Archive of SID

Plant Prod., 42(2) (2019) 227-238 ISSN (P): 2538-543x
DOI: 10.22055/ppd.2019.24247.1539 ISSN (E): 2588-5979

The Evaluation of the Elite Genotypes for Drought Tolerance in Cumin (*Cuminum Cyminum* L.) Using Drought Tolerance Indices

Maryam Dorrani-Nejad[1]*, Sonia Aghighi[2] and Ghasem Mohammadi-Nejad[3]

1- ***Corresponding Author:** Ph.D. Student of Plant Breeding, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Member of Young Researcher Association Shahid-Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran (M.dorraninejad@gmail.com)
2- Assistant Professor, Department of Plant Pathology, Research and Technology Institute of Plant Production (RTIPP) of Shahid-Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
3- Associate Professor, Department of Genetic and Plant Breeding, Research and Technology Institute of Plant Production (RTIPP) of Shahid-Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Received: 29 November, 2017 Accepted: 8 July, 2018

Abstract

Background and Objectives
Cumin (*Cuminum cyminum* L.) is one of the most important aromatic and medicinal plants in the world. It has a short life cycle (100-120 days) and needs little water for its growth cycle. Therefore, it is suitable for cultivation in arid and semi-arid regions of Iran. Different indices, including tolerance (TOL), mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP), stress tolerance index (STI), stress susceptibility index (SSI), harmonic mean (HM), yield index (YI), and yield stability index (YSI) have been employed for screening the stress tolerant genotypes. Due to the economic, medicinal, and aromatic importance of cumin, this study evaluated elite genotypes for drought tolerance in cumin in order to develop improved genetic population for farmers' usage.

Materials and Methods
The experiment was carried out in the research field of Shahid Bahonar University of Kerman, during the growing season of 2016-2017. In this study, 15 elite genotypes in cumin were evaluated using a randomized complete block design with three replications in two different environments, including normal and stress conditions. Stress treatment was cutting-off irrigation at the early flowering stage. Seed yield (ton/ha) was measured. Tolerance indices were calculated for genotypes based on the seed yield. To find suitable indices in order to determine the tolerant genotypes, the correlation coefficient between the calculated indices Y_P and Y_S was performed. To evaluate the relationship between the tolerance indices and the studied genotypes, principal components analysis (PCA) was performed. In order to use all tolerance indices simultaneously, an equation was used for estimating the stress tolerance score (STS).

Results
The results of the correlation analysis revealed that GMP, MP, and STI indices were positively correlated with seed yield under both stress and non-stress conditions. Therefore, they can be suitable indices for determining tolerant genotypes. Principal components analysis (PCA) showed that the first and second Principal component explained 61.89% and 37.52% of the total variation, respectively. According to the bi-plot graph, genotypes No. 7, 12, 8, and 13 with high

www.SID.ir

Archive of SID

MP, GMP, and STI scores and low TOL and SSI scores had the highest tolerance to drought stress. Based on the calculated STS (stress tolerance score), genotypes No. 7, 4, 12, 8, and 13 were the most tolerant genotypes and genotypes No. 14, 10, 6, 9, and 2 were the most sensitive genotypes, respectively. These results were identical with the results of bi-plot analysis. Moreover, this equation is much easier to be used than the multivariate analysis, such as principal components analysis (PCA).

Discussion

The aim of this study was the evaluation and selection of tolerant genotypes with high seed yield, and based on the results obtained from all the applied methods, it can be concluded that genotypes No. 7, 4, 12, 8, and 13 are identified as tolerant genotypes and were recommended to develop improved genetic population after being-tested in other places.

Keywords: Principal component analysis, Seed yield, Water stress condition

www.SID.ir

Archive of SID

ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های برتر زیره سبز ایران (*Cuminum cyminum* L.) با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی

مریم درانی‌نژاد[1]*، سونیا عقیقی[2] و قاسم محمدی‌نژاد[3]

۱-***نویسنده مسئول:** دانشجوی دکتری اصلاح نباتات، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، عضو انجمن پژوهشگران جوان دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران (M.dorraninejad@gmail.com)

۲- استادیار، گروه بیماری‌شناسی گیاهی، پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنرکرمان، کرمان، ایران

۳- دانشیار، گروه ژنتیک و اصلاح نباتات، پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۷

چکیده

زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) از مهم‌ترین گیاهان دارویی و ادویه‌ای، با داشتن دوره رشد کوتاه و نیاز آبی پایین، مناسب کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران می‌باشد. به منظور ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های برتر زیره سبز ایران، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. در این آزمایش ۱۵ ژنوتیپ برتر زیره سبز در شرایط نرمال و تنش رطوبتی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بررسی شدند. تنش خشکی به‌صورت قطع آبیاری در اوایل مرحله گلدهی اعمال شد. بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش، شاخص‌های تحمل به خشکی شامل شاخص تحمل (TOL)، میانگین تولید (MP)، میانگین هندسی تولید (GMP)، شاخص تحمل به تنش (STI)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص عملکرد (YI) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) محاسبه شدند. نتایج تجزیه همبستگی عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش رطوبتی با شاخص‌های محاسبه‌شده نشان داد شاخص‌های MP، GMP و STI مناسب‌ترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی می‌باشند. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ژنوتیپ‌های شماره ۷، ۱۲، ۸ و ۱۳ را به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های ٦، ۹، ۱۰ و ١٤ را به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها معرفی کرد. همچنین براساس STS محاسبه‌شده برای هر ژنوتیپ، مشخص گردید ژنوتیپ‌های شماره ۷، ٤، ۱۲، ۸ و ۱۳ جزو ژنوتیپ‌های متحمل و ژنوتیپ‌های ١٤، ۱۰، ٦، ۹ و ۲ به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. بنابراین می‌توان ژنوتیپ‌های شماره ۷، ٤، ۱۲، ۸ و ۱۳ را برای ایجاد یک جامعه اصلاح‌شده ژنتیکی پیشنهاد داد.

کلیدواژه‌ها: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تنش رطوبتی، عملکرد دانه

مقدمه

زیره سبز با نام علمی *Cuminum cyminum* L. متعلق به خانواده چتریان (Apiaceae) می‌باشد. این گیاه بعد از فلفل سیاه محبوب‌ترین ادویه در دنیاست (Bettaieb *et al.*, 2012). زیره سبز از مهم‌ترین محصولات صادراتی کشورهایی از جمله ایران، هندوستان و دیگر کشورهای آسیایی است و از نظر ارزش اقتصادی دومین گیاه صادراتی پس از زعفران می‌باشد که به‌طور میانگین ۴۰-۲۰ درصد از بازارهای جهانی را به خود اختصاص داده و روز به روز بر اهمیت و سطح زیرکشت آن افزوده می‌گردد. بخش بزرگی از زمین‌های کشاورزی ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است.

www.SID.ir

Archive of SID

زیره سبز با داشتن دوره رشد کوتاه (۱۲۰-۱۰۰ روز) و نیاز آبی پایین، مناسب کشت در این مناطق می‌باشد (Kafi *et al.*, 2006). گزینش برای تحمل به خشکی می‌تواند با استفاده از آن دسته از شاخص‌های تحمل که همبستگی نزدیکی با عملکرد در محیط‌های موردنظر دارند به راحتی انجام شود (Liu *et al.*, 2015). به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش، شاخص‌های مختلفی استفاده می‌شود (Khodarahmpour *et al.*, 2011). Rosielle and Hamblin (1981) تفاوت عملکرد در دو محیط واجد تنش و بدون تنش را به‌عنوان شاخص تحمل (TOL) و میانگین عملکرد در دو محیط را به‌عنوان شاخص میانگین محصول‌دهی (MP) معرفی کردند. Fischer and Maurer (1978) شاخص حساسیت به تنش (SSI) را ابداع کردند و عنوان داشتند ژنوتیپ‌های با کمتر از واحد از تحمل به خشکی بالاتری برخوردارند به دلیل این‌که افت عملکردشان در شرایط تنش کمتر از کاهش میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌هاست. Fernandez (1992) شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، میانگین هندسی محصول‌دهی (GMP) و میانگین هامونیک (HM) را ارائه کرد. در یک مطالعه شاخص پایداری عملکرد (YSI) معرفی شد (Bouslama and Schapaugh, 1984). در بررسی دیگری شاخص عملکرد (YI) که ژنوتیپ‌ها را تنها در شرایط تنش ارزیابی می‌کند ارائه شد (Gavuzzi *et al.*, 1997). Abdolshahi *et al.* (2013) امتیاز تحمل به تنش (STS) را به‌عنوان یک ابزار غربالگری برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفی کردند واظهار داشتند استفاده از STS آسان‌تر از روش‌های چند متغیره می‌باشد. Betran *et al.* (2003) معتقدند انتخاب ژنوتیپ‌های پر محصول بایستی در شرایط بدون تنش صورت گیرد درحالی‌که Ceccarelli and Grando (1991) معتقدند این انتخاب بایستی در شرایط واجد تنش صورت گیرد. Fischer and Maurer (1978) و Sio-Se Mardeh *et al.* (2006) در مطالعات خود گزارش کردند برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا بایستی ارزیابی در شرایط تنش و بدون تنش انجام گیرد. در یک مطالعه ارقام بومی گندم نان را بر اساس شاخص‌های تحمل ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند MP، GMP و STI شاخص‌های مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل می‌باشند (Farshadfar *et al.*, 2013). Omidi *et al.* (2015) در یک بررسی به منظور ارزیابی تحمل به گرمای ۱۰ رقم گندم، شاخص‌های MP، GMP، HM و STI را به‌عنوان شاخص‌های برتر در ارزیابی تحمل به گرما گزارش کردند. در بررسی دیگر با هدف مقایسه ارقام گندم نان بهاره با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش گرمای آخر فصل در اهواز، بهترین شاخص برای ارزیابی تحمل و حساسیت، STI گزارش شد (Moshatati *et al.*, 2013). گزینش بر اساس شاخص TOL منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالقوه پایین و گزینش بر مبنای شاخص MP ژنوتیپ‌های با عملکرد بالقوه بالا را انتخاب می‌کند. در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش، شاخص تحمل به تنش STI نسبت به شاخص حساسیت به تنش SSI از کارآیی بیشتری برخوردار است و شاخص SSI صرفاً جهت حذف ژنوتیپ‌های حساس و نه انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل در شرایط دشوار کارآیی قابل قبولی دارد (Moghaddam and Hadizade, 2002). به دلیل اهمیت زیره سبز از لحاظ ارزش دارویی، ادویه‌ای و اقتصادی، آزمایشی در راستای بهبود ژنتیکی این گیاه با هدف ارزیابی تحمل به خشکی و ترکیب آلل‌های مطلوب جهت افزایش فراوانی این آلل‌ها در جامعه انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۱۵ ژنوتیپ[1] برتر زیره سبز که طی آزمایش‌های قبلی پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی دانشگاه شهید باهنر کرمان انتخاب شده بودند، در شرایط نرمال و تنش رطوبتی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید

۱. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه خانواده‌های ناتنی می‌باشند که از آزادگرده‌افشانی ژنوتیپ‌های والدی برتر سال قبل به‌دست آمده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

باهنر کرمان در سال زراعی ۹۶-۹۵ ارزیابی شدند. این منطقه دارای طول جغرافیایی ۵۷ درجه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه می‌باشد و در ارتفاع ۱۷۵۶ متری از سطح دریا قرار دارد. بافت خاک آن از نوع لومی شنی با اسیدیته ۷/۹ و هدایت الکتریکی ۲/۱۱ دسی زیمنس بر متر می‌باشد. آزمایش در زمینی به مساحت ۴۰۰ مترمربع در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. ماکزیمم و مینیمم دمای منطقه در فصل رشد به‌ترتیب ۳۹ و ۹- درجه سانتی‌گراد بود. پس از انجام عملیات آماده‌سازی زمین (شخم نیمه عمیق، دیسک و عملیات تسطیح) کاشت در اواسط بهمن‌ماه ۱۳۹۵ و به‌صورت دستی انجام شد. هر ژنوتیپ در یک پلات که شامل سه خط دو متری بود کشت شد. فاصله بین ردیف‌ها ۴۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بذور به‌صورت شیاری در عمق ۲-۱ سانتی‌متری قرار گرفتند. کلیه مراقبت‌های لازم در طول مرحله داشت شامل آبیاری، مبارزه با علف‌های هرز و کودهی صورت پذیرفت. مبارزه با علف‌های هرز به صورت وجین دستی در دو مرحله (اواسط فروردین و اواسط اردیبهشت) انجام شد و کود سولفات آمونیوم به میزان ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار همزمان با کاشت استفاده شد. با توجه به این‌که برای تولید زیره سبز در شرایط منطقه کمبود آب در اواخر دوره رشد گیاه رخ می‌دهد، از این‌رو تنش به صورت قطع آبیاری در اوایل مرحله گلدهی اعمال شد. برداشت در اواسط خردادماه ۱۳۹۶ صورت گرفت و عملکرد دانه بر حسب تن در هکتار در دو شرایط نرمال و تنش رطوبتی محاسبه گردید. بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش رطوبتی، شاخص‌های تحمل به تنش شامل شاخص تحمل (TOL)، میانگین تولید (MP)، میانگین هندسی تولید (GMP)، شاخص تحمل به تنش (STI)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص عملکرد (YI) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) به شرح زیر محاسبه شدند.

$$TOL = Yp - Ys \quad (۱)$$

$$MP = \frac{Y_s + Y_p}{2} \quad (۲)$$

$$GMP = (Y_p \times Y_s)^{0.5} \quad (۳)$$

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

$$SSI = \frac{1 - \frac{Y_S}{Y_P}}{1 - \frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P}} \quad (۵)$$

$$HM = \frac{2(Y_P \times Y_s)}{(Y_p + Y_s)} \quad (۶)$$

$$YI = \frac{Y_S}{\bar{Y}_S} \quad (۷)$$

$$YSI = \frac{Y_S}{Y_p} \quad (۸)$$

در این روابط، Y_P: عملکرد دانه هر ژنوتیپ در شرایط نرمال رطوبتی، Y_S: عملکرد دانه هر ژنوتیپ در شرایط تنش رطوبتی، $\bar{Y}_P$: میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال رطوبتی و $\bar{Y}_S$: میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش رطوبتی می‌باشد. برای شناسایی بهترین شاخص‌ها به منظور تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش هبستگی بین این شاخص‌ها و عملکرد دانه در دو محیط محاسبه گردید. سپس با هدف بررسی روابط بین شاخص‌های تحمل و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد و نمودار بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اصلی رسم گردید. همچنین به منظور استفاده همزمان از شاخص‌های محاسبه‌شده، با استفاده از این شاخص‌ها و یک معادله، امتیاز تحمل به تنش (STS) برای هر ژنوتیپ به روش زیر محاسبه گردید.

$$STS = MP + GMP + STI + HM + YI + YSI - TOL - SSI \quad (۹)$$

به دلیل این‌که در محاسبه STS از داده‌های خام شاخص‌ها استفاده شده است در نتیجه معادله بالا از صحت کافی برخوردار نیست، بنابراین مقادیر شاخص‌های موردنظر قبل از استفاده در این معادله با استفاده از فرمول

www.SID.ir

Archive of SID

زیر استاندارد شدند (Abdolshahi *et al.*, 2013).

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - X_i}{S_i} \qquad (۱۰)$$

Z_{ij} مقدار استاندارد ژنوتیپ jام در شاخص iام، X_{ij} داده خام ژنوتیپ j ام در شاخص iام و S_i انحراف استاندارد شاخص iام می‌باشد. به منظور آنالیز داده‌ها، محاسبه شاخص‌ها، تجزیه همبستگی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و رسم نمودار بای‌پلات از نرم‌افزارهای Excel 2013 و SPSS ver.17 استفاده شد.

نتایج و بحث

مقادیر شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش رطوبتی در ژنوتیپ‌های برتر زیره سبز در جدول (۱) ارائه شده است. در شرایط نرمال رطوبتی از بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۱۰ و ۱۱ به‌ترتیب با عملکرد ۴/۱۷، ۴/۰۵ و ۳/۹۲ تن بر هکتار بیشترین عملکرد دانه و ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۱ و ۱۵ به‌ترتیب با عملکرد ۱/۲۱، ۱/۴۴ و ۱/۵۱ تن بر هکتار کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. در شرایط تنش رطوبتی، ژنوتیپ‌های شماره ۷، ۴ و ۱۲ به‌ترتیب با عملکرد ۳/۴۲، ۲/۶۹ و ۲/۶۶ تن بر هکتار دارای بیشترین عملکرد دانه و ژنوتیپ‌های شماره ۱۴، ۱۰ و ۶ به‌ترتیب با عملکرد ۰/۶۶، ۰/۸۳ و ۰/۹ تن بر هکتار ازکمترین عملکرد دانه برخوردار بودند. مقادیر بالای شاخص‌های MP، GMP، STI، HM، YI و YSI و مقادیر پایین شاخص‌های TOL و SSI نشان‌دهنده تحمل به تنش می‌باشد. بر اساس شاخص‌های MP، GMP، STI، HM و YI ژنوتیپ‌های ۷، ۴ و ۱۲ و بر اساس شاخص‌های YSI، TOL و SSI ژنوتیپ‌های ۷، ۱۳ و ۲ به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. بر اساس شاخص‌های GMP، STI ژنوتیپ‌های ۲، ۱، ۱۴ و ۱۵، بر اساس شاخص‌های HM و YI ژنوتیپ‌های ۱۴، ۲، ۱۰ و ۶، بر اساس شاخص MP ژنوتیپ‌های ۲، ۱ و ۱۵ و بر اساس شاخص‌های YSI، TOL و SSI ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۰ و ۶ به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس تشخیص داده شدند. ژنوتیپ ۲ بر اساس شاخص‌های YSI، TOL و SSI متحمل شناخته شد اما بر اساس سایر شاخص‌ها حساس تشخیص داده شد. می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که گاهی عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط نرمال پایین و در شرایط تنش کاهش کمتری نسبت به شرایط نرمال داشته و این امر باعث می‌شود مقادیر شاخص‌های TOL و SSI کوچک شود و مقدار شاخص YSI بزرگ شود در نتیجه ژنوتیپ مورد نظر علی‌رغم این‌که متحمل نیست بر اساس این شاخص‌ها متحمل محسوب خواهد شد. (Moghaddam and Hadizade, 2002).

ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش رطوبتی در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه زیره سبز در جدول (۲) آورده شده است. در شرایط نرمال رطوبتی شاخص‌های MP، GMP، STI، SSI، TOL و YSI و در شرایط تنش رطوبتی شاخص‌های MP، GMP، STI، HM و YI همبستگی بالا و معنی‌داری با عملکرد دانه را دارا بودند. بهترین شاخص برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل شاخصی است که در هر دو شرایط نرمال و تنش رطوبتی همبستگی بالایی با عملکرد داشته باشد (Fernandez, 1992). با توجه به این‌که از بین شاخص‌های محاسبه‌شده MP، GMP و STI در هر دو شرایط تنش و بدون تنش رطوبتی دارای همبستگی بالا و معنی‌دار با عملکرد بوده و همچنین یک همبستگی بالا، مثبت و معنی‌دار بین این سه شاخص مشاهده شد بنابراین به‌عنوان شاخص‌های مناسبی برای تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل در این مطالعه معرفی می‌گردند. این نتایج با گزارش‌هایی از مطالعات دیگر همخوانی دارد (Sadeghzade Ahari, 2006; Shafazadeh *et al.*, 2004). بر مبنای سه شاخص GMP، STI و MP ژنوتیپ‌های ۷، ۴، ۱۲، ۱۱، ۸ و ۱۳ به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها با عملکرد بالا در این بررسی شناسایی شدند. نتایج یک آزمایش که به منظور ارزیابی تحمل به تنش رطوبتی اکوتیپ‌های زیره

www.SID.ir

جدول ۱- عملکرد دانه در شرایط نرمال، تنش رطوبتی و شاخص‌های تحمل به تنش ژنوتیپ‌های برتر زیره سبز

Table 1. Mean of seed yield in normal (Yp), water stress (Ys) conditions and tolerance indices for the elite genotypes in cumin

STS	YSI	YI	HM	SSI	STI	GMP	MP	TOL	Y_S	Y_P	شماره ژنوتیپ No. of genotype
-1.97	0.95	0.78	1.4	0.15	0.27	1.4	1.4	0.08	1.37	1.44	1
-2.95	0.98	0.68	1.2	0.06	0.2	1.2	1.2	0.03	1.19	1.21	2
-0.28	0.89	0.95	1.75	0.31	0.42	1.76	1.76	0. 2	1.66	1.86	3
7.3	0.64	1.54	3.27	1.00	1.53	3.35	3.43	1.48	2.69	4.17	4
-1.07	0.84	0.90	1.7	0.45	0.4	1.71	1.72	0.3	1.57	1.87	5
-7.37	0.30	0.51	1.38	1.96	0.36	1.63	1.93	2.06	0.9	2.96	6
12.35	0.99	1.95	3.43	0.02	1.6	3.43	3.43	0.03	3.42	3.44	7
4.8	0.94	1.36	2.46	0.18	0.82	2.46	2.46	0.16	2.38	2.54	8
-3.26	0.46	0.79	1.89	1.52	0.57	2.04	2.2	1.63	1.38	3.01	9
-7.97	0.20	o.47	1.38	2.24	0.46	1.83	2.44	3.22	0.83	4.05	10
0.59	0.47	1.05	2.51	1.50	0.98	2.96	2.88	2.08	1.84	3.92	11
6.74	0.85	1.52	2.88	0.43	1.14	2.89	2.9	0.48	2.66	3.14	12
4.1	0.98	1.30	2.29	0.05	0.71	2.29	2.29	0.04	2.27	2.31	13
-9.6	0.20	0.38	1.09	2.25	0.29	1.47	1.96	2.61	0.66	3.27	14
-1.48	0.95	0.82	1.48	0.14	0.3	1.48	1.48	0.07	1.44	1.51	15

Y_P: عملکرد دانه هر ژنوتیپ در شرایط نرمال رطوبتی (Seed yield in normal condition)

Y_S: عملکرد دانه هر ژنوتیپ در شرایط تنش رطوبتی (Seed yield in water stress condition)

TOL: شاخص تحمل (Tolerance index)

MP: میانگین تولید (Mean productivity)

GMP: میانگین هندسی تولید (Geometric mean productivity)

STI: شاخص تحمل تنش (Stress tolerance index)

SSI: شاخص حساسیت به تنش (Stress susceptibility index)

HM: میانگین هامونیک (Harmonic Mean)

YI: شاخص عملکرد (Yield index)

YSI: شاخص پایداری عملکرد (Yield stability index)

STS: امتیاز تحمل به تنش (Stress tolerance score)

www.SID.ir

جدول ۲- ضرایب همبستگی شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش رطوبتی در ژنوتیپ‌های برتر زیره سبز

Table 2. Simple correlation coefficients between tolerance indices and seed yield in normal (Yp) and water stress (Ys) conditions in the elite genotypes of cumin

شماره ژنوتیپ No. of genotype	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1									
2	0.23^{ns}	1								
3	0.72**	-0.50^{ns}	1							
4	0.84**	0.73**	0.22^{ns}	1						
5	0.66**	0.88**	-0.04^{ns}	0.96**	1					
6	0.63*	0.89**	-0.07^{ns}	0.95**	0.99**	1				
7	0.64**	-0.57*	0.98**	0.13^{ns}	-0.13^{ns}	-0.16^{ns}	1			
8	0.50^{ns}	0.95**	-0.23^{ns}	0.89**	0.98**	0.98**	-0.31^{ns}	1		
9	0.23^{ns}	0.99**	-0.50^{ns}	0.73**	0.88**	0.87**	-0.57*	0.95**	1	
10	-0.65**	0.57*	-0.98**	-0.13^{ns}	0.13^{ns}	0.16^{ns}	-0.99**	0.31^{ns}	0.57*	1

(1) عملکرد دانه هر ژنوتیپ در شرایط نرمال رطوبتی (Seed yield in normal condition)

(2) عملکرد دانه هر ژنوتیپ در شرایط تنش رطوبتی (Seed yield in water stress condition)

(3) شاخص تحمل (Tolerance index)

(4) میانگین تولید (Mean productivity)

(5) میانگین هندسی تولید (Geometric mean productivity)

(6) شاخص تحمل تنش (Stress tolerance index)

(7) شاخص حساسیت به تنش (Stress susceptibility index)

(8) میانگین هامونیک (Harmonic Mean)

(9) شاخص عملکرد (Yield index)

(10) شاخص پایداری عملکرد (Yield stability index)

**بسیار معنی‌دار ۰/۰۱ > p ، * معنی‌دار ۰/۰۵ > p ، ns غیرمعنی‌دار.

**, *and ns: significant at 0.05, 0.01 probability levels and no-significant, respectively.

www.SID.ir

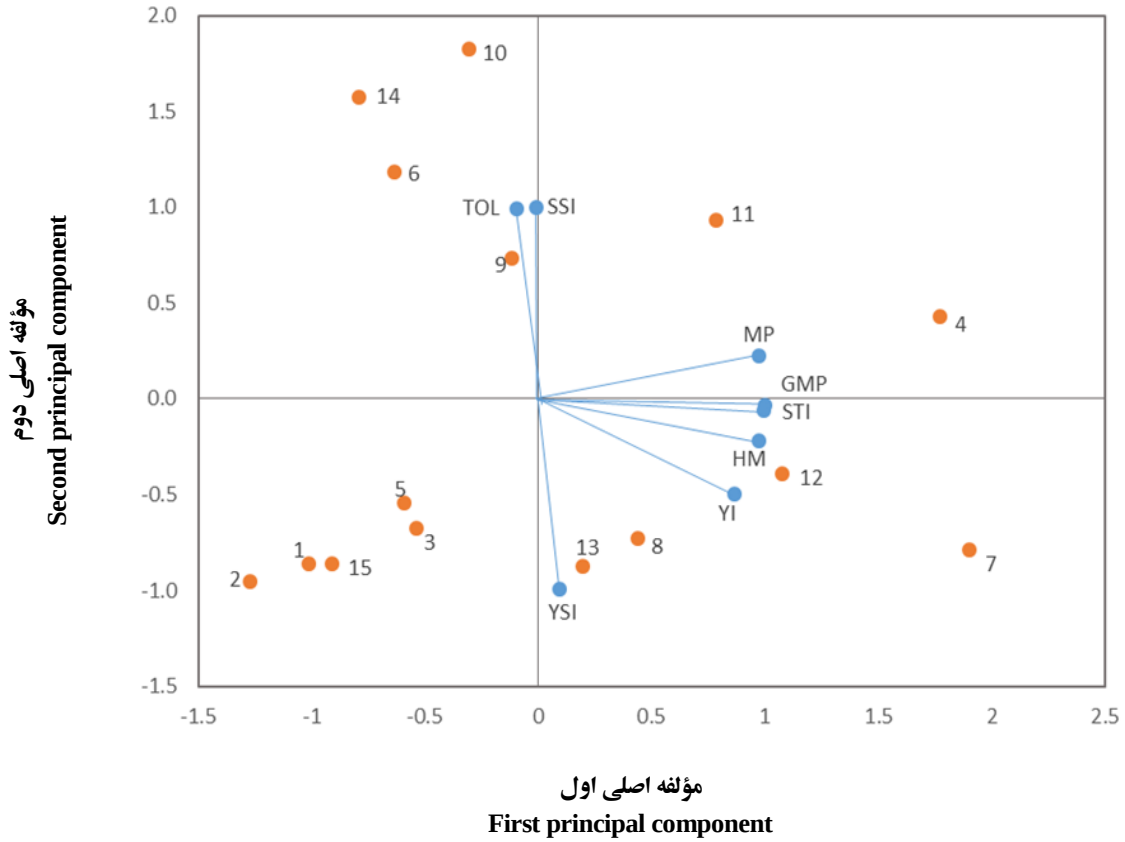
Archive of SID

جدول ۳- نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش در ژنوتیپ‌های برتر زیره سبز

Table 3. Principal components analysis based on the tolerance indices in the elite genotypes of cumin

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	مؤلفه‌های اصلی Principal components
0.093	0.865	0.972	-0.095	0.993	0.999	0.971	-0.07	61.89	4.95	مؤلفه اصلی اول First principal component
-0.993	-0.498	-0.222	0.993	-0.062	-0.035	0.227	0.995	99.42	3.00	مؤلفه اصلی دوم Second principal component

(1) مقدار ویژه (Eigen Value)
(2) درصد واریانس تجمعی (Cumulative variance%)
(3) شاخص تحمل (Tolerance index)
(4) میانگین تولید (Mean productivity)
(5) میانگین هندسی تولید (Geometric mean productivity)
(6) شاخص تحمل تنش (Stress tolerance index)
(7) شاخص حساسیت به تنش (Stress susceptibility index)
(8) میانگین هامونیک (Harmonic mean)
(9) شاخص عملکرد (Yield index)
(10) شاخص پایداری عملکرد (Yield stability index)



شکل ۱- نمودار بای‌پلات شاخص‌های تحمل به تنش در ژنوتیپ‌های برتر زیره سبز بر اساس دو مؤلفه اصلی اول

(اعداد داخل شکل بیانگر موقعیت ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در بای‌پلات می‌باشند)

Figure 1. Biplot analysis graph for tolerance indices in the elite genotypes of cumin based on the first two components (The numbers in the figure represent genotype position in the biplot)

سبز انجام شد نشان داد GMP، STI و MP شاخص‌های مناسبی برای انتخاب اکوتیپ‌های با پتانسیل و پایداری عملکرد بالا می‌باشند (Safari *et al.*, 2017).

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد ۹۹/۴۲

www.SID.ir

Archive of SID

درصد از کل تغییرات شاخص‌ها توسط دو مؤلفه اصلی اول و دوم توجیه می‌شود (جدول ۳). نمودار بای‌پلات بر اساس این دو مؤلفه رسم گردید (شکل ۱). اولین مؤلفه اصلی ۶۱/۸۹ درصد از تغییرات را توجیه کرد و همبستگی مثبت و بالایی با شاخص‌های MP، GMP، STI، HM و YI داشت. از آنجایی که مقادیر بالای این شاخص‌ها مبین تحمل به تنش می‌باشد می‌توان این مؤلفه را مؤلفه تحمل به تنش نامید. ۳۷/۵۲ درصد از کل تغییرات توسط مؤلفه اصلی دوم توجیه می‌شود، این مؤلفه همبستگی مثبت و بالایی با شاخص‌های TOL، SSI و همبستگی منفی و بالایی با شاخص YSI داشت. مقادیر بالای شاخص‌های TOL و SSI بیانگر حساسیت به تنش و مقدار بالای شاخص YSI نشان‌دهنده تحمل به تنش می‌باشد؛ بنابراین می‌توان مؤلفه اصلی دوم را مؤلفه حساسیت به تنش نام‌گذاری کرد. مقادیر بالای مؤلفه اصلی اول بیانگر تحمل به تنش و مقادیر پایین این مؤلفه حساسیت به تنش را نشان می‌دهد. در خصوص مؤلفه اصلی دوم مقادیر بالا نشان‌دهنده حساسیت به تنش و مقادیر پایین نمایانگر تحمل به تنش هستند. بر این اساس و با توجه به نمودار بای‌پلات می‌توان نتیجه گرفت ژنوتیپ‌های شماره ۷، ۱۲، ۸ و ۱۳ که در ناحیه چهارم نمودار بای‌پلات قرار گرفته‌اند جزو ژنوتیپ‌های متحمل محسوب‌شده و ژنوتیپ‌های شماره ۱۰، ۱۴، ۶ و ۹ که در ناحیه دوم نمودار مذکور واقع شده‌اند حساس به خشکی می‌باشند.

مقدار امتیاز تحمل به تنش (STS) محاسبه‌شده بر اساس معادله (۹) برای هر ژنوتیپ در جدول (۱) ارائه شده است. ژنوتیپ‌های شماره ۷، ۴، ۱۲، ۸ و ۱۳ به‌ترتیب با دارا بودن بیشترین مقدار STS متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های شماره ۱۴، ۱۰، ۶، ۹ و ۲ به‌ترتیب با دارا بودن کمترین مقدار STS حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها تعیین شدند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود این نتایج با نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی یکسان می‌باشد و این در حالی است که استفاده از معادله ۹ آسان‌تر از روش‌های چندمتغیره نظیر تجزیه به مؤلفه‌های اصلی می‌باشد. ویژگی‌های زراعی ژنوتیپ‌های متحمل در جدول (۴) ارایه شده است.

جدول ٤- میانگین صفات زراعی در جمعیت مورد بررسی و ژنوتیپ‌های متحمل زیره سبز

Table 4. Mean of agronomic traits in studied population and tolerant genotypes of cumin

شماره ژنوتیپ No. of genotype	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد چتر در بوته Number of umbel per plant	وزن بوته (گرم) Plant weight (g)	وزن دانه در بوته (گرم) Seed weight per plant (g)	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	وزن هزاردانه (گرم) 1000 Seed weight (g)	عملکرد دانه (تن در هکتار) Seed yield (ton/ha)
7	17.7	23	11	4.7	1230	3.98	4.08
4	21.53	31	16.47	5.29	1202	3.44	3.43
12	15.53	17	9.89	6.99	1812	3.86	3.2
8	20.9	27	17.57	5.12	1362	3.76	2.79
13	24.08	31	14	5.76	1649	3.59	1.61
Mean	21.62	30	13.65	5.18	1361	3.79	2.28

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

از آنجایی که یکی از اهداف اصلی این پژوهش، ارزیابی و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی با پتانسیل عملکرد بالا جهت ایجاد یک جامعه اصلاح‌شده ژنتیکی می‌باشد و با توجه به نتایج حاصل از محاسبه همبستگی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و همچنین امتیاز تحمل به تنش (STS) محاسبه‌شده می‌توان ژنوتیپ‌های شماره ۷، ۴، ۱۲، ۸ و ۱۳ را که بر اساس همه روش‌های استفاده‌شده در این مطالعه متحمل شناخته شدند و پتانسیل عملکرد بالایی دارند را پس از آزمودن در چند مکان دیگر برای استفاده کشاورزان معرفی کرد.

References

Abdolshahi, R., Safarian, A., Nazari, M., Pourseyedi, S. and 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(5), 685-704.

Betran, F. J., Beck, D., Banziger, M. and Edmeades, G. O. (2003). Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and non-stress environments in tropical maize. *Crop Science*, 43(3), 807-817.

Bettaieb, R. I., Jabri-Karoui, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F. and Marzouk, B. (2012). Effect of drought on the biochemical composition and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. *Industrial Crops and Products*, 36(1), 238-245.

Bouslama, M. and Schapaugh, W. T. (1984). Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24(5), 933-937.

Ceccarelli, S. and Grando, S. (1991). Selection environment and environmental sensitivity in barley. *Euphytica*, 57(2), 157-167.

Farshadfar, E., Poursiahbidi, M. M. and Safavi, S. M. (2013). Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/tolerance indices. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(2), 143-158.

Fernandez, G.C. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In *Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress*, Aug. 13-16, Shanhua, Taiwan. 257-270.

Fischer, R. A. and Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: grain yield response. *l*, 29(5), 897-912.

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R. G., Ricciardi, G. L. and Borghi, B. (1997). Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 77(4), 523-531.

Kafi, M., Rashed Mohassel, M. H., Koocheki, A. and Nassiri, M. (2006). *Cumin (Cuminum cyminum) production and processing*. Enfield, New Hampshire: Science Publishers.

Khodarahmpour, Z., Choukan, R., Bihamta, M. R. and Majid-Hervan, E. (2011). Determination of the best heat stress tolerance indices in maize (*Zea mays* L.) inbred lines and hybrids under Khuzestan province conditions. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13(1), 111-121.

Liu, C., Yang, Z. and Hu, Y. G. (2015). Drought resistance of wheat alien chromosome addition lines evaluated by membership function value based on multiple traits and drought resistance index of grain yield. *Field Crops Research*, 179(1), 103-112.

Moghaddam, A. and Hadizade, M. H. (2002). Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. *Seed and Plant Improvement Journal*, 18(3), 255-272. [In Farsi]

www.SID.ir

Archive of SID

Moshatati, A., Siadat, S. A., Alami Saeid, Kh., Bakhshandeh, A. M. and Jalal-Kamali, M. R. (2013). Comparison of wheat cultivars using indices of tolerance and susceptibility to terminal heat stress in Ahvaz. *Plant Productions*, 36(2), 61-73. [In Farsi]

Omidi, M., Siahpoosh, M. R., Mamghani, R. and Modarresi M. (2015). Heat tolerance evaluating of wheat cultivars using physiological characteristics and stress tolerance indices in Ahvaz climatic conditions. *Plant Productions*, 38(1), 103-113. [In Farsi]

Rosielle, A. A. and Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and nonstress environment. *Crop Science*, 21(6), 943-946.

Sadeghzade Ahari, D. (2006). Evaluation for tolerance to drought stress in dry land promising durum wheat genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 8(1), 30-45. [In Farsi with English abstract]

Safari, B., Mortazavian, S.M.M., Sadat Noori, S.A. and Foghi, B. (2017). Evaluation of drought tolerance in endemic ecotypes of cumin using tolerance indices. *Journal of Plant Production Research*, 23(4), 185-204.

Shafazadeh, M. K., Yazdan sepas, A., Amini, A. and Ghannadha, M. R. (2004). Study of terminal drought tolerance in promising winter and facultative wheat genotypes using stress susceptibility and tolerance indices. *Seed and Plant Improvement Journal*, 20(1), 57-71. [In Farsi]

Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K. and Mohammadi, V. (2006). Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research*, 98(2-3), 222-229.

© 2019 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

www.SID.ir