Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 15, No 46, Summer 2023 p: 189-197

OPEN ACCESS

"Research Paper"

Selection of Old and New Varieties of Bread Wheat Tolerant to Drought Stress after the Flowering Stage

Mehdi Kakaei

Associate Professor of Agricultural Sciences Department, Payam Noor University, Tehran,Iran.
(Corresponding author: M.Kakaei@pnu.ac.ir)

Received: 30 September 2022 Accepted: 24 January 2023

Extended Abstract

Introduction and Objective: In semi-arid areas such as a large part of Iran, due to rainfall unfavorable distribution and temperature sudden increase in time of grain filling, soil moisture decrease is considered as one of the most important factors in the reduction of wheat growth and development, Therefore, by evaluating the effects of drought stress on the studied cultivars, it is possible to identify the most favorable cultivars and use them for future breeding purposes. Therefore, the purpose of this research was to identify drought tolerant cultivars and their characteristics with the help of drought tolerant indices that cause higher yield in dry climatic conditions.

Material and Methods: The present experiment was designed and implemented in the educational-research farm of Payame Noor University, Asadabad center, in the form of a randomized complete block design with three replications in two conditions of moisture treatment in the crop year 2015-2016. Moisture treatment was carried out in the conditions of drought stress in the form of interruption of irrigation after flowering and in conditions without drought stress. Were used in this research number 14 cultivar of old and new varieties of bread wheat. Drought tolerance indices were used in this research.

Results: The results of mean comparing of this experiment showed that the highest mean yield in the conditions without drought stress and drought stress condition was cultivar No. 10 and 2, respectively. Cultivar No, 10, 2 and 6 had the highest Stress Tolerance Index, Mean Productivity, Geometric Mean Productivity, Harmonic Index, Abiotic-Stress Tolerance Index, Modified Stress Tolerance index in without Drought Stress, Modified Stress Tolerance Index in Drought Stress and Stress Tolerance Score Indices. The results of the correlation analysis between the indices and the mean yield in the non-drought stress conditions and drought stress condition showed that the most suitable indices for screening cultivars in two environmental conditions were STI, ATI, K1STI, K2STI, STS, MP, HAM and GMP.
Also, Principal Components Analysis showed that 69.3% of the changes of the examined variables in the of non-drought stress conditions and drought stress conditions can be explained by the first component and 99.4% of the said changes can be explained by the first and second components.

Conclusion: In this study, STI, ATI, K1STI, K2STI, STS, MP, HAM and GMP indexes were found to be favorable. Therefore, these indices were able to identify drought tolerant cultivars with optimal performance in both environmental conditions under investigation (non-drought stress conditions and drought stress conditions). The cultivars that were able to be selected in both environmental conditions by the mentioned indices included cultivars No. 10, 2 and 6, respectively.

Key words: Bi-plot, Drought Tolerance Indices, Wheat, Yield

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.189]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

"مقاله پژوهشی"

انتخاب ارقام قدیم و جدید گندم نان متحمل به تنش خشکی پس از مرحله گل‌دهی

مهدی کاکایی

دانشیار اصلاح نباتات، بخش علوم کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران،ایران، (نویسنده مسوول: M.Kakaei@Pnu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۴
صفحه: ۱۸۹ تا ۱۹۷

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: در مناطق نیمه‌خشک نظیر بخش وسیعی از کشور ایران به‌دلیل پراکنش نامطلوب بارندگی و افزایش یکباره دما در زمان پر شدن دانه، کاهش رطوبت خاک از جمله مهم‌ترین عامل نقصان رشد و نمو گندم محسوب می‌شود، لذا با ارزیابی اثرات تنش خشکی روی ارقام مورد مطالعه می‌توان مطلوب‌ترین رقم را تشخیص داد و از آن برای اهداف به‌نژادی آتی استفاده نمود. بنابراین هدف از این پژوهش شناسایی ارقام متحمل به خشکی و نیز خصوصیات آن‌ها با کمک شاخص‌های مقاومت به خشکی می‌باشد که سبب عملکرد بالاتر در شرایط اقلیمی خشک می‌شوند.

مواد و روش‌ها: آزمایش حاضر در مزرعه آموزشی-پژوهشی دانشگاه پیام‌نور مرکز اسدآباد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط تیمار رطوبتی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ طراحی و اجرا گردید. تیمار رطوبتی در شرایط اعمال تنش خشکی به‌صورت قطع آبیاری بعد از گل‌دهی و در شرایط بدون تنش خشکی مطابق معمول منطقه تحقیق انجام پذیرفت. تعداد ۱۴ رقم از مجموع ارقام قدیم و جدید گندم نان در این پژوهش استفاده گردید. از شاخص‌های تحمل به خشکی در این پژوهش استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج مقایسه میانگین‌ها این آزمایش نشان داد که بیشترین میانگین عملکرد در شرایط بدون تنش خشکی و تنش خشکی به‌ترتیب مربوط به رقم ۱۰ و ۲ بود. بیشترین شاخص Stress Tolerance Index، Mean Productivity، Geometric Mean Productivity، Harmonic Index، Abiotic-stress Tolerance Index، Modified Stress Tolerance index in without drought stress، Modified Stress Tolerance index in drought stress و Stress Tolerance Score را ارقام شماره ۱۰، ۲ و ۶ داشتند. نتایج حاصل از تحلیل همبستگی بین شاخص‌ها و میانگین عملکرد در شرایط بدون تنش خشکی و تنش خشکی نشان داد که مناسب‌ترین شاخص برای غربال کردن ارقام در دو شرایط محیطی در این مطالعه، شاخص‌های STI، ATI، K1STI، K2STI، STS، MP، HAM و GMP بودند. همچنین تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که ۶۹/۳ درصد تغییرات متغیرهای مورد بررسی در شرایط بدون تنش و تنش خشکی توسط مؤلفه اول و ۹۹/۴ درصد تغییرات مذکور توسط مؤلفه‌های اول و دوم قابل توجیه می‌باشد.

نتیجه‌گیری: در این مطالعه شاخص‌های STI، ATI، K1STI، K2STI، STS، MP، HAM و GMP مطلوب تشخیص داده شدند. لذا این شاخص‌ها توانستند ارقام متحمل به خشکی و دارای عملکرد مطلوب در هر دو شرایط محیطی مورد بررسی (شرایط بدون تنش خشکی و تنش خشکی) را شناسایی نمایند. ارقامی که توانستند در هر دو شرایط محیطی توسط شاخص‌های مذکور مورد گزینش قرار بگیرند به‌ترتیب شامل ارقام شماره ۱۰، ۲ و ۶ بودند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، تحمل به خشکی، شاخص‌های عملکرد، گندم

مقدمه

خشکی از جمله مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید گیاهان زراعی در بسیاری از مناطق دنیا می‌باشد. استفاده از رقم‌های متحمل به خشکی از جمله راهکارهای مطلوب در کاهش اثرات منفی بر عملکرد می‌باشد (۱۵). نواحی تحت تنش خشکی به مناطقی گفته می‌شود که میزان بارندگی سالانه آن‌ها کمتر از ۵۰۰ میلی‌متر باشد (۲۴). ایران با متوسط بارندگی ۲۴۰ میلی‌متر و شهرستان اسدآباد-همدان (محل انجام تحقیق حاضر) نیز با متوسط بارندگی بلند مدت ۲۵۰ میلی‌متر جزو این نواحی می‌باشد. از آنجایی که گندم مهم‌ترین محصول زراعی و استراتژیک زراعی کشور است و سالانه سطح وسیعی از کشور زیر کشت این گیاه اختصاص می‌یابد، لذا بررسی تحمل ارقام گندم به تنش خشکی از دیدگاه به‌نژادی همیشه مورد توجه بوده است. اولین گام برای برنامه‌ریزی هدفمند جهت کارهای اصلاحی، اطلاع از تنوع‌ژنتیکی و روابط خویشاوندی بین ارقام مناطق مختلف است (۱۲). تنش خشکی ممکن است در هر مرحله از رشد گیاه اتفاق بیفتد، در غلاتی نظیر گندم، جو و ذرت در شرایط تنش خشکی عملکرد دانه بیشتر به تعداد دانه وابسته است، لذا بیشتر مطالعات در طول دوره گلدهی یعنی زمانی که تعداد دانه ایجاد می‌شود تمرکز یافته است (۷). اندازه‌گیری تحمل خشکی را می‌توان با مقایسه عملکرد یک رقم در شرایط بدون تنش خشکی با عملکرد همان رقم در شرایط تنش خشکی اندازه‌گیری نمود (۶). بلام (۴) بیان می‌کند که گزینش برای تحمل خشکی بایستی با انتخاب مواد ژنتیکی برای پتانسیل عملکرد بالا تحت شرایط بدون تنش همراه باشد. معمولاً ارقامی که در شرایط آبیاری مطلوب و آبیاری محدود، عملکرد یکسانی داشته باشند و یا حداقل تفاوت عملکرد آن‌ها کم باشد نسبت به خشکی دارای مقاومت نسبی می‌باشند (۱). بر اساس نظر فیشر[1] 1978 معیار تحمل خشکی وضعیت عملکرد دانه در شرایط خشک است. شاخص‌های کمی متعددی برای انتخاب ارقام بر مبنای وضعیت عملکرد آن‌ها در محیط‌های دارای تنش و بدون تنش پیشنهاد شده است که بر مبنای آن‌ها ارقام دارای وضعیت یکنواخت در شرایط آبی و دیم شناسایی می‌شوند (۸). بر مبنای واکنش ارقام به شرایط محیطی با تنش بدون تنش خشکی و تنش خشکی می‌توان آن‌ها را در چهار دسته گروه‌بندی نمود، که بر این اساس ارقامی که در هر دو شرایط بدون تنش خشکی و تنش خشکی عملکرد مطلوبی داشته باشد در گروه A قرار می‌گیرد، ارقامی که تنها عملکرد مطلوبی در محیط بدون تنش داشته باشند در گروه B جای گرفته و ارقامی که عملکرد مناسبی در محیط تنش داشته باشند در گروه C قرار می‌گیرند و همچنین ارقامی که عملکرد ضعیفی در هر دو محیط داشته باشند در گروه D قرار می‌گیرند. از نظر فرناندز (۹) مناسب‌ترین معیار

1- Fischer

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.189]

شاخصی می‌باشد که قادر باشد گروه A را از دیگر گروه‌ها شناسایی کند. فرناندز (۱۰) بیان کرد که مناسب‌ترین شاخص برای شناسایی ارقام گروه A شاخص تحمل تنش (STI) می‌باشد. فیشر و موور[1] (۱۰) شاخص حساسیت به تنش (SSI) را پیشنهاد کردند. رزیل و هامبلین[2] (۱۲) شاخص تحمل (TOL) و شاخص بهره‌وری متوسط (MP) را معرفی نمودند. فرناندز (۹) شاخص دیگری تحت عنوان میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) را پیشنهاد دادند میانگین هندسی تولید (GMP) اغلب توسط به‌نژادگران علاقمند به تظاهر نسبی به کار می‌رود، به این علت که تنش می‌تواند در محیط مزرعه و در طی سال‌های مختلف از نظر نوع و شدت متغیر باشد (۱۷). تحمل تنش (TOL) به صورت تفاوت عملکرد بین محیط‌های تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) و میانگین تولید (MP) به صورت میانگین عملکرد تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) تعریف شده است (۲۰)، سایر شاخص‌ها به این ترتیب با فرمول و توضیح مناسب در جدول شماره ۲ آورده شده‌اند.

هدف از این پژوهش ارزیابی تحمل به تنش خشکی پس از مرحله گل‌دهی در ارقام گندم جدید و قدیم و انتخاب ارقام متحمل به خشکی، شناسایی مناسب‌ترین و پایدارترین شاخص‌های متحمل به خشکی و پی بردن به روابط بین آن‌ها به‌منظور استفاده در برنامه‌های به‌نژادی آینده جهت افزایش عملکرد در واحد سطح گندم بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تنوع‌ژنتیکی ارقام قدیم و جدید گندم نان (طبق جدول ۱)، مطالعه شاخص‌های کمی تحمل به خشکی و شناسایی ارقام متحمل به خشکی پس از مرحله گل‌دهی، تعداد ۱۴ رقم گندم نان از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان تهیه گردید. آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ در مزرعه آموزشی-پژوهشی دانشگاه پیام‌نور مرکز اسدآباد با شرایط آب و هوایی معتدل و نیمه خشک و با ارتفاع ۱۶۰۷ متر از سطح دریا، بین مدار ۳۴ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ و ۵۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی، طراحی و اجرا گردید. آزمایش در دو شرایط آبیاری مطابق معمول منطقه به‌صورت دوره ۱۴ روزه و شرایط قطع آبیاری در مرحله پس از گل‌دهی تا انتهای دوره رشد گیاه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به صورت جداگانه انجام شد. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم و دیسک زدن صورت گرفت و جهت کودپاشی از ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات آمونیوم و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاس در هنگام کاشت و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به عنوان کود سرک در ابتدای مرحله طویل شدن ساقه استفاده شد. کشت نیز به صورت دستی در اوایل آبان‌ماه انجام پذیرفت. کرت‌های آزمایش شامل شش خط کاشت به طول یک نیم متر و با فاصله ۳۰ سانتی‌متر با تراکم کاشت ۲۰۰ بذر در هر متر مربع بودند. عملیات کنترل علف‌های هرز پهن برگ با علف کش گران‌استار به میزان ۲۰ گرم در هکتار و عملیات کنترل علف‌های هرز باریک توسط Puma super به‌مقدار ۱/۲ لیتر در مقیاس هکتار قبل از مرحله ساقه دهی صورت گرفت. بعداز برداشت، عملکرد دانه ارقام تعیین شد. شاخص‌های حساسیت و تحمل خشکی با استفاده از روابط جدول ۲ (شاخص حساسیت به‌تنش (۱۰)، شاخص تحمل (۲۰)، شاخص میانگین بهره‌وری (۲۰)، شاخص تحمل تنش (۹)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (۹)، شاخص میانگین هارمونیک (۹)، شاخص عملکرد (۱۴)، شاخص تحمل به تنش تغییر یافته در شرایط تنش (۸) و بدون تنش، شاخص حساسیت به خشکی (۸)، شاخص تحمل تنش غیرزنده (۱۶)، شاخص پایداری عملکرد (۵) و شاخص امتیازدهی تحمل خشکی (۲، ۱۱ و ۲۱) محاسبه شدند.

بین شاخص‌های تحمل و عملکرد در شرایط تنش خشکی و بدون تنش خشکی همبستگی‌های ساده محاسبه گردید و بر اساس تحلیل این همبستگی‌ها، شاخص‌های تحمل انتخاب شدند و مطلوب‌ترین شاخص‌ها که در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش خشکی دارای همبستگی بالایی با عملکرد بودند انتخاب گردیدند و نهایتاً بعد از شناسایی بهترین شاخص‌ها، برای تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با عملکرد بالا در هر دو محیط از نمودار سه بعدی استفاده شد که در آن عملکرد در محیط بدون تنش خشکی بر روی محور Xها، عملکرد در محیط تنش بر روی محورZها و یکی از شاخص‌های انتخاب شده فوق بر روی محور Yها نمایش داده شد (۹). جهت نمایش روابط بین سه متغیر و تفکیک نمودن گروه A از سایر گروه‌ها (B, C and D) و نیز سودمندی شاخص مورد نظر به عنوان معیاری برای انتخاب ژنوتیپ‌های پر محصول و متحمل به خشکی، سطح X-Z به وسیله کشیدن خطوط متقاطع به چهار گروه A،B، C و D تقسیم شد و از آنجایی‌که در یک نمودار سه‌بعدی فقط روابط بین سه متغیر را می‌توان بررسی نمود جهت مطالعه همزمان بیش از سه متغیر، نمایش ترسیمی بای پلات بر مبنای تجزیه های چند متغیره، با استفاده از ماتریس داده‌های ژنوتیپ-شاخص برای تعیین روابط بین ژنوتیپ‌ها و شاخص های تحمل به خشکی در یک شکل واحد ترسیم گردید (۲۲). قبل از انجام تجزیه و تحلیل داده‌ها، وجود داده‌های پرت مورد بررسی قرار گرفت (۲۳). برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و انجام کلیه تجزیه‌های آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ و Minitab نسخه ۱۹ استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصله از تجزیه واریانس ساده عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و بدون تنش خشکی و شاخص‌های تحمل به خشکی نشان داد که ارقام مورد بررسی از نظر عملکرد دانه و اکثر شاخص‌های تحمل به خشکی (شامل شاخص‌های STI، MP،GMP،HMA، ATI، K1STI، TOL، YI و STS) با همدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند (جدول ۳). این تفاوت نشان دهنده عکس‌العمل متفاوت ارقام نسبت به تنش رطوبتی و وجود تنوع ژنتیکی بین ارقم گندم نان مورد مطالعه می‌باشد مقادیر عملکرد دانه و شاخص‌های متحمل به خشکی ارقام گندم مورد مطالعه در شرایط تنش

1- Fernandez 2- Fischer and Maurer 3- Rosielle and Hamblin

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.189]

خشکی و بدون تنش در جدول ۴ قابل مشاهده است بر اساس این جدول نتایج نشان داد که بیشترین میانگین عملکرد در شرایط بدون تنش خشکی و تنش خشکی به‌ترتیب مربوط به رقم ۱۰ و ۲ می‌باشد. بیشترین مقادیر کمی شاخص‌های STI، MP،GMP، HMA، ATI، K1STI، K2STI و STS مربوط به ارقام شماره ۱۰، ۲ و ۶ می‌باشد.

جدول ۱- فهرست اسامی ارقام گندم نان مورد استفاده

Table 1. List of bread wheat varieties used

Growth Type	Cultivar Name	No.	Growth Type	Cultivar Name	No.
Winter	Navid	8	Winter	Besostaya	1
Winter	Winter Roshan Backcross	9	Winter	Peshgam	2
Winter	Zare	10	Winter	Saysoon	3
Winter	Sorkh tokhm	11	Winter	Gaskogen	4
Winter	Shahreyar	12	Winter	Shahpasand	5
Winter-Spring	Toos	13	Winter	Mehan	6
Winter-Spring	Alvand	14	Winter	Omid	7

جدول ۲- اسامی شاخص‌های متحمل به خشکی مورد مطالعه

Table 2. Name of studied drought tolerant indices

$SSI = \frac{1-(Y_S/Y_P)}{1-(\bar{Y}_S/\bar{Y}_P)}$	شاخص حساسیت به تنش Stress Susceptibility Index (SSI)	(1)
$TOL = Y_P - Y_S$	شاخص تحمل Stress Tolerance (TOL)	(2)
$MP = \frac{Y_S + Y_P}{2}$	شاخص میانگین بهره‌وری Mean Productivity (MP)	(3)
$STI = \frac{Ys \times Yp}{\bar{Y}p^2}$	شاخص تحمل تنش Stress Tolerance Index (STI)	(4)
$GMP = \sqrt{(Ys \times Yp)}$	شاخص میانگین هندسی بهره‌وری Geometric mean productivity (GMP)	(5)
$HMP = \frac{2\,Yp \times Ys}{Yp+Ys}$	شاخص میانگین هارمونیک Harmonic Index	(6)
$YI = \frac{Ys}{\bar{Y}s}$	شاخص عملکرد yield index (YI)	(7)
$K_1STI = \frac{(Y_P)^2}{(\bar{Y}_P)^2} \times STI$	شاخص تحمل به تنش تغییر یافته تحت شرایط بدون تنش Modified Stress Tolerance index in without drought stress	(8)
$K_2STI = \frac{(Y)^2}{(\bar{Y}_S)^2} \times STI$	شاخص تحمل به تنش تغییر یافته تحت شرایط تنش Modified Stress Tolerance index in drought stress	(9)
$DI = Y_S \times \left(\frac{(\frac{Y_S}{\bar{Y}_P})}{\bar{Y}_S}\right)$	شاخص حساسیت به خشکی Drought resistance index	(10)
$ATI = (\frac{Y_P - Y_S}{\bar{Y}_S}) \times GMP$	شاخص تحمل تنش غیرزنده (Abiotic-stress tolerance Index (ATI))	(11)
$YSI = \frac{Ys}{Yp}$	شاخص پایداری عملکرد Yield Stability Index (YSI)	(12)
$STS = GMPstd + STIstd + HMPstd + MPstd - TOLstd - SSIstd - bstd$	شاخص امتیازدهی تحمل خشکی (Stress Tolerance Score (STS))	(13)

Yp و Ys به‌ترتیب عملکرد دانه در شرایط بدون تنش خشکی و تنش خشکی و $\bar{Y}p$ و $\bar{Y}s$ به‌ترتیب میانگین‌های عملکرد در شرایط بدون تنش خشکی و تنش خشکی می‌باشند

Yp and Ys are respectively the grain yield in the conditions without drought stress and drought stress, and Yp and Ys are the average yield in the conditions without drought stress and drought stress, respectively

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش خشکی و شاخص‌های تحمل به خشکی در ارقام مورد مطالعه گندم

Table 3. Analysis of variance of yield under drought stress and non-drought stress conditions and drought tolerance indices for the cultivars in this study

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of Squares						
		YP	YS	STI	TOL	SSI	MP	GMP
تکرار Replication	2	105702.095	290066.667	0.010	1822852.571	0.208	218071.238	180432.202
تیمار Treatment	13	2830467.971*	1220362.088*	0.088*	990471.304^{ns}	0.053^{ns}	1777797.203**	1711030.796**
اشتباه Error	26	1251329.223	539984.615	0.038	551141.238	0.042	757871.61	709545.233
		HAM	YI	ATI	K1STI	YSI	DI	K2STI	STS
تکرار Replication	2	181894.244	0.015	2.363	0.099	0.027	0.22	0.016	145666.8264
تیمار Treatment	13	1663061**	0.062**	2.705**	0.399**	0.007^{ns}	0.026^{ns}	0.393^{ns}	4934132.116**
اشتباه Error	26	677613.202	0.027	1.069	0.171	0.005	0.025	0.225	2179097.179

ns، *و** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ns, *and**, Non-significant and significant at the probability level of 5% and 1%, respectively.

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.189]

جدول ۴- عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل خشکی در ارقام گندم مورد مطالعه در شرایط تنش خشکی و بدون تنش خشکی
Table 4. Grain yield and drought tolerance indices of the studied wheat cultivars under drought stress and non- drought stress conditions

STS	K1STI	ATI	YI	HMP	GMP	MP	TOL	STI	YS	YP	شماره ارقام Cultivar Number
9950.18	0.95	9351947.64	1.14	5995.25	6110.99	6229.16	2391.66	0.788	5033.33	7425	1
10646.5	1.13	1004695.382	1.21	6366.37	6479.54	6595	2430	0.878	5380	7810	2
9877.59	0.91	9057506.82	1.13	5941.08	6055.92	6173.33	2353.33	0.775	4996.66	7350	3
8666.82	0.48	6592661.37	0.99	5161.63	5260.40	5361.66	1956.66	0.576	4385.33	6340	4
8828.81	0.95	1208758.934	1.02	5675.91	5880.10	6092.50	3145	0.727	4520	7665	5
9921.79	1.20	1192906.635	1.13	6168.17	6330.19	6496.66	2906.66	0.85	5043.33	7950	6
9135.95	0.72	7432271.24	1.04	5436.44	5526.66	5619.16	2011.66	0.661	4613.33	6625	7
6070.43	0.23	6182213.20	0.7	3945.41	4101.62	4265	2996.66	0.353	3116.66	5416.33	8
8955.36	0.72	9210922.07	1.03	5524.90	5660.67	5800	2506.66	0.671	4546.66	7053.33	9
9364.36	1.47	1676772.667	1.09	6244.31	6533.91	6837.50	4008.33	0.893	4833.33	8841.66	10
7457.22	0.34	6216661.14	0.86	4580.97	4688.72	4799.16	2031.66	0.463	3783.33	5815	11
7841.23	0.35	5445961.99	0.89	4675.45	4772.54	4872.50	1805	0.484	3970	5775	12
6900.05	0.46	8833715.04	0.81	4484.89	4701.28	4935.33	3737.33	0.472	3566.66	6304	13
8594.04	0.67	8008198.83	0.98	5240.11	5357.72	5478.33	2243.33	0.622	4356.66	6600	14

شکل گسترده اسامی شاخص های مرتبط با خشکی در جدول شماره ۲ آمده است.
The extended form of the names of indicators related to drought is given in table No. 2.

جدول ۵ نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل خشکی در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که ۶۹/۳ درصد تغییرات متغیرهای مورد بررسی توسط مؤلفه اول و ۹۹/۴ درصد تغییرات مذکور توسط مؤلفه‌های اول و دوم توجیه گردید. جدول ۶ ضرایب همبستگی عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش خشکی و شاخص‌های تحمل به خشکی را نشان می‌دهد. بر اساس جدول ۶، عملکرد دانه با شاخص‌های YS، TOL، GMP، STI، YI، HMP، MP، STS، ATI، K1STI و K2STI، در سطح احتمال ۱ درصد و با شاخص‌های DI و SSI در سطح احتمال ۵ درصد همبستگی معنی‌داری داشت. همبستگی عملکرد دانه با شاخصYSI در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار و منفی بود. بر اساس جدول ۶۶ بین عملکرد در شرایط بدون تنش خشکی و شرایط تنش خشکی همبستگی مثبت و معنی‌داری (۰/۷۶۲**) مشاهده گردید. بنابراین می‌توان انتظار داشت که ارقام با عملکرد بالا در شرایط بدون تنش خشکی، همچنین عملکرد مطلوبی در شرایط تنش خشکی داشته باشند به جز ارقامی که بسیار سازگار به خشکی هستند و در شرایط تنش خشکی عملکرد قابل قبولی از خود نشان می‌دهند و یا اینکه تعداد اندکی از ارقام که در شرایط تنش خشکی بسیار حساس به این شرایط هستند و عملکرد آن‌ها به شدت تحت اثر خشکی کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از جدول ۶، با نتایج حاصل توسط یاراحمدی و همکاران (۲۶)، نیز در بررسی ارتباط بین شاخص‌های تحمل به برنامه‌های غربال‌گری گندم نان همسو می‌باشد.

۵ - تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های متحمل به خشکی
Table 5. Principle component analysis for drought tolerant indices

YSI	STS	ATI	DI	K2STI	K1STI	YI	HMP	GMP	MP	SSI	TOL	STI	واریانس Variance	مقدار ویژه eigenvalue	مؤلفه component
0.017	0.284	0.251	0.225	0.298	0.303	0.289	0.306	0.309	0.31	0.015	0.188	0.31	0.693	10.394	1
-0.481	-0.188	0.271	-0.328	-0.1	0.089	-0.169	-0.07	-0.036	-0.001	0.469	0.371	-0.026	0.994	4.513	2

شکل گسترده اسامی شاخص های مرتبط با خشکی در جدول شماره ۲ آمده است.
The extended form of the names of indicators related to drought is given in table No. 2.

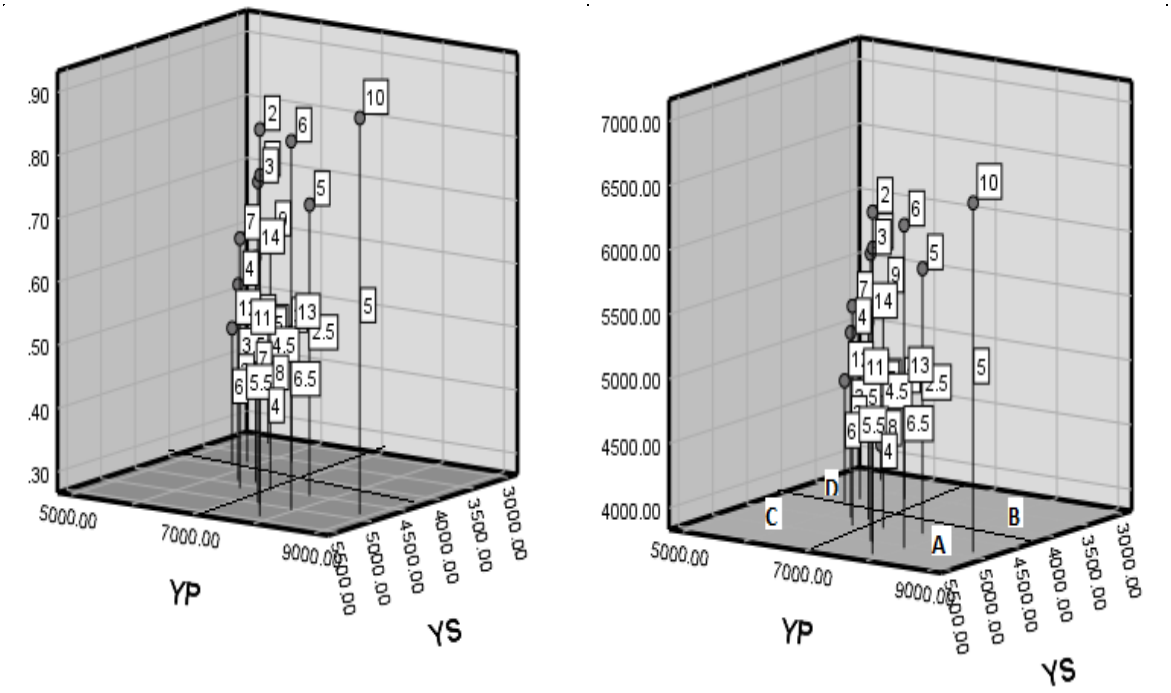
جدول ۶ - ضرایب همبستگی شاخص‌های متحمل به خشکی با عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم تنش
Table 6. Correlation coefficients between drought tolerant indices and grain yield in stress (Ys) and non-stress (Yp) conditions

K2STI	K1STI	ATI	STS	SSI	DI	MP	HMP	YI	STI	YSI	GMP	TOL	Ys	Yp	
														1	YP
													1	0.762**	YS
												1	0.165	0.765**	TOL
											1	0.484**	0.942**	0.934**	GMP
										1	0.008	-0.85**	0.337*	-0.34**	YSI
									1	0.019	0.995**	0.471**	0.941**	0.935**	STI
								1	0.942**	0.337*	0.942**	0.165	1**	0.762**	YI
							1	0.967**	0.993**	0.090	0.996**	0.407**	0.967**	0.899**	HMP
						1	0.984**	0.909**	0.99**	-0.077	0.996**	0.561**	0.909**	0.962**	MP
					1	0.077	-0.091	-0.337*	-0.020	0.71**	-0.008	0.853**	-0.337*	0.34*	DI
				1	1**	0.077	-0.09	-0.337*	-0.019	-1**	-0.008	0.854**	-0.337*	0.341*	SSI
			1	-0.385*	-0.386*	0.885**	0.953**	0.998**	0.924**	0.385*	0.923**	0.111	0.998**	0.725**	STS
		1	0.418**	0.639**	0.638**	0.789**	0.672**	0.466**	0.727**	0.639**	0.732**	0.941**	0.466**	0.923**	ATI
	1	0.835**	0.808**	0.153	0.153	0.959**	0.929**	0.835**	0.966**	-0.153	0.948**	0.61**	0.835**	0.946**	K1STI
1	0.912**	0.551**	0.948**	-0.208	-0.208	0.914**	0.952**	0.955**	0.96**	0.208	0.937**	0.265	0.955**	0.798**	K2STI

بر مبنای نمره تحمل خشکی (۹) عملکرد در شرایط تنش خشکی و بدون تنش خشکی، نمودار سه‌بعدی ترسیم شد (شکل ۱). شکل ۱ گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص تحمل تنش (STI) و شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) را نشان می‌دهد. همانطوری که از شکل‌ها پیدا است ارقام شماره ۱۰، ۲ و ۶ در هر دو شاخص STI و GMP در گروه A قرار دارند یعنی عملکرد مطلوبی در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش خشکی از خود نشان داده‌اند.

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.189]

از ژنوتیپ‌های انتخابی در گروه A به همراه آزمایشات تکمیلی می‌توان برای کاشت در مناطق مورد آزمایش استفاده نمود. مجموعاً بر اساس شکل ۲، نمودار بای‌پلات دو مؤلفه اول تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در آزمون شاخص‌های متحمل به خشکی در ارقام گندم نان و شکل ۳، دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای کلیه شاخص‌ها به روش WARD برای ارقام گندم نان، شاخص‌های STS و K2STI، ارقام با عملکرد بالاتر از میانگین در شرایط تنش خشکی و عملکردی پایین‌تر از میانگین در شرایط مطلوب (گروه C) را از سایر ارقام به خوبی تفکیک کردند. همچنین شاخص YSI، ارقام با عملکرد ضعیف‌تر از میانگین در شرایط تنش خشکی و ارقام با عملکردی پایین‌تر از میانگین در شرایط مطلوب (گروه D) را از سایر ارقام به خوبی تفکیک کردند و سایر شاخص‌ها نیز در تفکیک ارقام گروه A از سایر ارقام موفق عمل نمودند. محققان بسیاری از این شاخص‌ها و این تجزیه‌های مورد استفاده این پژوهش در بررسی‌های خود استفاده نموده‌اند (صارمی و همکاران (۲۵) در گندم، مهدوی و همکاران (۱۷) در ژنوتیپ‌های گندم بهاره، جباری و همکاران (۱۳) در خویشاوندان وحشی گندم، عمرانی و همکاران (۱۸) در لاین‌های گندم تحت تنش خشکی و سوقی و همکاران (۲۴) در گندم نان).



شکل ۱- گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص تحمل تنش (STI) و شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)
Figure 1. Selection of drought tolerant genotypes using Stress Tolerance Index (STI) and Geometric Mean Productivity (GMP)

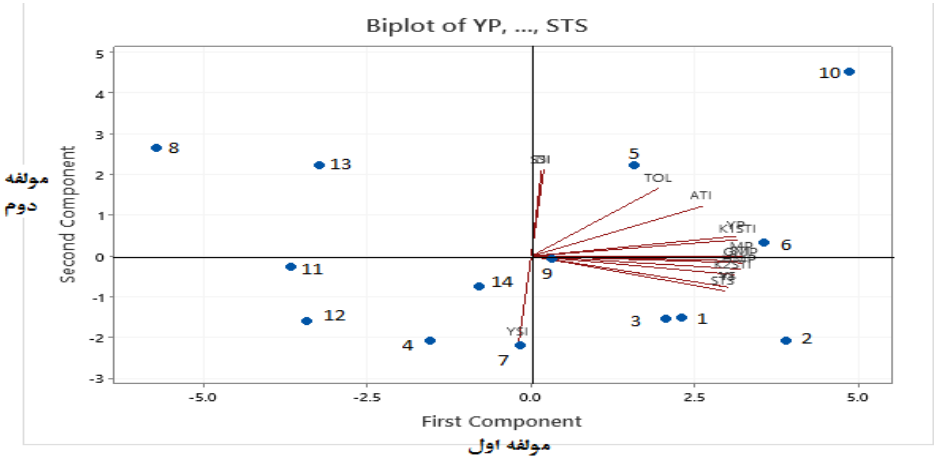
بر اساس شکل ۲ که نمایش بای‌پلات شاخص‌های تحمل به خشکی در ارقام گندم نان براساس دو مؤلفه اول را نمایش می‌دهد ارقام شماره ۱۰ و ۶ که دارای بیشترین عملکرد در هر دو شرایط محیطی (تنش خشکی و بدون تنش خشکی) هستند در نزدیک شاخص‌های STI، TOL،ATI، MP و GMP قرار گرفته‌اند. بر اساس شکل ۲ شاخص DI با SSI دارای همبستگی یک (جدول ۵) بودند و به‌همین علت بردار مربوط به آنها بطور کامل بر هم منطبق شدند و همچنین شاخص STS با شاخص YS بر هم منطبق شدند نتایج حاصل از انطباق دو شاخص DIبا SSI توسط یاراحمدی و همکاران (۲۶) در مطالعه شاخص‌های تحمل به خشکی مشابه بود. در این مطالعه بر اساس شکل ۲، بر مبنای نمودار دوبعدی حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی، تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای در بین ارقام مورد بررسی مشاهده شد. در تجزیه بای‌پلات، کسینوس زاویه بین بردارهای دو صفت معرف ضریب همبستگی بین صفات است. فاصله بین دو ژنوتیپ تقریبی از فاصله ماهالانوبیس در فضای K بعدی است. فاصله ژنوتیپ با بردار صفت (شاخص در اینجا) معرف ارتباط آن‌ها با شاخص یا صفت مورد نظر می‌باشد. همچنین طول بردار صفت یا شاخص معادل با انحراف معیار صفت است (۲۶). بر مبنای نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان برای انتخاب ارقام با پتانسیل عملکرد بالا در شرایط بدون تنش و تنش خشکی از شاخص‌های STI، TOL،ATI، MP و GMP استفاده نمود. این شاخص‌ها قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A از سایر گروه‌ها هستند و همچنین برای نتایج دقیق‌تر و مطمئن‌تر می‌توان انتخاب را با استفاده از اطلاعات حاصله از چند شاخص گزینش نمود یعنی با استفاده از نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه بای‌پلات، ارقام و شاخص‌های مطلوب را شناسایی نمود.

در تجزیه کلاستر ارقام داخل یک کلاستر بیشترین شباهت و یکنواختی را با هم داشته و بین کلاسترها تفاوت و غیریکنواختی بالایی وجود دارد. شکل ۳ نتایج تجزیه کلاستر

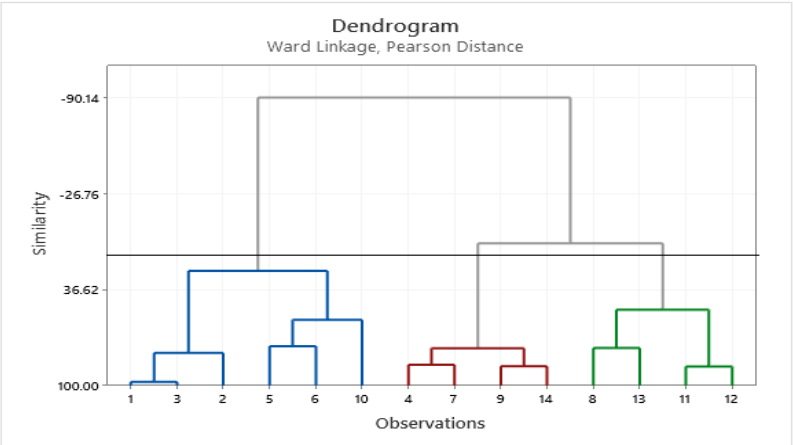
[DOI: 10.61186/jcb.15.46.189]

بر اساس روش وارد و فاصله‌ای پیرسون را نمایش می‌دهد. بر اساس شکل ۳، خط برش تجزیه کلاستر مربوط به شاخص‌های متحمل به خشکی، ارقام را به سه گروه دسته‌بندی کرده است گروه اول شامل ارقام شماره ۱، ۳، ۲، ۵، ۶ و ۱۰ گروه دوم شامل ارقام شماره ۴، ۷، ۹ و ۱۴ و گروه سوم شامل ارقام شماره ۸، ۱۳، ۱۱ و ۱۲ می‌باشد. همانگونه که مشخص است ارقام شماره ۱۰، ۶ و ۲ که دارای بیشترین عملکرد در هر دو شرایط محیطی بودند در یک گروه قرار گرفتند. جدول ۷، تجزیه تابع تشخیص جهت تائید تعداد گروه‌های قابل ایجاد بر مبنای شاخص‌های مورد مطالعه ارقام گندم نان را نشان می‌دهد.

برخی از محققین، در مطالعه ژنوتیپ‌های گندم نان، از روش آماری چندمتغیره تجزیه کلاستر استفاده نمودند و به درستی توانستند ژنوتیپ‌ها را از نظر صفات مورد مطالعه تفکیک کنند (۱۹). محققین در مطالعه ژنوتیپ‌های گندم استفاده از تجزیه کلاستر را روشی مفید برای مطالعه فاصله‌ی ژنتیکی ارقام گندم گزارش کردند. آنها نیز ژنوتیپ‌های گندم را در سه گروه دسته‌بندی کردند و گزارش نمودند که دو ژنوتیپ پر محصول در یک خوشه قرار گرفته‌اند (۳).



شکل ۲- نمودار بای‌پلات دو مؤلفه اول حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در آزمون شاخص‌های تحمل خشکی در ارقام گندم نان
Figure 2. Bi-plot diagram of the first two components of principal component analysis of drought tolerant indices in bread wheat cultivars.



شکل ۳- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای کلیه شاخص‌ها به روش WARD برای ارقام گندم نان
Figure 3. Dendrogram resulting from cluster analysis for all indices by WARD method for bread wheat cultivars.

جدول ۷- نتایج تجزیه تابع تشخیص برای گروه‌بندی بر اساس شاخص‌های مورد مطالعه ارقام گندم نان
Table 7. Discriminant analysis in order to grouping of bread wheat cultivars based on the studied indices

گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای Groups resulting from cluster analysis	گروه‌های پیش‌بینی شده Predicted groups			کل Total
	1	2	3	
1	6	0	0	6
2	0	4	0	4
3	0	0	4	4
4	100%	0	0	100%
5	0	100%	0	100%
6	0	0	100%	100%

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.189]

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس سایر تجزیه‌های آماری (ساده و چندمتغیره) نظیر تجزیه خوشه‌ای، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه بای‌پلات، تجزیه‌های سه بعدی ارقام شماره ۱۰، ۲ و ۶ دارای بیشترین عملکرد در هر دو شرایط محیطی بودند که به‌عنوان ارقام مطلوب شناسایی و معرفی می‌شوند. همچنین شاخص‌های تحمل به خشکی نظیر STI، HAM، GMP، K1STI و ATI به درستی قادر به تفکیک ارقام را از نظر تحمل به تنش خشکی بودند.

تشکر و قدردانی

از دانشگاه پیام نور و همه‌ی کسانی که در شکل‌گیری این پژوهش همکاری داشتند قدردانی می‌کنم، همچنین از همکاری جناب آقای دکتر چایچی عضو محترم هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان جهت مشاوره در تهیه ارقام مورد مطالعه در این پژوهش و همچنین همکاری‌های مربوط قدردانی می‌شود.

منابع

1. Abdemishani, S. and J. Jafari Shabestri. 1989. Evaluation of wheat cultivars for drought resistance. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 19(1): 28-43 (In Persian).
2. Abdolshahi, R., A. Safarian, M. Nazari, S. Pourseyedi and G. Mohamadi-Nejad. 2013. Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using different multivariate methods. Archives Agronomy Soil Science, 59: 685-704.
3. Arain, S.M., M.A. Sial, K.D. Jamali and K.A. Laghari. 2018. Grain yield performance, correlation, and cluster analysis in elite bread wheat (*Triticum aestivum* L.) lines. Acta Agrobot, 71(4): 1747.
4. Blum, A. 1988. Plant breeding for stress environments. CRC. Press. Boca Raton, Fl. 38-78. 5. pp. Bouslama, M. and W.T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science, 24: 933-937.
6. Davlati-pashm, Kh., A.A. Akbarpour and H.R. Isvand. 2017. Investigating drought stress tolerance indices in bread wheat cultivars using the bootstrap method. Journal of Cereal Research, 8(4): 455-469 (In Persian).
7. Derara, N.F., D.R. Marshal and L.N. Balaam. 1969. Genetic variability in root development in relation to drought tolerance in spring wheats. Experimental Agriculture, 5: 327-337.
8. Farshadfar, E. and J. Sutka. 2002. Screening drought tolerance criteria in maize. Acta Agronomica Hungarica, 50(4): 411-416.
9. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of on the Symposium Taiwan, August 13-18. 25: 257-270.
10. Fischer, R.A. and R. Maurer. 1978. Drought Resistance in Spring Wheat Cultivars. I. Grain Yield Responses. Australian Journal of Agricultural Research, 29: 897-912.
11. Ghasemi, M. and E. Farshadfar. 2015. Screening drought tolerant genotypes in wheat using multivariate and stress tolerance score methods. International Journal of Biosciences, 6(1): 326-333.
12. Hashemi-Nasab, H., M.T. Assad, A. Ali Akbari and S.R. Sahhafi. 2012. Evaluation of some physiological traits associated with improved drought tolerance in Iranian wheat. Annals of Biological Research, 3: 1719-1725.
13. Jabari, M., A. Golparvar, B. Sorkhilalehloo, and M. Shams. 2022. Investigation of Diversity of Different Agronomic and Morphological Traits in Wild Wheat Relatives, Journal of Crop Breeding 14 (41): 29-41 (In Persian).
14. Lin, C.S., M.R. Binns and L.P. Lefkovitch. 1986. Stability analysis: where do we stand? Crop Science. 26: 894-900.
15. Malek, M.M., M. Glovi; M. Ramrodi and A. Nakhzari Moghadam. 2018. Evaluation of drought tolerance of wheat cultivars under water deficit stress after flowering. Crop Production Journal, 12 (2): 123-136 (In Persian).
16. Moosavi, S.S., B. Yazdi Samadi, M.R. Naghavi, A.A. Zali, H. Dashti and A. Pourshahbazi. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. Desert Journal, 12: 165-178.
17. Mahdavi, Z., V. Rashidi, M. Yarnia, S. Aharizad and M. Rostaei. 2022. Grouping of Advanced Spring Wheat Genotypes based on Morphological, Physiological and Yield Components under Drought Stress, Journal of Crop Breeding, 14 (42): 9-21 (In Persian).
18. Omrani, S., A. Arzani, M.E. Moghaddam and T.N. Mirak. 2022. Evaluation of Grain-Quality Related Traits of F5 Lines of Wheat under Terminal, Drought Stress Conditions, Journal of Crop Breeding 14 (43): 117-125 (In Persian).
19. Poudel, A., D. Bahadur Thapa and M. Sapkota. 2017. Cluster Analysis of Wheat (Triticum aestivum L.) Genotypes Based Upon Response to Terminal Heat Stress. International Journal of Applied Science and Biotechnology, 5(2): 188-193.
20. Rosielle, A.A. and H. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science, 21: 943-946.
21. Sardouie-Nasab, S., Gh. Mohammadi-Nejad and B. Nakhoda. 2014. Field screening of salinity tolerance in Iranian Bread Wheat Lines. Crop Science, 54: 1489-1496.

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.189]

22. Shabani, A., A. Zebarjadi, A. Mustafaei, M. Saidi and S.S. Pourdad. 2017. Evaluation of tolerance to drought stress of promising chickpea lines (*Cicer arietinum* L.) using drought resistance indices. Journal of Environmental Stresses in Agricultural Sciences, 11(2): 289-299 (In Persian).
23. Soltani, A. and B. Torabi. 2019. Analysis Plan of Agricultural Experiments (with SAS programs): Jahad University of Mashhad Publication, 434 pp (In Persian).
24. Soughi, H., S. Bagherikia and M. Khodarahmi. 2022. Diallel Analysis of Grain Yield and Some Important Agronomic Traits in Bread Wheat, Journal of Crop Breeding, 14(43): 21-28 (In Persian).
25. Saremi, Z., M. Shabazi, M. Zinalabdini, E.M. Haravan and R. Azizinezhad. 2022. Evaluation of Drought Tolerance in Barley Genotypes (*Hordeum vulgare* L.) using Drought Tolerance Indices, Journal of Crop Breeding, 14(41): 10-18 (In Persian).
26. Yarahmadi, S., Gh. Nematzadehe, H. Sabouri and H. Najafi Zarini. 2020. Relationships between drought stress tolerance indices and their see in wheat screeing program, Journal of Crop Breeding, 12 (33): 29-41 (In Persian).

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.189]