**

تجزیهٔ عاملی ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری

به‌منظور تعیین عامل‌های توجیه‌کنندهٔ ویژگی‌های مورد بررسی، تجزیه به عامل‌ها با استفاده از روش مؤلفه‌های اصلی و چرخش وریماکس انجام شد. همان‌طور که در جدول (۴) دیده می‌شود، بر مبنای مقادیر ویژهٔ بزرگ‌تر تجزیه به عامل‌ها چهار عامل را شناسایی کرد، این عامل‌ها درمجموع ۸۱ درصد از کل واریانس متغیرها را توجیه می‌کنند. اختصاص ویژگی‌ها به عامل‌های مختلف بر پایهٔ ضریب‌های عاملی بزرگ‌تر از (۰/۵) صرف‌نظر از علامت مربوطه به‌عنوان ضریب‌های معنی‌دار در نظر گرفته شد (Moghaddam *et al*., 2011).

عامل اول ۳۰/۱۷ درصد از واریانس بین ویژگی‌ها را به خود اختصاص داده و نقش مهمی را در توجیه متغیرهای سبزینهٔ a و سبزینهٔ b ایفا کرد. لذا، این عامل تحت عنوان عامل سبزینه نامیده شد (جدول۳). عامل دوم در حدود ۲۳ درصد از واریانس را توجیه کرده و این عامل بیشتر از ویژگی‌های عملکرد دانه و درصد اسانس متأثر بود. نام این عامل اسانس و عملکرد نامیده شد. بنابراین انتخاب بوم‌جورها بر پایهٔ این عامل می‌تواند منجر به افزایش عملکرد دانه و اسانس شود. عامل سوم ۱۷/۳۵ درصد از تغییرات را به خود اختصاص داده و نقش مهمی در توجیه تغییرات محتوای نسبی آب برگ و پرولین ایفا کرد. این عامل به‌عنوان عامل تنظیم اسمزی نام‌گذاری شد. در عامل چهارم که ۱۱ درصد از تغییرات را توجیه می‌کند

Archive of SID

www.SID.ir

ضریب‌های عاملی مربوط به ویژگی‌های کاروتنوئید و قندهای محلول بالا بود. و با توجه به اینکه این ویژگی‌های جز رنگدانه‌ها و کربوهیدرات‌های گیاه هستند که ازاین‌رو عامل چهارم به‌عنوان عامل رنگدانه و کربوهیدات نام‌گذاری شد.

جدول۴. تجزیهٔ عاملی، نسبت واریانس توجیه شده، جمع کل واریانس توجیه شده و مقادیر ویژه در ۴۹ بوم‌جور زیرهٔ سبز

Table4. Factor analysis, proportional and cumulative variance, and Eigen values in 49 ecotypes of cumin.

Traits	Loadings			
	1	2	3	4
CAR	0.45	0.25	0.18	-0.68
CHa	0.81	-0.08	-0.13	0.24
CHb	0.74	0.34	0.35	-0.09
RWC	0.12	0.29	0.71	0.32
SHC	0.19	0.13	-0.09	0.74
PRO	0.37	0.19	0.84	-0.11
EO	0.20	0.71	0.33	0.21
Gy	0.41	0.87	-0.18	0.46
Proportional variance	30.17	23.08	17.35	11.07
Cumulative variance	30.17	53.25	70.60	81.67
Eigen values	3.61	2.90	2.27	1.43

CAR: Carotenoid; Cha: Chlorophyll a; CHb: Chlorophyll b; RWC: Relative water content; SHC: Soluble carbohydrates; PRO: Proline; EO: Essential oil content; Gy: Grain yield.

نتیجه‌گیری کلی

از نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق می‌توان دریافت که محدودیت آب موجب کاهش میزان سبزینه، کارتنوئید، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد دانه در گیاه دارویی زیرهٔ سبز می‌شود و این گیاه به‌عنوان یک پاسخ در برابر کم‌آبی برای حفظ وضعیت آبی خود میزان قندهای محلول و پرولین خود را افزایش می‌دهد تا با تنظیم اسمزی به شرایط تنش، سازش یافته و تا حدودی با کم‌آبی رویارویی کند. همچنین تنش کم‌آبی باعث افزایش درصد اسانس در بوم‌جور های مورد بررسی شد. با توجه به نتایج مقایسهٔ میانگین نیز به ترتیب بوم‌جورهای کاشمر، چترود، ایوانکی، گنبد، اردکان، سیوند، قائن، و بانه بیشترین میزان کاروتنوئید، سبزینهٔa، سبزینهٔb ، محتوای نسبی آب برگ، قندهای محلول، پرولین، درصد اسانس و عملکرد دانه را داشتند. همچنین با بررسی همهٔ ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده می‌توان نتیجه گرفت که گیاه دارویی زیرهٔ سبز یک گیاه نیمه مقاوم به کم‌آبی است و می‌توان این گیاه را در مناطقی که محدودیت آب دارند معرفی کرد و با اعمال مدیریت مناسب، عملکرد کافی به دست آورد.

سپاسگزاری

نگارندگان مقاله از مسئولان صندوق حمایت از پژوهشگران معاونت علمی ریاست جمهوری (۹۰۰۰۷۳۶۵) و معاونت پژوهشی دانشگاه تهران به دلیل حمایت مالی این پروژه قدردانی می‌کنند.

REFERENCES

1. Abdul Wasea, A. A. & Khalid., M.E. (2011). Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plant by using arbuscular mycorrhizal fungi. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *18*, 93-98.
2. Akbari, SH., Kafi, M. & Rezvan Bidokhti, S.H. (2016). Effects of drought and plant density on some biochemical and physiological characteristics of two ecotypes of garlic (*Allium sativum L*). *Iranian agricultural research*, 14(4). (In Farsi).
3. Andalibi, B., Zehtab Salmasi, S., Ghassemi Gholezani, K. & Saba, J. (2010). Changes in essential oil yield and composition at different parts of dill (*Anethum graveolens* L.) under limited irrigation conditions. *Journal of Agricultural Science (University Of Tabriz)*, 21, 11-22. (In Farsi).
4. Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24, 1-15.
5. Azari Nasrabad, AS., Mousavi Nick, SM., Golavi, M., Beheshti, AS. & Sirus Mehr, AS. (2016). Effect of drought stress in different growth stages on yield and its components and biochemical

Archive of SID

www.SID.ir

characteristics of grain sorghum genotypes. *Iranian agricultural research*, 15(3). (In Farsi)
6. Bates, L.S., Waldren, R.P. & Teare, L.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
7. Beltrano, J. & Ronco, M.G. (2008). Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum L.*) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: Effect on growth and cell membrane stability. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 20(1), 29-37.
8. Blum, A. (1996). Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regulation*, 20, 135-148.
9. Damayanthi, M.M.N., Mohtti, A.J. & Nissanka, S.P. (2010). Comparison of tolerant ability of mature field grown tea (*Camellia sinensis L.*) cultivars exposed to a drought stress in Passara Area. *Tropical Agriculture Research*, 22, 66-75.
10. Einizade, P., Dehghani, H. & Khodadadi, M. (2016). Investigation of drought stress tolerance and adaptation in iranian endemic coriander *(Coriandrum sativum L.)* populations. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 47(2), 317-327. (In Farsi).
11. Farahani, H.A., Valadabadi, A. & Rahmani, N. (2008). Effects of nitrogen on oil yield and itscomponent of Calendula *(Calendula officinalis L.)* min drought stress conditions. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative medicines*, Abstracts of the World Congress on Medicinal and Aromatic Plants, 364p. (In Farsi).
12. Ghafari, M., Torchi, M., Valizadeh, M. & Shakiba, M.R. (2014). Grain Yield Stabilizing Physiological Characteristics of Sunflower under Limited Irrigation Condition. *Journal of agricultural science and sustainable production*, 24(4), 98-108. (In Farsi).
13. Gholi Nejad, R., Sirousmehr, AS. & Fakheri, B. (2014). Effects of drought and organic fertilizers on the activity of antioxidant enzymes, photosynthetic pigments, proline and performance of borage (*Borago officinalis L.*). *Journal of Horticultural Science*, 28(3), 338-346.
14. Heidary, N., PoorYousefi, M. & Tavakoli, A. (2014). Effects of drought stress on photosynthesis, its parameters and relative water content of anise (*Pimpinella anisum L.*). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 27(5), 829-839. (In Farsi).
15. Imam, Y. & Zavarehi, M. (2005). Drought tolerance in Higher plants (Genetically, Physiological and Molecular Biological Analysis). Academic Publishing Center of Tehran, Iran. 186 pp. (in Farsi).
16. Irrigoyen, J.H., Emerich, D.W. & Sanchez Diaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentration of proline and total soluble sugars in modulated alfalfa (*Medicago sativa*). *plant Physiological Pantarum*, 84, 55-60.
17. Jafarzadeh, L., Omidi, H. & Bostani, A.S. (2014). The study of drought stress and Bio fertilizer of nitrogen on some biochemical traits of Marigold medicinal plant (*Calendula officinalis L.*). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 27(2), 180-193. (In Farsi).
18. Jiang, Y. & Huang, N. (2001). Drought and heat sress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antiaxdant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science*, 41, 436-442.
19. Jian Yong, W., Neil, T., Ying Xia, L., Kadambot, M.H. & YouCai, Xi. (2016). Effects of drought stress on morphological, physiological and biochemical characteristics of wheat species differing in ploidy level. *Plant function and evolutionary biology*, 44(2), 219-234.
20. Kabiri, R., Farahbakhsh, H. & Nasibi F. (2014). Effect of drought stress on physiological and biochemical characteristics of *Nigella sativa L*. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 30(4), 600-609.
21. Kafi, M., Borzoee, A., Salehi Kamandi, A., Masoumi, A. & Nabati, A. (2009). *Physiology of Environmental Stresses in Plant*. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Iran. 502 pp (In Farsi).
22. Kafi, M. & Damghani, A. (2000). *Mechanism of Environmental Stress Resistance in Plants*. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Iran. 467 pp. (In Farsi).
23. Karimzadeh, Kh., Sefidkon, F., Majnoon Hosseini, N. & Peighambari, AS. (2014). The effect of different levels of soil moisture, zeolite and biofertilizers on physiological characteristics, yield and essential oil of dragonhead (*Dracocephalum moldavica L.*). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 30(1), 158-173.
24. Khazaei, Z. & Sayari, M. (2014). Effect of foliar application of 5- aminolevulinic acid on growth, some physiological factors and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum L.*) under drought stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 28(5). 952-961. (In Farsi).
25. Khezri Afravi, M., Hosseinzade, A., Mohammadi, V.A. & Ahmadi, A. (2010). Evaluation of drought resistance in native varieties of durum wheat under water stress and normal irrigation. *Journal of Science Crop Iran*, 4, 741-753.
26. Kuznetsov, V.I. & Shevykova, N.I. (1999). Proline under stress: Biological role, metabolism, and regulation. *Russian Journal of Plant Physiology*, 46, 274-287.

Archive of SID

www.SID.ir

27. Loggini, B., Scartazza, A., Brugnoli, E., & Navari Izzo, F. (1999). Antioxidative defense system pigment composition and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to Drought. *Plant Physiology*, 119, 1091-1100.
28. Mahmood, S., Iram, S. & Athar, H.R. (2003). Intra- specific various quantitative and qualitative attributes under differential salt region. *Journal of Research in Science Teaching*, 14, 177-186.
29. Moghaddam, M., Alirezaei, M., Salahvarzi, Y. & Goldani, M. (2014). The effect of drought stress on some morphological and physicochemical characteristics of three cultivars of basil (*Ocimum basilicum L.*). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 46(3), 509-521.
30. Moghaddam, R., Khodarahmi, M. & Ahmadi, GH.H. (2011). Study of genetic diversity and factor analysis for grain yield and other morphological traits under drought stress condition. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 7(1), 133-147. (In Farsi).
31. Omidbaigi, R. (2007). Production and processing of medicinal plants. *Journal of Agricultural Knowledge and sustainable production*, Astan Ghods Publication, Vol. 2, 438 p. (In Farsi).
32. PoorYousefi, M. (2013). Effects of terminal drought stress and harvesting time on seed yield and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare L.*). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 30(6), 889-897. (In Farsi).
33. Rezaei Chyanh, A., Zehtab, S., Ghasemi Golezani, K. & Delazar, A. (2012). Physiological reaction fennel *(Foeniculum vulgarL)* to water limitation. *Journal of Agricultural Ecology*, 4, 347-355. (In Farsi).
34. Rezapor, A.R., Heidari, M., Galavi, M. & Ramrodi, M. (2011). Effect of water stress and different amounts of sulfur fertilizer on grain yield, grain yield components and osmotic adjustment in *Nigella sativa* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27, 384-396.
35. Rizopoulou, S. & Diamantoglon, S. (1991). Water stress, induced diurnal variation in leaf water relation stomatal conductance, soluble sugar, lipids and essential oil content of *Origanum majorana L*. *Journal of Horticulture Science*, 66, 119-125.
36. Sato, F., Yoshioka, H., Fujiwara, T., Higashio, H., Uragami, A., and Tokuda, S. 2004. Physiological responses of cabbage plug seedlings to water stress during low-temperature storage in darkness. *Journal of Horticulture Science*, 101, 349-357.
37. Sabet Teimouri, M., Kafi, M., Avarseji, Z. & Orooji, K. (2010). Effect of drought stress, corm size and corm tunic on morphoecophysiological characteristics of saffron (*Crocus sativus L.*) in greenhouse conditions. *Journal of Agroecology*, 2, 323-334. (In Farsi).
38. Sanchez, F.J., Manzanares, M., Andres, E.F., Ternorio, J.L., Ayerbe, L. & De Andres, E.F. (1998). *Turgor maintenance*. Osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 Pea cultivars in response to water stress. *Field Crops Research*, 59, 225-235.
39. Schutz, M. & Fangmeir, E. (2001). Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum L.*) to elevated CO_2 and water limitation. *Environmental Pollution*, 114, 187-194.
40. Sefid kon, F. & Rahimi Bidgoli, A. (2002). Quantitative and qualitative variation assessment of Thymus kotschyanus essence in plant growth duration and using several instillation methods. *JMed Aromatics Plant Research*, 15, 1-22.
41. Setayeshmehr, Z. & Ganjali, AS. (2013). Effects of drought stress on growth and physiological characteristics of dill (*Anethum graveolens L.*). *Journal of Horticultural Science*, 27(1), 27-35. (In Farsi).
42. Smirnoff, N. (1993). The role active oxygen in the response of plants to water tolerance, *Plant Science*, 6, 431- 438.
43. Suriyan, C. & Chalermpol, K. (2009). Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane *(Saccharum officinarum L.)* plantlets in response to iso-osmotic salt and water deficit stress. *Agricultural Sciences in China*, 8, 51- 58.
44. Talebi, R., Ensafi, M.H., Baghbani, N., Karami, E. & Mohammadi, K.H. (2013). Physiological responses of chickpea (*Cicer arietinum L.*) genotypes to drought stress. *Environmenatal and Experimental Biology*, 11, 9-15.

Archive of SID

www.SID.ir