

ارزیابی تحمل به تنش خشکی لاین‌های امیدبخش نخود (*Cicer arietinum* L.) با استفاده از شاخص‌های مقاومت به خشکی

اکبر شعبانی^۱، علیرضا زبردی^{۲*}، علی مصطفایی^۳، محسن سعیدی^۴، سید سعید پورداد^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه رازی

۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه رازی

۳. استاد، بخش ایمنولوژی، مرکز تحقیقات بیولوژی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه.

۴. استاد معاونت موسسه تحقیقات دیم کشور - کرمانشاه

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۹/۰۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۲۵

چکیده

با توجه به سطح زیر کشت دیم نخود، خشکی از جمله عواملی است که به‌طور جدی تولید و کیفیت نخود را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ بنابراین رسیدن به ژنوتیپ‌های متحمل خشکی مورد توجه محققین است. به‌منظور بررسی تنوع ژنتیکی و تحمل به خشکی لاین‌های پیشرفته نخود، تعداد ۶۴ ژنوتیپ نخود در قالب طرح لاتیس ساده با دو تکرار در شرایط تنش و عدم تنش رطوبتی در معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم سرارود کرمانشاه در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ مورد آزمایش قرار گرفتند. شاخص‌های تحمل تنش (STI)، شاخص میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، حساسیت به تنش (SSI)، میانگین هارمونیک (HAM)، شاخص عملکرد (YI) و شاخص تحمل تنش تغییر یافته (K1, K2) بر اساس عملکرد دانه در هر دو شرایط محاسبه گردید. همچنین از روش امتیازدهی تحمل تنش (STS) به‌منظور گزینش ژنوتیپ‌ها بر مبنای کلیه شاخص‌ها استفاده شد. مطالعه همبستگی ساده بین عملکرد در شرایط تنش، عدم تنش و شاخص‌های مقاومت نشان داد که عملکرد در دو شرایط با شاخص‌های تحمل تنش، میانگین هندسی بهره‌وری، میانگین هارمونیک، شاخص عملکرد و تحمل تنش تغییر یافته همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند. بنابراین این شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا مناسب می‌باشند که از بین آن‌ها STI به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص جهت ترسیم نمودار سه‌بعدی در نظر گرفته شد. روش ترسیمی سه‌بعدی و بای‌پلات باعث گروه‌بندی ژنوتیپ‌های متحمل و غیر متحمل گردید به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های FLIP 08-42C، عادل، آزاد و FLIP 08-35C با قرار گرفتن در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم مقاومت (STI, MP, GMP) و قرار گرفتن در گروه A از پتانسیل تولید بالا و حساسیت پائین به خشکی برخوردار بودند. همچنین با توجه به نتایج روش امتیازدهی تحمل تنش (STS) ژنوتیپ‌های فوق نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارای تحمل بیشتری به تنش خشکی بودند. در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، دو مؤلفه اصلی اول ۹۸/۴۳۷ درصد از کل واریانس را توجیه نمودند. در نهایت با توجه به وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر تحمل به تنش خشکی، می‌توان از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تنش رطوبتی، روش امتیازدهی تحمل تنش (STS)، مؤلفه‌های اصلی، نخود

مقدمه

بشر دارند. این دسته از گیاهان (حبوبات) دارای ارزش غذایی زیاد بوده و از مهم‌ترین منابع غذایی سرشار از پروتئین (۱۱ تا ۳۲ درصد) می‌باشند (Bagheri et al., 2001). طبق مطالعات انجام‌شده، ترکیب مناسبی از پروتئین حبوبات با غلات می‌تواند سوء‌تغذیه و کمبود اسیدهای آمینه مورد نیاز

با توجه به پیش‌بینی جمعیت نه میلیارد نفری در سال ۲۰۵۰ و علیرغم افزایش عملکرد محصولات زراعی، همچنان نگرانی‌ها در مورد امنیت غذایی جهانی وجود دارد (Rosegrant and Agcaoili, 2010). در بین گیاهان زراعی مختلف، حبوبات اهمیت فوق‌العاده‌ای در تأمین غذای

کردند. مقادیر بالای شاخص تحمل (TOL) نشان‌دهنده حساسیت بیش‌تر ژنوتیپ‌ها به تنش است و هر چه میزان این شاخص پایین‌تر باشد، مطلوب‌تر خواهد بود. در مورد شاخص میانگین بهره‌وری (MP)، انتخاب بر اساس مقادیر بالای MP انجام می‌شود. فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص‌های تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی (GMP) را معرفی نمود، مقادیر بالای شاخص STI نشان‌دهنده مقاومت بیشتر به شرایط تنش و عملکرد بالقوه بیشتر است و شاخص GPM در مقایسه با MP قدرت بالاتری در تفکیک ارقام با عملکرد بالا دارد (Abiri et al., 2012). شاخص‌های SSI و GMP برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش رطوبتی در لوبیا استفاده شد و مؤثرترین روش برای اصلاح مقاومت به تنش انتخاب بر اساس مقادیر بالای GMP و مقادیر پایین SSI است (Ramirez-vallejo and Kelly, 1998). لین و همکاران (Lin et al., 1986) شاخص عملکرد (YI) را معرفی نمودند، شاخص عملکرد (YI) ارقام را بر اساس عملکرد در شرایط تنش رتبه‌بندی می‌کند. شاخص‌های کمی متعددی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها بر مبنای وضعیت عملکرد آن‌ها در محیط‌های دارای تنش و بدون تنش پیشنهاد شده است که بر مبنای آن‌ها ژنوتیپ‌های دارای وضعیت یکنواخت در شرایط آبی و دیم شناسایی می‌شوند. هدف از این پژوهش ارزیابی تنوع ژنتیکی لاین‌های نخود از نظر تحمل به خشکی، انتخاب مناسب‌ترین شاخص‌های مقاومت به خشکی و شناسایی لاین‌های مقاوم به خشکی است.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در ایستگاه سرارود با مشخصات طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۹ دقیقه، عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه، ارتفاع ۱۳۵۱ متر از سطح دریا و بافت خاک رسی لومی واقع در معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم سرارود کرمانشاه در قالب طرح لاتیس ساده روی ۶۴ ژنوتیپ نخود زراعی در دو تکرار انجام شد. ژنوتیپ‌ها از کلکسیون بخش حبوبات معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم سرارود کرمانشاه تهیه شد و برای سهولت کار ژنوتیپ‌ها از ۱ تا ۶۴ کدگذاری شدند (جدول ۱). هر کرت آزمایشی شامل ۴ ردیف ۴ متری با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از همدیگر بود. بذور روی ردیف بافاصله ۱۰ سانتی‌متر و با تراکم ۳۳ بوته در مترمربع کشت شدند. کود مصرفی بر اساس تجزیه خاک و بر مبنای فرمول P40 N20 بود که

در جیره غذایی انسان را برطرف سازد. در بین گیاهان تیره لگومینوز، نخود بعد از سویا دومین لگوم مردم دنیا بوده و در ۶۰ کشور دنیا کشت و کار می‌شود (Ashraf et al., 2009; Varshney et al., 2013). نخود (*Cicer arietinum* L.) یکی از حبوبات سردسیری است که در طیف وسیعی از شرایط محیطی از مناطق مدیترانه‌ای غرب آسیا تا نواحی نیمه گرمسیری شمال استرالیا کشت می‌شود (Turner et al., 2001). حبوبات و بخصوص نخود مهم‌ترین محصولات متحمل در کشورهای خشک و نیمه‌خشک غرب آسیا از جمله ایران می‌باشند (Sabaghpour et al., 2012) که به دلیل توانایی رشد در شرایط محیطی نامناسب و خاک‌های فقیر توانسته است تا به امروز توانسته است به‌عنوان یک گونه غذایی باقی مانده باشد (Nasri et al., 2012).

سطح زیر کشت نخود در ایران حدود ۷۰۰ هزار هکتار است که استان کرمانشاه با تولید ۲۲ درصد رتبه اول کشور را از این لحاظ دارا است. استان کرمانشاه با ۲۴/۷ درصد بیشترین سطح زیر کشت این محصول را دارا است. میزان تولید نخود در ایران ۲۷۰ هزار تن برآورد شده است که معادل ۰/۳۶ از میزان تولید محصولات زراعی و ۴۳/۷ درصد از کل تولید حبوبات می‌باشد. متوسط عملکرد نخود در اراضی آبی ۱۴۰۰ کیلوگرم در هکتار و در اراضی دیم ۴۹۰ کیلوگرم در هکتار است. سطح زیر کشت در استان کرمانشاه ۱۳۰ هزار هکتار است که تولیدی برابر ۶ هزار تن دارد. عملکرد نخود آبی در استان کرمانشاه ۱۹۰۰ کیلوگرم در هکتار و در شرایط دیم ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (FAO, 2015).

بزرگ‌ترین چالش قرن حاضر، افزایش عملکرد در شرایط وجود تنش‌های محیطی است (Chowdhry et al., 2002). بهترین راهکار برای تولید گیاهان زراعی، بهبود عملکرد و پایداری آن در شرایط تنش خشکی و ایجاد واریته‌های متحمل به خشکی است (Farshadfar et al., 2011). ارزیابی ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال رطوبتی به‌تنهایی قادر به انتخاب ژنوتیپ‌های برتر نیست، لذا بررسی ارقام در شرایط تنش و نرمال رطوبتی موردتوجه محققین قرار گرفته است (Zebarjadi et al., 2012). حساسیت به خشکی یک ژنوتیپ معمولاً بر اساس میزان کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی برآورد می‌شود (Blum, 1988). فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978) معتقد است معیار مقاومت به خشکی، وضعیت عملکرد دانه در شرایط خشک است و بر همین اساس شاخص حساسیت به تنش (SSI) را پیشنهاد

$$HMP = \frac{2 Y_p \times Y_s}{Y_p + Y_s} \quad [۶]$$

شاخص تحمل تنش تغییر یافته (Farshadfar and Sutka, 2002):

$$MSTI = K_i STI$$

$$K_1 = \frac{Y_p^2}{\bar{Y}_p^2}, K_2 = \frac{Y_s^2}{\bar{Y}_s^2} \quad [۷]$$

شاخص عملکرد (Lin et al., 1986):

$$YI = \frac{Y_s}{\bar{Y}_s} \quad [۸]$$

در معادله‌های فوق Y_p و Y_s به ترتیب عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش و \bar{Y}_p و \bar{Y}_s به ترتیب میانگین‌های عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش می‌باشند.

روش امتیازدهی تحمل تنش (STS) بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید (Ghasemi and Farshadfar, 2015; Sardouei_Nasab et al., 2014; Abdolshahi et al., 2013):

$$STS = GMPstd + STIstd + HMPstd + MPstd + K1STIstd + K2STIstd + YIstd - TOLstd - SSIstd - bstd \quad [۹]$$

b: ضریب رگرسیون خطی بین عملکرد دانه در شرایط تنش و نرمال (Bansal and Sinha, 1991). داده‌های شاخص‌های مقاومت به خشکی بر اساس فرمول ۹ برای محاسبه روش STS استاندارد شدند:

$$Z_{ij} = (X_{ij} - \mu) / S_i \quad [۱۰]$$

در فرمول ۱۰، Z عدد استاندارد شده، X مقدار شاخص، μ میانگین شاخص و S_i انحراف از معیار شاخص است. همبستگی‌های ساده بین شاخص‌های مقاومت و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش محاسبه و بر اساس تحلیل این همبستگی‌ها، شاخص‌های مقاومت را غربال و مناسب‌ترین شاخص که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارای همبستگی نسبتاً بالایی با عملکرد باشد انتخاب شد.

ژنوتیپ‌ها را بر اساس عکس‌العمل عملکرد به شرایط تنش می‌توان به ۴ گروه تقسیم کرد (Fernandez, 1992): (۱) ژنوتیپ‌هایی که تحت هر دو شرایط تنش و غیر تنش عملکرد بالایی تولید می‌کنند (گروه A). (۲) ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا تحت شرایط بدون تنش (گروه B). (۳) ژنوتیپ‌هایی با

قبل از کشت به‌طور یکنواخت پخش و به‌وسیله دیسک با خاک مخلوط شد. کاشت بذر توسط دست و در تاریخ بیست و هفتم اسفندماه ۱۳۹۲ انجام شد. در شرایط بدون تنش سه مرحله آبیاری به فاصله ۱۰ روز از یکدیگر در مرحله بعد از گلدهی انجام شد در صورتی که در شرایط تنش هیچ‌گونه آبیاری انجام نگردید. در نیمه دوم فروردین و نیمه اول اردیبهشت‌ماه مبارزه با علف‌های هرز مزرعه به‌صورت وجین دستی انجام و در هفته اول خردادماه نیز علیه آفت غلاف خوار نخود سم‌پاشی با استفاده از سم سویین به نسبت ۴ کیلوگرم در هکتار انجام شد. به هنگام برداشت محصول، با حذف اثر حاشیه‌ای (دو خط کناری و ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر خط) سطح ۱۸۰ سانتی‌متر مربع در هر کرت برداشت شد. پس از عملیات بوجاری عملکرد دانه لاین‌ها مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. محاسبات آماری لازم بر اساس موازین طرح بکار رفته (لاتیس ساده ۸×۸) و با نرم‌افزارهای Excel (به‌منظور محاسبه شاخص‌ها)، SPSS (به‌منظور محاسبه همبستگی و ترسیم نمودار سه‌بعدی) و STATISTICA (برای ترسیم بای‌پلات) انجام شد. شاخص‌های مقاومت طبق فرمول‌های زیر محاسبه شدند:

شاخص حساسیت به تنش (Fischer and Maurer, 1978):

$$SSI = \frac{1 - (Y_s / Y_p)}{1 - (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)} \quad [۱]$$

شاخص تحمل (Rosielle and Hamblin, 1981):

$$TOL = Y_p - Y_s \quad [۲]$$

شاخص میانگین بهره‌وری (Rosielle and Hamblin, 1981):

$$MP = \frac{Y_s + Y_p}{2} \quad [۳]$$

شاخص تحمل تنش (Fernandez, 1992):

$$STI = \frac{Y_s \times Y_p}{\bar{Y}_p^2} \quad [۴]$$

شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (Fernandez, 1992):

$$GMP = \sqrt{Y_s \times Y_p} \quad [۵]$$

شاخص میانگین هارمونی (Fernandez, 1992):

(B, C, D) و همچنین سودمندی شاخص موردنظر به‌عنوان معیاری برای انتخاب ژنوتیپ‌های پر محصول و متحمل به خشکی، سطح X-Z به‌وسیله کشیدن خطوط متقاطع به چهار گروه A, B, C و D تقسیم گردید. از آنجایی که در یک نمودار سه‌بعدی فقط روابط بین سه متغیر را می‌توان مطالعه کرد. برای مطالعه هم‌زمان بیش از سه متغیر، نمایش ترسیمی بای پلات بر مبنای تجزیه‌های چند متغیره، با استفاده از ماتریس داده‌های ژنوتیپ - شاخص برای تعیین روابط بین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های تحمل به خشکی در یک‌شکل واحد ترسیم گردید.

عملکرد بالا تحت شرایط تنش (گروه C) و (۴) ژنوتیپ‌هایی با عملکرد ضعیف در هر دو شرایط تنش و بدون تنش (گروه D).

پس از شناسایی بهترین شاخص‌ها، برای تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با عملکرد بالا در هر دو محیط از نمودار سه‌بعدی استفاده گردید که در آن عملکرد در محیط بدون تنش بر روی محور X، عملکرد در محیط تنش بر روی محور Z و یکی از شاخص‌های انتخاب‌شده فوق بر روی محور Y نمایش داده شد (Fernandez, 1992). برای نشان دادن روابط بین سه متغیر و جدا نمودن گروه A از سایر گروه‌ها

جدول ۱. شماره و نام ژنوتیپ‌های مطالعه شده

Table 1. Code and name of studied genotypes

کد Code	نام Name	کد Code	نام Name	کد Code	نام Name
1	X98TH75K1-83	23	SAR80J21K1-87	45	ICCV 10308
2	FLIP98-55C	24	SEL S.P.L.K1-87	46	ICCV 10310
3	SAR79J78K3-86	25	SEL S.P.L.K12-87	47	ICCV 10312
4	SAR79J18K1-86	26	SEL S.P.L.K23-87	48	ICCV 10314
5	SAR79J15K3-86	27	SEL S.P.L.K19-87	49	ICCV 10315
6	SAR79J610K1-86	28	FLIP05-143C	50	ICCV 10316
7	SAR79J78K5-85	29	SAR80J109K12-87	51	ICCV 10318
8	SAR79J87K1-85	30	SAR80J61K2-87	52	KAKA-2
9	SAR79J38K8-85	31	SAR80J61K6-87	53	FLIP 03-27 C
10	SAR79J710K2-85	32	SAR80J61K10-87	54	FLIP 05-67 C
11	FLIP03-110C	33	X03TH152-88 K6	55	FLIP 06-64 C
12	SAR79J18K1-86	34	X03TH153-88 K2	56	FLIP 06-65 C
13	SAR79J15K3-86	35	X03TH153-88 K3	57	FLIP 06-86 C
14	SAR79J78K5-85	36	FLIP 99-66 C (Adel)	58	FLIP 06-102 C
15	SAR80J21K13	37	ILC482 C	59	FLIP 06-142 C
16	SAR79J610K1-86	38	Hashem	60	FLIP 07-12 C
17	SAR79J710K2-85	39	Arman	61	FLIP 07-35 C
18	SAR80J61K2-87	40	Azad	62	FLIP 08-35 C
19	SAR80J57K1-87	41	Bivanij	63	FLIP 08-42 C
20	SAR79J78K3-86	42	ICCV 10304	64	ILC 3279
21	SAR79J87K1-85	43	ICCV 10305		
22	SAR80J78K2-87	44	ICCV 10306		

را ژنوتیپ‌های ۵۲، ۵۹، ۲۵، ۶۳ و ۶۰ داشتند (جدول ۲). ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی عملکرد بیشتر و باثبات‌تری دارند، تحمل نسبی بیشتری به تنش خشکی خواهند داشت. به همین دلیل انتظار می‌رود که این‌چنین ژنوتیپ‌هایی در سال‌های خشک و کم بارش دارای

نتایج و بحث

ارزیابی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی

نتایج به‌دست‌آمده از مقادیر شاخص‌ها و عملکرد نشان داد که در شرایط آبی بیشترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ‌های ۴۰، ۶۳، ۵۸، ۶۱ و ۳۶ و در شرایط دیم بیشترین عملکرد دانه

SSi باعث انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش می‌گردد اما این ژنوتیپ‌ها دارای پتانسیل عملکرد پایینی می‌باشند (Fernandez, 1992; Schneider et al., 1997)؛ بنابراین، این دو شاخص نمی‌توانند به‌تنهایی شاخص مناسبی جهت گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش باشند. ژنوتیپ‌های ۴۰، ۶۳، ۳۶، ۵۸ و ۶۰ بر اساس شاخص‌های STI، GMP، MP، HMP، K1STI و K2STI که مقادیر بالای آن‌ها نشان‌دهنده تحمل به خشکی است، متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۲۹، ۱۱، ۴۶، ۵۱ و ۱۲ حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر اساس شاخص YI ژنوتیپ‌های ۵۲، ۲۵، ۵۹، ۶۳، ۶۰ و ۴۰ متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۵۱، ۱۱، ۱۲، ۴۶ و ۲۹ به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند.

حداقل عملکرد اقتصادی و در سال‌های پربارش با عملکرد بالا ظاهر شوند. در این پژوهش ژنوتیپ‌های ۴۰ و ۶۳ در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش، عملکرد نسبتاً بالایی داشتند.

بر اساس شاخص TOL، ژنوتیپ‌های ۵۰، ۱۸، ۷، ۱۷ و ۴۳ متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۴۱، ۵۸، ۶۱، ۱۴ و ۴۰ حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. کمترین مقدار SSI را ژنوتیپ‌های ۱۸، ۲۵، ۱۷، ۲۴ و ۵۲ و بیشترین مقدار را ژنوتیپ‌های ۴۵، ۶۴، ۴۶، ۱۴ و ۲۹ دارا بودند. ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۱۸ متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های SSI و TOL بودند. انتخاب بر اساس شاخص TOL باعث گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین در شرایط نرمال می‌گردد (Rosielle and Hambling, 1981; Fernandez, 1992).

جدول ۲. مقادیر شاخص‌های مقاومت به خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و بدون تنش

Table 2. Values and ranking of drought stress indices and yield under drought stress and non-stress conditions

G	Yp (Kg/ha)	Ys (Kg/ha)	STI	TOL	SSI	MP	GMP	HMP	YI	K1STI	K2STI	STS
1	952	368	0.33	584	0.969	660	592	531	0.98	0.29	0.32	-1.27
2	826	390	0.31	436	0.834	608	568	530	1.04	0.20	0.33	0.01
3	749	306	0.22	444	0.935	527	479	434	0.81	0.12	0.14	-5.57
4	1073	360	0.37	713	1.049	717	622	539	0.96	0.41	0.34	-1.41
5	997	379	0.36	619	0.980	688	615	549	1.01	0.34	0.37	-0.39
6	933	382	0.34	551	0.932	658	597	543	1.02	0.28	0.35	-0.32
7	749	346	0.25	403	0.850	548	509	474	0.92	0.13	0.21	-2.89
8	985	411	0.39	574	0.921	698	636	580	1.09	0.36	0.46	1.84
9	1137	340	0.37	797	1.107	739	622	524	0.91	0.46	0.30	-2.59
10	1104	293	0.31	810	1.160	698	569	463	0.78	0.36	0.19	-6.06
11	740	225	0.16	515	1.099	482	408	345	0.60	0.08	0.06	-10.91
12	645	213	0.13	433	1.059	429	371	320	0.57	0.05	0.04	-11.46
13	911	387	0.34	525	0.910	649	593	543	1.03	0.27	0.36	-0.09
14	1175	261	0.29	913	1.228	718	554	428	0.70	0.39	0.14	-8.11
15	867	325	0.27	543	0.988	596	531	472	0.86	0.19	0.20	-4.35
16	1036	283	0.28	752	1.147	659	542	445	0.75	0.29	0.16	-6.93
17	827	421	0.33	406	0.776	624	590	558	1.12	0.22	0.42	2.10
18	887	486	0.41	401	0.714	686	656	627	1.29	0.31	0.69	6.74
19	867	329	0.27	539	0.981	598	534	477	0.88	0.20	0.21	-4.08
20	892	372	0.32	520	0.920	632	577	526	0.99	0.24	0.31	-1.10
21	996	340	0.32	656	1.040	668	582	507	0.91	0.31	0.27	-3.07
22	968	320	0.30	648	1.058	644	556	481	0.85	0.26	0.21	-4.55
23	993	376	0.36	617	0.982	684	611	545	1.00	0.34	0.36	-0.62
24	885	434	0.37	451	0.805	659	620	582	1.16	0.27	0.49	3.11
25	969	513	0.47	456	0.744	741	705	671	1.37	0.43	0.88	9.10
26	1186	492	0.56	694	0.924	839	764	696	1.31	0.75	0.96	9.17
27	1100	447	0.47	653	0.937	773	701	636	1.19	0.54	0.67	5.03
28	1084	421	0.44	663	0.967	752	675	606	1.12	0.49	0.55	3.00
29	963	181	0.17	782	1.283	572	418	305	0.48	0.15	0.04	-14.05
30	1075	298	0.31	777	1.142	686	566	466	0.79	0.34	0.19	-5.83

جدول ۲. ادامه

Table 2. Continued

G	Yp (Kg/ha)	Ys (Kg/ha)	STI	TOL	SSI	MP	GMP	HMP	YI	K1STI	K2STI	STS
31	843	296	0.24	547	1.025	569	499	438	0.79	0.16	0.15	-6.30
32	937	288	0.26	650	1.095	613	519	440	0.77	0.22	0.15	-6.78
33	1092	328	0.34	765	1.106	710	598	504	0.87	0.39	0.26	-3.66
34	841	374	0.30	467	0.877	607	561	518	1.00	0.20	0.30	-1.06
35	801	358	0.27	443	0.874	580	535	495	0.95	0.17	0.25	-2.15
36	1330	500	0.64	830	0.986	915	815	727	1.33	1.07	1.13	11.29
37	1314	452	0.57	862	1.036	883	771	673	1.21	0.94	0.82	7.17
38	1103	340	0.36	763	1.093	721	612	519	0.90	0.42	0.29	-2.76
39	1204	454	0.52	750	0.984	829	739	659	1.21	0.72	0.76	6.32
40	1450	507	0.70	943	1.027	979	857	751	1.35	1.41	1.28	13.41
41	1301	413	0.51	888	1.078	857	733	627	1.10	0.83	0.62	3.90
42	1160	462	0.51	698	0.951	811	732	660	1.23	0.66	0.77	6.55
43	715	309	0.21	407	0.898	512	470	431	0.82	0.10	0.14	-5.32
44	1075	439	0.45	637	0.935	757	687	623	1.17	0.50	0.61	4.25
45	937	244	0.22	693	1.168	591	478	387	0.65	0.18	0.09	-9.74
46	825	194	0.15	631	1.209	509	400	313	0.52	0.10	0.04	-13.13
47	1085	385	0.40	700	1.019	735	646	568	1.03	0.45	0.42	0.41
48	876	319	0.27	557	1.004	598	529	468	0.85	0.20	0.19	-4.72
49	1062	292	0.30	770	1.145	677	557	458	0.78	0.32	0.18	-6.24
50	695	297	0.20	398	0.905	496	454	416	0.79	0.09	0.12	-6.03
51	667	239	0.15	428	1.014	453	399	351	0.64	0.06	0.06	-9.81
52	1074	521	0.53	553	0.814	797	748	701	1.39	0.59	1.03	10.42
53	1151	448	0.49	703	0.964	800	718	645	1.19	0.62	0.70	5.48
54	1110	488	0.52	622	0.885	799	736	678	1.30	0.61	0.87	8.20
55	1113	371	0.39	742	1.053	742	642	556	0.99	0.47	0.38	-0.51
56	1226	430	0.50	797	1.026	828	726	636	1.14	0.72	0.66	4.60
57	1212	454	0.53	758	0.988	833	742	661	1.21	0.74	0.77	6.39
58	1367	465	0.61	902	1.042	916	797	694	1.24	1.08	0.93	8.75
59	1125	514	0.55	611	0.858	819	760	705	1.37	0.67	1.03	10.32
60	1220	508	0.59	712	0.922	864	787	717	1.35	0.84	1.08	10.76
61	1333	429	0.55	904	1.071	881	756	649	1.14	0.93	0.71	5.46
62	1205	431	0.50	774	1.015	818	721	635	1.15	0.69	0.65	4.54
63	1389	510	0.68	879	1.000	950	842	746	1.36	1.25	1.25	12.87
64	1083	276	0.28	807	1.178	679	546	439	0.73	0.32	0.15	-7.36

G: ژنوتیپ، Ys: عملکرد در شرایط تنش، Yp: عملکرد در شرایط غیرتنش، STI: شاخص تحمل تنش، TOL: شاخص تحمل، SSI: شاخص حساسیت تنش، MP: میانگین بهره وری، GMP: میانگین بهره وری هندسی، HAM: میانگین بهره وری هارمونیک، YI: شاخص عملکرد، STS: روش امتیازدهی تحمل تنش

G: Genotype; Ys: Yield in Stress Condition; Yp: Yield in non-Stress Condition; STI: Stress Tolerance Index; TOL: Tolerance index; SSI: Stress Susceptibility Index; MP: Mean Productivity; GMP: Geometric Mean Productivity; HAM: Harmonic Mean Productivity; YI: Yield Index; STS: Stress Tolerance Score

از تمام شاخص‌ها در این روش استفاده گردید و ژنوتیپ‌های ۴۰، ۳۶، ۵۸، ۶۳ و ۶۰ را به‌عنوان متحمل‌ترین (جدول ۲) و ژنوتیپ‌های ۲۹، ۴۶، ۱۲، ۱۱ و ۵۱ نیز به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی معرفی کرد. محققین دیگری نیز از STS به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در گندم استفاده نمودند (Ghasemi and Farshadfar, 2015; Sardouei_Nasab et al., 2014; Abdolshahi et al., 2013).

روش امتیازدهی تحمل تنش (STS)

با توجه به اینکه شاخص‌ها در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل و حساس دارای تفاوت‌هایی می‌باشند مثلاً بر اساس شاخص SSI ژنوتیپ‌های ۱۸، ۲۵ و ۱۷ متحمل‌ترین ولی بر اساس شاخص‌های STI و TOL به ترتیب ژنوتیپ‌های ۴۰، ۶۳، ۳۶ و ۵۰، ۱۸، ۱۷ متحمل‌ترین هستند، در این آزمایش از روش امتیازدهی تحمل تنش (STS) استفاده شد که بر اساس آن

نتایج همبستگی

با توجه به جدول همبستگی (جدول ۴)، بین عملکرد در هر دو شرایط آبی و دیم با شاخص‌های STI، MP، GMP، HAM، K1STI، YI و K2STI همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد داشتند، بنابراین بر اساس همبستگی می‌توان این شاخص‌ها را مناسب برای انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش دانست. شدت تنش (Stress Intensity) در این آزمایش ۰/۶۳ است. محققان دیگری نیز این شاخص‌ها را برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط مناسب دانستند (Fernandez, 1992; Ober et al., 2005; Sadeghzadeh-Ahari, 2006). در بسیاری از مطالعات وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار اغلب این شاخص‌ها با عملکرد دانه در گندم (Kakaei et al., 2012; Ghasemi and Farshadfar, 2015)، کلزا (Zebarjadi et al., 2015) و گندم دوروم (Zebarjadi et al., 2013) گزارش شده است. در این پژوهش برای تعیین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به خشکی از نمودار سه‌بعدی استفاده شد. با توجه به

اینکه شاخص‌های GMP، MP و STI دارای کارایی یکسان در شناسایی ژنوتیپ‌های گروه A می‌باشند و اینکه همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار بین این سه شاخص است (جدول ۴) بنابراین فقط نمودار سه‌بعدی بر اساس مدل فرناندز (۱۹۹۲) برای شاخص STI رسم گردید (شکل ۱). در مطالعه نمودار سه‌بعدی مشاهده گردید ژنوتیپ‌ها در چهار گروه قرار گرفتند و با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های ۴۰، ۶۳، ۳۶، ۶۰، ۲۶، ۵۸ و ۳۷ در منطقه A قرار گرفتند که دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش می‌باشند و ژنوتیپ‌های ۲۹، ۴۶، ۱۱، ۵۱ و ۱۲ در منطقه D که دارای عملکرد پایین در هر دو شرایط تنش و بدون تنش می‌باشند که نشان‌دهنده حساسیت این ژنوتیپ‌ها به تنش است (شکل ۱). استفاده از نمودار سه‌بعدی جهت غربال ژنوتیپ‌های گروه A توسط برخی محققین گزارش شده است (Fernandez, 1992; Farshadfar and Sutka, 2002; Kakaei et al., 2012; Cheghakabudi et al., 2012)

جدول ۳. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی

Tabel 3. Principle component analysis for different drought resistance indices

شاخص	شاخص	میانگین		شاخص		میانگین		شاخص		میانگین	
		تحميل تنش	تحميل تنش	هندسی	تحميل تنش	تحميل تنش	تحميل تنش	تحميل تنش	تحميل تنش	تحميل تنش	تحميل تنش
تغییر یافته	تغییر یافته	بهره‌وری	بهره‌وری	بهره‌وری	بهره‌وری	بهره‌وری	بهره‌وری	بهره‌وری	بهره‌وری	بهره‌وری	بهره‌وری
K2STI	K1STI	YI	HMP	GMP	MP	SSI	TOL	STI	variance	Eigen value	Component
0.367	0.357	0.350	0.371	0.379	0.367	-0.109	0.20	0.38	76.543	6.88	1
-0.102	0.195	-0.27	-0.143	0.001	0.174	0.679	0.60	0.01	98.437	1.97	2

STI : شاخص تحمل تنش، TOL: شاخص تحمل، SSI: شاخص حساسیت تنش، MP: میانگین بهره‌وری، GMP: میانگین بهره‌وری هندسی، HAM: میانگین بهره‌وری هارمونیک، YI: شاخص عملکرد، KSTI: شاخص تحمل تنش تغییر یافته

STI: Stress Tolerance Index; TOL: Tolerance index; SSI: Stress Susceptibility Index; MP: Mean Productivity; GMP: Geometric Mean Productivity; HAM: Harmonic Mean Productivity; YI: Yield Index.

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به منظور درک دقیق‌تر ارتباط شاخص‌ها و عملکرد برای هر دو شرایط مناسب و کاربرد زیادی داشته است. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که مؤلفه‌های اول و دوم در مجموع ۹۸/۴۳۷ درصد

از تنوع موجود بین متغیرها را توجیه می‌کنند (جدول ۳). حضور ژنوتیپ‌ها در بخش‌های مختلف فضای بای پلات بیانگر تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها است (شکل ۲). مؤلفه اصلی اول دارای همبستگی مثبت و بالایی با شاخص‌های STI، GMP، MP، HAM، YI، K1STI و K2STI بوده، لذا این مؤلفه،

اینکه شاخص‌های STI، GMP، MP، HAM، YI، K1STI و K2STI با عملکرد در هر دو شرایط دارای زاویه تند هستند، نشان‌دهنده همبستگی مثبت و معنی‌دار این شاخص‌ها با عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش است؛ بنابراین، به کمک بای‌پلات نیز این شاخص‌ها به‌عنوان شاخص‌های برتر در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفی شدند... ژنوتیپ‌های ۲۹، ۴۶، ۴۵، ۱۱، ۱۲ و ۵۱ به علت حضور در منطقه‌ای که دارای مقدار کم مؤلفه اول و مقدار بالای مؤلفه دوم و مجاورت با شاخص‌های SSI و TOL دارای حساسیت به تنش خشکی می‌باشند (شکل ۲). استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و بای‌پلات توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Zebarjadi, 2012; Kakaei et al., 2012; Zebarjadi et al., 2015).

تحمل به تنش نامیده شد و از آنجایی که مقدار بالای این شاخص‌ها مطلوب است هرچقدر مؤلفه اول افزایش یابد ژنوتیپ‌هایی که دارای عملکرد بالا با تحمل بیشتر هستند انتخاب می‌شوند. مؤلفه دوم نیز با شاخص‌های SSI و TOL همبستگی مثبت و بالایی داشته و با توجه به اینکه مقادیر پایین این شاخص‌ها مورد توجه است لذا این مؤلفه، بر حساسیت به تنش تأکید داشته و هرچه مقدار این شاخص بیشتر باشد ژنوتیپ‌های با حساسیت بالا به تنش انتخاب خواهند شد. با توجه به تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شکل بای-پلات ترسیم گردید که با بررسی آن مشاهده گردید که ژنوتیپ‌های ۴۰، ۶۳، ۳۶، ۵۸، ۶۰، ۲۶، ۵۸ و ۲۷ با قرار گرفتن در مجاورت شاخص‌های تحمل خشکی، ژنوتیپ‌های مناسب برای هر دو شرایط تنش و بدون تنش می‌باشند. با توجه به

جدول ۴. ضرایب همبستگی شاخص‌های مقاومت به خشکی با عملکرد دانه

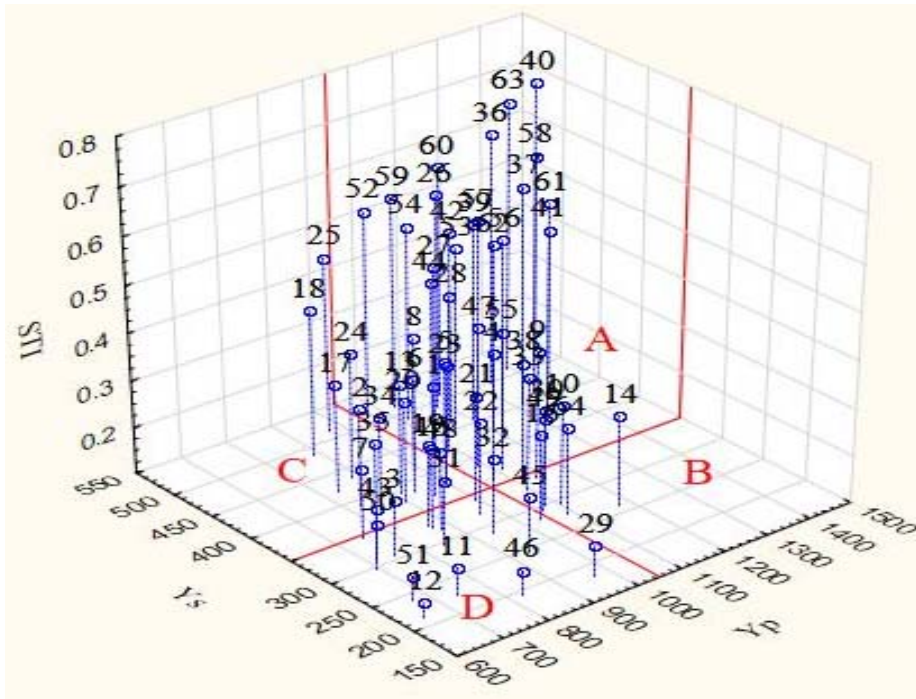
Table 4. Correlation coefficients between drought resistance indices and grain yield

	Yp	Ys	STI	TOL	SSI	MP	GMP	HMP	YI	K1STI	K2STI
Yp	1										
Ys	0.599**	1									
STI	0.865**	0.909**	1								
TOL	0.888**	0.163	0.543**	1							
SSI	0.232	0.633**	0.264*	0.649**	1						
MP	0.960**	0.799**	0.967**	0.723**	-0.047	1					
GMP	0.862**	0.921**	0.994**	0.533**	0.286*	0.969**	1				
HMP	0.740**	0.980**	0.970**	0.348**	0.473**	0.898**	0.979**	1			
YI	0.599**	1**	0.909**	0.163	0.633**	0.799**	0.921**	0.980**	1		
K1STI	0.924**	0.743**	0.947**	0.711**	-0.01	0.953**	0.919**	0.847**	0.743**	1	
K2STI	0.735**	0.932**	0.964**	0.370**	0.402**	0.878**	0.943**	0.954**	0.932**	0.890**	1

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

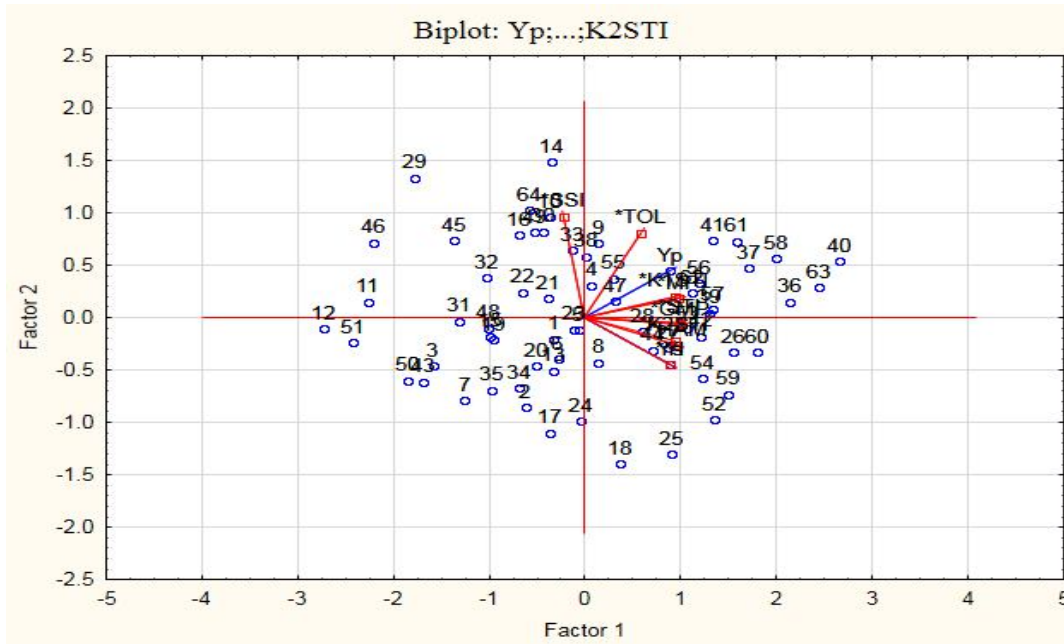
*, ** Significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively

Ys: عملکرد در شرایط تنش، Yp: عملکرد در شرایط غیرتنش، STI: شاخص تحمل تنش، TOL: شاخص تحمل، SSI: شاخص حساسیت تنش، MP: میانگین بهره وری، GMP: میانگین بهره وری هندسی، HAM: میانگین بهره وری هارمونیک، YI: شاخص عملکرد، KSTI: شاخص تحمل تنش تغییر یافته
Ys: Yield in Stress Condition; Yp: Yield in non-Stress Condition; STI: Stress Tolerance Index; TOL: Tolerance index; SSI: Stress Susceptibility Index; MP: Mean Productivity; GMP: Geometric Mean Productivity; HAM: Harmonic Mean Productivity; YI: Yield Index



شکل ۱. گزینش ژنوتیپ‌های تحمل کننده تنش خشکی با استفاده از شاخص تحمل تنش (STI)

Fig.1. Selection of drought tolerant genotypes using Stress Tolerance Index (STI)



شکل ۲. نمایش بای پلات شاخص‌های مقاومت به خشکی در ژنوتیپ‌های نخود بر اساس دو مؤلفه اول

Fig. 2. The bi-plot display of drought resistance indices of chickpea genotypes based on first two components.

نشان می‌داد، به همین منظور در نخود اقدام به استفاده از شاخص STS شد که این شاخص بر مبنای شاخص‌های مختلف است و لذا نتیجه قابل قبولی در این پژوهش را ارائه نمود. بر این اساس در طی بررسی مزرعه‌ای ژنوتیپ‌های شماره ۴۰، ۳۶، ۵۸، ۶۳ و ۶۰ به‌عنوان متحمل (جدول ۲) و ژنوتیپ‌های ۲۹، ۴۶، ۱۲، ۱۱ و ۵۱ را نیز به‌عنوان حساس به تنش خشکی معرفی کرد. نتایج حاصل از روش ترسیم‌ی بای پلات و نمودار سه‌بعدی در توافق با یکدیگر و با شاخص STS بود.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به معضل خشکی مشخص گردید که رسیدن به ژنوتیپ‌های متحمل از اهداف اصلی اصلاح گران است. نتایج این تحقیق نشان داد که با تکیه به عملکرد در شرایط نرمال و یا شرایط تنش به‌تنهایی نمی‌توان به ژنوتیپ‌های متحمل رسید لذا ارزیابی عملکرد در هر دو شرایط می‌تواند بیانگر وضعیت تحمل آن‌ها باشد. شاخص‌های مختلفی در این تحقیق روی نخود اعمال گردید که نتایج آن‌ها تفاوت‌های را

منابع

- Abdolshahi, R., Safarian, A., Nazari, M., Pourseyedi, S., Mohamadi-Nejad, G., 2013. Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using different multivariate methods. Archives of Agronomy and Soil Science. 59, 685-704.
- Abiri, R., Zebarjadi, A. R., Ghobadi, M., Kafashi, A. K., Atabaki, N., 2012. Determination of advanced drought tolerant and breeder lines in *Hordeum vulgare* L. under Kermanshah conditions. Iranian Journal of Field Crop Science. 43(1): 175-188. [In Persian with English Summary].
- Ashraf, N., Ghai, D., Barman, P., Basu, S., Gangisetty, N., Mandal, M.K., Chakraborty, N., Datta, A., Chakraborty, S., 2009. Comparative analyses of genotype dependent expressed sequence tags and stress-responsive transcriptome of chickpea wilt illustrate predicted and unexpected genes and novel regulators of plant immunity. BMC Genomics. 10, 415.
- Bagheri, A., Mahmmodi, A.A., Ghezeli, F.D., 2001, Agronomy and Breeding of Bean. Jahad-Daneshgahi Press. Pp: 9 and 556. [In Persian].
- Bansal, K.C., Sinha, S.K., 1991. Assessment of drought resistance in 20 accessions of *Triticum aestivum* L. and related species. I. Total dry matter and grain yield stability, Euphytica, 56, 7-14.
- Blum, A., 2011. Drought Resistance and Its Improvement. Plant Breeding for Water-Limited Environments. Springer, New York, Chapter. 3, 53-152.
- Chaghakabudi, Z., Zebarjadi, A.R., Kahrizi, D., 2012. Evaluation of drought tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes in laboratory and field conditions. Seed and Plant Improvement Journal. 1, 17-38 [In Persian with English Summary].
- Chowdhry, M.A., Ambreen, A., Khaliq, I., 2002. Genetic control of some polygenic traits in *aestivum* species. Asian Journal of Plant Science. 1, 235-237.
- FAO., 2015. FAOSTAT. Food and agriculture organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>.
- Farshadfar, E., Farshadfar, M., Moradi, F., 2011. Screening agronomic, physiological and metabolite indicators of drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). American Journal Science Research. 38, 88-96.
- Farshadfar, E., Sutka, J., 2002. Screening drought tolerance criteria in maize. Acta Agronomica Hungarica. 50(4), 411-416.
- Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceeding of the International Symposium on "Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress", Taiwan, 13-16 August 1992, 257-270.
- Fischer, R.A., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Grain yield response. Australian Journal of Agricultural Research. 29, 897-912.
- Ghasemi, M., Farshadfar, E., 2015. Screening drought tolerant genotypes in wheat using multivariate and stress tolerance score methods. International Journal of Biosciences. 6(1), 326-333.
- Kakaei, M., Mazahery Iaghab, H., Zebarjadi, A.R., Mahdavi Damghani, A.M., 2012. Evaluation of tolerance to drought stress in some bread wheat genotypes. Plant Production Technology. 4(1), 1-14. [In Persian with English Summary].
- Lin, C.S., Binns, M.R., Lefkovitch, L.P., 1986. Stability analysis: where do we stand? Crop Sciences. 26, 894-900.
- Nasri, R., Heydarimoghadam, E., Siadat, A., Paknejad, F., Sadeghi-Shoja, M., 2012. Path analysis of trait correlation and supplemental irrigation on yield and yield components of chickpea in Ilam. Journal of Agronomy and Plant

- Breeding. 8(2), 161-172. [In Persian with English Summary].
- Ober, E.S., Le-Bloa, M., Clark, C.J.A., Royal, A., Jaggard, K.W., Pidgeon, J.D., 2005. Evaluation of physiological traits as indirect selection criteria for drought tolerance in sugar beet. *Field Crops Research*. 91, 231- 249.
- Ramirez-vallejo, P., Kelly, J.D., 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica*. 99, 127-136.
- Rosegrant, M.W., Agcaoili, M., 2010. Global food demand, supply, and price prospects to 2010. International Food Policy Research Institute, Washington, DC, USA.
- Rosielle, A.A., Hamblin, J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Sciences*. 21, 943-946.
- Sabaghpour, S.H., Razavi, F., Danyali, S.F., Tobe, D., Ebadi, A., 2012. Additive main effect and multiplicative interaction analysis for grain yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Iran. International Scholarly Research Network (ISRN) *Agronomy*. 6 Pages.
- Sadeghzadeh-Ahari, D., 2006. Evaluation for tolerance to drought stress in dry land promising durum wheat genotype. *Crop Science*. 8, 30-45.
- Sardouie-Nasab, S., Mohammadi-Nejad, Gh., Nakhoda, B., 2014. Field screening of salinity tolerance in Iranian bread wheat lines. *Crop Science*. 54, 1489-1496.
- Schneider, K.A., Rosales-Serna, R., IbarraPerez, F., Cazares-Enriques, B., AcostaGallegos, J.A., Ramirez-vallejo, P., Wassimi, N., Kelly, J.D., 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*. 37, 43-50.
- Turner, N.C., Wright, G.C., Siddique, K.H.M., 2001. Adaptation of grain legumes (Pulses) to water limited environments. *Advances in Agronomy*. 71, 193-231.
- Varshney, R.K., Song, C., Saxena, R.K., Azam, S., Yu, S., Sharpe, A.G., Cannon, S., Baek, J., Rosen, B.D., Tar'an, B., Millan, T., Zhang, X., Ramsay, L.D., Iwata, A., Wang, Y., Nelson, W., Farmer, A.D., 2013. Draft genome sequence of chickpea (*Cicer arietinum* L.) provides a resource for trait improvement. *Nature Biotechnology*. 31(3), 240-249.
- Zebarjadi, A.R., Tavakoli Shadpi, S., Etminan, A., Mohammadi, R., 2013. Evaluation of drought stress tolerance in durum wheat genotype using drought tolerance indices. *Seed and Plant Improvement Journal*. 29(1), 1-12. [In Persian with English Summary].
- Zebarjadi, A.R., Sartip, A., Najafi, A., Rezaeizad, A., 2015. Evaluation of drought tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes using indicators of drought resistance. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 8(2), 345-348. [In Persian with English Summary].