تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره سوم، پائیز ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3873.1930

مقاله پژوهشی

ارزیابی تنوع تحمل نمونه‌های ژنتیکی نخود بومی تیپ کابلی در شرایط خشکی انتهای فصل

معصومه پوراسماعیل[1*]، همایون کانونی[2]، فاطمه سیفی[3]، علاءالدین کردنائیج[4]، بهزاد سرخی[1]، علی سجاد بکایی[5]

۱. استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲. دانشیار پژوهش، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران
۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه شاهد، تهران، ایران
۴. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
۵. محقق، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
پتانسیل تولید
تنش خشکی
تنوع ژنتیکی
ژرم‌پلاسم نخود
شاخص‌های تحمل
کشت دیم

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۰۸/۱۷

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۰۹/۲۶

تاریخ انتشار:
پائیز ۱۴۰۱

۱۵(۳): ۵۶۵-۵۷۹

چکیده

یکی از اثرات تغییرات اقلیم کاهش بیشتر بارندگی در نواحی خشک جهان است. بهره‌گیری از تنوع طبیعی موجود در ژرم‌پلاسم گیاهی به‌منظور دستیابی به نمونه‌های ژنتیکی با درجه تحمل بیشتر، یکی از رویکردهای پیش‌رو در برابر اثرات منفی تغییرات اقلیم بر تولید و جز ضروری برای کشاورزی پایدار به شمار می‌رود. این پروژه با هدف دستیابی به نمونه‌های ژنتیکی با پتانسیل عملکرد بالا در مواجهه با تنش خشکی انتهای فصل بر روی ۷۰ نمونه ژنتیکی نخود تیپ کابلی بانک ژن گیاهی ملی ایران انجام پذیرفت. به این منظور نمونه‌های ژنتیکی در قالب طرح آگمنت در سال زراعی ۹۵- ۱۳۹۴ در کرج و کردستان به‌صورت بهاره کشت شدند. در کردستان، نمونه‌ها در دو شرایط کشت دیم و کشت با اعمال دو آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف بندی موردبررسی قرار گرفتند. در کرج نیز نمونه‌ها با اعمال دو تیمار آبیاری، آبیاری نرمال در تمام مراحل رشد گیاه و آبیاری تا زمان گلدهی و قطع آبیاری از زمان گلدهی به بعد، با یکدیگر مقایسه شدند. در طول فصل رشد، صفات زراعی یادداشت‌برداری شد. با برآورد شاخص‌های تحمل و حساسیت تنش و گروه‌بندی نمونه‌های ژنتیکی بر اساس صفات زراعی و شاخص‌های تحمل و حساسیت با بهره‌گیری از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای در سنندج نمونه‌های KC215172، KC215286، KC215369 و KC216010 در کرج نمونه‌های KC215286، KC215727، KC215442، KC215443 و KC216023 با بالاترین مقادیر GMP و STI و پایین‌ترین مقادیر TOL و SSI نمونه‌های با پتانسیل عملکرد بالا و متحمل نسبت به تنش خشکی شناخته شدند. با جمع‌بندی نتایج نمونه‌های KC215286، KC215442 و KC215443 نمونه‌های ژنتیکی امیدبخش در هر دو سایت بودند. نتایج این پژوهش توجه به نمونه‌های ژنتیکی بومی به‌عنوان میراث باارزش ملی برای پیشبرد اهداف به نژادی را مشخص می‌سازد.

مقدمه

امروزه به‌واسطه افزایش دمای جهانی و اثرات منفی تغییر اقلیم، عملکرد بخش کشاورزی رو به کاهش رفته و تخمین زده شده است که در صورت عدم مدیریت در شرایط تغییرات آب و هوایی، عملکرد این بخش تا سال ۲۰۲۵ تا ۳۰٪ کاهش می‌یابد (Singh, 2012). در چنین شرایطی امنیت غذایی جمعیت روزافزون جهان دچار مخاطرات فراوانی می‌شود. توسعه واریته‌های جدید گیاهی با نیاز آبی پایین، کارایی مصرف آب بهتر و تولید واریته‌های متحمل به خشکی و گرما ازجمله عواملی هستند که می‌توانند به افزایش تولید کمک کنند. روش‌های اصلاح سنتی نیازمند شناسایی تنوع ژنتیکی برای تحمل در میان واریته‌های گیاهی است (Naglaa et al., 2014). ازاین‌رو مطالعات فراوانی در زمینه تنوع ژنتیکی تحمل به خشکی در میان ژنوتیپ‌های مختلف انجام پذیرفته و یا در حال انجام است (Pouresmael et al., 2018;

* نگارنده پاسخگو: معصومه پوراسماعیل. پست الکترونیک: masoumehpouresmael@yahoo.com

Rahbarrian et al., 2012; Pouresmael et al., 2015a, b; Mansourifar et al., 2011).

نخود عمدتاً در غرب و شمال غرب کشور به‌صورت بهاره و در شرایط دیم کشت می‌شود و در اغلب مناطق، کشت از اسفندماه لغایت اواخر اردیبهشت و پس از بارندگی‌های بهاره انجام‌شده و ازاین‌رو این گیاه چرخه زیستی خود را با استفاده از رطوبت ذخیره‌شده در خاک تکمیل می‌کند. به دلیل بارندگی‌های نامنظم، بی‌موقع و ناکافی در مناطق کشت، معمولاً این گیاه در دوره پر شدن دانه با کم‌آبی مواجه شده و از خشکی انتهای فصل آسیب می‌بیند. عملکرد نخود کشور در اراضی آبی ۱۶۲۰ کیلوگرم در هکتار و در اراضی دیم ۵۲۰ کیلوگرم در هکتار است (Agricultural Statistics of Iran, 2018).

نخود در مرحله گلدهی به کمبود آب بسیار حساس است و از این مرحله تا غلاف رفتن، بوته‌ها باید از آب کافی برخوردار باشند. خسارات اقتصادی ناشی از خشکی در نخود در جهان حدود ۵۰-۴۰ درصد تعیین شده است (Millan et al., 2006) و همه کشورهای تولیدکننده نخود نظیر هند، پاکستان، ترکیه و ایران با مشکل تنش خشکی در مناطق دیم مواجه هستند (Maqbool et al., 2017).

تحمل خشکی یک صفت ساده نبوده بلکه یک ویژگی سازشی بسیار پیچیده است که اجزاء زیادی در آن دخیل هستند. این اجزاء در گیاهان مختلف و در پاسخ به انواع مختلف، شدت‌های مختلف و دوره‌های زمانی مختلف تنش به‌صورت متفاوتی عمل نموده و با یکدیگر برهم‌کنش دارند. ازاین‌رو فهم مکانیسم‌هایی که موجبات تحمل خشکی را فراهم می‌کنند یکی از مباحث مهم علوم زیستی به شمار می‌رود (Knight et al., 2006; Omae et al., 2007; Kumar et al., 2008). مروری بر پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه اثرات تنش خشکی بر روی صفات مختلف نشان می‌دهد که حتی برای یک صفت خاص، تنوع در پاسخ وجود دارد که این تنوع ناشی از تنوع زمینه ژنتیکی ژنوتیپ‌های موردبررسی، مرحله رشدی اعمال تنش، شدت تنش، نوع آزمایش و شرایط آب و هوایی و جغرافیایی منطقه آزمایش است (Rahbarian et al., 2011; Pouresmael et al., 2013). صفات فنولوژیکی، عملکرد و اجزاء آن، وزن تر و خشک گیاه در مراحل مختلف رشد، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب از معیارهای هستند که به‌وفور برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل مورداستفاده قرارگرفته‌اند (Pouresmael et al., 2009, 2012a, b, 2017a; Sabaghpour et al., 2006; Farshafar et al., 2013; Mafakheri et al., 2010).

مطالعه تنوع ژنتیکی تحمل خشکی در اصلاح گیاه نخود از اهمیت زیادی برخوردار است، تاکنون مطالعات زیادی در مورد صفات کیفی و کمی نخود انجام گرفته است. پوراسماعیل و همکاران (Pouresmael et al., 2009) به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل و درک روابط بین صفات مرتبط با خشکی، در ارزیابی نمونه‌های کلکسیون هسته نخود تیپ کابلی بانک ژن گیاهی ملی ایران در چهار شرایط آبی مختلف تنوع قابل‌ملاحظه‌ای را ازنظر صفات تعداد شاخه‌های فرعی، وزن بوته، تعداد دانه در بوته، شاخص برداشت، وزن صد دانه و عملکرد بذر تک بوته و شاخص‌های مقاومت و حساسیت به تنش در سطوح مختلف تیماری گزارش نمودند.

پوراسماعیل و همکاران (Pouresmael et al., 2012b) در بررسی گونه‌های وحشی نخود به اهمیت صفات اجزا عملکرد اشاره و عنوان داشتند تحمل و حساسیت برآیندی از واکنش های مختلف است که نهایتاً به عملکرد ختم می‌شود؛ بنابراین عملکرد و اجزاء آن و به‌ویژه تعداد غلاف در بوته ازجمله صفاتی هستند که به‌راحتی می‌توانند ژنوتیپ‌های حساس و متحمل را از یکدیگر جدا نمایند.

فرشادفر و جوادی‌نیا (Farshadfar and Javadinia, 2011) در بررسی واکنش بیست ژنوتیپ نخود به تنش خشکی، بیشترین آسیب ناشی از تنش خشکی (۶۲/۴۶ درصد کاهش) را مربوط به میزان عملکرد دانه گزارش نمودند. این محققین صفات روز تا رسیدگی، میزان آب نسبی، آب نسبی ازدست‌رفته و درصد پوکی غلاف را مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد در شرایط بدون تنش دانستند که ۵۱ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. وندکریمی و همکاران (Vandkarimi et al., 2015) در ارزیابی تحمل خشکی بیست نمونه ژنتیکی نخود تیپ دسی، تنوع قابل‌ملاحظه‌ای را ازنظر صفات کمی و شاخص‌های تحمل تنش (STI)[1]، حساسیت به تنش (SSI)[2]، میانگین بهره‌وری (MP)[3]،

[1] Stress Tolerance Index
2 Stress Susceptibility Index
3 Mean Productivity

میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)[۴]، شاخص تحمل (TOL)[۵] و میانگین هارمونیک (HARM) گزارش نمودند.

تخمین میزان تنوع ژنتیکی به‌عنوان یکی از گام‌های پایه‌ای و اساسی در مدیریت مؤثر و حفظ منابع ژرم‌پلاسم و همچنین اجرای برنامه‌های به‌نژادی است و ارزیابی عملکرد نمونه‌های بومی که منابع مفیدی از تنوع ژن‌های سازگاری در مقابل تغییرات محیطی هستند در شرایط تنش خشکی به‌عنوان یک نقطه شروع در غربالگری و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به شمار می‌رود. ازاین‌رو این پژوهش با فرض وجود تنوع مطلوب در میان نمونه‌های ژنتیکی نخود بانک ژن گیاهی ملی ایران ازنظر پتانسیل تولید در شرایط دیم و تحمل خشکی آخر فصل و با هدف شناسایی نمونه‌های با متحمل با پتانسیل تولید بالا روی ۷۰ ژنوتیپ نخود تیپ کابلی که در مطالعات قبلی به‌عنوان نمونه‌های برتر شناسایی شده بودند (Pouresmael et al., 2012a; Pouresmael et al., 2017b) به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی مورداستفاده در این پژوهش ۷۰ نمونه ژنتیکی نخـود تیپ کابلی بانک ژن گیاهی ملی ایران به همراه ارقام نخود معمول در کشور شامل ارقام آرمان، آزاد، هاشم، ثمین و لاین ILC6266 به‌عنوان شاهد بود. لیست نمونه‌ها و کد مربوط به هر نمونه در بانک ژن در جدول ۱ آورده شده است. این نمونه‌های ژنتیکی در مطالعات قبلی انجام گرفته در بانک ژن گیاهی ملی ایران بر اساس پتانسیل تولید در کشت بهاره با اعمال دو آبیاری به‌عنوان نمونه‌های برتر شناسایی شده بودند (Pouresmael et al.,2017 b و Pouresmael et al., 2012a).

میانگین دما و میزان بارش و در ماه‌های مختلف فصل کشت در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در کرج و ایستگاه گریزه سنندج در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس داده‌های این

جدول ۱. شماره ژنوتیپ‌های نخود موردبررسی و کد آن‌ها در بانک ژن گیاهی ملی ایران

Table 1. The number of studied Kabuli chickpea genotypes and their code in NPGBI

*Plot No.	Genotype code	Plot No.	Genotype code	Plot No.	Genotype code	Plot No.	Genotype code
1	KC.215123	25	KC.215166	54	KC.215928	78	KC215911
2	KC.215168	26	KC.215202	55	KC.215960	79	KC215107
3	KC.215172	27	KC.215581	56	KC.216022	80	KC215840
4	KC.215181	28	KC.216090	57	KC.215976	81	KC215383
5	KC.215187	29	KC.215668	58	KC.215996	82	KC215440
6	KC.215221	30	KC.215683	59	KC.216010	83	KC215442
7	KC.215239	31	KC.215684	60	KC.216015	84	KC215443
8	KC.215247	37	KC.215287	61	KC.215238	85	KC216223
9	KC.215263	38	KC.215290	67	KC.215291	91	KC.216086
10	KC.215720	44	KC.215704	68	KC.215567	92	KC.216051
11	KC.215274	45	KC.215718	69	KC.215703	93	KC215191
12	KC.215281	46	KC.216133	70	KC.215710	94	KC.216023
13	KC.215286	47	KC.216100	71	KC.215727	95	ILC6266
14	KC.215315	48	KC.216098	72	KC.215729	101	Arman
20	KC.215353	49	KC.216075	73	KC.215730	102	Azad
21	KC.215362	50	KC.216073	74	KC.215789	103	Samin
22	KC.215369	51	KC.215851	75	KC.215299	104	Hashem
23	KC.215833	52	KC.215895	76	KC.215688	105	KC.215283
24	KC.216169	53	KC.215905	77	KC215712		

*شماره کرت‌های تخصیص‌یافته به تکرار شاهدها در بلوک‌های مختلف از جدول حذف شده است.

*The plot numbers of repeated controls in different blocks has been excluded from the table.

[4] Geometric Mean of Productivity

[5] Stress Tolerance

جدول ۲. میانگین دما و میزان بارش و در ماه‌های مختلف فصل کشت در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در کرج و سنندج

Table 2. Climatical parameters during different months of chickpea growth period in two research stations of Karaj and Sanandaj in 2016-17

ماه‌های دوره رشد Growth period months	کرج (Karaj)				سنندج (Sanandaj)			
	میانگین دما Mean Tem.	کمینه دما Min Tem.	بیشینه دما Max Tem.	میزان بارش Precipitation	میانگین دما Mean Tem.	کمینه دما Min Tem.	بیشینه دما Max Tem.	میزان بارش Precipitation
	----------°C----------			mm	----------°C----------			mm
اسفند Feb- March	11.3	0.1	22.2	24.6	9.1	-2.6	20.2	59.9
فروردین March- April	14.8	0.5	31.6	51.6	12.6	-2	28.8	43.4
اردیبهشت April- May	21.3	8.2	35.1	12.6	17.9	6	33	22.9
خرداد May- June	25.6	10.3	39.1	0	24.8	9.2	38.4	0.2
تیر June- July	27.6	14.9	40.7	0	28.8	13.6	41.8	0

جدول در هر دو مکان کشت میانگین بارندگی در ماه‌های خرداد و تیر که مصادف با زمان گلدهی، تشکیل و پر شدن غلاف است صفر و یا نزدیک صفر است و لذا بارندگی مؤثر وجود نداشته و شرایط برای ارزیابی تنش خشکی آخر فصل مساعد بوده است.

کاشت نمونه‌ها در هر دو منطقه بعد از مساعد شدن هوا در نیمه دوم اسفندماه سال زراعی ۹۵- ۱۳۹۴ صورت گرفت. نمونه‌ها در قالب طرح آگمنت در پنج بلوک و دو شرایط بدون تنش (تیمار آبیاری نرمال) و تنش خشکی (تیمار قطع آبیاری از زمان آغاز گلدهی تا پایان دوره رشد) در کرج و کشت دیم (تیمار خشکی آخر فصل) و اعمال دو آبیاری تکمیلی در زمان گلدهی و تشکیل غلاف (تیمار آبیاری نرمال) در ایستگاه گریزه سنندج موردمطالعه قرار گرفتند. در هر بلوک ۱۹ کرت آزمایشی وجود داشت که متشکل از پنج ژنوتیپ شاهد و چهارده نمونه ژنتیکی بانک ژن بودند. کاشت بذور به‌صورت دستی صورت پذیرفت و هر ژنوتیپ در خطی به طول ۳ متر و به فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و عمق کاشت ۷ سانتی‌متر و با فاصله ۷ سانتی‌متر از همدیگر کشت شد. در هر بلوک شاهدها به‌طور تصادفی کشت شدند.

اندازه‌گیری و یادداشت‌برداری صفات زراعی بر اساس دستورالعمل موسسه بین‌المللی ذخایر توارثی روی پنج بوته انتخاب‌شده به‌صورت تصادفی از هر کرت انجام شد (ICARDA, IPGRI and ICRISAT,1993). با استفاده از عملکرد در واحد سطح در دو شرایط بدون تنش (Yp) و تنش (Ys)، شاخص‌های STI، HARM، GMP و MP محاسبه شد (Rosille and Hamblin, 1981; Fisher and Maurer, 1978; Fernandez, 1992) و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات مورد ارزیابی و شاخص‌های کمی مقاومت و حساسیت به تنش انجام پذیرفت. برای گروه‌بندی نمونه‌ها از روش تجزیه خوشه‌ای مراتبی[6] و غیر مراتبی[7] استفاده شد. تجزیه خوشه‌ای مراتبی به روش Ward با استفاده از توان دوم فاصله اقلیدوسی انجام و از تجزیه تابع تشخیص به‌منظور تعیین بهترین نقطه برش دندروگرام استفاده شد. در روش تجزیه خوشه‌ای غیر مراتبی K-means، هر فرد به خوشه‌ای که به میانگین آن نزدیک‌تر است تعلق می‌گیرد (Farshadfar et al., 2001). علاوه بر این از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی و ترسیم نمودار چند متغیره بای پلات گابریل نیز برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی استفاده شد. کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SPSS16، Stat Graphics Plus 2.1 انجام پذیرفت.

[6] Hierarchial

[7] Non Hierarchial

نتایج و بحث

تجزیه واریانس صفات زراعی موردبررسی در ارقام شاهد در تیمارهای مختلف در هر دو سایت آزمایش برمبنای طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی صورت پذیرفت، بر اساس این نتایج تنها در شرایط کنترل در کرج بلوک‌ها ازنظر صفات عملکرد و اجزاء آن، شاخص برداشت و بیومس اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۳)، لذا تعدیل داده‌ها در مورد این تیمار و صفات ذکرشده، صورت پذیرفت و سپس داده‌های تصحیح‌شده جهت تجزیه‌وتحلیل‌های دیگر به کار گرفته شدند. در سایر تیمارها تجزیه واریانس نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین بلوک‌ها و در نتیجه یکنواختی زمین آزمایش بود.

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات زراعی موردبررسی در ارقام شاهد نخود در شرایط کنترل در کرج

Table 3. Analysis of variance for evaluated traits in 5 chickpea check lines under control treatment in Karaj

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Grain yield	بیومس Biomass	عملکرد تک بوته Seed weight Plant^{-1}	تعداد دانه در بوته Seed No. Plant^{-1}	درصد نیام‌های تک‌دانه %Single seed pods	وزن غلاف در بوته Pod weight Plant^{-1}
بلوک Block	4	49.18*	1183.94*	4897.6**	11.34**	101.83**	616^{ns}	18.78**
ژنوتیپ Genotype	4	168.14**	6657.03**	13501 ^{ns}	10.22 ^{ns}	447.77**	4766**	27.51*
خطا Error	16	15.52	15.52	280.13	2724.35	4.69	35.04	203.5
ضریب تغییرات CV%		*9.3*	*17.8*	*21.81*	*26.93*	*16.68*	*24.1*	*26.26*

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد غلاف در بوته Pod No. Plant^{-1}	وزن بوته Plant weight	تعداد شاخه اصلی Branch number	ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین Fist pod height from ground	عرض پوشش گیاهی Canopy width	ارتفاع پوشش گیاهی Canopy height
بلوک Block	4	122.39*	22.87*	0.23 ^{ns}	12.84 ^{ns}	67.07 ^{ns}	28.92 ^{ns}
ژنوتیپ Genotype	4	207.76**	109.29**	0.06 ^{ns}	42.44**	45.1 ^{ns}	101.51**
خطا Error	16	9.02	38.74	20.55	0.16	7.33	20.51
ضریب تغییرات CV%		*17.67*	*24.66*	*12.17*	*13.72*	*11.49*	*14.09*

**، * و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح 1%و 5% و عدم معنی‌داری

*, **, ns: Significant at 5% and 1% probability levels and non-significant, respectively

بر اساس نتایج ارزیابی‌های صورت گرفته در این تحقیق در شرایط تنش خشکی کاهش چشمگیر روز تا رسیدن، طول دوره گلدهی، ارتفاع و عرض کانوپی، وزن تک بوته، تعداد غلاف در بوته، وزن غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد تک بوته، عملکرد بیولوژیک، عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت مشاهده شد (جدول ۴). تنوع قابل‌ملاحظه‌ای در میان نمونه‌های موردبررسی ازنظر عملکرد و اجزای آن، بیومس و شاخص برداشت وجود داشت که این تنوع امکان انتخاب نمونه‌های متحمل را افزایش می‌دهد. صفاتی نظیر وزن بوته، شاخص برداشت و عملکرد تک بوته می‌تواند در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل کمک مؤثری نماید (Pouresmael et al., 2009). فرشادفر و جوادی‌نیا (Farshadfar and Javadinia, 2011) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میانگین عملکرد و زیست‌توده، شاخص برداشت، وزن صد دانه، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در

بوته، آب نسبی ازدست‌رفته و شاخص تحمل تنش در شرایط تنش مشاهده نمودند.

بر این اساس با نگاهی به ارزیابی صورت گرفته در نمونه‌های ژنتیکی موردبررسی (جدول ۴)، میانگین تعداد غلاف در بوته در محیط بدون تنش در کرج برابر با ۴۴/۶۴ و این صفت در بین ژنوتیپ‌ها از ۶/۳۳ تا ۱۰۶/۶۶ عدد متغیر بود. میانگین این صفت در محیط تنش برابر با ۵/۷۵ و این صفت در بین ژنوتیپ‌ها از صفر تا ۱۷/۳۳ عدد متغیر بود. در بین نمونه‌های ژنتیکی بومی بیش‌ترین تعداد غلاف در بوته مربوط به نمونه‌های ژنتیکی KC.215172، KC215442، KC.215369، KC.215895 و KC.215168 بود. در سنندج میانگین تعداد غلاف در بوته در ژنوتیپ‌های موردبررسی در شرایط آبیاری تکمیلی برابر با ۹/۲۹ عدد بود و مقدار این صفت در بین ژنوتیپ‌ها از ۲ تا ۱۹ عدد متغیر بود، میانگین این صفت در محیط تنش (کشت دیم) برابر با ۶/۹ عدد بود و مقدار این صفت در بین ژنوتیپ‌ها از ۱ تا ۱۶ عدد متغیر بود (جدول ۵). در بین نمونه‌های ژنتیکی بومی کم‌ترین تعداد غلاف در بوته مربوط به نمونه ژنتیکی KC216010 و بیش‌ترین تعداد غلاف در بوته مربوط به نمونه‌های ژنتیکی KC.215239، KC215283، KC.215187 و KC.215286 بود. نمونه ژنتیکی KC.215239 در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی ۱۶ غلاف در بوته تولید نمود و از این نظر ژنوتیپ پایداری بود.

جدول ۴. آماره‌های توصیفی صفات موردبررسی تحت شرایط کنترل و تنش خشکی در نمونه‌های ژنتیکی نخود کابلی در کرج

Table 4. Statistical parameters of evaluated traits in Kabuli chickpea landraces under control and terminal drought stress treatments in Karaj

		کنترل Control				تنش Terminal drought stress			
Traits	صفات	کمینه Min.	بیشینه Max	میانگین Mean	دامنه Rang	کمینه Min.	بیشینه Max	میانگین Mean	دامنه Rang
Days to 50% flowering	روز تا ۵۰٪ گلدهی	64	79	71.81	15	63	81	68.99	18
Days to maturity	روز تا رسیدگی	91	113	104.79	22	72	96	89.06	24
Canopy height (cm)	ارتفاع پوشش گیاهی	21.4	40.65	31.33	19.25	18.8	33.8	27.42	15
Canopy width (cm)	عرض پوشش گیاهی	25.75	60.4	47.17	34.65	14	33.4	24.78	19.4
Fist pod height (cm)	ارتفاع اولین غلاف	12.6	25.8	19.13	13.2	11.4	28.8	19.39	17.4
Branch number	تعداد شاخه اصلی	2.33	5.33	3.5	3	1.33	5	3.02	3.67
Plant weight (g)	وزن بوته	3.46	54.18	21.45	50.72	1.86	7.75	4.12	5.89
Pod No. Plant^{-1}	تعداد غلاف در بوته	6.33	106.67	44.64	100.33	0	17.33	5.75	17.33
Pod weight Plant^{-1} (g)	وزن غلاف در بوته	0.33	59.04	14.87	58.71	0.02	5.09	0.97	5.07
Unfilled pod%	درصد پوکی غلاف	0.84	73.68	11.38	72.84	0	100	31.75	100
%Twinge seed pods	درصد نیام دو دانه	0	100	33.65	100	0	71.43	8.19	71.43
Seed No. Plant^{-1}	تعداد دانه در بوته	1.67	130.33	50.27	128.67	0	18	4.55	18
Seed weight Plant^{-1} (g)	عملکرد تک بوته	0.11	29.62	10.38	29.52	0	2.23	0.62	2.23
Biomass (g. m^{-2})	بیومس	83.58	684.38	295.12	600.79	21.70	409.33	83.71	387.63
Grain yield (g. m^{-2})	عملکرد دانه	8.5	291.62	104.99	283.12	0	148.67	12.22	148.67
Harvest index	شاخص برداشت	10.41	83.54	41.12	73.12	0	52.45	13.89	52.45

عملکرد و اجزاء آن و به‌ویژه تعداد غلاف در بوته ازجمله صفاتی هستند که به‌راحتی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس را از هم مشخص می‌سازند (Pouresmael et al., 2012 b).

میانگین تعداد دانه در بوته در ژنوتیپ‌های موردبررسی در محیط بدون تنش برابر با ۵۰/۲۷ عدد و این صفت در بین ژنوتیپ‌ها از ۱/۶۷ تا ۱۳۰/۳۳ عدد متغیر بود. در محیط تنش میانگین این صفت برابر با ۴/۵۵ و این صفت در بین ژنوتیپ‌ها از ۰ تا ۱۸ عدد متغیر بود (جدول ۴). بیش‌ترین تعداد دانه در بوته در بین نمونه‌های ژنتیکی بومی مربوط به نمونه‌های ژنتیکی KC215442، KC.215172، KC.215895،

KC215440، KC215911 بود. سه مرحله، تشکیل گل، گرده‌افشانی و لقاح و پر شدن دانه متأثر از خشکی شده و بر کاهش عملکرد تأثیرگذار است. نقش کاهنده تنش خشکی بر میزان تولید در طول مراحل اولیه زادآوری گیاه از طریق کاهش تشکیل گل و ریزش گل‌ها و درنتیجه کاهش تعداد دانه بوده و در مراحل بعدی یعنی در طول مرحله رشد دانه، عمدتاً از طریق کاهش اندازه دانه است. در خشکی انتهای فصل، صفاتی که پر شدن دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهند دارای اهمیت بیشتری هستند. در نخود زراعی تعداد دانه در غلاف تحت تأثیر عوامل محیطی قرارگرفته و افزایش رطوبت به‌ویژه در مراحل گلدهی و غلاف‌بندی موجب افزایش تعداد دانه در غلاف می‌شود (Gan et al., 2003).

جدول ۴. آماره‌های توصیفی صفات موردبررسی تحت شرایط دیم و تیمار آبیاری تکمیلی در نمونه‌های ژنتیکی نخود کابلی در سنندج
Table 4. Statistical parameters of evaluated traits in Kabuli chickpea landraces under rainfed and complementary irrigation treatments in Sanandaj

صفات Traits		آبیاری تکمیلی Complementary irrigation				کشت دیم Rainfed planting			
		میانگین Mean	کمینه Min.	بیشینه Max	دامنه Rang	میانگین Mean	کمینه Min.	بیشینه Max	دامنه Rang
Days to 50% flowering	روز تا ۵۰٪ گلدهی	39.64	37	42	5	38.26	38	40	2
Days to maturity	روز تا رسیدگی	105.3	104	112	8	100.15	99	103	4
Canopy height (cm)	ارتفاع پوشش گیاهی	29.09	22	37	15	27.07	23	31	8
Number of seed per pod	تعداد دانه در غلاف	1.076	1	2	1	1.06	1	2	1
Pod No. Plant^{-1}	تعداد غلاف در بوته	9.29	2	19	17	6.93	1	16	15
100Seed weight	وزن صد دانه	11.96	9.8	17.1	7.3	9.97	5.1	14	8.9
Grain yield (g. m^{-2})	عملکرد دانه	30.28	20.83	59.16	38.33	23.04	20.33	41.33	21

میانگین شاخص برداشت در نمونه‌های ژنتیکی موردبررسی در محیط تنش ۱۳/۸۹ و این صفت در بین نمونه‌ها از صفر تا ۵۲/۴۵ متغیر بود (جدول ۴). در بین نمونه‌های ژنتیکی بومی بیش‌ترین شاخص برداشت مربوط به نمونه‌های ژنتیکی KC215443، KC215442، KC.215239، KC.215688، KC.215928 بود. در زمان محدودیت آب، عملکرد دانه وابسته به مقدار آب در دسترس، کارایی مصرف آب (چگونگی استفاده کارآمد گیاه از این آب در دسترس برای رشد به زیست‌توده) و شاخص برداشت است. ازآنجایی‌که این اجزاء به‌شدت به هم وابسته هستند، بهبود هر یک از آن‌ها موجب افزایش عملکرد می‌شود (Reynolds et al., 2001). پوراسماعیل و همکاران (Pouresmael et al., 2013) گزارش نمودند شاخص برداشت در ژنوتیپ‌های مختلف نخود به‌صورت متفاوتی تحت تأثیر خشکی قرار می‌گیرد با در نظر گرفتن کاهش عمومی بیومس بخش هوایی در همه ژنوتیپ‌ها در تنش، این محققین اشاره داشتند شاخص برداشت بالا یکی از صفاتی است که به انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در نخود کمک می‌کند. جانچی و توکر (Canci and Toker, 2009) نیز گزارش نمودند برای افزایش عملکرد در گیاه نخود باید شاخص برداشت مدنظر قرار گیرد و سراج و همکاران (Serraj et al., 2004a) عنوان داشتند لازم است تا تلاش‌ها برای ایجاد مارکر مولکولی برای این صفت متمرکز شود. بهبود شاخص برداشت از طریق توانایی برای حرکت مجدد مواد فتوسنتزی ساخته‌شده در پیش از مرحله گلدهی، کوتاه شدن دوره رشدی گیاه و فرار از خشکی انتهای فصل و یا سیستم ریشه‌ای عمیق امکان‌پذیر است (Kashiwagi et al., 2006).

نتایج مربوط به اثر آبیاری بر روی عملکرد دانه در واحد سطح در کرج و سنندج نشان داد، در کرج گیاهان در شرایط کنترل ۸/۶ برابر بیشتر از گیاهان در معرض تنش محصول دانه تولید کردند (جدول ۴). نمونه ژنتیکی KC.216073 با عملکرد ۲۹۱/۶۲ گرم بر مترمربع و نمونه ژنتیکی KC215442 با عملکرد ۱۴۸/۶۷ گرم بر مترمربع به ترتیب بیش‌ترین عملکرد در شرایط کنترل و شرایط تنش را داشتند. همچنین کم‌ترین عملکرد در شرایط بدون تنش متعلق به نمونه ژنتیکی KC215911 با عملکرد ۸/۵۰ گرم بر مترمربع و در شرایط تنش مربوط به نمونه ژنتیکی KC.215996 با عملکرد برابر با صفر بود. در سنندج نیز گیاهان در شرایط

آبیاری تکمیلی تقریباً ۱/۳ برابر بیشتر از گیاهان در شرایط دیم محصول دانه تولید کردند (جدول ۵). بیش‌ترین عملکرد در شرایط آبیاری تکمیلی و در شرایط دیم به ترتیب با عملکرد ۵۹/۱۷ و ۴۱/۳۳ گرم بر مترمربع متعلق به نمونه ژنتیکی KC.215286 بود. همچنین کم‌ترین عملکرد در شرایط آبیاری تکمیلی متعلق به ژنوتیپ KC215928 با عملکرد ۲۰ گرم بر مترمربع و در شرایط دیم متعلق به ژنوتیپ KC.215283 با عملکرد ۲۰/۳۳ گرم بر مترمربع بود. بخش و همکـاران (Bakhsh et al., 2007) نیز نشان دادند که با اعمال آبیاری، عملکرد و اجزای آن در نخود بهبود پیدا می‌کند.

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از ماتریس ضرایب همبستگی شاخص‌ها با عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش و با توجه به مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک نشان داد دو مؤلفه اول در کرج و سنندج به ترتیب ۹۲/۳۲ و ۹۹/۳۲ درصد از کل تنوع داده‌ها را توجیه نموده و لذا تجزیه‌وتحلیل داده‌ها بر اساس مؤلفه‌های مذکور قابل‌اعتماد است (جدول ۶).

جدول ۶. مقادیر ویژه، درصد تبیین واریانس و ضرایب عددی هر یک از شاخص‌ها در دو مؤلفه اول استخراج‌شده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های تحمل در کرج و سنندج

Table 6. Eigen value, percent of variance and cumulative percentage of component extracted from PCA analysis of drought tolerance indices in Karaj and Sanandaj

		کرج (Karaj)		سنندج (Sanandaj)	
		Principal component (PC)		Principal component (PC)	
		PC1	PC2	PC1	PC2
Eigen value	مقدار ویژه	4.17	3.21	6.69	1.257
%Proportional Variance	واریانس مطلق	52.18	40.14	83.62	15.7
% Cumulative Variance	واریانس تجمعی	52.18	90.26	83.62	99.32
Geometric Mean of Productivity (GMP)	میانگین هندسی بهره‌وری	0.47	-0.13	0.38	-0.12
Harmonic Mean (HARM)	میانگین هارمونیک	0.38	-0.34	0.38	-0.19
Mean Productivity (MP)	شاخص بهره‌وری متوسط	0.38	0.34	0.39	-0.05
Stress Susceptibility Index (SSI)	شاخص حساسیت تنش	0.00	0.44	0.30	0.55
Stress Tolerance Index (STI)	شاخص تحمل تنش	0.47	-0.13	0.38	-0.18
Stress Tolerance (TOL)	شاخص تحمل	0.26	0.46	0.33	0.45
Yield in control condition (Yp)	عملکرد در تیمار کنترل	0.32	0.41	0.38	0.16
Yield in stress condition (Ys)	عملکرد در تیمار تنش	0.33	-0.40	0.27	-0.63

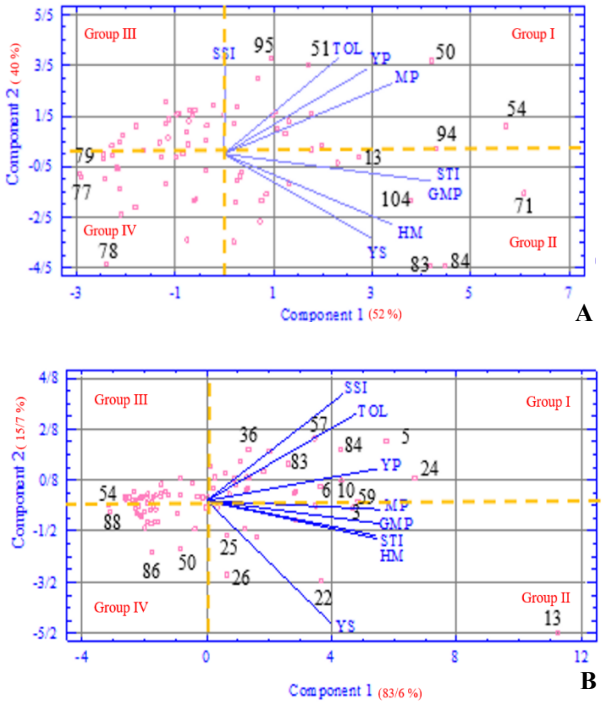
در کرج مؤلفه اول با توجیه ۵۲/۱۸ درصد از تغییرات کل داده‌ها، همبستگی مثبت و بالایی با شاخص‌های GMP و STI داشت. در این مؤلفه ضریب متغیرهایGMP، STI،HM، MP که مقدار بیشتر آن‌ها نشان‌دهنده تحمل بیشتر است، مثبت بوده و ضریب شاخص SSI که مقدار کمتر آن نشان‌دهنده تحمل بیشتر است، صفر بود (جدول ۶)، لذا این مؤلفه که تحت عنوان مؤلفه تحمل به خشکی نام‌گرفته است (Farshadfar et al., 2001) قادر به جدا ساختن نمونه‌های ژنتیکی متحمل به خشکی و با عملکرد بالا از نمونه‌های ژنتیکی حساس است؛ بنابراین ارقام متحمل ازنظر مؤلفه اصلی اول دارای مقدار عددی بزرگ‌تری نسبت به ارقام حساس هستند. پژوهش‌های پیشین نیز شاخص‌های STI و GMP را به‌عنوان بهتـــرین شاخص‌ها بـرای انتخـــاب نمونه‌های متحمل معرفی نمودند (Vandkarimi et al., 2015; Pouresmael et al., 2009; Sio-Se Mardeh et al., 2006; Azizi–Chakherchaman et al., 2009; Jafari et al., 2009). پوراسماعیل و همکاران (Pouresmael et al., 2012a) این دو شاخص را در ترکیب با شاخص SSI به‌عنوان بهترین گزینه برای انتخاب نمونه‌های متحمل معرفی نمودند.

مؤلفه دوم که ۴۰/۱۴ درصد از تغییرات کل را توجیه نمود، همبستگی مثبت و معنی‌داری با SSI، TOL و YP نشان داد. در این مؤلفه ضریب عملکرد در شرایط تنش (YS)

منفی بود و ضرایب متغیرهای YP و SSI صرف‌نظر از علامت دارای مقدار عددی بزرگ‌تری نسبت به STI،HM،GMP بود. ازاین‌رو این مؤلفه نمونه‌هایی که در شرایط مطلوب دارای عملکرد بالا اما به‌شدت متأثر از تنش می‌باشند را متمایز می‌نماید و لذا شاخص حساسیت به تنش نام‌گذاری شده است. کمتر بودن این مؤلفه نشان‌دهنده مطلوب‌تر بودن تحمل به خشکی نمونه ژنتیکی است (Farshadfar et al., 2001).

در سنندج نیز مؤلفه اول که ۸۳/۶۲ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه نمود، همبستگی مثبت و بالایی با شاخص‌های GMP، MP،YP،HM و STI نشان داد (جدول ۶) و مؤلفه دوم با توجیه ۱۵/۷ درصد از تغییرات کل، همبستگی مثبت و معنی‌داری با SSI و TOL نشان داد. در این مؤلفه ضریب عملکرد در شرایط تنش (YS) منفی و ازنظر مقدار عددی بزرگ بود. بر این اساس مؤلفه اصلی اول نمونه‌های ژنتیکی متحمل و مؤلفه اصلی دوم نمونه‌های ژنتیکی حساس را متمایز می‌کند. تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها و ارقام نخود ازنظر شاخص‌های کمّی مقاومت به خشکی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Vandkarimi et al., 2015؛ Pouryamchi et al., 2011؛ و Farshadfar and Javadinia, 2011). کومار (Kumar, 2005) معتقد بود استفاده از شاخص‌های مبتنی بر عملکرد در پاسخ به محیط‌های مختلف، یک تخمین تقریبی از تحمل را فراهم می‌کند چون جدا نمودن اختلاف ژنوتیپ‌ها در تحمل و عملکرد دانه مشکل است.

نمودار بای پلات اولین و دومین مؤلفه اصلی بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی و میزان عملکرد در شرایط کنترل و تنش خشکی در نمونه‌های ژنتیکی نخود کابلی در شکل ۱ نشان داده شده است.



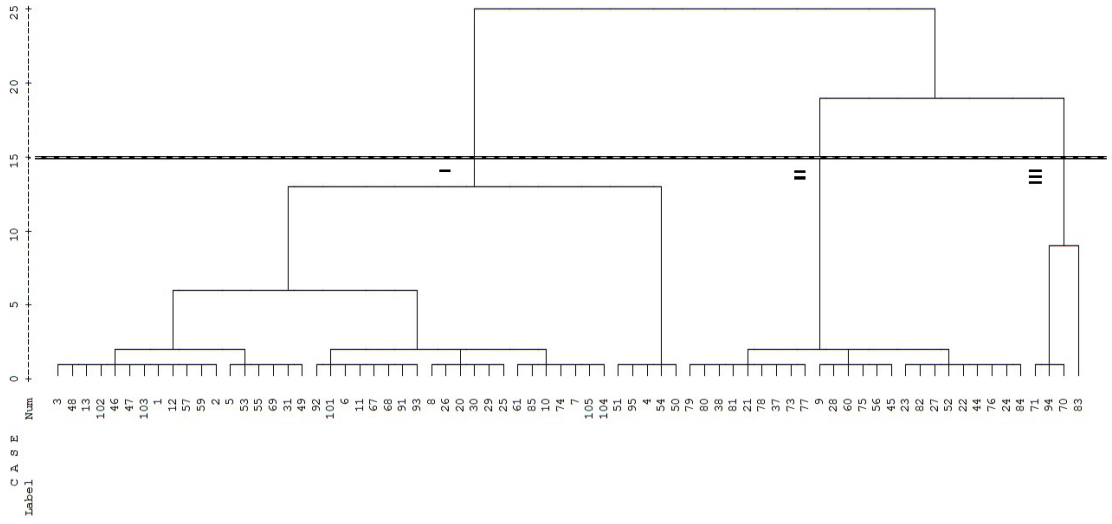
شکل ۱. نمودار بای پلات شاخص‌های تحمل به خشکی و میزان عملکرد در شرایط کنترل و تنش نمونه‌های ژنتیکی نخود کابلی بر اساس اولین و دومین مؤلفه در کرج (الف) و سنندج (ب) (شماره‌ی نمونه ژنتیکی‌ها، منطبق با جدول ۱ است)

Fig. 1. Biplot display of two principal components of drought tolerance indices in chickpea genotypes under drought stress treatment in Karaj (A) and Sanandaj (B).

بر اساس این شکل در کرج نمونه‌های ژنتیکی KC216073 (ژنوتیپ شماره ۵۰)، KC215851 (ژنوتیپ شماره ۵۱)، KC215928 (ژنوتیپ شماره ۵۴) و لاین ILC6266 (ژنوتیپ شماره ۹۵) با دارا بودن بالاترین مقادیر در هر دو مؤلفه، نمونه‌های با پتانسیل عملکرد بالا اما با حساسیت بالا نسبت به تنش بودند. نمونه‌های گروه II متشکل از نمونه‌های KC215286 (ژنوتیپ شماره ۱۳)، KC215727 (ژنوتیپ شماره ۷۱)، KC215442 (ژنوتیپ شماره ۸۳)، KC215443 (ژنوتیپ شماره ۸۴)، KC216023 (ژنوتیپ شماره ۹۴) و رقم هاشم (شماره ۱۰۴) با بالاترین مقادیر GMP و STI و پایین‌ترین مقادیر TOL و SSI نمونه‌های با پتانسیل عملکرد بالا و متحمل نسبت به تنش بودند. نمونه‌هایی که از هر دو نقطه‌نظر تحمل و عملکرد بالا قابل‌توجه نبودند، در گروه III قرار گرفتند. گروه IV با دارا بودن کم‌ترین مقدار در هر دو مؤلفه نمونه‌هایی را در خود جای داد که پتانسیل عملکرد پایین و حساسیت پایین نسبت به تنش داشتند (شکل ۱، الف).

در سنندج نمونه‌های ژنتیکی KC.215187 (ژنوتیپ شماره ۵)، KC.216169 (ژنوتیپ شماره ۲۴)، KC.215976 (ژنوتیپ شماره ۵۷) و KC.215443 (ژنوتیپ شماره ۸۴) با دارا بودن بالاترین مقادیر هر دو مؤلفه، نمونه‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا اما با حساسیت بالا نسبت به تنش بودند. نمونه‌های گروه II متشکل از نمونه‌های KC.215172 (ژنوتیپ شماره ۳)، KC.215286 (ژنوتیپ شماره ۱۳)، KC.216010 (ژنوتیپ شماره ۵۹)،KC.215369 (ژنوتیپ شماره ۲۲) با بالاترین مقادیر GMP و STI و پایین‌ترین مقادیر TOL و SSI، نمونه‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا و متحمل نسبت به تنش بودند. نمونه‌هایی که از هر دو نقطه‌نظر تحمل و عملکرد بالا قابل‌توجه نبودند، در گروه III قرار گرفتند. گروه IV با دارا بودن کم‌ترین مقدار هر دو مؤلفه، نمونه‌هایی ازجمله نمونه‌های ژنتیکی KC.216073 (ژنوتیپ شماره ۵۰) و KC.215283 (ژنوتیپ شماره ۸۸) و رقم هاشم (ژنوتیپ شماره ۸۶) را در خود جای داد که پتانسیل عملکرد پایین و حساسیت پایین نسبت به تنش داشتند (شکل ۱، ب). استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای پلات حاصل از آن برای تفکیک ارقام نسبت به تنش خشکی در نخود توسط سایر محققین (Vandkarimi et Farshadfar et al., 2001; Pouresmael et al., 2009 al., 2015;) نیز استفاده و تأیید شده است.

تجزیه خوشه‌ای نتایج ارزیابی‌های انجام‌شده در کرج، نمونه‌های ژنتیکی موردمطالعه را در ۳ خوشه گروه‌بندی نمود (شکل ۲).



شکل ۲. دندروگرام گروه‌بندی نمونه‌های ژنتیکی نخود کابلی بر اساس صفات زراعی ارزیابی‌شده در شرایط تنش و شاخص‌های تحمل به خشکی در کرج (شماره‌ی نمونه‌های ژنتیکی، منطبق با جدول ۱ است)

Fig. 2. The dendrogram for chickpea accessions grouping based on agronomical traits under drought stress condition in Karaj and drought tolerance indices

جدول ۷، میانگین صفات موردبررسی برای هر خوشه را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه تفاوت بین گروه‌ها ازنظر صفات فنولوژیکی معنی‌دار نبود، تفسیر نتایج تجزیه خوشه‌ای بر اساس اجزای عملکرد و شاخص‌های حساسیت و تحمل تنش صورت گرفت. بر اساس نتایج در گروه یک شاخص SSI و صفت درصد پوکی غلاف دارای مقادیر بالاتر از میانگین کل و برای شاخص TOl دارای مقادیر پایین‌تر از میانگین کل بود. همچنین این گروه برای شاخص‌های STI و GMP و صفات وزن تک بوته، تعداد دانه، تعداد غلاف در بوته، وزن دانه در بوته، وزن بیومس و عملکرد اقتصادی، مقادیری پایین‌تر از میانگین کل ولی بالاتر از گروه دوم داشت؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت نمونه‌های ژنتیکی این گروه، نمونه‌های ژنتیکی نسبتاً متحمل محسوب می‌شوند. گروه دوم، ازنظر شاخص‌های TOl و SSI و صفت درصد پوکی غلاف دارای مقادیر بالاتر از میانگین کل و برای صفاتی چون وزن تک بوته، تعداد و وزن غلاف و دانه در بوته، وزن بیومس، عملکرد اقتصادی و شاخص‌های STI و GMP دارای مقادیر کمتر از میانگین کل بود. با توجه به پایین بودن مقادیر صفات عملکرد و اجزای آن و بالا بودن مقادیر شاخص‌های TOL و SSI، نمونه‌های ژنتیکی حساس در این گروه قرار گرفتند.

جدول ۷. مقادیر متوسط صفات زراعی و شاخص‌های کمی مقاومت و حساسیت به تنش در مرکز هر خوشه حاصل از تجزیه خوشه‌ای به روش K- means در کرج

Table 7. Mean of measured quantitative traits and drought tolerance indices in center of clusters developed by K-means cluster analysis in Karaj

میانگین	شماره خوشه (Cluster No.)			صفت	
(Mean)	3	2	1	(Character)	
69.65	71.5	68.55	68.9	تعداد روز تا گلدهی	**Days to 50% flowering**
83.53	85	82.2	83.4	طول دوره گلدهی (تعداد روز)	**Flowering duration**
27.05	26.5	27.65	27	ارتفاع پوشش گیاهی	**Canopy height** (cm)
24.26	23.5	225	34.28	عرض پوشش گیاهی	**Canopy width** (cm)
18.26	16.5	19.81	18.46	ارتفاع اولین غلاف از زمین	**Fist pod height from ground** (cm)
4.46	5.2	3.89	4.29	وزن بوته	**Plant weight** (g)
6.87	9.5	5.39	5.72	تعداد غلاف در بوته	**Pod No. Plant^{-1}**
1.22	1.76	0.96	0.95	وزن غلاف در بوته	**Pod weight Plant^{-1}** (g)
24.18	10	30.23	32.31	درصد پوکی غلاف	**Unfilled pod%**
6.41	10.34	4.41	4.47	تعداد دانه در بوته	**Seed No. Plant^{-1}**
0.83	1.28	0.6	0.62	عملکرد تک بوته	**Seed weight Plant^{-1}** (g)
174.4	373.72	69.91	79.58	بیومس	**Biomass** (g. m^{-2})
34.7	83.67	8.96	11.46	عملکرد دانه	**Grain yeild** (g. m^{-2})
16.18	20.92	13.21	14.42	شاخص برداشت	**Harvest index**
0.17	58.23	0.07	0.13	شاخص تحمل به تنش	**Stress Tolerance Index (STI)**
38.86	58.23	23.49	34.87	میانگین هندسی بهره وری	**Geometric Mean of Productivity (GMP)**
66.76	-1.16	151.52	49.91	شاخص تحمل	**Stress Tolerance (TOL)**
0.04	-1.8	1.06	0.84	شاخص حساسیت به تنش	**Stress Susceptibility Index (SSI)**

در گروه سوم شاخص‌های TOL و SSI و صفت درصد پوکی غلاف مقادیر کمتری نسبت به میانگین کل و نسبت به دو خوشه دیگر داشته و صفاتی از قبیل وزن تک بوته، تعداد و وزن غلاف و دانه در بوته، بیومس، عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت و شاخص‌های STI و GMP دارای مقادیر بالاتری نسبت به میانگین کل بود. ازآنجایی‌که در این گروه شاخص‌های TOL و SSI در کم‌ترین مقادیر عددی و تمامی صفات عملکردی دارای بالاترین مقادیر عددی در بین تمامی گروه‌ها بود، بنابراین این گروه در بین سه گروه حاصل از تجزیه کلاستر حداکثر میزان تحمل به تنش خشکی را نشان داد. نمونه‌های KC.215727، KC.215442، KC.215710، KC.216023 در این گروه قرار گرفتند. این

نتایج با نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در تطابق است، زیرا نمونه‌های KC.215727، KC.215442 و KC.216023 در روش تجزیه به مؤلفه‌ها نیز در گروه نمونه‌های ژنتیکی متحمل قرار گرفتند.

در سنندج نیز تجزیه خوشه‌ای نمونه‌های ژنتیکی بر اساس شاخص‌های مختلف تحمل تنش و عملکرد در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی نمونه‌های ژنتیکی موردمطالعه را در ۴ خوشه گروه‌بندی نمود (دندروگرام نشان داده نشده است)، ازنظر کلیه شاخص‌ها تفاوت معنی‌دار بین گروه‌ها وجود داشت. میانگین شاخص‌های موردمطالعه برای هر خوشه در جدول ۸ آورده شده است. بر اساس آنچه در این جدول نشان داده شده است، در گروه یک نمونه‌هایی که پتانسیل عملکرد پایین داشته و افت عملکرد کمی در اثر تنش داشتند را در خود جای داد، کلیه ارقام شاهد در این گروه قرار گرفتند. این گروه ازنظر شاخص‌های SSI و TOL دارای مقادیر پایین‌تر از میانگین بود. گروه دو متشکل از ۸ عضو نمونه‌های ژنتیکی نیمه متحمل را در خود جای داد. این گروه متشکل از نمونه‌های ژنتیکی KC.215443، KC.215976، KC.215720، KC.215187، KC.216169، KC.215172، KC.215221 و KC.216010، شاخص STI و GMP بالا داشته و ازنظر پتانسیل عملکرد در شرایط آبیاری تکمیلی قابل‌توجه بودند. گروه سوم، متشکل از ۱۳ عضو، نمونه‌های ژنتیکی حساس را در خود جای داد، در این گروه مقادیر شاخص‌های TOl و SSI بالاتر از میانگین کل و شاخص STI و GMP دارای مقادیر کمتر از میانگین بود. این گروه بیش‌ترین افت عملکرد را در شرایط تنش داشت و لذا نمونه ژنتیکی‌های حساس به تنش خشکی در این گروه قرار گرفتند. گروه چهار نمونه‌های متحمل را در خود جای داد که پتانسیل عملکرد بالا داشته و از شاخص‌های STI و GMP بالا برخوردار بودند. ۲۴ نمونه ژنتیکی ازجمله نمونه ژنتیکی KC215369 در این گروه قرار داشتند.

مقایسه نتایج تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان می‌دهد که نمونه‌های ژنتیکی که در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در دسته نمونه‌های ژنتیکی متحمل قرار داشتند ازنظر تجزیه خوشه‌ای در گروه نیمه متحمل و متحمل قرار گرفتند.

جدول ۸. مقادیر متوسط شاخص‌های کمی مقاومت و حساسیت به تنش در مرکز هر خوشه حاصل از تجزیه خوشه‌ای به روش K- means در سنندج

Table 8. Mean of yield and drought tolerance indices in center of clusters developed by K-means cluster analysis in Sanandaj

		شماره خوشه (Cluster Number)			
		1	2	3	4
Yield in supplementary irrigation (Yp)	**عملکرد در شرایط آبیاری تکمیلی**	84.08	78.11	151	115.78
Yield in rainfed condition (Ys)	**عملکرد در شرایط دیم**	66.08	66.76	71	73.28
Mean Productivity (MP)	**شاخص بهره‌وری متوسط**	66.08	72.31	94.91	94.35
Stress Tolerance (TOL)	**شاخص تحمل**	75.08	11.41	92.78	42.58
Geometric Mean of Productivity (GMP)	**میانگین هندسی بهره‌وری**	74.36	71.98	103.36	91.73
Stress Susceptibility Index (SSI)	**شاخص حساسیت تنش**	0.829	0.580	2.201	1.518
Stress Tolerance Index (STI)	**شاخص تحمل تنش**	0.676	0.631	1.300	1.027
Harmonic Mean (HARM)	**میانگین‌هارمونیک**	73.66	71.65	96.35	89.20

نتیجه‌گیری نهایی

اگرچه در مناطق غرب و مرکز آسیا و شمال آفریقا با تغییر فصل کاشت از کشت سنتی بهاره به زمستانه، امکان افزایش عملکرد دانه نخود وجود دارد، اما بااین‌وجود در این مناطق کشاورزان کاشت بهاره را ترجیح می‌دهند؛ بنابراین تولید ارقام مناسب با عملکرد بالا برای کاشت بهاره یا مناسب کاشت در هر دو فصل ضروری است، زیرا به‌این‌ترتیب، کشاورزان بسته به شرایط محیطی یا آب و هوایی محلی خود فرصت انتخاب ارقام مناسب برای کاشت بهاره یا زمستانه را دارند (Imtiaz et al., 2013).

بر اساس نتایج ارزیابی‌های صورت گرفته در این تحقیق در ایستگاه کرج نمونه‌های ژنتیکی KC.215727، KC.215928، KC215442، KC215443، KC.216023، KC.215286، KC.216073، KC.215710 بالاترین شاخص‌های تحمل به تنش STI و GMP و به ترتیب به‌عنوان نمونه‌های ژنتیکی متحمل تعیین شدند. در ایستگاه سنندج نیز بر اساس این دو شاخص، نمونه‌های ژنتیکی KC.215286، KC.216169، KC.215187، KC.216010، KC.215172، KC.215720، KC.215443، KC215369 و KC215221 به‌عنوان نمونه‌های ژنتیکی با در جه تحمل بالاتر تعیین شدند. تجزیه خوشه‌ای بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی نشان داد، در ایستگاه کرج ژنوتیپ‌های KC215442، KC.215710، KC.216023 و KC.215727 دارای نمونه‌های ژنتیکی با پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به خشکی بودند و در ایستگاه گریزه سنندج نمونه‌های ژنتیکی KC.215443، KC.215976، KC.215720، KC.215187، KC.216169 دارای شاخص‌های تحمل به تنش STI و GMP بالا بوده و ازنظر پتانسیل عملکرد در شرایط آبیاری تکمیلی قابل‌توجه بودند.

عدم وجود تطابق بین نمونه‌های قرارگرفته در گروه نمونه‌های ژنتیکی متحمل در دو سایت کرج و سنندج می‌تواند به دلیل عدم تشابه شدت‌های تنش اعمال‌شده در بین دو سایت باشد. شدت تنش در سایت کرج ۰/۸۹ و در سایت سنندج ۰/۲۴ بود و این مسئله بر عکس‌العمل نمونه‌ها تأثیرگذار است. اهمیت برهم‌کنش‌های ژنوتیپ -محیط در برنامه‌های به نژادی کاملاً مشخص بوده و وجود این اثرات متقابل مهم‌ترین چالش این برنامه‌ها است. عملکرد، صفتی بسیار پیچیده است که به‌شدت متأثر از عوامل محیطی است، ازاین‌رو تفسیر اثرات متقابل و معرفی ژنوتیپ‌های مناسب با سازگاری خصوصی و عمومی برای محیط‌های هدف، از اهداف مهم در بررسی ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های مختلف است (Mohammadi et al., 2011).

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر مبنای شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی نشان داد که در ایستگاه گریزه سنندج نمونه‌های KC.215172، KC.215286، KC215369 و KC.216010 و در ایستگاه کرج نمونه‌های KC.215286، KC.215727، KC215442، KC.215443، KC.216023 با بالاترین مقادیر GMP و STI و پایین‌ترین مقادیر TOL و SSI نمونه‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا و متحمل نسبت به تنش بودند. جمع‌بندی نتایج هر دو سایت نشان داد نمونه‌های KC215286، KC.215442 و KC215443 نمونه‌های ژنتیکی امیدبخش در سایت کرج و سنندج بودند.

این مطالعه وجود تنوع مطلوب ازنظر صفات زراعی و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش را در میان نمونه‌های بومی نخود کشور آشکار ساخته و اهمیت توجه ویژه به این نمونه‌ها برای ورود به تحقیقات پیشرفته و تکمیلی به‌منظور شناسایی پتانسیل‌های بالقوه این نمونه‌های ارزشمند را روشن ساخت.

منابع

Agricultural Statistics of Iran. 2018. Crops. Agricultural Center of Scientific Information and Documentation, Ministry of Jahad Agriculture, Volume 1. Tehran, Iran. 156p. [in Persian].

Azizi-Chakherchaman, S., Mostafaei, H., Imanparast, L., Eivazian, M.R., 2009. Evaluation of drought tolerance in advanced lentil genotypes in Ardabil region, Iran. Journal of Food, Agriculture and Environment. 7, 283-288.

Bakhsh, A., Malik, S.R., Mohammad, A., Umer, I. Haqqani, A. M., 2007. Response of chickpea genotypes to irrigated and rain-fed conditions. International Journal of Agriculture and Biology. 9, 590-593.

Canci, H., Toker, C., 2009. Evaluation of yield criteria for drought and heat resistance in Chickpea (*Cicer arietinum* L.). Journal of Agronomy and Crop Science. 195, 47–54.

Jafari, A., Paknejad, F., Jami 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.

Fernandez, G.C., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C.G. (Ed), Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, Publication, Tainan, Taiwan.

Farshadfar E., Javadinia J., 2011.Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes for drought tolerance. Seed and Plant Journal. 27, 517-537. [In Persian with English Summary].

Farshadfar, A., Zamani, M. R., Motallebi, M., Emam Jome, A., 2001. Selection for drought resistance in chickpea lines. Iranian Journal of Agricultural Sciences. 32, 65-77. [In Persian with English Summary].

Farshadfar, E., Rashidi, M., Jowkar, M. M., Zali, H., 2013. GGE Biplot analysis of genotype × environment interaction in chickpea genotypes. European Journal of Experimental Biology. 3, 417-423 .

Fischer, R.A., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research. 29, 897-912 .

Gan, Y., Miher, P.R., Mc Conkey, B.G., Zentner, R.P., Liu, P.H., Mc Donald, C.L., 2003. A response of chickpea to seed size and planting depth. Canadian Journal of Plant Science. 83, 39-46.

Gaur P.M., Jukanti A.K., Srinivasan S., Chaturvedi S.K., Basu P.S., Babbar. 2014. A climate change and heat stress tolerance in chickpea. In: Tuteja, N, Gill, S.S. (eds), Climate Change and Plant Abiotic Stress Tolerance. Wiley-VCH Verlag GmbH and Co, KGaA, Weinheim, pp. 839-855

IBPGR, ICRISAT and ICARDA, 1993. Descriptors for Chickpea (*Cicer arietinum* L.). Edited by International Board for Plant Genetic Resources, Rome, Italy.

Imtiaz, M., Malhotra, R.S., Singh, M. Arslan, S., 2013. Identifying high yielding, stable chickpea genotypes for spring sowing: specific adaptation to location and sowing seasons in the Mediterranean region. Crop Science. 53, 1472-1480 .

Kashiwagi, J., Krishnamurthy, L., Upadhyaya, H.D., Krishna, H., Chandra, S., Vadez, V., Serraj, R., 2006. Genetic variability of drought-avoidance root traits in the mini core germplasm collection of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Euphytica. 146, 213–222.

Knight, C.A., Vogel, H., Kroymann, J., Shumate, A., Witsenboer, H., Mitchell-Olds, T., 2006. Expression profiling and local adaptation of populations for water use efficiency across a naturally occurring water stress gradient. Molecular Ecology. 15, 1229–1237.

Kumar, A., Sharma, K.D., Kumar, D., 2008. Traits for screening and selection of cowpea genotypes for drought tolerance at early stages of breeding. Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics. 109, 191–199.

Kumar, D., 2005. Breeding for drought resistance. In: Ashraf, M., Harries P.J.C., (ed.), Abiotic Stresses Tolerance in Plants. Internatinal Book Distributing Co. India. pp. 145- 175.

Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P.C., Sohrabi, Y., 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chloro-phyll contents in three chickpea cultivars. Australian Journal of Crop Science. 4, 580-585.

Mansourifar, C., Shaban, M., Ghobadi, M., Ajirlu, A.R., 2011. Effect of drought stress and N fertilizer on yield, yield components and grain storage proteins in chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. African Journal of Plant Science.5, 634-642.

Maqbool M.A., Aslam, M., Ali, H., 2017. Breeding for improved drought tolerance in Chickpea (*Cicer arietinum* L.). Plant Breeding. 136, 300–318.

Millan, T., Clarke, H.J., Siddique, K.H., Buhariwalla, H.K., Gaur, P.M., Kumar, J., Gil, J., Kahl, G., Winter, P., 2006. Chickpea molecular breeding: new tools and concepts. Euphytica. 147, 81-103.

Mohammadi, R., Sadeghzadeh, D., Armion, M., Ahmadi, M.M., 2011. Analysis of stability and adaptability of grain yield in durum wheat genotypes. Agronomy Journal (Pajouhesh va Sazandegi). 91, 70-78. [In Persian with English Summary].

Naglaa A A., Moses V., Prakash C.S., 2014. The impact of possible climate changes on developing countries, GM Crops and Food: Biotechnology in Agriculture and the Food Chain. 5, 77-80.

Omae, H., Kumar, A., Kashiwaba, K., Shono, M., 2007. Assessing drought tolerance of snap bean (*Phaseolus vulgaris*) from genotypic differences in leaf water relations, shoot growth and photosynthetic parameters. Plant Production Science. 10, 28–35 .

Pouresmael,M., Akbari, M., Vaezi, Sh., Shahmoradi, Sh., 2009. Evaluation of effect of drought stress gradient on agronomical traits of Kabuli chickpea core collection. Iranian

Journal of Crop Sciences. 11, 307-324. [In Persian with English Summary].

Pouresmaeil, M., Khavari-Nejad, R., Mozafari, J., Najafi, F., Moradi, F., Akbari, M., 2012a. Identification of drought tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) landraces. The Crop Breeding. 2, 101-110. [In Persian with English Summary].

Pouresmael, M., Khavari-Nejad, R.A., Mozafari, J., Najafi, F., Moradi, F., 2012b. Wild Cicer species response to drought stress through different mechanisms. Advances in Environmental Biology. 6, 2966-2975.

Pouresmael, M., Khavari-Nejad, R.A., Mozafari, J., Najafi, F., Moradi, F., 2013. Efficiency of screening criteria for drought tolerance in chickpea. Archives of Agronomy and Soil Science. 59, 1675-1693.

Pouresmael, M., Mozafari, J., Khavari-Nejad, R.A., Najafi, F., Moradi, F., 2015a. Identification of possible mechanisms of chickpea (*Cicer arietinum* L.) drought tolerance using cDNA-AFLP. Journal of Agriculture Science and Technology. 7, 1303-1317.

Pouresmael, M., Khavari-Nejad, R.A., Mozafari, J., Najafi, F., Moradi, F., 2015b. Diverse responses of tolerant and sensitive lines of Chickpea to drought stress. Archives of Agronomy and Soil Science. 61, 1561-1580 .

Pouresmael M., Kanouni H., Hajihasani M., Astraki H., Mirakhorli A., Nasrollahi M., Mozaffari J.. 2017a.Yield Evaluation of Kabuli Type Chickpea Landraces in Rainfed Conditions. Seed and Plant Improvement Journal. 33(1), 29-43. [In Persian with English Summary].

Pouresmael M., Rastegar, J., Jafar –Aghaei M., 2017b. Screening of drought tolerant genotypes in Kabuli chickpea core collection. Seed and Plant Improvement Journal. 33-1, 353-372. [In Persian with English Summary].

Pouresmael, M., Kanouni, H., Hajihasani M., Astraki H., Mirakhorli A., Nasrollahi M. Mozaffari, J., 2018. Stability of chickpea (*Cicer arietinum* L.) landraces in National Plant Gene Bank of Iran for drylands. Journal of Agriculture Science and Technology. 20, 387-400 .

Pouryamchi, H.M.A., Bihamta, M.R., Peighambari, S.A. Naghavi, M.R., 2011. Evaluation of drought tolerance in Kabuli type Chickpea genotypes. Iranian Journal of Seed and Seedling Breeding. 27, 393-409. [In Persian with English Summary].

Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R.A., Ganjeali, A., Bagheri, A.R., Najafi, F., 2011. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluores-cence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica. 53, 47- 56.

Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R.A., Bagheri, A.R., Najafi, F., Roshanfekr, M., 2012. Use of biochemical indices and antioxidant enzymes as a screening technique for drought tolerance in Chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). African Journal of Agricultural Research. 7, 5372-5380.

Reynolds, M.P., Ortriz-Monasterio, J.I., McNab, A., 2001. Application of Physiologyogy in wheat breeding. Mexico, D. F., CIMMYT .

Rosielle, A.A., Hamblin, J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science. 21, 943-946.

Sabaghpour, SH., Mahmodi, A. A., Saeed, A., Kamel, M., Malhotra R.S., 2006. Study on chickpea drought tolerance lines under dryland condition of Iran. Indian Journal of Crop Science. 1, 70-73.

Serraj, R., Krishnamurthy, L., Kashiwagi, J., Kumar, J., Chandra, S., Crouch, J.H., 2004. Variation in root traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) grown under terminal drought. Field Crops Research. 88, 115-127

Singh, R.B., 2012. Climate Change and Food Security. In: Tuteja, N., Singh, S., Tuteja R., (eds.), Improving Crop Productivity in Sustainable Agriculture, Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA.

Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., Mohammadi, V., 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crop Research. 98, 222-229.

Vandkarimi A., Pooresmaeil M., Vaezi S, Ebrahimi, A., 2015. Evaluation and comparison of drought tolerance indices in Desi chickpea genotypes using multivariate analysis methods. Iranian Journal of Field Crop Science. 46, 169-179. [In Persian with English Summary].