

گروه‌بندی شاخص‌های تحمل و واکنش نژادگان‌های نخود تیپ کابلی و دسی نسبت به تنش خشکی

خداپخش گودرزوند چگینی^۱، رضا فتوت^{۲*}، محمدرضا بی‌همتا^۳، منصور امید^۳ و علی‌اکبر شاه‌نجات بوشهری^۳
۱. دانشجوی سابق دکتری، ژنتیک بیومتری، دانشگاه زنجان و کارشناس پژوهش‌های کاربردی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آب در اراضی دیم دانشگاه تهران (کوهین)
۲. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
۳. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۲۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۶/۲۳)

چکیده

در این بررسی واکنش ۶۴ نژادگان (ژنوتیپ) نخود به تنش خشکی در ایستگاه تحقیقاتی دیم کوهین (دانشگاه تهران) با آزمایشی در قالب طرح لاتیس ساده ۸×۸ در دو شرایط تنش و بدون تنش ارزیابی شدند. بر پایه نتایج به‌دست‌آمده از نظر شاخص‌های واکنش خشکی GMP, MP, HARM, STI, YI, K₁STI و K₂STI نژادگان شماره ۵۱، از لحاظ شاخص‌های SSI, YSI, YR و RDI نژادگان شماره ۱۸، از نظر شاخص‌های TOL, ATI, SSPI و DRI نژادگان شماره ۱۶ و از لحاظ شاخص‌های DI و SNPI نژادگان شماره ۴۲ به‌عنوان متحمل‌ترین نژادگان‌ها مشخص شد. شاخص‌های GM, MP, HARM, STI, TOL, YI, DI, ATI, SSPI, SNPI, K₁STI و K₂STI در هر دو شرایط بدون تنش و تنش همبستگی قوی و مثبتی را با عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش نشان داده و برای گزینش نژادگان متحمل و حساس معرفی شدند. تحلیل عاملی در عامل اول با توجیه ۶۲/۵۷ درصد تغییر، بیشترین نمره را به نژادگان‌های ۵۱، ۶۰، ۵۳ و ۵۲ (منطقه A) به‌عنوان متحمل‌ترین، کمترین نمره را به نژادگان‌های ۳۲، ۲۷، ۲۴ و ۶۲ (منطقه D) به‌عنوان حساس‌ترین نژادگان داده و عامل دوم با توجیه ۳۳/۲۸ درصد از تغییر، بیشترین نمره را به نژادگان‌های ۲۹، ۵۱، ۶۰ و ۲۸ (منطقه A) و کمترین نمره را به نژادگان‌های ۱۸، ۱۶، ۴۲، ۲۴ و ۶۴ (منطقه C و D) داد. بر پایه تجزیه خوشه‌ای شاخص‌های واکنش به خشکی، نژادگان‌ها در سه خوشه گروه‌بندی شدند. به‌طوری‌که نژادگان‌های متحمل در خوشه ۳، حساس در خوشه ۲ و بینابین در خوشه ۱ دسته‌بندی قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، شاخص‌های واکنش خشکی، عملکرد دانه، نخود کابلی.

Grouping of tolerance indices and response of Kabuli and Desi type chickpea genotypes to drought stress

Khodabakhsh Goodarzvand Chegini¹, Reza Fotovat^{2*}, Mohammad Reza Bihanta³, Mansour Omidi³ and Ali Akbar Shahnejat Boushehri³

1. Former Ph. D. Student of Biometry Genetics, Zanjan University and Applied Research Expert, Soil and Water Conservation Research Center at University of Tehran (Kuhin Dry Lands), Iran

2. Ph.D. Candidate and Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran

3. Professor, Department of Plant Breeding and Agronomy, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: Jul. 11, 2016 - Accepted: Sep. 13, 2016)

ABSTRACT

In this study, response of 64 Kabuli chickpea genotypes under drought stress was conducted by 8*8 simple lattice designs under non-stress and stress conditions on the Research Field of Koochin (Tehran University). According to MP, GMP, HARM, STI, YI, K₁STI and K₂STI, genotype No-51, according to SSI, YSI, YR and RDI, genotype No-18, according to TOL, ATI, SSPI and DRI, genotype No-16, according to DI and SNPI, genotype No-42 were identified as the most tolerant genotypes. Indices of MP, GM, HARM, STI, TOL, YI, DI, ATI, SSPI, SNPI, K₁STI and K₂STI had robust and positive correlation with yield in non stress and stress conditions and introduced for selection of tolerate and sensitive genotypes to drought stress. Factor coefficient in first factor with explanation of 62.57%, gave the highest scores to genotypes of 51, 60, 53 and 52 (Zone of A) as most tolerance gave the least scores to genotypes of 32, 27, 24 and 62 as most sensitive (Zone of D) and second factors with explanation of 33.28% gave the highest scores to genotypes of 29, 51, 60 and 28 (Zone of A) as most tolerance gave the least scores to genotypes of 18, 16, 42 and 24 as most sensitive (Zone of D and C). The cluster analysis based on drought tolerance indices, the genotypes were grouping in three clusters, so that tolerant genotypes grouped in cluster three, the sensitive genotypes grouped in cluster two and the semi sensitive genotypes grouped in cluster one.

Keywords: Drought stress, drought tolerance response, Kabuli chickpea, Seed yield.

Abbreviations: YP= potential yield; YS = Stress yield; MP= Mean productivity; GMP= Geometric Mean productivity; HARM= Harmonic Mean; SSI= Susceptibility Stress index; STI= Stress Tolerance index; TOL= Tolerance index; YI= Yield index; YSI= Yield stability index; DI= Drought resistance index; ATI= Abiotic tolerance index; SSPI= Stress Susceptibility Percent Index; SNPI= Stress Non-stress productivity index; K₁STI & K₂STI= Modified Stress Tolerance index; RDI= Relative Drought index; DRI= Drought Response index.

* Corresponding author E-mail: r_fotovat@znu.ac.ir

مقدمه

از نظر سطح زیر کشت در جهان نخود در بین حبوبات در رده سوم قرار می‌گیرد (Saxena *et al.*, 1996)، ولی در ایران که یکی از خاستگاه‌های این گیاه به شمار می‌رود، در بین انواع حبوبات چه از نظر سطح زیر کشت و چه از نظر تولید در درجه اول اهمیت قرار دارد، به طوری که به جز در نواحی مرطوب شمالی در بیشتر نقاط کشور کشت می‌شود (Jahansuz *et al.*, 2004). در میان عامل‌های محیطی مختلف، خشکی با اهمیت‌ترین تنش محیطی است که رشد، نمو و بهره‌وری گیاه را محدود می‌کند (Boyer, 1982). این تنش سبب کاهش ۵۰-۴۰ درصدی عملکرد نخود در بیشتر کشورهای جهان می‌شود (Ahmad *et al.*, 2005). از آنجاکه تحمل خشکی یک صفت کمی وراثتی است، گزینش نژادگان (ژنوتیپ)هایی که بتوانند خشکی را با یک شاخص مناسب تحمل کند، موضوعی مورد توجه نژادگران شده است. اختلاف‌های نژادگانی در تحمل خشکی با محاسبه شاخص‌های تحمل خشکی مقایسه می‌شوند (Johansen *et al.*, 1994). اصلاح برای مقاومت به خشکی خیلی پیچیده است، زیرا محیط تنش در اصل متغیر بوده و موفقیت رقم‌ها قابل پیش‌بینی نیستند. با این حال، به واسطه وراثت‌پذیری پایین برای تحمل به خشکی و نبود راهبرد گزینشی مؤثر، گسترش رقم‌های مقاوم با مانع روبه‌رو می‌شود (Kirigwi *et al.*, 2004). تاکنون برای شناسایی رقم‌های متحمل به تنش شاخص‌های چندی بر پایه روابط ریاضی بین شرایط تنش و غیر تنش ارائه شده است. ولی به‌طور کلی شاخص‌هایی که در هر دو شرایط تنش و غیر تنش همبستگی بالایی با عملکرد داشته باشند به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند، زیرا این شاخص‌ها قادر به شناسایی نژادگان‌های با عملکرد بالا در هر محیط هستند و می‌توان از آن‌ها برای برآورد پایداری عملکرد استفاده کرد (Naeemi *et al.*, 2008). عملکرد دانه و اجزای عملکرد به‌عنوان معیار اصلی گزینش برای بهبود سازگاری به محیط تنش در برخی برنامه‌های اصلاحی باقی می‌ماند. غربال کردن دقیق‌تر نژادگان‌ها و اصلاح برای سازگاری به شرایط تنش، نیازمند همسان‌سازی

محیط تنش خشکی همسان با شرایط مزرعه بوده و بایستی قابل تکرار نیز باشد (Ramirez & Kelly, 1998). واکنش گیاهان از نظر عملکرد نژادگان‌ها در محیط تنش و بدون تنش به چهار گروه تقسیم می‌شوند. گروه A شامل نژادگان‌هایی است که عملکرد خوبی در هر دو شرایط بدون تنش و تنش دارند. گروه B شامل نژادگان‌هایی است که تنها در شرایط مطلوب عملکرد خوبی دارند. گروه C شامل نژادگان‌هایی است که تنها در شرایط تنش عملکرد خوبی نسبت به دیگر نژادگان‌ها دارند و گروه D نژادگان‌هایی را در بر می‌گیرند که در هر دو شرایط مطلوب و تنش عملکرد رضایت‌بخشی ندارند. شاخص مطلوب برای تعیین مقاومت یا تحمل تنش شاخصی است که بتواند نژادگان‌های گروه A را از نژادگان‌های دیگر گروه‌ها جداسازی کند (Fernandez *et al.*, 1992). مناسب‌ترین شاخص برای گزینش رقم‌های نخود متحمل به تنش، شاخصی است که همبستگی به نسبت بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش داشته باشد، زیرا همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص‌ها و عملکرد در هر دو شرایط تنش و غیر تنش، مناسب بودن این شاخص‌ها را برای ارزیابی تحمل به خشکی نژادگان‌ها نشان می‌دهد (Rosielle & Farshadfar *et al.*, 2002). محققان (Hamblin, 1981) شاخص متوسط تولید (MP) را معرفی کردند که باعث انتخاب نژادگان‌هایی می‌شود که عملکرد بالایی دارند ولی تحمل آن‌ها به تنش پایین است، برای رفع این مشکل شاخص GMP که بر پایه میانگین هندسی عملکرد نژادگان‌ها در شرایط تنش و بدون تنش محاسبه شده، ارائه شد (Fernandez, 1992) اما از آنجایی که این شاخص به مقادیر متفاوت عملکرد در شرایط تنش و غیر تنش حساسیت کمتری داشت، شاخص دیگری به نام شاخص تحمل به تنش (STI) را به‌منظور تعیین نژادگان‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش و دارای قابلیت تحمل به تنش معرفی کرد که می‌تواند گروه‌های B و C را از یکدیگر جداسازی کند. این شاخص شدت تنش و مقادیر عملکرد در دو محیط را در نظر می‌گیرد و می‌تواند نژادگان‌های گروه A را از

به تنش و میانگین هندسی عملکرد به‌عنوان بهترین شاخص‌ها در جداپذیری نژادگان‌های پایدار معرفی شدند. مقادیر کمتر شاخص TOL مطلوب بوده و اغلب نژادگان‌های گزینش‌شده بر پایه آن در شرایط بدون تنش ظرفیت عملکرد نسبی پائین و در صورت تنش عملکرد به نسبت بالایی دارند (Quisenberry, 1982). نتایج بررسی در بین نژادگان‌های نخود کابلی و تحلیل همبستگی بین عملکرد در شرایط مطلوب و عملکرد در تیمارهای آبیاری با شاخص‌های تحمل نشان داد، شاخص‌های STI و GMP مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال نژادگان‌های نخود در همه تیمارهای آبیاری بودند (Pouresmael *et al.*, 2009). نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه همبستگی شاخص‌ها با عملکرد دانه نشان داد که بین شاخص‌های STI، GMP، MP و HARM با عملکرد دانه در شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی، در هر سه مرحله رشدی، همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. بنابراین می‌توان این شاخص‌ها را به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها در انتخاب رگه (لاین)‌های متحمل به خشکی نخود که در شرایط آبیاری معمول و تنش، عملکرد بالایی دارند، در نظر گرفت (Eivazi *et al.*, 2012). در ارزیابی ۲۱ رگه نخود شاخص‌های HM، MP، GMP و STI را مناسب‌ترین شاخص‌ها برای گزینش رگه‌های مقاوم به خشکی نخود پیشنهاد شد (Farshadfar *et al.*, 2001). به نظر می‌رسد رقم‌هایی که در شرایط رطوبتی مناسب و شرایط رطوبتی محدود (تنش خشکی) عملکرد با ثبات‌تری داشته باشند و یا دست‌کم تفاوت عملکرد آن‌ها کم باشد احتمال دارد مقاومت نسبی بیشتری به خشکی خواهند داشت (Blum, 1988). از آنجاکه بهترین راه مقابله با خشکی تولید رقم‌های دارای تحمل بیشتر خشکی و یا رقم‌هایی با توانایی گریز از آن شرایط است، بنابراین اصلاح برای مقاومت به خشکی در گیاهان امری گریزناپذیر است. بر این اساس این تحقیق به‌منظور تعیین نژادگان‌های مناسب برای شرایط تنش خشکی، ارزیابی تحمل نژادگان‌های مورد ارزیابی بر پایه شاخص‌های چندگانه واکنش نسبت به خشکی و همچنین بررسی رابطه‌های بین شاخص‌ها، گروه‌بندی نژادگان‌ها بر پایه شاخص‌های

دیگر نژادگان‌ها جدا کند و بنابراین شاخص مناسبی برای انتخاب نژادگان‌های متحمل به تنش است. شاخص تحمل به تنش (STI) به دلیل آنکه نژادگان‌هایی را گزینش می‌کند که عملکرد زیادی در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارند، معیار مناسبی برای گزینش نژادگان‌های مقاوم به خشکی معرفی شده است. همچنین شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP) کمتر تحت تأثیر ارزش نهایی صفات است و می‌تواند نژادگان‌های پرعملکرد در هر دو محیط تنش و بدون تنش را از دیگر نژادگان‌ها متمایز کند (Fernandez, 1992). شاخص تحمل تنش (STI) می‌تواند نژادگان‌هایی را که در دو محیط تنش و غیر تنش عملکرد بالایی دارند را تشخیص دهد. میزان بالای این شاخص برای نژادگان نمایانگر تحمل به خشکی بیشتر و عملکرد بالقوه بیشتر آن نژادگان است. درحالی‌که شدت تنش (SI) در محاسبه STI منظور شده است، بنابراین قادر به جداسازی نژادگان‌های گروه A از گروه‌های B و C است (Fernandez, 1992). در نتایج آزمایشی، شاخص STI برای انتخاب نژادگان‌ها در شرایط تنش و بدون تنش بهتر از دیگر شاخص‌ها بود (Fernandez, 1992). معیار مقاومت به خشکی، وضعیت عملکرد دانه در شرایط خشک است و بر همین پایه شاخص حساسیت به تنش (SSI) معرفی و در تجزیه و تحلیل داده‌های آن‌ها معلوم شد که شاخص حساسیت مستقل از عملکرد بالقوه نیست (Fischer & Mourer, 1987). شاخص تحمل (TOL) به‌صورت اختلاف عملکرد محیط تنش و بدون تنش تعریف و همچنین شاخص میانگین محصول‌دهی به‌صورت میانگین عملکرد (MP) در دو محیط تنش و بدون تنش پیشنهاد شد (Rosielle & Hamblin, 1981). شاخص‌های تحمل (TOL)، میانگین عملکرد (MP)، حساسیت به تنش (SSI)، تحمل تنش (STI)، میانگین هندسی عملکرد (GMP) و میانگین هارمونیک (HM) از جمله شاخص‌هایی هستند که برای انتخاب رقم‌های متحمل به خشکی معرفی شده‌اند (Ahmadi *et al.*, 2000; Ganjali *et al.*, 2007; Safari *et al.*, 2005). در بررسی همبستگی شاخص‌ها (Kargar *et al.*, 2004) دو شاخص تحمل

$$SSI = \frac{(1 - (Ys/Yp))}{SI} \quad SI = 1 - \left(\frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p}\right)$$

شاخص تحمل خشکی (Fernandez, 1992):

$$STI = \frac{(Y_s \times Y_p)}{(\bar{Y}_p)^2}$$

شاخص تحمل (Rosielle & Hamblin, 1981):

$$Tol = Y_p - Y_s$$

شاخص عملکرد (Gavuzzi *et al.*, 1997):

$$YI = Y_s / \hat{Y}_s$$

شاخص پایداری عملکرد (Boslama & Schapaugh, 1984):

$$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$$

شاخص مقاومت به خشکی (Lan, 1998):

$$DI = \frac{[Y_s \times \left(\frac{Y_s}{Y_p}\right)]}{\bar{Y}_s}$$

شاخص تحمل غیر زیستی (Moosavi *et al.*, 2008):

$$ATI = \left[\frac{(Y_p - Y_s)}{\left(\frac{Y_p}{\bar{Y}_s}\right)} \right] \times [\sqrt{Y_p \times \bar{Y}_s}]$$

شاخص درصد حساسیت به تنش (Moosavi *et al.*, 2008):

$$SSPI = \left[\frac{Y_p - Y_s}{2\bar{Y}_p} \right] \times 100$$

شاخص تولید غیر تنشی تنش (Moosavi *et al.*, 2008):

$$SNPI = \left[\frac{(Y_p + Y_s)}{(Y_p - Y_s)} \right]^{1/3} \times [(Y_p \times Y_s \times \bar{Y}_s)^{1/3}]$$

شاخص تحمل تنش تعدیل‌شده ۱ (Farshadfar & Sutka, 2002):

$$MSTI = kiSTI, K1 = (Y_p)^2 / (\hat{Y}_p)^2$$

شاخص تحمل تنش تعدیل‌شده ۲ (Farshadfar & Sutka, 2002):

$$MSTI = kiSTI, K2 = (Y_s)^2 / (\hat{Y}_s)^2$$

نرخ کاهش عملکرد (Golestani-Araghi & Assad, 1998):

$$YR = 1 - \left(\frac{Y_s}{Y_p}\right)$$

شاخص خشکی نسبی (Fischer *et al.*, 1979):

$$RDI = \left[\frac{\left(\frac{Y_s}{\bar{Y}_p}\right)}{\left(\frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p}\right)} \right]$$

شاخص واکنش خشکی (Bidinger *et al.*, 1987):

$$DRI = \left[\frac{(YA - YES)}{(SES)} \right]$$

مورد نظر و در نهایت تعیین بهترین شاخص‌ها با جمع‌بندی نتایج اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر شمار ۶۴ نژادگان نخود تهیه‌شده از بانک ژن پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، آزمایشی در قالب طرح لاتیس ساده ۸×۸ در دو محیط بدون تنش و تنش ارزیابی شدند که پس از تجزیه واریانس طرح لاتیس و پایین بودن سودمندی نسبی کمتر از ۱۰۰ درصد نسبت به طرح بلوک‌های کامل تصادفی، این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو محیط و به‌صورت مرکب تجزیه شد. آماده‌سازی زمین در پاییز سال پیش و کوددهی بنابر نتایج آزمون خاک انجام شد (جدول ۱). هر کرت آزمایشی شامل یک خط ۸ متری با فاصله ۶۰ سانتی‌متر بین هر ردیف و فاصله ۱۵-۱۰ سانتی‌متری بین بوته‌ها در اواسط فروردین ۱۳۹۴ کشت شد. در طول دوره اجرای طرح از هیچ نوع کودی استفاده نشد و مبارزه با علف‌های هرز دستی انجام شد، همچنین برای رویارویی با کرم غلاف‌خوار نخود، یک مرحله سم‌پاشی با سم زولون به میزان ۲ لیتر در هکتار انجام شد. اعمال تنش پس از سه مرحله آبیاری مشترک، در تیمار تنش آغاز و در تیمار بدون تنش تا هشت مرحله ادامه یافت. برداشت در اواسط مردادماه ۱۳۹۴ انجام شد. یادداشت‌برداری از هر نژادگان در هر تکرار از سه بوته تصادفی انجام شد. شاخص‌های کمی مقاومت و حساسیت به تنش متعددی به شرح زیر استفاده شدند:

شاخص بهره‌وری (Rosielle & Hamblin, 1981):

$$MP = \frac{(Y_s + Y_p)}{2}$$

شاخص بهره‌وری هندسی (Fernandez, 1992):

$$GMP = \sqrt{Y_s \times Y_p}$$

میانگین هارمونیک (Kristin *et al.*, 1997; Fernandez, 1992):

$$HAM = \frac{[2(Y_p \times Y_s)]}{(Y_p + Y_s)}$$

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

جدول ۱. نتایج تجزیه خاک محل اجرای آزمایش در سال ۱۳۹۴

Table 1. Soil analysis results of the experimental site in 2015

Soil texture (Clay Loam)			EC	PH	Organic Matter	Total Nitrogen	Absorbable phosphorus	Absorbable phosphorus
Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	(ds.m ⁻¹)		(%)	(%)	(mgkg ⁻¹)	(mgkg ⁻¹)
33	23	44	0.462	7.66	0.49	0.049	4.06	338

به‌عنوان حساس‌ترین نژادگان معرفی کردند که بیشتر متأثر از محیط تنش بوده و در محیط بدون تنش کارایی لازم را ندارند.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود از نظر MP، GMP، HARM و STI نژادگان ۵۱ برترین و نژادگان ۳۲ کمترین رتبه را به خود اختصاص داده و می‌توانند به‌عنوان شاخص‌هایی با نتایج معتبر در گزینش رقم‌های متحمل نخود به‌کار روند. بنابر نتایج بررسی‌های محققان هر چه میزان STI، GMP، MP و HARM بالاتر باشد، تحمل خشکی بیشتر است (Blum, 1998)، برخی از محققان نیز شاخص‌های HARM، MP، GMP و STI را مناسب‌ترین شاخص‌ها برای گزینش رگه‌های مقاوم به خشکی نخود پیشنهاد کرده و اهمیت شاخص STI برای انتخاب نژادگان‌های متحمل به خشکی برای نخود گزارش کردند (Farshadfar *et al.*, 2001). انتخاب بر پایه MP میانگین عملکرد را در هر دو محیط تنش و بدون تنش افزایش می‌دهد (Fernandez, 1992). برخی نیز نشان دادند، میانگین هندسی تولید عملکرد دانه (GMP)، بهترین پیش‌بینی‌کننده عملکرد در محیط‌های تنش و بدون تنش است. آنان توصیه کردند که یک راهبرد اصلاحی مبتنی بر گزینش اولیه نژادگان‌ها بر پایه GMP، با گزینش بر پایه عملکرد دانه در محیط تنش منطبق می‌شود (Schneider *et al.*, 1997).

به‌طورمعمول هرچه میزان SSI کوچک‌تر باشد، میزان مقاومت به خشکی بالاتر است. اگر انتخاب بر پایه SSI انجام گیرد، نژادگان‌های گزینش‌شده در شرایط عادی عملکرد پایین ولی در شرایط تنش خشکی، عملکرد بالایی دارند. این شاخص معرفی‌شده برای انتخاب نژادگان‌های متحمل خشکی قادر به جداسازی نژادگان‌های متحمل به تنش آبی از نژادگان‌های با ظرفیت پایین عملکرد (گروه ۱ از ۳ نیست (Fischer & Maurer, 1978).

نتایج و بحث

مقایسه نژادگان‌ها بر پایه شاخص‌های تحمل به خشکی به‌منظور بررسی شاخص‌های مناسب تحمل خشکی برای غربالگری نژادگان‌های مورد بررسی، عملکرد دانه در هکتار در هر دو شرایط تنش و بدون تنش اندازه‌گیری و شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی محاسبه شدند (جدول ۲) تا افزون بر رتبه‌بندی نژادگان‌ها از نظر صفات اندازه‌گیری‌شده و تعیین رابطه‌های چند متغیره بین شاخص‌های مورد استفاده، نژادگان برتر، حساس و بینابین در دو محیط معرفی کردند. برای شناسایی رقم‌های مقاوم به خشکی، بین صفات فیزیولوژیکی و زراعی برای استفاده به‌عنوان معیار انتخاب برای مقاومت به خشکی، عملکرد دانه مورد اطمینان‌تر است (Singh *et al.*, 2001). از نظر شاخص‌های HARM، GMP، MP، STI_{K1}، STI_{K2} و STI_{YI}، نژادگان ۵۱ برترین رتبه و نژادگان ۳۲ کمترین رتبه را داشتند. شاخص GMP به مقادیر بسیار متغیر Ys و Yp حساسیت کمتری دارد درحالی‌که میزان عددی شاخص MP به‌علت تفاوت نسبی زیاد بین Ys و Yp آریب به‌سوی میزان بالاتر یعنی Yp خواهد داشت (Fernandez, 1992). شاخص‌هایی مانند SSI، YSI، YR و RDI نیز با نتایج همسان منجر به گزینش نژادگان ۱۸ به‌عنوان متحمل‌ترین شدند. شاخص‌های SSI، TOL، YSI، ATI، SSPI و YR و RDI وابسته به تفاوت دو محیط بوده و در صورت افزایش شدت تنش بیانگر تحمل و حساسیت نبوده بلکه گویای پایداری نژادگان‌هایی بوده که در هر دو محیط عملکرد کم و اختلاف عملکرد پایینی دارند، نژادگان ۲۹ را در کمترین رتبه قرار دادند. شاخص‌های SSI، ATI، TOL و SSPI و DRI که بیشتر در تنش‌های ملایم کاربرد داشته نیز به‌طور مشترک نژادگان ۱۶ را به‌عنوان متحمل‌ترین نژادگان مشخص کردند. دیگر شاخص‌ها مانند مقاومت به خشکی (DI) و شاخص بهره‌وری تنش غیر تنش (SNPI) نیز نژادگان ۴۲ را به‌عنوان متحمل‌ترین و نژادگان ۳۲ را

جدول ۲. مقادیر نژادگان‌ها بر پایه عملکرد دانه با استفاده از شاخص‌های واکنش به تنش خشکی برآورد شده

Table 2. Values of genotypes based on seed yield using estimated drought tolerance indices

Genotypes	YP*	YS	MP	GMP	HARM	SSI	STI	TOL	YI	YSI	YR
Torbat 4016	553.97	401.00	477.49	471.32	465.235	0.684	0.538	152.97	1.046	0.724	0.276
Torbat 4020	566.27	352.75	459.51	446.94	434.706	0.935	0.484	213.52	0.920	0.623	0.377
Dara gaz4052	673.62	376.50	525.06	503.61	483.028	1.093	0.614	297.12	0.982	0.559	0.441
Dara gaz4053	707.17	437.75	572.46	556.38	540.759	0.944	0.750	269.42	1.142	0.619	0.381
Karaj4066	802.2	510.00	656.1	639.63	623.566	0.903	0.991	292.2	1.330	0.636	0.364
Fars-Shahpour4069	653.45	369.25	511.35	491.21	471.863	1.078	0.584	284.20	0.963	0.565	0.435
Ardabil4070	1008.07	637.75	822.91	801.81	781.247	0.911	1.557	370.32	1.663	0.633	0.367
Shiraz4071	410.94	281.50	346.22	340.12	334.121	0.781	0.280	129.44	0.734	0.685	0.315
Ardabil4084	681.75	448.25	565.00	552.81	540.876	0.849	0.740	232.50	1.169	0.657	0.343
FAO4091	706.55	547.00	626.78	621.68	616.621	0.560	0.936	159.55	1.427	0.774	0.226
FAO4092	562.90	394.00	478.45	470.94	463.545	0.744	0.537	168.90	1.028	0.700	0.300
Cyprus3993	752.44	377.25	564.85	532.78	502.542	1.236	0.687	375.19	0.984	0.501	0.499
Isfahan6903	625.98	339.00	482.49	460.66	439.816	1.136	0.514	286.98	0.884	0.542	0.458
Isfahan6904	725.23	328.75	526.99	488.28	452.418	1.355	0.577	396.48	0.857	0.453	0.547
Fars-Niriz6878	402.59	149.50	276.05	245.33	218.035	1.558	0.146	253.1	0.390	0.371	0.629
Fars-Niriz6879	314.47	289.50	301.98	301.73	301.467	0.197	0.220	24.97	0.755	0.921	0.079
Karaj3643	547.60	390.75	469.18	462.58	456.066	0.710	0.518	156.85	1.019	0.714	0.286
Azad	497.65	464.75	481.20	480.92	480.637	0.164	0.560	32.9	1.212	0.934	0.066
Karaj3658	695.00	510.75	602.88	595.8	588.798	0.657	0.860	184.25	1.332	0.735	0.265
Fars-Shahpour3659	869.79	453.50	661.65	628.05	596.166	1.186	0.955	416.29	1.183	0.521	0.479
Fars-Shahpour3663	939.83	504.25	722.04	688.41	656.346	1.149	1.148	435.58	1.315	0.537	0.463
Fars-Shahpour3668	658.83	373.25	516.04	495.89	476.530	1.074	0.595	285.58	0.973	0.567	0.433
Fars-Shahpour3672	631.45	315.00	473.22	445.99	420.321	1.242	0.482	316.45	0.822	0.499	0.501
Fars-Shahpour3684	235.82	185.25	210.53	209.01	207.496	0.531	0.106	50.57	0.483	0.786	0.214
Fars-Shahpour3702	441.85	314.25	378.05	372.63	367.283	0.716	0.336	127.60	0.820	0.711	0.289
Jiroft3823	527.39	340.00	433.7	423.46	413.456	0.881	0.434	187.4	0.887	0.645	0.355
Fars-Shahpour3715	258.50	160.00	209.25	203.37	197.658	0.944	0.100	98.50	0.417	0.619	0.381
Isfahan6896	855.79	350.25	603.02	547.49	497.066	1.464	0.726	505.54	0.913	0.409	0.591
Karaj3655	1352.07	400.75	876.41	736.10	618.252	1.744	1.312	951.32	1.045	0.296	0.704
Torbat-Shad mehr4010	565.08	366.50	465.79	455.08	444.625	0.871	0.502	198.58	0.956	0.649	0.351
Fars-Shahpour3723	338.19	197.50	267.85	258.44	249.371	1.031	0.162	140.69	0.515	0.584	0.416
Fasa6880	161.81	86.25	124.03	118.14	112.523	1.157	0.034	75.56	0.225	0.533	0.467
Karaj3641	491.57	314.25	402.91	393.03	383.400	0.894	0.374	177.32	0.820	0.639	0.361
Isfahan6897	433.62	283.25	358.43	350.46	342.663	0.859	0.297	150.37	0.739	0.653	0.347
Uromiah6890	633.97	259.00	446.48	405.21	367.757	1.466	0.398	374.97	0.675	0.409	0.591
Karaj3642	640.76	360.25	500.50	480.45	461.201	1.085	0.559	280.51	0.940	0.562	0.438
Torbat-Shad mehr4002	796.79	526.00	661.4	647.39	633.679	0.842	1.015	270.79	1.372	0.660	0.340
Ardabil6653	456.05	200.25	328.15	302.2	278.299	1.390	0.221	255.8	0.522	0.439	0.561
Sabzevar6654	398.91	188.25	293.58	274.04	255.790	1.309	0.182	210.66	0.491	0.472	0.528
Ardabil6656	667.53	393.25	530.39	512.35	494.931	1.018	0.636	274.28	1.026	0.589	0.411
Varamin6873	554.39	392.25	473.32	466.33	459.435	0.725	0.527	162.14	1.023	0.708	0.292
Torbat-Hassan abad3866	742.94	640.50	691.72	689.82	687.927	0.342	1.152	102.44	1.670	0.862	0.138
Torbat hassan abad3860	562.79	355.75	459.27	447.45	435.937	0.912	0.485	207.04	0.928	0.632	0.368
Uromiah6885	600.58	388.00	494.29	482.73	471.434	0.877	0.564	212.58	1.012	0.646	0.354
Isfahan6886	623.87	276.75	450.31	415.52	383.415	1.379	0.418	347.12	0.722	0.444	0.556
Uromiah6888	404.37	254.50	329.44	320.80	312.390	0.919	0.249	149.87	0.664	0.629	0.371
Uromiah6889	400.24	228.00	314.12	302.08	290.508	1.067	0.221	172.24	0.595	0.570	0.430
Isfahan6898	777.10	537.50	657.30	646.29	635.467	0.764	1.011	239.60	1.402	0.692	0.308
Karaj3640	924.55	550.25	737.4	713.26	689.901	1.003	1.232	374.3	1.435	0.595	0.405
Karaj3635	730.59	501.75	616.17	605.46	594.925	0.776	0.888	228.85	1.309	0.687	0.313
Karaj3628	1387.95	698.00	1042.9	984.27	928.870	1.232	2.346	689.95	1.820	0.503	0.497
Karaj3654	1095.49	599.25	847.37	810.23	774.717	1.123	1.590	496.24	1.563	0.547	0.453
Karaj3645	1186.52	694.50	940.51	907.77	876.161	1.028	1.996	492.02	1.811	0.585	0.415
Karaj3646	497.28	294.50	395.89	382.69	369.923	1.011	0.355	202.78	0.768	0.592	0.408
Mamaghan3440	699.89	409.50	554.7	535.36	516.690	1.028	0.694	290.39	1.068	0.585	0.415
Torbat3919	602.01	395.25	498.63	487.8	477.197	0.851	0.576	206.76	1.031	0.657	0.343
Torbat-Hassan abad3913	563.92	356.75	460.33	448.53	437.025	0.911	0.487	207.17	0.930	0.633	0.367
Torbat-Hassan abad3915	397.47	290.75	344.11	339.95	335.834	0.665	0.280	106.72	0.758	0.732	0.268
Torbat-Hassan abad3902	967.82	639.75	803.78	786.87	770.308	0.840	1.499	328.07	1.668	0.661	0.339
Torbat3784	1290.86	635.25	963.05	905.55	851.476	1.259	1.986	655.61	1.657	0.492	0.508
Torbat-Hassan abad0000	591.14	401.00	496.07	486.88	477.851	0.797	0.574	190.14	1.046	0.678	0.322
Torbat3874	319.89	195.50	257.7	250.08	242.686	0.964	0.151	124.4	0.510	0.611	0.389
Torbat3878	437.01	218.25	327.63	308.83	291.113	1.241	0.231	218.76	0.569	0.499	0.501
Isfahan6900	524.88	403.25	464.07	460.06	456.095	0.574	0.513	121.63	1.052	0.768	0.232

* YP= potential yield; YS= Stress yield; MP= Mean productivity; GMP= Geometric Mean productivity; HARM= Harmonic Mean; SSI= Susceptibility Stress index; STI= Stress Tolerance index; TOL= Tolerance index; YI= Yield index; YSI= Yield stability index.

ادامه جدول ۲. مقادیر نژادگانها بر پایه عملکرد دانه با استفاده از شاخصهای واکنش به تنش خشکی برآورد شده

Continued table 2. Values of genotypes based on seed yield using estimated drought tolerance indices

Genotypes	YP*	YS	DI	ATI	SSPI	SNPI	K1STI	K2STI	RDI	DRI
Torbat 4016	553.97	401.00	0.757	43021.37	11.903	822.34	0.400	0.589	1.213	-0.598
Torbat 4020	566.27	352.75	0.573	56942.76	16.614	671.86	0.376	0.410	1.044	-0.835
Dara gaz4052	673.62	376.50	0.549	89285.13	23.119	696.23	0.675	0.593	0.937	-1.162
Dara gaz4053	707.17	437.75	0.707	89442.80	20.963	831.97	0.908	0.978	1.038	-1.054
Karaj4066	802.2	510.00	0.846	111520.09	22.735	978.55	1.544	1.754	1.066	-1.143
Fars-Shahpour4069	653.45	369.25	0.544	83300.68	22.113	684.42	0.604	0.542	0.947	-1.112
Ardabil4070	1008.07	637.75	1.052	177171.81	28.814	1221.42	3.831	4.310	1.061	-1.449
Shiraz4071	410.94	281.50	0.503	26268.54	10.071	558.49	0.115	0.151	1.148	-0.506
Ardabil4084	681.75	448.25	0.769	77021.95	18.168	871.94	0.833	1.012	1.102	-0.913
FAO4091	706.55	547.00	1.104	59185.08	12.414	1184.28	1.131	1.906	1.298	-0.624
FAO4092	562.90	394.00	0.719	47462.41	13.142	791.08	0.412	0.567	1.173	-0.661
Cyprus3993	752.44	377.25	0.493	119277.01	29.193	685.72	0.942	0.666	0.840	-1.468
Isfahan6903	625.98	339.00	0.479	78881.41	22.329	623.08	0.488	0.402	0.908	-1.123
Isfahan6904	725.23	328.75	0.389	115516.96	30.849	592.84	0.735	0.425	0.760	-1.551
Fars-Niriz6878	402.59	149.50	0.145	37050.17	19.693	269.75	0.057	0.022	0.622	-0.990
Fars-Niriz6879	314.47	289.50	0.695	4494.66	1.942	860.69	0.053	0.126	1.543	-0.098
Karaj3643	547.60	390.75	0.727	43293.25	12.204	793.80	0.376	0.538	1.196	-0.614
Azad	497.65	464.75	1.132	9440.76	2.560	1465.02	0.336	0.823	1.566	-0.129
Karaj3658	695.00	510.75	0.979	65502.52	14.336	1058.64	1.005	1.526	1.232	-0.721
Fars-Shahpour3659	869.79	453.50	0.617	156007.46	32.391	828.47	1.750	1.337	0.874	-1.629
Fars-Shahpour3663	939.83	504.25	0.706	178920.53	33.891	925.31	2.455	1.986	0.899	-1.704
Fars-Shahpour3668	658.83	373.25	0.551	84502.15	22.220	692.23	0.626	0.565	0.950	-1.117
Fars-Shahpour3672	631.45	315.00	0.410	84211.53	24.622	572.25	0.465	0.325	0.836	-1.238
Fars-Shahpour3684	235.82	185.25	0.380	6306.1	3.934	406.94	0.014	0.025	1.317	-0.198
Fars-Shahpour3702	441.85	314.25	0.583	28371.06	9.928	637.07	0.159	0.226	1.192	-0.499
Jiroft3823	527.39	340.00	0.572	47350.39	14.581	655.92	0.292	0.342	1.081	-0.733
Fars-Shahpour3715	258.50	160.00	0.258	11952.98	7.664	304.08	0.016	0.017	1.038	-0.385
Isfahan6896	855.79	350.25	0.374	165150.44	39.335	630.34	1.287	0.606	0.686	-1.978
Karaj3655	1352.07	400.75	0.310	417845.65	74.020	736.86	5.809	1.434	0.497	-3.722
Torbat-Shad mehr4010	565.08	366.50	0.620	53923.52	15.451	708.78	0.388	0.459	1.087	-0.777
Fars-Shahpour3723	338.19	197.50	0.301	21696.53	10.947	368.96	0.045	0.043	0.979	-0.550
Fasa6880	161.81	86.25	0.120	5326.56	5.879	158.1	0.002	0.002	0.894	-0.296
Karaj3641	491.57	314.25	0.524	41584.54	13.797	604.24	0.219	0.251	1.072	-0.694
Isfahan6897	433.62	283.25	0.483	31443.91	11.700	549.43	0.135	0.162	1.095	-0.588
Uromiah6890	633.97	259.00	0.276	90662.54	29.175	466.13	0.387	0.182	0.685	-1.467
Karaj3642	640.76	360.25	0.528	80416.69	21.826	667.01	0.556	0.494	0.942	-1.097
Torbat-Shad mehr4002	796.79	526.00	0.906	104604.66	21.070	1025.00	1.560	1.911	1.107	-1.059
Ardabil6653	456.05	200.25	0.229	46125.29	19.903	360.68	0.111	0.060	0.736	-1.001
Sabzevar6654	398.91	188.25	0.232	34446.17	16.391	340.28	0.070	0.044	0.791	-0.824
Ardabil6656	667.53	393.25	0.604	83852.56	21.341	736.34	0.686	0.669	0.988	-1.073
Varamin6873	554.39	392.25	0.724	45116.24	12.616	792.64	0.392	0.551	1.186	-0.634
Torbat-Hassan abad3866	742.94	640.50	1.440	42164.95	7.971	1602.61	1.540	3.218	1.445	-0.401
Torbat hassan abad3860	562.79	355.75	0.586	55278.07	16.109	681.12	0.372	0.418	1.060	-0.810
Uromiah6885	600.58	388.00	0.654	61232.09	16.541	749.16	0.493	0.578	1.083	-0.832
Isfahan6886	623.87	276.75	0.320	86062.29	27.008	498.63	0.394	0.218	0.744	-1.358
Uromiah6888	404.37	254.50	0.418	28688.17	11.661	486.49	0.099	0.110	1.055	-0.586
Uromiah6889	400.24	228.00	0.339	31045.28	13.401	423.38	0.086	0.078	0.955	-0.674
Isfahan6898	777.10	537.50	0.970	92400.43	18.643	1071.96	1.479	1.989	1.159	-0.937
Karaj3640	924.55	550.25	0.854	159298.65	29.123	1033.21	2.550	2.539	0.998	-1.464
Karaj3635	730.59	501.75	0.899	82675.13	17.806	996.81	1.147	1.521	1.151	-0.895
Karaj3628	1387.95	698.00	0.915	405210.64	53.683	1269.18	10.944	7.780	0.843	-2.699
Karaj3654	1095.49	599.25	0.855	239910.34	38.611	1103.43	4.620	3.886	0.917	-1.941
Karaj3645	1186.52	694.50	1.060	266506.91	38.283	1298.21	6.803	6.551	0.981	-1.925
Karaj3646	497.28	294.50	0.455	46303.41	15.778	552.23	0.212	0.209	0.993	-0.793
Mamaghan3440	699.89	409.50	0.625	92763.25	22.595	765.39	0.823	0.792	0.981	-1.136
Torbat3919	602.01	395.25	0.677	60180.63	16.088	768.36	0.506	0.613	1.101	-0.809
Torbat-Hassan abad3913	563.92	356.75	0.589	55444.87	16.119	683.24	0.375	0.422	1.060	-0.810
Torbat-Hassan abad3915	397.47	290.75	0.555	21646.42	8.303	600.64	0.107	0.161	1.226	-0.417
Torbat-Hassan abad3902	967.82	639.75	1.103	154033.53	25.526	1247.40	3.401	4.177	1.108	-1.283
Torbat3784	1290.86	635.25	0.815	354247.38	51.011	1152.39	8.013	5.454	0.825	-2.565
Torbat-Hassan abad0000	591.14	401.00	0.709	55238.83	14.794	791.58	0.486	0.628	1.137	-0.744
Torbat3874	319.89	195.50	0.312	18562.69	9.679	370.01	0.038	0.039	1.024	-0.487
Torbat3878	437.01	218.25	0.284	40312.83	17.021	396.54	0.107	0.075	0.837	-0.856
Isfahan6900	524.88	403.25	0.808	33389.55	9.464	866.81	0.342	0.567	1.288	-0.476

* YP=عملکرد بالقوه؛ YS=عملکرد تنش؛ DI=شاخص مقاومت به خشکی؛ ATI=شاخص تحمل غیر زیستی؛ SSPI=شاخص درصد حساسیت به تنش؛ SNPI=شاخص

تولید غیر تنش؛ K1STI & K2STI=شاخص تحمل تنش تعدیل شده ۱ و ۲؛ RDI=شاخص خشکی نسبی؛ DRI=شاخص واکنش خشکی.

* YP=potential yield; YS=Stress yield; DI=Drought resistance index; ATI=Abiotic tolerance index; SSPI=Stress Susceptivity Percent Index; SNPI=Stress Non-stress Productivity Index; K1STI&K2STI=Modified Stress Tolerance index; RDI=Relative Drought index; DRI=Drought Response index.

برتری‌های بیشتری برای گزینش رقم‌های مطلوب در شرایط تنش و بدون تنش داشت. برخی انتخاب بر پایه SSI و TOL را باعث گزینش رقم‌هایی با عملکرد به نسبت پائین در محیط بدون تنش و عملکرد پائین در محیط تنش گزارش کرده‌اند که چنین رقم‌هایی به علت عملکرد پائین، از نظر زراعی نامطلوب هستند (Taghvaei *et al.*, 2007). شاخص YI نتایجی همسان با STI، GMP، MP و HARM داشته و از دامنه بین بیشترین و کمترین عملکرد در محاسبه استفاده کرده که برخی اختلاف بین بالاترین و پایین‌ترین میانگین عملکرد را به‌عنوان معیار اولیه ثبات عملکرد برای شرایط محیطی متغیر پیشنهاد و بیان کردند (Langer *et al.*, 1979). شاخص YSI مانند شاخص SSI و تا حدی همسان با TOL و YI برای گزینش نژادگان‌هایی پایدار در هر دو شرایط تنش و بدون تنش کاربرد دارد. شاخص YI و شاخص YSI به‌منظور ارزیابی پایداری نژادگان‌ها در هر دو شرایط تنش و غیر تنش پیشنهاد شد (Gavuzzi *et al.*, 1997). از شاخص DI در مشخص کردن رقم‌های متحمل و حساس از نسبت محیط تنش به بدون تنش بهره گرفته و نژادگان دارای تغییر کمتر در هر دو محیط، صرف‌نظر از کمیت هر محیط، رتبه برتری را خواهد داشت. بنا به گفته برخی محققان شاخص مقاومت به خشکی برای شناسایی نژادگان‌ها هم در شرایط تنش و هم بدون تنش مورد پذیرش عمومی بود (Lan, 1998). ولی این شاخص در شرایط تنش شدید برای تعیین حساس‌ترین رقم کاربرد بیشتری داشته و به نظر برای گزینش رقم‌های مقاوم در شرایط تنش ملایم مؤثرتر واقع می‌شود. از نظر ATI، با توجه به اینکه این شاخص هم از اختلاف بین دو محیط و هم از نسبت بین دو محیط برای یافتن نژادگان‌های متحمل و حساس استفاده کرده، بنابراین تا حدود زیادی با تحمل و حساسیت واقعی منطبق شده و همراه با نتایج شاخص‌های معتبر می‌تواند طیف گسترده‌تری از رقم‌ها را گزینش و به عبارتی غربالگری کند. از نظر SSPI، با وجود محاسبه اختلاف بین دو محیط نسبت به محیط بدون تنش، نتایجی همسان با شاخص تحمل غیر زیستی داشته و بیشتر برای غربالگری نژادگان‌ها در هر دو محیط

بنابراین، انتخاب بر پایه SSI به گزینش نژادگان‌های متحمل به تنش ولی با ظرفیت عملکرد پایین منجر می‌شود. محدودیت استفاده از SSI توسط محققان دیگری نیز گزارش شد (Clark *et al.*, 1992). این شاخص با توجه به محاسبه بر مبنای اختلاف بین دو محیط نشان‌دهنده نژادگان برتر در هر محیط نبوده بلکه می‌تواند گویای ثبات عملکرد هر نژادگان در هر دو محیط باشد که باعث گزینش رقم‌هایی با عملکرد به نسبت پائین در محیط بدون تنش و عملکرد پائین در محیط تنش می‌شود و چنین رقم‌هایی به علت عملکرد پائین، از نظر زراعی نامطلوب بوده که با نتایج دیگر محققان همخوانی دارد (Taghvaei *et al.*, 2007). برخی از محققان نیز شاخص SSI را برای اندازه‌گیری پایداری عملکرد دانسته که موجب درک تغییرپذیری هم در شرایط واقعی و هم بالقوه می‌شود (Fischer & Maurer, 1978)، برخی نیز $SSI > 1$ را دلالت بر حساسیت بیش از متوسط در شرایط تنش خشکی گزارش کرده (Guttieri *et al.*, 2001).

با توجه به تأثیر اختلاف عملکرد محیط تنش و محیط بدون تنش بیان‌شده بر میزان عددی شاخص TOL، مانند شاخص SSI نمی‌توان انتظار گزینش نژادگان‌های برتر در هر دو محیط را داشت بلکه تنها نژادگان‌هایی با کمترین دامنه اختلاف شانس انتخاب دارند. میزان بالای TOL بیانگر حساسیت زیاد نژادگان موردنظر به تنش خشکی بوده و میزان پایین آن برای اصلاحگر مطلوب‌تر است. انتخاب بر پایه TOL به سود نژادگان‌های دارای عملکرد پائین در شرایط آبی و عملکرد بالا در شرایط تنش است (Rosielle & Hamblin, 1981). برخی در مورد TOL مشخص کردند که میزان پائین این شاخص به‌حتم به دلیل بالا بودن عملکرد رقم در محیط تنش نیست، زیرا ممکن است عملکرد رقمی در شرایط عادی پائین باشد و در شرایط تنش نیز با افت عملکرد کمتری همراه باشد که باعث کوچک شدن TOL شده و در نتیجه این رقم به‌عنوان رقم متحمل معرفی شود (Moghaddam & Hadizadeh, 2002)، پژوهشگران در نتایج بررسی‌های خود همچنین نشان دادند، از میان چهار شاخص محاسبه‌شده SSI، TOL، MP، و شاخص STI

محاسبه رابطه‌های همبستگی شاخص‌های واکنش نسبت به تنش خشکی

با توجه به رتبه‌بندی‌های مختلف شاخص‌های مورد استفاده در ارزیابی واکنش نژادگان‌ها نسبت به تنش خشکی و اینکه اعتبار هر شاخص به موازات همبستگی قوی با عملکرد در هر دو محیط است، لذا همبستگی ساده بین شاخص‌ها (جدول ۳) می‌تواند با تکیه بر راهبردهای اصلاحی بیانگر رابطه بین شاخص‌ها و عملکرد دانه در هکتار در هر دو محیط تنش و بدون تنش باشند.

شاخص میانگین تولید (MP) یا میانگین بهره‌وری همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در هکتار در محیط بدون تنش و هم در تنش داشت، لذا انتخاب بر پایه MP به‌طور عمده باعث افزایش تولید نژادگان موردنظر هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش می‌شود. در بیشتر آزمایش‌ها زراعی همبستگی بین MP و Yp و نیز MP و Ys مثبت است. این شاخص قادر به جداسازی گروه ۱ از گروه ۲ نیست (Rosielle & Hamblin., 1981).

شاخص‌ها همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۱ درصد هم با Yp و هم با Ys، شامل MP، GM، HARM، STI، TOL، YI، DI، ATI، SSPI، SNPI، MP، GMP، HARM، STI، TOL، YI، DI، ATI، SSPI، SNPI، K₁STI و K₂STI داشتند. با توجه با اینکه شاخص‌های MP، GMP، HARM، STI، TOL، YI، DI، ATI، SSPI، SNPI، K₁STI و K₂STI در هر دو شرایط تنش و بدون تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد داشته، لذا می‌توانند به‌عنوان معیارهای مناسب برای تحمل به خشکی در نظر گرفته شوند و انتخاب بر پایه GMP به‌طور عمده باعث افزایش تولید نژادگان موردنظر هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش می‌شود. بهترین شاخص آن است که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش همبستگی معنی‌داری با عملکرد داشته باشد (Blum, 1988). شاخص DRI هم با Yp و هم با Ys همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح ۱ درصد داشت. لذا انتخاب بر پایه DRI باعث کاهش تولید نژادگان موردنظر هم در شرایط تنش و هم بدون تنش می‌شود و برعکس. شاخص‌های دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با Yp تنها شامل

به‌کاررفته و همراه با دیگر شاخص‌ها معتبرتر خواهد بود. از شاخص SNPI نیز در مشخص کردن رقم‌های متحمل و حساس از نسبت محیط تنش به بدون تنش بهره گرفته و نژادگان دارای تغییر کمتر در هر دو محیط، صرف‌نظر از کمیت هر محیط، رتبه برتری را خواهد داشت. البته بنا به اظهار محققان، شاخص‌های SSPI، SNPI و ATI برای غربالگری نژادگان‌های متحمل به خشکی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش معرفی شد (Moosavi *et al.*, 2008). همان‌گونه که ملاحظه می‌شود شاخص‌های K₁STI و K₂STI با اعمال وزنه محیط بدون تنش (K₁) و تنش (K₂) به‌صورت جداگانه در شاخص تحمل به تنش (STI) موجب رفع مشکل تأثیر دامنه اختلاف بیشترین و کمترین عملکرد هر نژادگان در دو محیط جداگانه شده و به‌خوبی شاخص‌های معتبر، نتایجی درخور اطمینان تأمین کرد.

شاخص YR نیز مانند شاخص SSI و تا حدی همسان با شاخص‌های YSI، TOL و YI برای گزینش نژادگان‌هایی پایدار در هر دو شرایط تنش و بدون تنش کاربرد دارد. همچنین شاخص RDI مانند شاخص‌های SSI، YSI و YR برای گزینش نژادگان‌هایی پایدار در هر دو شرایط تنش و بدون تنش کاربرد دارد. شاخص خشکی نسبی (RDI) شاخص مثبتی برای نشان دادن تحمل تنش است (Fischer & Maurer, 1978).

در کل شاخص‌های MP، GMP، HARM، STI، YI، K₁STI و K₂STI برای گزینش رقم‌هایی با مقادیر بالا در هر دو محیط مطلوب‌تر بوده و منجر به گزینش نژادگان‌های متحمل‌تر (دارای بیشترین عملکرد مشهود) و حساس‌تر (دارای کمترین عملکرد مشهود) در تنش خشکی شدید شده، البته STI برای تحمل به تنش خشکی بهتر است. شاخص‌های SSI، YSI، YR و RDI برای شرایط تنش خشکی مناسب‌تر بوده و بیشتر منجر به گزینش نژادگان‌هایی با سازگاری بیشتر و پایدارتر در تنش خشکی متوسط به‌کارآمده، شاخص‌های TOL، ATI، SSPI و DRI بیشتر در تنش‌های ملایم کاربرد دارند و دیگر شاخص‌ها مانند DI و SNPI نیز بیشتر متأثر از محیط تنش بوده و در محیط بدون تنش کارایی را ندارند.

شرایط عادی و بدون تنش عملکرد پایین ولی در شرایط تنش خشکی، عملکرد بالایی دارند. بنابراین، SSI قادر به جداسازی گروه ۱ از گروه ۳ نیست (Fischer & Maurer, 1978). در بیشتر آزمایش‌های مقایسه‌ی عملکرد، بایستی همبستگی بین Yp و TOL منفی و بین TOL و Ys مثبت باشد. انتخاب بر پایه‌ی شاخص TOL در اصلاح عملکرد در شرایط تنش سودمند بوده درحالی‌که نژادگان‌های برگزیده تظاهر خوبی در شرایط بدون تنش ندارند. این شاخص قادر به جداسازی گروه ۱ از گروه ۳ نیست (Rosielle & Moghaddam & Hamblin, 1981). برخی (Hadizadeh, 2002) نشان دادند که از میان چهار شاخص محاسبه‌شده SSI، STI، TOL و MP، شاخص STI برتری‌های بیشتری برای گزینش رقم‌های مطلوب در شرایط تنش و بدون تنش دارد. برخی نیز چهار شاخص MP، GMP، HM و STI را دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری در هر دو شرایط بدون تنش و تنش با عملکرد و مناسب‌ترین شاخص‌های گزینش رقم‌های مقاوم به خشکی دانسته ولی همبستگی شاخص تحمل (TOL) با عملکرد در شرایط تنش را غیر معنی‌دار گزارش کردند (Ganjali *et al.*, 2005). برخی شاخص‌های MP، STI، GMP، HARM، SNPI، YI، DI، K1STI و K2STI را بهترین پیش‌بینی‌کننده‌های YP و YS نسبت به دیگر شاخص‌ها گزارش کردند (Gholinezhad *et al.*, 2014). محققان معیاری را در گزینش برای تنش بهترین دانستند که بتواند گروه ۱ را از دیگر گروه‌ها تشخیص داده، برخی نتیجه گرفته‌اند که گزینش در شرایط مطلوب نژادگان‌های مناسبی هم برای شرایط تنش و هم برای شرایط مطلوب تولید می‌کند، درحالی‌که برخی از محققان عنوان کرده‌اند که برای تقویت عملکرد در محیط‌های تنش گزینش باید در همان شرایط انجام شود. به دلیل اثر متقابل شدید نژادگان × محیط، اصلاح گیاهان زراعی برای دامنه‌ی گسترده‌ای از شرایط آب و هوایی غیرممکن نبوده، اما بسیار دشوار است. به‌طورکلی در گیاهانی مانند نخود که اثر متقابل نژادگان × محیط در آن‌ها بالاست، بایستی گزینش اختصاصی در محیط‌های نامساعد

SSi و YR در سطح ۵ درصد بودند. لذا انتخاب نژادگان‌ها بر پایه‌ی SSI و YR تا حد زیادی باعث افزایش تولید نژادگان موردنظر در شرایط بدون تنش شده و در شرایط تنش نیز کم تأثیر است. شاخص‌های دارای همبستگی منفی و معنی‌دار با Yp تنها شامل YSI و RDI در سطح ۵ درصد بودند. انتخاب بر پایه‌ی YSI باعث کاهش تولید نژادگان موردنظر هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش می‌شود و برعکس. شاخص‌های بدون همبستگی معنی‌داری با Ys شامل SSI، YSI، YR و RDI بودند. انتخاب بر پایه‌ی YI باعث افزایش تولید نژادگان موردنظر هم در شرایط تنش و هم در شرایط آبی می‌شود. شاخص YI با عملکرد در محیط تنش همبستگی ۱/۰۰ داشته ولی قادر به جداسازی گروه ۱ از ۳ نیست. شاخص GMP به مقادیر بسیار متغیر Yp و Ys حساسیت کمتری داشته، درحالی‌که شاخص MP به علت تفاوت نسبی زیاد بین Yp و Ys میزان عددی آن اریب به‌سوی میزان بالاتر یعنی Yp خواهد داشت (Fernandez, 1992). در بررسی شاخص‌های مختلف نشان داده شد، STI و GMP در جداسازی نژادگان‌های گروه ۱ از دیگر گروه‌ها (Ahmadi *et al.*, 2000)، در ارزیابی GMP، STI و HARM برای گزینش و شناسایی نمونه‌های متحمل به تنش خشکی پایان فصل (Nakhaei *et al.*, 2014)، در کلزا GMP، MP و TI (Naeemi *et al.*, 2008)، در لوبیا STI و GMP برای غربال کردن نژادگان‌های مقاوم یا حساس (Fernandez, 1992) و در نخود شاخص‌های HM، MP، GMP و STI (Farshadfar *et al.*, 2001; Ganjali *et al.*, 2009) مناسب‌ترین شاخص‌ها برای گزینش رقم‌های مقاوم به خشکی پیشنهاد شدند. شاخص‌های GMP، MP، HARM و STI همبستگی قوی مثبت و معنی‌داری با یکدیگر داشته و همچنین این شاخص‌ها با شاخص‌های تحمل و شاخص عملکرد نیز همبستگی قوی مثبت و معنی‌داری داشتند. انتخاب بر پایه‌ی SSI باعث افزایش تولید نژادگان موردنظر در شرایط تنش می‌شود. به‌طور معمول هرچه میزان SSI کوچک‌تر باشد، میزان مقاومت به خشکی بالاتر است. اگر انتخاب بر پایه‌ی SSI انجام شود، نژادگان‌هایی گزینش می‌شوند که در

نخست برای گزینش نژادگان‌های متحمل و حساس به کار روند، لذا برای دستیابی به اطمینان بیشتر می‌توان از دیگر روش‌های چند متغیره آماری به‌منظور شناسایی شاخص‌های مؤثر، کاهش ابعاد شاخص‌ها و گروه‌بندی آن‌ها اهتمام ورزید. به‌طور کلی بهترین شاخص آن است که در هر دو شرایط عادی و تنش همبستگی معنی‌داری با عملکرد را دارد (Blum, 1988).

صورت گیرد. در بررسی مواد آزمایشی در برنامه‌های به‌نژادی نژادگان‌هایی سازگار ارزیابی می‌شوند که واریانس اثر متقابل آن‌ها با محیط اندک باشد (Singh, 1997). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و تطبیق با منابع شاخص‌های MP، GMP، HARM، STI، TOL، YI، DI، ATI، SSPI، SNPI، K₁STI و K₂STI در هر دو شرایط بدون تنش و تنش رابطه قوی و مثبتی را با عملکرد نشان داده و می‌توانند با نگاهی اجمالی در گام

جدول ۳. ضریب همبستگی ساده بین شاخص‌های واکنش به خشکی و عملکرد دانه نژادگان‌های نخود کابلی در دو محیط تنش و بدون تنش

Table 3. Simple correlation coefficients between drought tolerance indices and seed yield of Kabuli chickpea under Non-stress and stress environment

Indices	YP*	YS	MP	GMP	HRM	SSI	STI	TOL	YI	YSI	DI	ATI	SSPI	SNPI	K1STI	K2STI	YR	RDI	DRI
YP	1																		
YA	.830**	1																	
MP	.979**	.927**	1																
GMP	.956**	.957**	.995**	1															
HRM	.925**	.978**	.983**	.996**	1														
SSI	.316*	-.213	.135	.059	-.015	1													
STI	.946**	.917**	.974**	.975**	.967**	.100	1												
TOL	.874**	.456**	.757**	.693**	.626**	.691**	.712**	1											
YI	.830**	1.000**	.927**	.957**	.978**	-.213	.917**	.456**	1										
YSI	-.316*	.213	-.135	-.059	.015	-1.000**	-.100	-.691**	.213	1									
DI	.504**	.891**	.667**	.726**	.778**	-.605**	.670**	.030	.891**	.605**	1								
ATI	.937**	.630**	.863**	.817**	.766**	.477**	.864**	.949**	.630**	-.477**	.249*	1							
SSPI	.874**	.456**	.757**	.693**	.626**	.691**	.712**	1.000**	.456**	-.691**	.030	.949**	1						
SNPI	.671**	.944**	.799**	.839**	.871**	-.439**	.792**	.251*	.944**	.439**	.964**	.452**	.251*	1					
K1STI	.875**	.707**	.849**	.827**	.798**	.258*	.918**	.782**	.707**	-.258*	.407**	.931**	.782**	.569**	1				
K2STI	.825**	.847**	.867**	.877**	.879**	.030	.954**	.580**	.847**	-.030	.646**	.776**	.580**	.744**	.924**	1			
YR	.316*	-.213	.135	.059	-.015	1.000**	.100	.691**	-.213	-1.000**	-.605**	.477**	.691**	-.439**	.258*	.030	1		
RDI	-.316*	.213	-.135	-.059	.016	-1.000**	-.100	-.690**	.213	1.000**	.605**	-.477**	-.690**	.440**	-.258*	-.030	-1.000**	1	
DRI	-.874**	-.456**	-.757**	-.693**	-.626**	-.691**	-.712**	-1.000**	-.456**	.691**	-.030	-.949**	-1.000**	-.251*	-.782**	-.580**	-.69**	.69**	1

*: Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

*: معنی‌دار در سطح ۵ درصد (دوسویه)

** : Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

** : معنی‌دار در سطح ۱ درصد (دوسویه)

For code abbreviations see table 2.

برای اختصار کدها به جدول ۲ مراجعه شود.

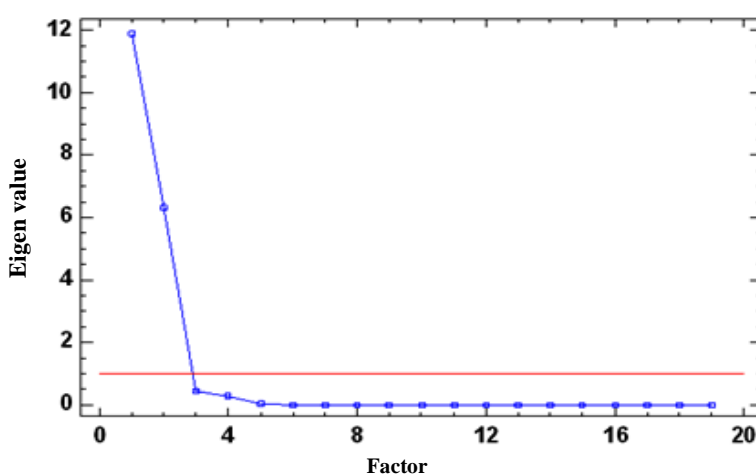
با توجه نتایج (شکل ۱، جدول ۴ و جدول ۵)، ۹۵/۴ درصد از تغییرات از طریق دو عامل تعیین شدند. عامل اول با توجیه ۶۲/۵۷ درصد تغییرات شامل ATI، DI، GMP، HARM، K1STI، K2STI، MP، SNPI، SSPI، STI، TOL، YI، Yp و Ys با بار مثبت و DRI با بار منفی بودند و با توجه به همبستگی بالای شاخص‌های یادشده با عملکرد در هر دو شرایط بدون تنش و تنش، عامل عملکرد بالقوه نام گرفت، به عبارتی انتخاب بر پایه این عامل منجر به شناسایی نژادگان‌های برتر دارای سازگاری در هر دو محیط بدون تنش و تنش شد (نژادگان‌های منطقه A بای پلات). عامل دوم با توجیه ۳۳/۲۸ درصد از تغییرات شامل شاخص‌های ATI، SSI، TOL، YR با بار مثبت و DRI، DI، RDI و YSI با بار منفی بوده که

تحلیل عاملی

پس از شناسایی بهترین شاخص‌های کمی تحمل خشکی، برای گزینش نژادگان‌های متحمل و حساس به خشکی در دو محیط بدون تنش و تنش، از تحلیل عاملی بر مبنای روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شد تا ضمن کاهش ابعاد با توجیه بیشترین تغییرات و با استفاده از نمودار بای پلات، نژادگان‌ها را در گروه‌های مشخصی قرار داده و رقم‌های متحمل، حساس و بینابین نسبت به خشکی تعیین شود. تحلیل عاملی به‌منظور بررسی همزمان شمار زیادی از صفات، نیازمند کاهش ابعاد داده‌ها طرح‌ریزی شده (Godschalk & Timothy, 1988) و در بررسی تنوع ژنتیکی نخود از طریق تحلیل عاملی مهم‌ترین توجیه‌ها گزارش شد (Narayan & Macefield, 1976).

عامل تحمل تنش نام‌گذاری شده که در هر دو محیط تنش و بدون تنش برتری داشتند. استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار دووجهی (بای پلات) برای جداسازی رقم‌های نسبت به تنش خشکی توسط محققان دیگری نیز استفاده شد (Fernandez, 1992; Faeshadfar *et al.*, 2001; Ganjali *et al.*, 2005; Pouresmael *et al.*, 2009; Mohammad Alipour Yamchi *et al.*, 2011). در ارزیابی شاخص‌های تحمل خشکی در نخود (Mohammad Alipour

عامل تحمل تنش نام‌گذاری شده که در هر دو محیط تنش و بدون تنش برتری داشتند. استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار دووجهی (بای پلات) برای جداسازی رقم‌های نسبت به تنش خشکی توسط محققان دیگری نیز استفاده شد (Fernandez, 1992; Faeshadfar *et al.*, 2001; Ganjali *et al.*, 2005; Pouresmael *et al.*, 2009; Mohammad Alipour Yamchi *et al.*, 2011). در ارزیابی شاخص‌های تحمل خشکی در نخود (Mohammad Alipour



شکل ۱. نمایش اسکری پلات برای تعیین عامل‌های استخراج‌شده

Figure 1. Scree plot display for determination of extracted factors

جدول ۴. مقادیر ویژه و واریانس تجمعی شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش در نژادگان‌های نخود کابلی

Table 4. Eigen values and cumulative variance of drought tolerance indices and seed yield of Kabuli chickpea under Non-stress and stress environment

Factor Number	Eigenvalue	Percent of Variance	Cumulative Percentage
1	11.888	62.569	62.569
2	6.3223	33.275	95.844

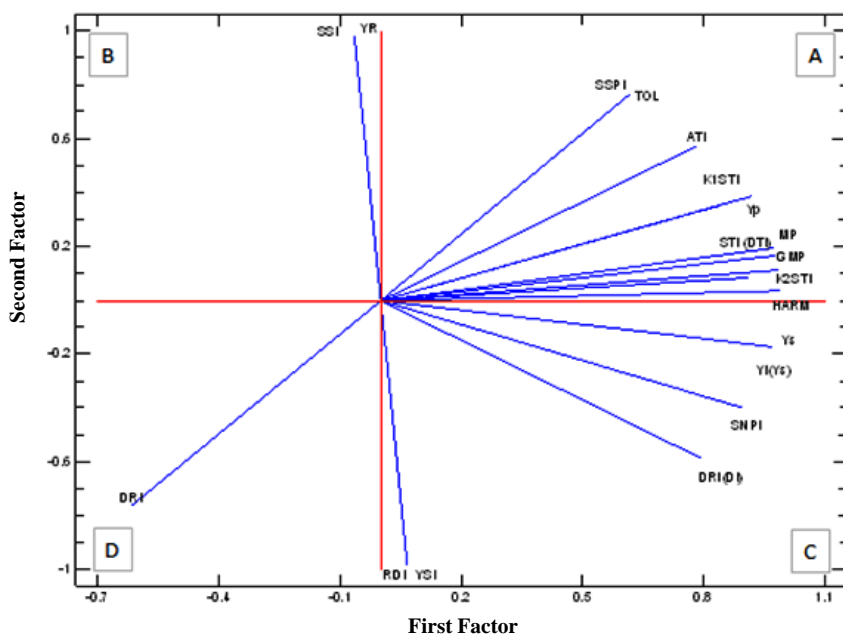
جدول ۵. بار عاملی شاخص‌های تحمل خشکی و عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش در نژادگان‌های نخود کابلی پس از چرخش وریماکس

Table 5. Factor loading after varimax rotation of tolerance indices and yield of Kabuli chickpea under Non-stress and stress environment

Factor	ATI*	DRI	DI	GMP	HARM	K1STI	K2STI	MP	RDI	SNPI
1	0.78	-0.62	0.79	0.99	0.99	0.84	0.91	0.97	0.07	0.89
2	0.58	-0.77	-0.59	0.11	0.03	0.35	0.08	0.20	-0.98	-0.40
Factor	SSI	SSPI	STI	TOL	YI	Yp	YR	Ys	YSI	
1	-0.07	0.62	0.98	0.62	0.97	0.92	-0.07	0.97	0.07	
2	0.98	0.77	0.16	0.77	-0.17	0.39	0.98	-0.17	-0.98	

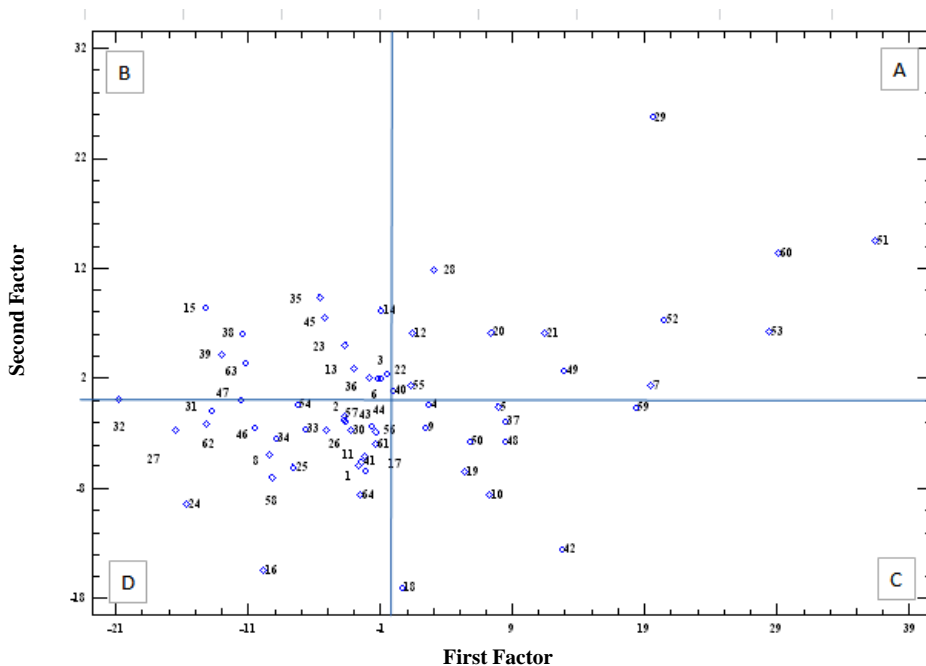
*: For code abbreviations see table 2.

*: برای اختصار کدها به جدول ۲ مراجعه شود.



شکل ۲. نمودار دووجهی ۱۷ شاخص تحمل به خشکی بر پایهٔ عامل‌های اصلی اول و دوم. (برای اختصار کدها به جدول ۲ مراجعه شود.)

Figure 2. The biplot display of 17 drought tolerance indices based on the first and second main factors. (For code abbreviations see table 2.)



شکل ۳. نمودار دووجهی عملکرد ۶۴ نژادگان‌های نخود بر پایهٔ عامل‌های اصلی اول و دوم. (برای اختصار کدها به جدول ۲ مراجعه شود.)

Figure 3. The biplot display of 64 Kabuli chickpea genotypes based on the first and second main factors. (For code abbreviations see table 2.)

۵۲ (منطقه A) کمترین نمره را به نژادگان‌های ۳۲، ۲۷، ۲۴، ۶۲ (منطقه D) داده و عامل دوم بیشترین نمره را به نژادگان‌های ۲۹، ۵۱، ۶۰ و ۲۸ (منطقه A)

همان‌گونه مشاهده می‌شود (جدول ۶ و شکل ۳)، ضریب‌های عاملی در هر ردیف از نژادگان‌ها در عامل اول، بیشترین نمره را به نژادگان‌های ۵۱، ۶۰، ۵۳ و

شاخص‌های RDI و YSI زاویه نزدیک‌تر و در نتیجه همبستگی مثبتی داشت. بنابراین زاویه بین شاخص‌ها در نمودار دوجویی به‌خوبی همبستگی بین شاخص‌ها را هم درون و هم بین گروه‌های چهارگانه نشان داد.

از تحلیل عاملی در بررسی تنوع ژنتیکی بالقوه نخودهای ایرانی (Aghaei *et al.*, 2005)، در تعیین مؤثرترین صفات بر عملکرد نژادگان‌های نخود (Tokar Khan *et al.*, 2004). بررسی تنوع ژنتیکی نخود (Khan *et al.*, 1991)، تعیین صفات مهم و وابسته به عملکرد نخود (Ghorbani *et al.*, 2013) استفاده‌شده و روش نمودار دوجویی نیز به‌طور گسترده‌ای در تجزیه و تحلیل آزمایش‌های چند محیطی استفاده می‌شود. بنا بر نمودار دوجویی، همبستگی مثبتی بین شاخص‌های MP، STI، K₂STI، HARM، SNPI، K1STI و K2STI عملکرد تصدیق شده و استفاده از آن‌ها پیشنهاد می‌شود، زیرا این شاخص‌ها پایداری و عملکرد بالا را در هر دو شرایط بدون تنش و تنش تقویت می‌کند (Gholinezhad *et al.*, 2014).

کمترین نمره را به نژادگان‌های ۱۸، ۱۶، ۴۲، ۲۴ و ۶۴ (منطقه‌های C و D) داد. بنابراین عامل اول در انتخاب نژادگان‌های متحمل‌تر و حساس‌تر به‌خوبی قادر به جداسازی گروه A و D از دیگر گروه‌ها بوده و عامل دوم در انتخاب نژادگان‌های متحمل‌تر به‌خوبی قادر به جداسازی گروه A از دیگر گروه‌ها بوده ولی در انتخاب نژادگان‌های حساس‌تر نژادگان‌ها در دو منطقه C و D قرار گرفتند و قابلیت جداسازی کمتری داشت.

همان‌گونه که در نمودار دوجویی مشاهده می‌شود (شکل ۲) در منطقه A شاخص‌های SSPI و TOL با کمترین زاویه دارای بیشترین همبستگی همچین MP، GMP، STI، K₂STI و HARM با زاویه کم نسبت به یکدیگر نشان‌دهنده همبستگی بالا، در منطقه B شاخص‌های YR و SSI مابین بیشترین همبستگی، در منطقه C، شاخص‌های RDI و YSI با یکدیگر و همچین Ys و YI با یکدیگر نشان‌دهنده بیشترین همبستگی و در نهایت در منطقه D شاخص DRI به دلیل زاویه زیاد با اغلب شاخص‌ها همبستگی منفی داشته و تنها با

جدول ۶. بار عاملی هر نژادگان پس از چرخش وریماکس

Table 6. Factor loading after varimax rotation for each genotypes

Genotypes code	First Factor	Second Factor	Genotypes code	First Factor	Second Factor
1*	-2.11889	-6.33545	33	-6.68935	-2.5576
2	-3.75326	-1.39958	34	-8.92713	-3.44393
3	-0.496834	2.44519	35	-5.5819	9.31215
4	2.61747	-0.344487	36	-1.84931	2.03446
5	7.87246	-0.561627	37	8.40928	-1.91922
6	-1.23314	1.9872	38	-11.4393	6.11116
7	19.4318	1.35175	39	-12.9867	4.19637
8	-9.38656	-4.9331	40	-0.014293	0.894879
9	2.44216	-2.46722	41	-2.466	-5.54103
10	7.22875	-8.53326	42	12.7502	-13.4729
11	-2.23208	-5.13488	43	-3.71559	-1.86157
12	1.42783	6.04765	44	-1.69703	-2.33548
13	-2.95647	2.91107	45	-5.20006	7.55746
14	-0.998389	8.16175	46	-10.5212	-2.51001
15	-14.2423	8.44182	47	-11.5641	0.0428636
16	-9.83086	-15.383	48	8.41137	-3.75381
17	-2.6557	-5.85208	49	12.9134	2.70011
18	0.670117	-17.0517	50	5.76522	-3.74221
19	5.34408	-6.45943	51	36.3839	14.4274
20	7.37773	6.19738	52	20.4029	7.35057
21	11.3967	6.12308	53	28.3728	6.25253
22	-0.96149	1.95159	54	-7.30321	-0.366986
23	-3.68947	5.01279	55	1.35508	1.336
24	-15.655	-9.3794	56	-1.38711	-2.85122
25	-7.58169	-6.02029	57	-3.65582	-1.88191
26	-5.02427	-2.64357	58	-9.22761	-7.03018
27	-16.4626	-2.71501	59	18.2897	-0.67722
28	3.06476	11.911	60	29.0691	13.4303
29	19.5566	25.7594	61	-1.39251	-3.96617
30	-3.25738	-2.64042	62	-14.1575	-2.12416
31	-13.7756	-0.91302	63	-11.2033	3.34078
32	-20.7315	0.0759698	64	-2.53097	-8.56159

For code abbreviations see table 2.

*: برای اختصار کدها به جدول ۲ مراجعه شود.

تجزیه خوشه‌ای

گروه‌بندی با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش وارد هم بر مبنای نژادگان‌ها با استفاده از داده‌های شاخص‌ها و هم بر مبنای شاخص‌ها با استفاده از داده‌های نژادگان‌ها انجام پذیرفت.

در تجزیه خوشه‌ای بر مبنای استفاده از شاخص‌های تحمل خشکی برای گروه‌بندی نژادگان‌ها، سه خوشه تشکیل شد که در خوشه اول ۳۲ نژادگان، خوشه دوم ۲۲ نژادگان و خوشه سوم ۱۰ نژادگان به ترتیب ۵۰، ۳۴/۳۸ و ۱۵/۶۳ درصد از کل نژادگان‌ها را بر حسب همسانی یا کمترین فاصله درون هر خوشه گروه‌بندی کردند (جدول ۷، شکل ۴). همان‌گونه که مشاهده می‌شود، نژادگان‌های متحمل در خوشه سه، نژادگان‌های حساس در خوشه دو و نژادگان‌های بینابین در خوشه یک گروه‌بندی شدند که با تطبیق نتایج دیگر روش‌های آماری مانند همبستگی و تحلیل عامل می‌توان با استخراج نژادگان‌های متحمل و حساس مشترک در سه روش یادشده، با اطمینان زیادی از نتایج به‌دست‌آمده بهره‌جسته و افزون بر مشخص کردن رتبه‌های تحمل و حساسیت نسبت به دورگ‌گیری بین نژادگان‌های برای بهره‌گیری از جداسازی متجاوز و رفع نقاط ضعف نژادگان‌های حساس با کیفیت اقدام کرد. تجزیه خوشه‌ای نژادگان‌های گندم را در سه زمینه متحمل، نیمه متحمل یا نیمه حساس و حساس (Khan & Mohammad, 2016)، جو را در سه گروه مقاوم، نیمه مقاوم و حساس

(Zahravi, 2009) و در نخود در چهار خوشه متحمل و حساس (Mohammad Alipour Yamchi *et al.*, 2011) گروه‌بندی کرد.

در تجزیه خوشه‌ای بر مبنای استفاده از داده‌های نژادگان‌ها برای گروه‌بندی شاخص‌های تحمل خشکی، نیز سه خوشه تشکیل شد که در خوشه اول ۱۰ شاخص، خوشه دوم ۷ شاخص و خوشه سوم ۲ شاخص به ترتیب ۵۲/۶۳، ۳۶/۸۴ و ۱۰/۵۳ درصد از کل شاخص‌ها را بر حسب شباهت یا کمترین فاصله درون هر خوشه گروه‌بندی کردند (جدول ۸، شکل ۵). گروه‌بندی شاخص‌های تحمل خشکی بر پایه مشاهده‌های نژادگان‌های نخود کابلی، بهترین شاخص‌ها را که هم همبستگی بالایی داشته و هم در تحلیل عاملی استخراج شدند در خوشه یک گروه‌بندی کرد و شاخص‌هایی که همبستگی قوی با دیگر شاخص‌ها نداشتند در خوشه سه قرار گرفته و دیگر شاخص‌های بینابین در خوشه سه گروه‌بندی شدند. تجزیه خوشه‌ای بر پایه STI، MP، GMP، YS و YP نژادگان‌ها را در سه گروه با حساسیت‌های مختلفی نسبت به تنش خشکی خوشه‌بندی کرد (Pourdad *et al.*, 2008) و در گروه‌بندی جامعه‌های در حال تفرق از طریق تجزیه خوشه‌ای، گروه‌هایی با رگه‌های ممتاز در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش با در نظر گرفتن عملکرد دانه‌شان تشخیص داده شدند (Golabadi *et al.*, 2006).

جدول ۷. گروه‌بندی نژادگان‌های نخود کابلی بر پایه متغیرهای شاخص‌های تحمل خشکی و عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش

Table 7. Grouping of Kabuli chickpea genotypes based on drought tolerance indices and yield variables under non-stress and stress conditions

Cluster	Kabuli chickpea genotypes
Cluster 1	1*,2,4,5,8,9,10,11,16,17,18,19,24,25,26,30,33,34,37,41,42,43,44,46,48,50,54,56,57,58,61,64
Cluster 2	3,6,12,13,14,15,22,23,27,28,31,32,35,36,38,39,40,45,47,55,62,63
Cluster 3	7,20,21,29,49,51,52,53,59,60

For code abbreviations see table 2.

*: برای اختصار کدها به جدول ۲ مراجعه شود.

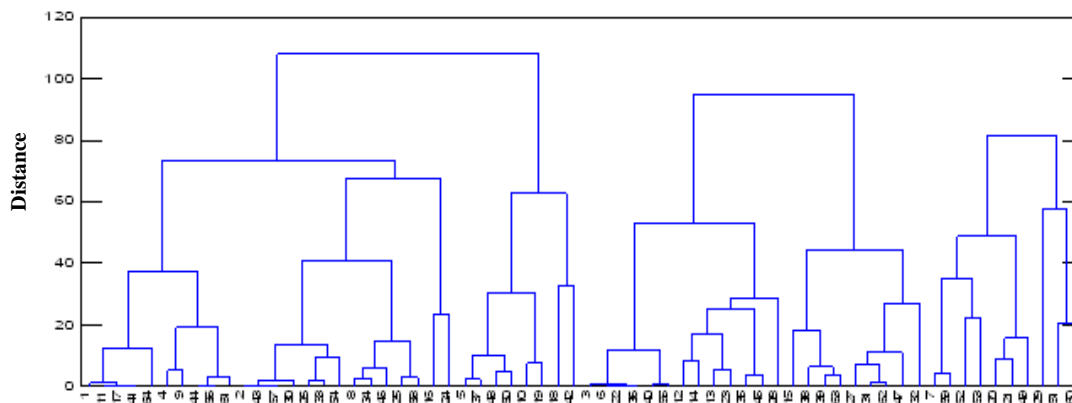
جدول ۸. گروه‌بندی شاخص‌های تحمل خشکی و عملکرد بر پایه مشاهده‌های نژادگان‌های نخود کابلی در شرایط بدون تنش و تنش

Table 8. Grouping of drought tolerance indices and yield based on Kabuli chickpea genotype observation under non-stress and stress conditions

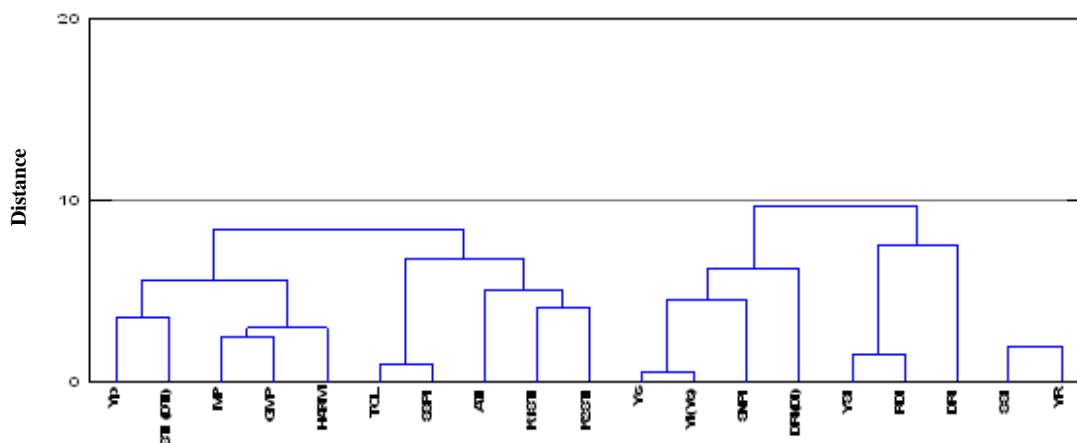
Cluster	Drought tolerance indices
Cluster 1	YP*,MP,GMP,HARM,STI,TOL,ATI,SSPI,K ₁ STI,K ₂ STI
Cluster 2	YS, YI, YSI,DI,SNPI,RDI,DRI
Cluster 3	SSI, YR

For code abbreviations see table 2.

*: برای اختصار کدها به جدول ۲ مراجعه شود.



شکل ۴. نمودار درختواره‌ای گروه‌بندی نژادگان‌های نخود کابلی بر پایه شاخص‌های تحمل خشکی
Figure 4. Denderogram display of Kabuli chickpea genotypes based on drought tolerance indices



شکل ۵. نمودار درختواره‌ای گروه‌بندی شاخص‌های تحمل خشکی بر پایه نژادگان‌های نخود کابلی
Figure 5. Denderogram display of drought tolerance indices based on Kabuli chickpea genotypes
For code abbreviations see table 2.
*: برای اختصار کدها به جدول ۲ مراجعه شود.

رتبه‌بندی نژادگان‌های با شاخص‌های تحمل خشکی، بار عاملی هر نژادگان و همچنین تجزیه خوشه‌ای، توانست به‌خوبی نژادگان‌های متحمل، حساس و بینابین را استخراج کند که با اطمینان زیادی می‌توان در آزمایش‌های تکمیلی فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و مولکولی از آن‌ها استفاده کرد.

سپاسگزاری

از مسئولان بانک ژن پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران و مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آب در ایستگاه تحقیقات دیم کوهین (دانشگاه تهران) در تأمین مواد آزمایشی و محل اجرای طرح، تشکر و قدردانی می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

شاخص‌های MP، GM، HARM، STI، TOL، YI، DI، ATI، SSPI، SNPI و K1STI و K2STI همبستگی قوی و معنی‌داری با عملکرد دانه هم در شرایط بدون تنش و هم تنش داشته که در تحلیل عاملی نیز افزون بر داشتن بار مثبت در عامل اول موسوم به عامل پایداری عملکرد بوده، در نمودار دووجهی نیز منطقه A را به خود اختصاص داده و به‌خوبی قادر به جداسازی از دیگر مناطق یا گروه‌ها بودند. همچنین در تجزیه خوشه‌ای نیز شاخص‌های یادشده در خوشه یک گروه‌بندی شده و در کل با توجه به نتایج مشترک روش‌های تحلیل همبستگی، تحلیل عاملی و تجزیه خوشه‌ای می‌توان این شاخص‌ها را در ارزیابی تحمل به خشکی نژادگان‌های نخود کابلی معتبر دانست.

REFERENCES

1. Aghaei, M., Mirakhorli, Vaezi, A. Sh. & Khuhpaigani, A. (2005). *Potential of genetic diversity in Iranian Chickpea collection*. Of the first Pulses congress, 2005. Ferdosi university of Mashhad
2. Ahmad, F., Gaur, P. & Croser, J. (2005). Chickpea (*Cicer arietinum* L.). In: Singh R., Jauhar P. (eds.). *Genetic Resources, Chromosome Engineering and Crop Improvement-Grain Legumes*, CRC Press USA, 185-214.
3. Ahmadi, J., Zeinaly Khanghah, H., Rostamy, M. A. & Chogan, R. (2000). Study of drought tolerance indices and biplot method in eight corn hybrids. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 31, 513-523. (in Farsi)
4. Bidinger, F. R., Mahalakshami, V. & Rao, G. D. P. (1987). Assessment of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). II. Estimation of genotype response to stress. *Australian Journal of Agricultural Research*, 38, 49-59.
5. Blum, A. (1988). *Plant Breeding for Stress Environments*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp 38-78
6. Bouslama, M. & Schapaugh, W. T. (1984). Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24, 933-947.
7. Boyer, J. S. (1982). Plant productivity and environment. *Journal of Science*, 218(4571), 443-448.
8. Clark, J. M. R., Depauw, M. & Ownley-Smith, T. F. (1992). Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *Journal of Crop Science*, 32, 723-728.
9. Eivazi, A., Taghikhani, H., Shiralizadeh, S. H., Rezaei, M. & Mousavi Anzabi, S. H. (2012). Evaluation of response of chickpea genotypes to water deficit at different growth stages by using drought tolerance indices. *Iranian Journal of Pulses Research*, 3(1), 81-92. (in Farsi)
10. Farshadfar, E. & Sutka, J. (2002). Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substitution lines. *Cereal Research Communications*, 31, 33-39.
11. Farshadfar, E. A., Zamani, M. R., Matlabi, M. & Emam-Jome, E. E. (2001). Selection for drought resistance chickpea lines. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 32(1), 65-77. (in Farsi)
12. Fernandez, G. C. J. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp. 257-270. In: Kuo, C. G. (ed.) *Proceedings of a Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress*. AVRDC Publications, Tainan, Taiwan.
13. Fischer, R. A. & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 897-912.
14. Fischer, R. A. & Wood, T. (1979). Drought resistance in spring wheat cultivars III. Yield association with morphological traits. *Australian Journal of Agriculture Research*, 30, 1001-1201
15. Ganjali, A., Bagheri, A. & Porsa, H. (2009). Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasm for drought resistance. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 7(1), 183-194. (in Farsi)
16. Ganjali, A., Kafi, A., Bagheri, A. & Shahriyari, F. (2005). Screening for drought tolerance in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 3(1), 103-122. (in Farsi)
17. Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R. G., Ricciardi, G. L. & Borghi, B. (1997). Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Journal of Plant Science*, 77, 523-531.
18. Gholinezhad, E., Darvishzadeh, R. & Bernousi, I. (2014). Evaluation of Drought Tolerance Indices for Selection of Confectionery Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Landraces under Various Environmental Conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*, 42(1), 187-201.
19. Ghorbani, T., Cheghamirza, K., Bardideh, K and Basiri Shoar, P. 2013. Recognition and determination of related traits importance with seed yield in chickpea (*Cicer arietinum*). *Plant breeding science*. Volume 68. Pp. 15-24
20. Godschalk, E. B. & Timothy, D. H. (1988). Factor and principal component analyses as alternative to index selection. *Theoretical and Applied Genetics*, 76, 352-360.
21. Golestani-Araghi, S. & Assad, M. T. (1998). Evaluation of four screening techniques for drought resistance and their relationship to yield reduction ratio in wheat. *Euphytica*, 103, 293-299.
22. Guttieri, M. J., Stark, J. C., Brien, K. & Souza, E. (2001). Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. *Journal of Crop Science*, 41, 327-335.
23. Jahansuz, M. R., Naghavi, M. R. & Dolati Tapeh Rasht, M. (2004). A Study of Relationships between Different Traits in White and Black Chickpea. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 35(3).
24. Johansen, C., Krishnamurthy, L., Saxena, N. P. & Sethi, S. C. (1994). Genotypic variation in moisture response of chickpea grown under line-source sprinklers in a semi-arid tropical environment. *Field Crops Research*, 37, 103-112.

25. Kargar, M. A., Ghanadha, M. R., Bozorgipour, A. A., Atari, Kh. A. & Babai, H. R. (2004). Evaluation of drought resistance indices in some soybean genotypes at restricted condition. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 35, 129-142. (in Farsi)
26. Khan, F. U. & Mohammad, F. (2016). Application of stress selection indices for assessment of nitrogen tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 26(1), 201-210.
27. Khan, I. A., Imtiaz, S. & Malik, B. A. (1991). Selection of diverse parents of chickpea (*Cicer arietinum* L.) by multivariate analysis and degree of heterosis of their F1 hybrids. *Euphytica*, 51(3), 227-233.
28. Kirigwi, F. M., Van Ginkel, M., Trethowan, R., Sears, R. G., Rajaram, S. & Paulsen, G. M. (2004). Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. *Euphytica*, 135, 361-371.
29. Kristin, A. A., Serna, R. R., Perez, F. I., Enriquez, B. C., Gallegos, J. A. A., Vallejo, P. R., Wassimi, N. & Kelley, J. D. (1997). Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*, 37, 43-50.
30. Lan, J. (1998). Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 7, 85-87.
31. Langer, I., Freyand, K. J. & Bailey, T. (1979). Associations among productivity, production response and stability indices in oats varieties. *Euphytica*, 28, 17-24.
32. Moghaddam, A. & Hadizadeh, M. H. (2002). Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. *Seed Plant Production Journals*, 18(3), 255-272. (in Farsi with English Abstract)
33. Mohammad Alipour Yamchi, H., Bihamta, M. R., Peighambari, S. A. & Naghavi, M. R. (2011). Evaluation of drought tolerance in Kabuli type chickpea genotypes. *Iranian Journal of Sees and Plant Breeding*, 3, 393-409. (in Farsi)
34. Moosavi, S. S., Yazdi Samadi, B., Naghavi, M. R., Zali, A. A., Dashti, H. & Pourshahbazi, A. (2008). Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert*, 12, 165-178.
35. Naeemi, M., Akbari, Gh. A., Shirani Rad, A. H., Modares Sanavi, S. A. M., Sadat Nuri, S. A. & Jabari, H. (2008). Evaluation of drought tolerance in different Canola cultivars based on stress evaluation indices in terminal growth duration. *Electronic Journal of Crop Production*, 1(3), 83-98. (in Farsi)
36. Nakhaei, A., Abbasi, M. R., Arazmjoo, E. & Azari, M. A. (2014). Evaluation of terminal drought tolerance in Foxtail millet (*Setaria italica*) accessions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 16(1), 25-38. (in Farsi)
37. Narayan, R. K. J. & Macefield, A. J. (1976). Adaptive responses and genetic divergence in a world germplasm collection of chick pea (*Cicer arietinum* L.). *Theoretical and applied genetics*, 47(4), 179-187.
38. Pourdad, S. S., Alizadeh, K. H., Azizinezhad, R., Shariati, A., Askandari, M., Kheyavi, M. & Ezatollahi, N. (2008). Evaluation of different safflowers in different regions. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12(45), 403-415. (in Farsi with English abstract)
39. Pouresmael, M., Akbari, M., Vaezi, S. & Shahmoradi, S. (2009). Effects of drought stress gradient on agronomic traits in kabuli chickpea core collection. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 11(4), 307-324. (in Farsi)
40. Quisenberry, J. E. (1982). Breeding for drought resistance and plant water use efficiency. Pp. 193-212. In: Christiansen MN and Lewis CP (eds). *Breeding plants for less favorable environments*. Wiley Intersciences. New York, USA.
41. Ramirez, V. P. & Kelly, J. D. (1998). Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica*, 99, 127-136
42. Rosielle, A. A. & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21, 943-946.
43. Safari, S., Dehghan, H. & Chogan, R. (2007). Evaluation of corn inbred lines for water resistance based on resistance indices and biplot method. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 38(2), 215-228.
44. Saxena, N. P., Saxina, M. C. & Johansen, S. M. (1996). *Adaptation of chickpea in the west Asia and North Africa region*. ICARDA publication.
45. Schneider, K. A., Rosales-Serna, R., Ibbara-Perez, F., Cazares-Enriquez, B., Acosta-Gallegos, J. A., Ramirez-Vallejo, P., Wassimi, N. & Kelly, J. D. (1997). Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*, 37, 43-50.
46. Singh, K. B. (1997). Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Research*, 53, 161-170
47. Singh, S. P., Teran, H. & Gutierrez, J. A. (2001). Registration of SEA 5 and SEA 13 drought tolerant dry bean germplasm. *Crop Science*, 41, 276-277.
48. Taghvaei, M., Chaeichi, M., Sharifzadeh, F. & Ahmadi, A. (2007). Evaluation of drought stress on yield and yield components and drought tolerance indices in hull-less and coated barley cultivars. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 38(1), 67-78. (in Farsi with English Abstract)
49. Zahravi, M. (2009). Evaluation of genotypes of wild barley (*Hordeum spontaneum*) based on drought tolerance indices. *Seed and Plant Improvement Journal*, 25(4), 533-549. (in Farsi with English abstract)