

## Evaluation of wheat genotype tolerance to late session heat stress

Maryam Torabi<sup>1</sup>, Saeid Navabpour<sup>\*2</sup>, Saeid Yarahmadi<sup>3</sup>

1. M.Sc. Student of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.  
E-mail: [torabiraha34@gmail.com](mailto:torabiraha34@gmail.com)
2. Corresponding Author, Associate Prof. of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.  
E-mail: [s.navabpour@gau.ac.ir](mailto:s.navabpour@gau.ac.ir)
3. Faculty of Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran.  
E-mail: [yarahmadi61@gmail.com](mailto:yarahmadi61@gmail.com)

### Article Info

**Article type:**  
Full Length Research Paper

**Article history:**  
Received: 12.20.2020  
Revised: 03.02.2021  
Accepted: 05.23.2022

**Keywords:**  
Biplot,  
Cereals,  
Heat stress,  
Tolerance index

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Rising temperatures are a severe warning to humans, and heat stress is one of the principal environmental stresses that reduce the yield of crops, including wheat, worldwide. The increase in carbon dioxide in the atmosphere has caused global warming, affecting agriculture in the future. More than 50 countries experience heat stress during the wheat growing season. Therefore, the development of heat-tolerant cultivars is one of the main goals of wheat breeding programs. This study aimed to evaluate the drought tolerance indices and determine the relationships among them and their application in wheat screening programs.

**Materials and Methods:** This experiment was performed using alpha-lattice design with two replications in normal and delayed cultivation conditions using 132 wheat genotypes (included 62 Iranian and foreign cultivars and 70 advanced lines). The seeds were obtained from the National Rainfed Agricultural Research Institute and the Seedling and Seed Breeding Institute. Two local control cultivars named Gonbad (Abi cultivar) and Kuhdasht (rainfed cultivar) were selected among the selected genotypes. Based on the yield under non-stress (YP) and stress (YS) conditions, tolerance indices such as stress tolerance index (STI), tolerance index (TOL), geometric mean production (GMP), mean production index (MP), harmonic index (HM), yield index (YI), relative drought index (RDI) and yield stability index (YSI) were calculated.

**Results:** The results showed that tolerance indices such as STI, GMP, HM, and MP had a positive and significant correlation with yield under non-stress and stress conditions, and the genotypes with large numerical values for these indices had high yield under stress and non-stress conditions (Fernandez' A group), which were included genotypes 51, 12, 24, 85, 6, 120, 47, 94 (Bahar), 72, 114, 91, 131, 16, and 127. Tolerance indices were divided into two components that explained 90.79% of the total variance, using principal component analysis. The first component, which explained 60.64% of the total variance, had a correlation of 0.75 and 0.86 with performance under stress and non-stress conditions, respectively. The second component, which explained 30.14% of the total variance, showed a correlation of 0.66 and -0.5% with performance under stress and non-stress conditions, respectively. Based on the two-dimensional plot resulting from principal component analysis, considerable genetic diversity was observed among the studied genotypes.

---

**Conclusion:** According to the results, genotypes that perform well under non-stress conditions will not necessarily perform well under stress conditions. Therefore, to select high-yield genotypes under stress conditions, the cultivar selection had to be made in the same stressful environment. In conclusion, it can be said that the identified genotypes using HM, GMP, and MP indices are recommended for cultivation in areas with no stress, but heat stress is likely to occur in some years. In addition, identified genotypes using YSI and RDI indices are recommended for cultivation in areas with severe heat stress at the end of the season. Accordingly, stress-resistant genotypes in F or A group C can be used as germplasm sources with heat-tolerant genes in breeding programs. Also, to locate heat stress tolerance genes, it is possible to use the intersection of genotypes located in group B of Fernandez with genotypes located in group A or C of Fernandez.

---

Cite this article: Torabi, Maryam, Navabpour, Saeid, Yarahmadi, Saeid. 2023. Evaluation of wheat genotype tolerance to late session heat stress. *Journal of Plant Production Research*, 29 (4), 25-43.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2022.18559.2739

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## ارزیابی میزان تحمل ژنوتیپ‌های متنوع گندم به تنش گرمایی آخر فصل

مریم ترابی<sup>۱</sup>، سعید نواب‌پور\*<sup>۲</sup>، سعید یاراحمدی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: [torabiraha34@gmail.com](mailto:torabiraha34@gmail.com)
۲. نویسنده مسئول، دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: [s.navabpour@gau.ac.ir](mailto:s.navabpour@gau.ac.ir)
۳. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران. رایانامه: [yarahmadi61@gmail.com](mailto:yarahmadi61@gmail.com)

اطلاعات مقاله	چکیده
<b>نوع مقاله:</b> مقاله کامل علمی- پژوهشی	<b>سابقه و هدف:</b> افزایش دمای هوا هشدار جدی برای بشر است و تنش گرمایی یکی از تنش‌های محیطی اصلی کاهش‌دهنده عملکرد گیاهان زراعی از جمله گندم در سراسر جهان است. افزایش دی اکسید کربن در جو باعث گرمایش زمین شده است که این امر می‌تواند در آینده، کشاورزی را تحت‌تأثیر قرار دهد. بیش از ۵۰ کشور تنش گرما را در طول دوره رشد گندم تجربه می‌کنند. بنابراین توسعه ارقام متحمل به گرما یکی از اهداف اصلی برنامه‌های اصلاحی گندم است. بنابراین هدف از این بررسی، ارزیابی شاخص‌های تحمل به تنش گرما و پی بردن به روابط بین آن‌ها و به کارگیری آن‌ها در برنامه‌های غربالگری گندم بود.
<b>تاریخ دریافت:</b> ۱۳۹۹/۰۹/۳۰ <b>تاریخ ویرایش:</b> ۱۳۹۹/۱۲/۱۲ <b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۱/۰۳/۰۲	<b>مواد و روش‌ها:</b> این آزمایش با استفاده از طرح آلفا لاتیس با دو تکرار در شرایط کشت بهنگام و کشت کرپه با استفاده از ۱۳۲ ژنوتیپ گندم (شامل ۶۲ رقم ایرانی و خارجی و ۷۰ لاین پیشرفته) اجرا گردید. بذرها از مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور و مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه گردیدند. دو رقم شاهد محلی به نام‌های گنبد (رقم آبی) و کوه‌دشت (رقم دیم) در میان ژنوتیپ‌های انتخابی لحاظ شدند. بر اساس عملکرد در شرایط بدون تنش ( $Y_p$ ) و تنش ( $Y_s$ ) شاخص‌های تحمل تنش مانند شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص تحمل (TOL)، میانگین هندسی عملکرد (GMP)، شاخص میانگین تولید (MP)، شاخص میانگین هارمونیک (HM)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص تنش نسبی (RDI) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) محاسبه شدند.
<b>واژه‌های کلیدی:</b> بای‌پلات، تنش گرما، شاخص تحمل، غلات	<b>یافته‌ها:</b> نتایج نشان داد که شاخص‌های STI، GMP، HM و MP همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش داشتند و ژنوتیپ‌های با مقادیر عددی بزرگ برای این شاخص‌ها، عملکرد بالایی در شرایط تنش و عدم تنش داشتند (گروه A فرناندز) که شامل

ژنوتیپ‌های ۵۱، ۱۲، ۲۴، ۸۵، ۶، ۱۲۰، ۴۷، ۹۴ (بهار)، ۷۲، ۱۱۴، ۹۱، ۱۳۱، ۱۶ و ۱۲۷ بودند. با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، شاخص‌های تحمل به دو مؤلفه تبدیل شدند که ۹۰/۷۹ درصد از واریانس کل را توجیه کردند. مؤلفه اول که ۶۰/۶۴ درصد از واریانس کل را توجیه کرد با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش به ترتیب همبستگی برابر با ۰/۷۵ و ۰/۸۶ داشت. مؤلفه دوم که ۳۰/۱۴ درصد از واریانس کل را توجیه کرد با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش به ترتیب همبستگی برابر با ۰/۶۶ و ۰/۵- نشان داد. بر اساس پلات دوبعدی حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تنوع ژنتیکی قابل‌ملاحظه‌ای در میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مشاهده شد.

**نتیجه‌گیری:** بر اساس نتایج، ژنوتیپ‌هایی که در شرایط بدون تنش عملکرد بالایی دارند الزاماً عملکرد بالایی در شرایط تنش نخواهند داشت. بنابراین جهت انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش باید انتخاب ارقام را در همان شرایط تنش انجام داد. به عنوان نتیجه‌گیری می‌توان بیان کرد که ژنوتیپ‌های شناسایی شده با استفاده از شاخص‌های *HM*، *GMP* و *MP* برای کشت در مناطقی که تنش وجود ندارد اما احتمال وقوع تنش گرما در برخی سال‌ها می‌باشد توصیه می‌گردند. همچنین، ژنوتیپ‌های شناسایی شده با استفاده از شاخص‌های *YSI* و *RDI* برای کشت در مناطق با تنش شدید گرمایی انتهایی فصل توصیه می‌شوند. بر این اساس، از ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش در گروه *A* و یا *C* فرناندز می‌توان به عنوان منابع ژرم‌پلاسم دارای ژن‌های تحمل به تنش گرما در برنامه‌های اصلاحی استفاده کرد. همچنین به منظور مکان‌یابی ژن‌های تحمل به تنش گرما می‌توان از تلاقی ژنوتیپ‌های واقع در گروه *B* فرناندز با ژنوتیپ‌های فرار گرفته در گروه *A* و یا *C* فرناندز استفاده کرد.

استناد: ترابی، مریم، نواب‌پور، سعید، یاراحمدی، سعید (۱۴۰۱). ارزیابی میزان تحمل ژنوتیپ‌های متنوع گندم به تنش گرمایی آخر فصل.

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۲۹ (۴)، ۴۳-۲۵.

DOI: 10.22069/JOPP.2022.18559.2739



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

### مقدمه

گندم سازگاری بالایی با شرایط متنوع آب و هوایی دارد و به همین دلیل در سراسر جهان و در سطح وسیع‌تری نسبت به سایر محصولات کشت می‌شود (۱). افزایش درجه حرارت هوا هشدار جدی برای بشر است. تنش گرمایی یکی از تنش‌های محیطی اصلی کاهش‌دهنده عملکرد گیاهان زراعی از جمله گندم در سراسر جهان است. مرحله رشد زایشی حساس‌ترین مرحله رشدی گندم نسبت به گرما است (۲). افزایش دی‌اکسیدکربن در جو باعث گرمایش زمین شده است که این امر می‌تواند در آینده، کشاورزی را تحت تأثیر قرار دهد. بیش از ۵۰ کشور تنش گرما را در طول دوره رشد گندم تجربه می‌کنند. بنابراین توسعه ارقام متحمل به گرما یکی از اهداف اصلی برنامه‌های اصلاحی گندم است (۳).

برای اولین بار، فرناندز (۱۹۹۲) بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش آن‌ها را به چهار گروه تقسیم‌بندی کرد. گروه A شامل ژنوتیپ‌هایی است که در هر دو محیط دارای تنش و بدون تنش، عملکرد بالاتری نسبت به میانگین ژنوتیپ‌ها دارند. گروه B شامل ژنوتیپ‌هایی است که فقط در محیط بدون تنش برتر بوده و در محیط تنش، عملکرد پایینی دارند. گروه C شامل ژنوتیپ‌هایی است که در محیط تنش عملکرد بالایی نسبت به میانگین ژنوتیپ‌ها و در شرایط بدون تنش عملکرد پایین‌تری نسبت به میانگین ژنوتیپ‌ها در این شرایط دارند. گروه D شامل ژنوتیپ‌هایی با عملکردی پایین‌تر از میانگین در هر دو شرایط تنش و عدم تنش می‌باشد. فرناندز بیان نمود که مناسب‌ترین شاخص برای انتخاب، شاخصی است که توانایی تفکیک گروه

A از سایر گروه‌ها را داشته باشد. فرناندز همچنین عنوان کرد شاخص‌هایی که در دو شرایط تنش و عدم تنش همبستگی بالایی با عملکرد دانه داشته باشند به عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند. با استفاده از این شاخص‌ها ژنوتیپ‌هایی که در گروه A فرناندز قرار می‌گیرند را می‌توان شناسایی کرد. اما ژنوتیپ‌هایی که در گروه A فرناندز قرار می‌گیرند؛ الزاماً ژنوتیپ‌هایی متحمل به تنش نیستند. برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش باید شاخص‌هایی داشته باشیم که بتوانند ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایدار واقع در گروه C و یا A فرناندز را شناسایی کند. در مقابل ژنوتیپ‌هایی که در گروه B فرناندز قرار می‌گیرند پتانسیل عملکرد بالایی در شرایط بدون تنش دارند ولی حساس به تنش هستند و در شرایط تنش عملکرد آن‌ها پایین خواهد بود (۴).

با توجه به هدف برنامه به‌نژادی می‌توان از شاخص‌های متفاوتی به منظور غربالگری ژنوتیپ‌ها استفاده کرد. این مطالعه با هدف شناسایی روابط بین شاخص‌ها و تعیین مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربالگری ژنوتیپ‌ها و معرفی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش گرمای انتهای فصل انجام شد.

### مواد و روش‌ها

در این آزمایش تعداد ۱۳۲ ژنوتیپ شامل ۶۲ رقم ایرانی و خارجی و ۷۰ لاین پیشرفته (لاین‌های برتر خزانه 9STEMRRSN (occurrence10) مؤسسه CIMMYT) برای انجام پژوهش انتخاب شدند (جدول ۱). این مطالعه در قالب طرح آلفا لاتیس در دو تکرار و در دو شرایط کشت بهنگام (شرایط بدون تنش گرمای آخر فصل) و کشت

شد. کنترل علف‌های هرز به صورت دستی انجام گرفت و به دلیل کاربرد قارچ‌کش و حشره‌کش مناسب و بر اساس توصیه کارشناسان جهاد کشاورزی منطقه، آفت و بیماری بسیار ناچیز بود. هر رقم در سه خط به طول ۱ متر و فاصله خطوط ۰/۳ متر کشت شد و فاصله بین ارقام یک متر در نظر گرفته شد. هر کرت بر اساس توصیه کارشناسان زراعت با تراکم ۲۷۸ بوته در مترمربع کشت گردید. هر تکرار شامل ۱۲ بلوک ناقص بود و در هر بلوک ناقص ۱۱ ژنوتیپ قرار گرفت. به منظور جلوگیری از اثرات حاشیه در اطراف مزرعه دو خط از رقم گنبد کشت شد. تیمار کشت بهنگام در تاریخ ۲۴ آذر ماه و تیمار کشت کرپه در تاریخ ۱۴ اسفند ماه در همان منطقه کشت شدند. به منظور جلوگیری از وقوع تنش خشکی و عدم ادغام اثر دو تنش خشکی و گرمایی تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رطوبت مزرعه در حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد ظرفیت زراعی حفظ شد (با آبیاری در زمان مناسب و بررسی روزانه خاک مزرعه). در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک هر سه خط کاشت برداشت شد و با خرمن‌کوب آزمایشی کوبیده شد و عملکرد دانه برحسب گرم در مترمربع برآورد شد. تأثیر تنش گرمایی در ۱۳۲ ژنوتیپ با استفاده از شاخص‌های تنش خشکی (جدول ۴) مورد بررسی قرار گرفت. همه تجزیه‌ها با استفاده از نرم‌افزار XLSTAT انجام شد.

کرپه (جهت در معرض قرار گرفتن گندم در شرایط تنش گرمای آخر فصل) در هنرستان کشاورزی امام خمینی (ره) واقع در شهرستان علی‌آباد کتول اجرا شد. متوسط ماهانه دما در سال‌های گذشته در جدول ۲ آورده شده است. تمامی بذرها از ارقام ایرانی و خارجی و لاین‌های پیشرفته، از مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور و مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه گردیدند. دو رقم شاهد محلی به نام‌های گنبد (رقم آبی) و کوه‌دشت (رقم دیم) در میان ژنوتیپ‌های انتخابی لحاظ شدند.

نقشه طرح با استفاده از نرم‌افزار GENDEX در دو تکرار ترسیم شد. عملیات تهیه بستر کشت شامل شخم، دو دیسک عمود برهم و کلوخ شکنی و نرم کردن خاک با استفاده از کلوخ خرد کن و تسطیح زمین برای هر دو محیط (کشت بهنگام و کشت کرپه) به طور مشابه و یکسان انجام شد. از مزرعه موردنظر، قبل از کاشت گیاه گندم، آزمون خاک گرفته شد که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است.

عملیات کاشت برای هر دو محیط یکسان و به صورت دستی انجام شد. کود سوپرفسفات تریپل به میزان ۱۰۰، سولفات پتاسیم ۱۰۰ و سولفات روی ۲۵ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت به زمین داده شد. در طول آزمایش و در سه نوبت کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن و در مراحل پنجه‌دهی، شروع ساقه رفتن، ظهور خوشه) به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار استفاده

جدول ۱- نام و شماره ژنوتیپ‌های مطالعه شده در این آزمایش.

Table 1. Name and pedigree of the genotypes used in this experiment.

شجرنامه Pedigree	ژنوتیپ Genotype	کد Code	شجرنامه Pedigree	ژنوتیپ Genotype	کد Code
	Gonbad	67		Niknedjad	1
CHIBA//PRLI/CM65531/3/SKAUZ/BAV92*2/4/...	6051	68	KANAC//TRCH/4/TC870334/GUI//TEMPORALERA M 8...	6070	2
	N-80-19	69		Hirmand	3
MELON//FILIN/MILAN/3/FILIN/6/YAR/...	6131	70	FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ/5/	6109	4
	Baharan	71		Maroun	5
ATTILA/3*BCN//BAV92/3/TILHI/5/BAV92/3/PRL/...	6201	72	ROLF07YANAC//TACUPETO F2001//BRAMBLING*2/5/...	6203	6
	Sepahan	73		Arta	7
KINGBIRD #1	6003	74	WAXWING*2/KRONSTAD F2004/3/TRCH/SRTU//KACHU	6165	8
	Sivand	75		Moghan3	9
PBW343*2/KUKUNA//PBW343*2/KUKUNA/6/WBL1*2/...	6124	76	PBW343*2/KUKUNA//JUCHI/3/ATTILA*2/PBW65//...	6250	10
	parsi	77		Gahar	11
OTUS//PRL/2*PASTOR/5/SERI.1B//KAUZ/HEVO/3/...	6169	78	ATTILA*2/PBW65/5/PRL/2*PASTOR/4/CHOIX/STAR/...	6031	12
	Shiraz	79		Golestan	13
NS-732//HER/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/4/FRET2/5/...	6071	80	SHA7//PRL/VEE#6/3/FASAN/4/HAAS8446/2*FASAN/...	6097	14
	Tiger	81		Inia	15
	Azadi	82	PASTOR/KAUZ/6/CNDO/R143//ENTE/MEXI_2/3/...	6055	16
INQALAB 91*2/KUKUNA//PFAU/WEAVER/3/...	6171	83	CROC_1/AE.SQUARROSA (205)//BORL95/3/PRL/...	Naz	17
	Marvdasht	84		6152	18
MON/IMU//ALD/PVN/3/BORL95/4/OASIS/2*BORL95/...	6075	85	MUNAL #1/3/TRCH/SRTU//KACHU	Zagros	19
	Karaj1	86		6158	20
MUTUS*2/HARIL #1	6004	87	BABAX/LR42//BABAX*2/3/PAVON 7S3,+LR47/4/...	Kouhdasht	21
	Karaj2	88		6153	22
MUNAL #1/11/CROC_1/AE.SQUARROSA (213)//PGO/...	6089	89		Line 17	23
	Karaj3	90	DANPHE/3/ROLF07YANAC//TACUPETO F2001/...	6112	24

ادامه جدول ۱-  
Continue Table 1.

شجرنامه Pedigree	ژنوتیپ Genotype	کد Code	شجرنامه Pedigree	ژنوتیپ Genotype	کد Code
NG8201/KAUZ/4/SHA7//PRL/VEE#6/3/FASAN/5/...	6113	91	BAJ #1/7/WAXWING/6/PVN//CAR422/ANA/5/BOW/...	Line A	25
KAUZ//ALTAR 84/AOS/3/MILAN/KAUZ/4/SAUAL/5/...	Ns	92	PAURAUQUE#1/3/pbw343*2/kukuma//pbw343*2/...	6161	26
CHWINK/3/ROLF07/YANAC//TACUPETO F2001/...	6179	93	MELON//FILIN/MILAN/3/FILIN/4/TRCH/SRTU//...	Dez	27
BABAX/LR42//BABAX/3/ER2000/11/CROC_1/...	Bahar	94	WAXWING*2/KRONSTAD F2004*2/8/NG8201/KAUZ/4/...	Albourz	28
PFAU/MILAN/5/CHEN/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)/...	6114	95	DANPHE/3/PBW343*2/KUKUNA//PBW343*2/KUKUNA	6046	29
CHONTE/KINGBIRD #1/5/WBLI1*2/VIVITSI/4/...	Chamran	96	QUAIU #1/3/PBW343*2/KUKUNA//PBW343*2/KUKUNA	Karim	30
WAXWING/7/TNMU/6/CEP80111/CEP81165/5/IAC5/4/...	6237	97	PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/SOKOLL/WBLI1/4/...	6216	31
PICAFLO #1/5/FRET2/KUKUNA//FRET2/3/YANAC/4/...	Sirvan	98	PASTOR/HEILO//HEILO/3/2*PICAFLO#2	Rasoul	32
SUP152/3/INQLAB 91*2/TURKURU//WHEAR	6016	99	GRACKLE#1/4/SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU	6210	33
ELVIRA/5/CNDO/R143//ENTE/MEXI75/3/AE.SQ/4/...	Mahdavi	100	ROLF07/YANAC//TACUPETO F2001/BRAMBLING/6/...	Khazar1	34
	6149	101		6122	35
	Darab2	102		Roshan	36
	6172	103		6127	37
	Chamran2	104		Aftab	38
	6115	105		6156	39
	Neishabour	106		Ghabous	40
	6164	107		6041	41
	UR-92-13	108		Darya	42
	Sistan	109		6088	43
	6234	110		Pishtaz	44
	Ofogh	111		6182	45
	6038	112		Bam	46



ادامه جدول ۱-  
Continue Table 1.

شجرنامه Pedigree	ژنوتیپ Genotype	کد Code	شجرنامه Pedigree	ژنوتیپ Genotype	کد Code
	Atg	113	KS82W418/SPN/3/CHEN/AE.SQ//2*OPATA/4/FRET2/...	6230	47
MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92/4/BAVIS	6077	114		Kavir	48
	Narin	115	YUNMAI 48/4/2*SERI.1B*2/3/KAUZ*2/BOW//KAUZ/...	6107	49
FRNCLN*2/BECARD	6047	116		ghods	50
	Natasha	117	MERCATO/4/FRAME/MILAN/KAUZ/3/PASTOR/5/...	6235	51
TRCH/SRTU//KACHU/3/KINGBIRD #1	6105	118		shoush	52
	Hamoun	119	SERI.1B*2/3/KAUZ*2/BOW//KAUZ/5/CNO79//...	6150	53
ATTILA/3*BCN/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (224)//...	6052	120	BECARD/4/PBW343*2/KUKUNA//PARUS/3/PBW343*2/...	6168	54
	Aflak	121		Falat	55
KACHU/3/WHEAR/2*PRL/2*PASTOR	6159	122	FRANCOLIN #1/8/PBW343*2/KUKUNA/6/PVN//...	6162	56
	Mehregan	123		Atrak	57
PFAU/SERI.1B//AMAD/3/INQALAB 91*2/KUKUNA/4/...	6107	124	KIRITATI/2*WBLL1/5/FRET2/KUKUNA//FRET2/3/...	6202	58
	Moghan2	125		Pastour	59
PBW343	6001	126	TRCH/5/BAV92//IRENA/KAUZ/3/HUITES/4/DOLL/6/...	6208	60
	Line7	127		Shiroudi	61
	UR-92-15	128	PANDORA/PRL	6026	62
	Line16	129		Tajan	63
CACUKE #1	6002	130	WBLL1*2/BRAMBLING//SAAR/2*WAXWING/4/...	6050	64
	AR-92	131		Mourvarid	65
	UR-92-18	132	NELOKI//KIRITATI/2*TRCH	6011	66

جدول ۲- متوسط ماهانه دمای (درجه سانتی‌گراد) منطقه علی‌آباد کتول (غرب استان گلستان) بر اساس آمار ۲۰ ساله (اداره کل هواشناسی استان گلستان).

**Table 2. Average monthly temperature (degrees Celsius) of Aliabad Katul (northeastern Golestan province) based on 20-year statistics (Meteorological Department of Golestan Province).**

فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September	مهر October	آبان November	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March	سالانه Annual
14.6	19.9	25.3	27.9	28.8	26.7	21.3	15.5	10.3	8.3	8.0	10.8	18.1

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه موردنظر.

**Table 3. Physical and chemical properties of the desired farm soil.**

Properties خصوصیات	Amount مقدار
Soil sampling depth (cm) عمق نمونه‌گیری	0-30
Electrical conductivity (dS/m) هدایت الکتریکی	0.91
Saturated soil pH اسیدیته خاک اشباع	7.7
Neutralizing agents (%) مواد خنثی‌شونده	5.3
Organic carbon (%) کربن آلی	0.84
Total nitrogen (%) نیتروژن کل	0.097
Absorbable phosphorus (ppm) فسفر قابل جذب	18.7
Absorbable potassium (ppm) پتاسیم قابل جذب	566
Clay (%) رس	37
Silt (%) سیلت	50
Sand (%) شن	13
Specific Gravity (B.D) وزن مخصوص	1.5

جدول ۴- شاخص‌های تحمل به تنش در این پژوهش.

**Table 4. Investigated stress tolerance indices in this research.**

منبع Reference	رابطه Formula	شاخص‌ها Indices
Fernandez, 1992	$STI = [(Y_s)(Y_p)] / (\bar{Y}_p)^2$	شاخص حساسیت به تنش (STI)
Rosielle and Hamblin, 1981	$TOL = Y_p - Y_s$	شاخص تحمل تنش (TOL)
Rosielle and Hamblin, 1981	$MP = (Y_p + Y_s) / 2$	میانگین تولید (MP)
Fernandez, 1992	$GMP = \sqrt{(Y_p)(Y_s)}$	میانگین هندسی عملکرد (GMP)
Bakhshayeshi and Shekarchezade, 2015	$HM = [2(Y_s)(Y_p)] / (Y_s + Y_p)$	میانگین هارمونیک (HM)
Bousslama and Schapaugh, 1984	$YSI = Y_s / Y_p$	شاخص پایداری عملکرد (YSI)
Hatami et al., 2016	$YI = Y_s / \bar{Y}_s$	شاخص عملکرد (YI)
Fischer, and Wood, 1979	$RDI = (Y_s / Y_p) / (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)$	شاخص خشکی نسبی (RDI)

$Y_s$  = عملکرد هر ژنوتیپ تحت شرایط تنش،  $Y_p$  = عملکرد هر ژنوتیپ تحت شرایط بدون تنش،  $\bar{Y}_s$  = میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش،  $\bar{Y}_p$  = میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها تحت شرایط بدون تنش

$Y_s$  = the yield of each genotype under stress conditions,  $Y_p$  = the yield of each genotype under non-stress conditions,  $\bar{Y}_s$  = average yield of all genotypes under stress conditions,  $\bar{Y}_p$  = the average yield of all genotypes under stress-free conditions

**نتایج و بحث**

رسیدگی فیزیولوژیک رسید (ستون DM در جدول ۵). هم‌چنین آخرین ژنوتیپ‌هایی که به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند ژنوتیپ‌های شماره ۳۶ (روشن)، ۱۰۶ (نیشابور) و ۱۰۹ (سیستان) بودند که (۲۴ خرداد) ۱۰۱ روز پس از کاشت به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند (ستون DM در جدول ۵).

در شرایط کشت کرپه اولین و آخرین ژنوتیپی که وارد مرحله سنبله‌دهی شدند (ستون DH در جدول ۵) به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۱۰۷ و ۱۰۶ (نیشابور) بودند که به ترتیب (۱۵ اردیبهشت) ۶۱ روز و (۲۹ اردیبهشت) ۷۵ روز پس از کاشت وارد مرحله سنبله‌دهی شدند. ژنوتیپ شماره ۸ اولین ژنوتیپی بود که (۱۷ خرداد) ۹۴ روز پس از کاشت به مرحله

جدول ۵- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد در شرایط تنش و شاخص‌های تحمل.

**Table 5. Ranking of genotypes in terms of yield under stress conditions and tolerance indices.**

SFD(h)	DM(h)	DH(h)	DRI	TOL	YSI	YI	STI	MP	HM	GMP	Y <sub>s</sub>	Y <sub>p</sub>	رتبه‌بندی ژنوتیپ	Genotype
48	97	75	70	39	94	95	75	67	80	75	95	56	1	
17	6	63	56	84	20	6	10	10	9	10	6	28	2	
3	39	109	69	93	52	82	98	98	102	98	82	97	3	
66	73	48	47	117	11	18	56	74	42	56	18	101	4	
99	97	34	20	31	60	1	2	2	2	2	1	4	5	
17	39	75	111	119	30	104	125	123	123	125	104	120	6	
17	112	124	121	51	77	55	44	44	47	44	55	44	7	
66	1	29	40	123	8	34	106	115	94	106	34	122	8	
48	97	75	112	90	56	96	101	103	106	101	96	99	9	
113	39	16	128	36	87	46	32	27	34	32	46	31	10	
17	6	63	94	110	16	30	69	84	53	69	30	98	11	
32	73	75	102	125	12	107	129	129	128	129	107	129	12	
1	6	109	35	58	46	9	7	8	8	7	9	11	13	
93	6	28	46	62	71	60	55	55	56	55	60	63	14	
66	104	75	127	3	128	90	24	20	28	24	90	6	15	
32	39	63	83	85	65	107	110	108	113	110	107	102	16	
125	39	2	1	59	34	3	3	3	3	3	3	7	17	
11	6	75	59	40	88	57	39	37	44	39	57	36	18	
48	39	48	48	45	84	50	37	35	39	37	50	38	19	
116	6	7	6	11	119	69	26	22	29	26	69	13	20	
66	73	48	22	66	62	35	45	46	45	45	35	54	21	
128	73	2	21	118	15	32	84	97	67	84	32	113	22	
80	6	29	126	7	124	98	42	33	49	42	98	15	23	
66	116	117	84	105	57	128	128	127	129	128	128	121	24	
48	39	48	90	126	6	63	120	126	109	120	63	126	25	
99	6	21	36	29	107	110	85	79	95	85	110	56	26	
17	39	75	119	16	118	126	105	98	115	105	126	65	27	
120	73	11	117	14	117	91	47	40	52	47	91	24	28	
17	6	63	41	69	73	112	107	105	110	107	112	94	29	
125	39	2	3	114	18	49	97	100	87	97	49	114	30	
80	6	29	91	79	51	38	52	57	50	52	38	74	31	
99	6	21	4	44	100	130	121	114	125	121	130	96	32	
3	6	96	73	19	112	73	33	30	41	33	73	21	33	
116	39	11	76	64	69	64	62	62	62	62	64	67	34	
11	104	121	103	68	59	37	48	50	48	48	37	58	35	
80	128	129	31	12	104	2	1	1	1	1	2	1	36	

ادامه جدول ۵-

Continue Table 5.

SFD(h)	DM(h)	DH(h)	DRI	TOL	YSI	YI	STI	MP	HM	GMP	Ys	Yp	ژنوتیپ Genotype
66	6	34	68	75	44	20	25	25	23	25	20	46	37
113	6	11	2	102	27	19	40	52	31	40	19	80	38
80	39	34	51	26	113	125	109	104	117	109	125	79	39
80	73	41	81	22	110	78	49	45	54	49	78	34	40
11	39	96	12	17	114	83	46	41	51	46	83	26	41
3	6	96	15	112	22	40	88	94	73	88	40	108	42
48	73	63	105	6	125	116	60	53	68	60	116	20	43
17	73	96	60	5	126	115	51	47	63	51	115	16	44
48	97	75	57	110	24	46	92	96	78	92	46	109	45
32	116	124	116	74	26	4	5	6	4	5	4	14	46
48	73	63	101	106	42	106	119	116	121	119	106	116	47
99	112	63	61	81	19	5	8	9	7	8	5	22	48
66	6	34	107	53	78	70	59	56	61	59	70	55	49
99	124	109	58	15	116	50	18	15	22	18	50	10	50
116	39	11	87	122	25	120	130	130	130	130	120	128	51
17	73	96	29	124	7	42	111	119	99	111	42	123	52
32	73	75	64	2	129	39	9	7	10	9	39	3	53
112	6	16	55	116	5	10	22	38	14	22	10	84	54
32	73	75	120	89	45	52	66	69	60	66	52	83	55
107	1	16	67	54	83	81	74	71	79	74	81	66	56
11	39	96	106	121	9	16	53	75	37	53	16	105	57
120	39	7	44	115	13	21	57	73	43	57	21	100	58
32	73	75	98	27	106	103	77	72	89	77	103	50	59
107	6	19	5	52	75	53	43	42	46	43	53	44	60
48	39	48	49	92	47	67	86	87	83	86	67	91	61
32	6	48	122	9	121	117	73	63	82	73	117	32	62
32	39	63	89	63	76	110	102	102	107	102	110	89	63
17	39	75	24	109	29	72	100	107	101	100	72	115	64
80	116	109	63	38	96	100	87	82	93	87	100	64	65
48	39	48	9	70	64	59	61	61	58	61	59	69	66
66	104	75	37	47	89	86	72	65	77	72	86	59	67
3	6	96	34	130	2	56	126	128	114	126	56	130	68
11	39	96	114	94	43	66	89	89	84	89	66	92	69
80	97	48	11	88	50	62	76	81	72	76	62	85	70
32	6	48	88	13	120	118	90	77	97	90	118	42	71
130	116	11	16	113	31	89	115	113	112	115	89	118	72
17	39	75	54	48	92	101	94	86	98	94	101	76	73
48	6	41	7	100	33	33	63	68	55	63	33	86	74
17	104	117	118	56	85	92	82	82	90	82	92	74	75
80	73	41	71	91	17	11	11	14	11	11	11	40	76
48	97	75	97	98	35	57	80	85	74	80	57	93	77
66	1	29	104	4	127	120	67	57	76	67	120	19	78
93	112	75	74	8	122	71	21	16	26	21	71	9	79
3	1	75	23	127	4	41	117	124	103	117	41	124	80
3	6	96	92	23	103	44	23	21	27	23	44	18	81
128	124	21	62	107	10	13	19	27	15	19	13	72	82
48	1	34	19	108	23	36	81	92	69	81	36	104	83
17	110	121	50	95	32	25	41	49	35	41	25	77	84
48	6	41	30	96	61	122	127	121	127	127	122	117	85
48	121	124	77	103	14	12	15	23	12	15	12	60	86
80	73	41	125	57	82	88	79	75	88	79	88	71	87
99	121	96	82	72	38	14	14	13	13	14	14	32	88
48	39	48	10	46	81	48	35	34	38	35	48	39	89

ادامه جدول ۵-

Continue Table 5.

SFD(h)	DM(h)	DH(h)	DRI	TOL	YSI	YI	STI	MP	HM	GMP	Y <sub>s</sub>	Y <sub>p</sub>	ژنوتیپ Genotype
93	112	75	72	73	80	124	122	117	124	122	124	110	91
113	73	19	75	65	72	76	78	79	81	78	76	78	93
11	39	96	78	96	53	105	113	112	116	113	105	112	94
32	6	48	113	42	95	109	96	87	100	96	109	72	95
32	6	48	93	21	108	68	34	32	40	34	68	25	96
3	6	96	8	128	3	42	118	125	104	118	42	127	97
32	39	63	108	24	105	84	54	51	59	54	84	37	98
32	104	109	115	34	90	45	31	26	32	31	45	28	99
66	116	117	13	101	21	15	29	36	21	29	15	70	100
32	73	75	65	85	49	54	68	69	64	68	54	82	101
66	73	48	52	55	66	21	16	17	19	16	21	27	102
107	39	21	25	60	74	74	71	66	71	71	74	68	103
32	104	109	79	43	98	123	114	109	120	114	123	88	104
99	6	21	32	32	97	92	70	64	75	70	92	48	105
3	128	130	42	35	67	8	4	4	5	4	8	5	106
125	6	1	129	48	86	75	64	60	66	64	75	53	107
32	39	63	85	83	58	77	95	93	96	95	77	90	108
107	128	124	38	20	111	61	27	23	30	27	61	17	109
66	97	63	95	77	63	79	93	90	92	93	79	87	110
93	124	117	109	1	130	85	12	11	17	12	85	2	111
80	6	29	17	24	109	97	65	59	70	65	97	42	112
80	127	128	27	50	54	7	6	5	6	6	7	8	113
66	39	41	99	87	68	113	116	111	119	116	113	107	114
93	121	109	123	36	102	119	104	100	111	104	119	81	115
80	39	34	45	129	1	27	108	120	85	108	27	125	116
93	73	34	13	104	36	80	103	106	105	103	80	111	117
48	39	48	65	99	37	65	91	91	86	91	65	95	118
1	73	121	52	78	39	24	30	31	25	30	24	50	119
116	6	7	25	120	28	99	123	122	122	123	99	119	120
17	73	96	79	80	41	28	38	43	33	38	28	61	121
80	73	41	32	71	55	31	36	39	36	36	31	52	122
17	39	75	42	10	123	129	99	95	108	99	129	49	123
66	73	48	129	30	101	86	58	54	65	58	86	40	124
48	73	63	85	28	93	25	13	12	16	13	25	12	125
17	39	75	38	18	115	92	50	48	57	50	92	30	126
48	110	109	95	82	70	113	112	110	118	112	113	103	127
99	6	21	109	67	48	17	17	19	18	17	17	35	128
107	39	21	17	76	40	23	28	29	24	28	23	47	129
123	6	2	27	33	99	101	83	78	91	83	101	62	130
123	39	6	99	61	91	127	124	118	126	124	127	106	131
120	39	7	123	41	79	29	20	18	20	20	29	23	132

$Y_s$  = عملکرد هر ژنوتیپ تحت شرایط تنش،  $Y_p$  = عملکرد هر ژنوتیپ تحت شرایط بدون تنش، GMP = میانگین هندسی عملکرد،

HM = میانگین هارمونیک، MP = میانگین تولید، STI = شاخص حساسیت به تنش، YI = شاخص عملکرد، YSI = شاخص پایداری عملکرد،

TOL = شاخص تحمل تنش، RDI = شاخص خشکی نسبی، DH = روز تا سنبله‌دهی، DM = روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، SFD = طول دوره

پر شدن دانه

$Y_s$  = the yield of each genotype under stress conditions,  $Y_p$  = the yield of each genotype under non-stress conditions, GMP = Geometric Mean Performance, HM = Harmonic Mean, MP = Production Mean, STI = Stress Sensitivity Index, YI = Performance Index, YSI = Performance Stability Index, TOL = Stress Tolerance Index, RDI = Relative Drought Index, DH = Day to Spike, DM = day to physiological maturity, SFD = length of grain filling period

در شرایط بدون تنش همبستگی منفی داشته باشند. این نتایج نیز با یافته‌های سایر پژوهش‌ها مطابقت داشت (۸).

با توجه به رابطه محاسبه شاخص‌های YSI و RDI می‌توان دریافت که با استفاده از این شاخص‌ها فارغ از پتانسیل عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و میزان عددی آن‌ها، تنها نسبت عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش محاسبه می‌شود. ژنوتیپ‌هایی که از نظر این شاخص‌ها مقدار عددی بزرگ‌تری دارند پایداری عملکرد بالایی دارند. این شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش (فارغ از میزان عملکرد) کارایی دارند و با استفاده از آن‌ها ژنوتیپ‌های واقع در گروه C فرناندز را می‌توان شناسایی کرد. شاخص TOL با شاخص عملکرد یعنی YI همبستگی منفی و معنی‌داری را نشان داد (۰/۳۱) (جدول ۶). شاخص TOL عبارت است از تفاضل عملکرد در شرایط تنش از عملکرد در شرایط بدون تنش. بنابراین قابل انتظار بود که با عملکرد در شرایط تنش همبستگی منفی و با عملکرد در شرایط بدون تنش همبستگی مثبت نشان دهد. هرچه ژنوتیپی شاخص TOL بزرگ‌تری داشته باشد به تنش حساس‌تر است. بنابراین از شاخص TOL برای شناسایی ژنوتیپ‌های حساس (گروه B فرناندز) می‌توان استفاده کرد.

هم‌چنین نتایج این مطالعه نشان داد شاخص‌های MP، GMP، HM و STI با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش همبستگی معنی‌دار مثبت و بیش‌تر از ۰/۵ داشتند (جدول ۶). این نتایج با گزارش‌های زیادی مطابقت داشت (۵، ۶، ۷).

شاخص‌های MP، GMP و HM انواعی از میانگین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش می‌باشند و بنابراین همبستگی بالای آن‌ها با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش قابل انتظار است و می‌توان از این شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش (گروه A فرناندز) استفاده کرد. همبستگی مثبت و بسیار بالا شاخص STI با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش (۰/۷۶) نشان می‌دهد ژنوتیپ‌هایی که شاخص STI بالاتری دارند در شرایط تنش و بدون تنش عملکرد بیش‌تری دارند. بنابراین این شاخص نیز توانایی شناسایی ژنوتیپ‌های واقع در گروه A فرناندز را دارد. شاخص‌های YSI و RDI با عملکرد در شرایط تنش همبستگی مثبت و برابر با ۰/۵۷ نشان دادند در حالی که همبستگی آن‌ها با عملکرد در شرایط بدون تنش منفی و برابر با -۰/۶۱ بود (جدول ۶). با توجه به رابطه این شاخص‌ها که عملکرد در شرایط تنش در صورت و عملکرد در شرایط بدون تنش در مخرج قرار دارد قابل انتظار بود که این شاخص‌ها با عملکرد در شرایط تنش همبستگی مثبت و با عملکرد

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش در شرایط تنش گرما و بدون تنش.

**Table 6. Correlation coefficients between susceptible and tolerance indices under heat stress and non-stress conditions.**

TOL	YSI	RDI	YI	STI	MP	HM	GMP	Y <sub>s</sub>	Y <sub>p</sub>	شاخص‌ها Indices
								1	0.26**	Y <sub>s</sub>
							1	0.82**	0.73**	GMP
						1	0.99**	0.89**	0.63**	HM
					1	0.89**	0.94**	0.66**	0.90**	MP
				1	0.98**	0.95**	0.97**	0.76**	0.82**	STI
			1	0.76**	0.66**	0.89**	0.82**	1.00**	0.26**	YI
		1	0.57**	-0.08 <sup>ns</sup>	-0.22 <sup>ns</sup>	0.16 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	0.57**	-0.61**	RDI
	1	1.00**	0.57**	-0.08 <sup>ns</sup>	-0.22 <sup>ns</sup>	0.16 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	0.57**	-0.61**	YSI
1	-0.92**	-0.92**	-0.31**	0.37**	0.52**	0.12 <sup>ns</sup>	0.25**	-0.31**	0.84**	TOL

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، <sup>ns</sup> غیرمعنی‌دار

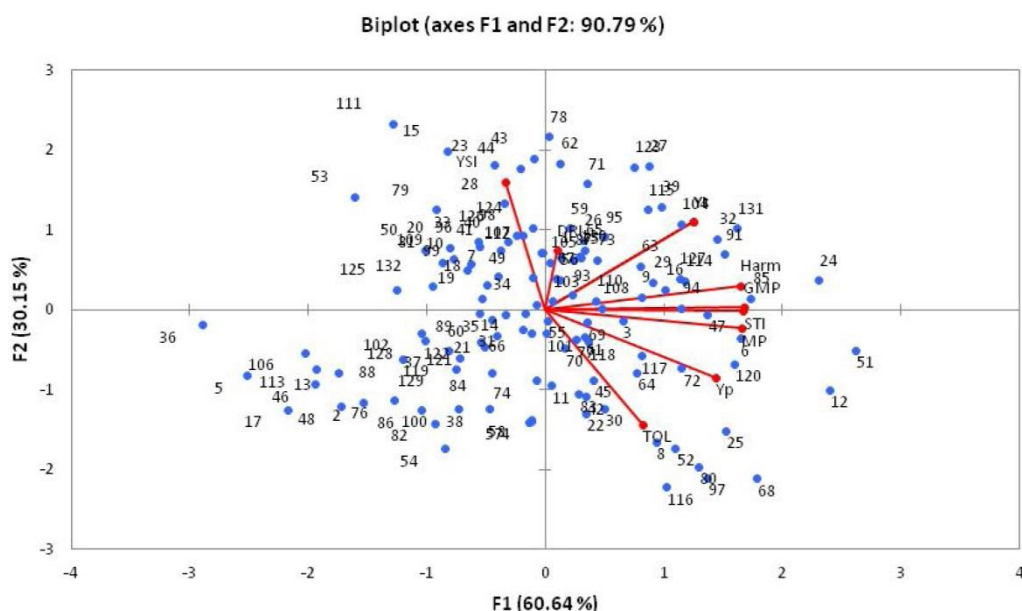
\*\* Significant at 1% probability, <sup>ns</sup> non-significant

بر اساس پلات دوبعدی حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای در میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود که می‌توان از این ژنوتیپ‌ها در برنامه‌های دورگ‌گیری استفاده کرد (۱۰). در نمودار بای‌پلات بردارهای مربوط به شاخص‌های Y<sub>s</sub> و YI کاملاً بر روی هم قرار گرفتند که به دلیل همبستگی برابر با یک این شاخص‌ها می‌باشد (شکل ۱). هم‌چنین شاخص‌های RDI و YSI بر روی هم منطبق شدند. شاخص‌هایی که بردارهای آن‌ها با هم زاویه ۹۰ درجه تشکیل می‌دهند همبستگی صفر دارند و بردارهای با زاویه ۱۸۰ درجه همبستگی ۱- دارند. با استفاده از شاخص‌های STI، MP، GMP و HM که همبستگی بالایی با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش دارند می‌توان ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش (گروه A فرناندز) را شناسایی کرد. با توجه به نمودار بای‌پلات و زاویه حاده بردارهای HM، GMP، MP و STI می‌توان دریافت که این شاخص‌ها با یکدیگر نیز همبستگی مثبت و بالایی

برای غربالگری ژنوتیپ‌ها با استفاده از اطلاعات چند شاخص به جای یک شاخص از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و بای‌پلات استفاده شد. با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، شاخص‌های تحمل به دو مؤلفه تبدیل شدند که ۹۰/۷۹ درصد از واریانس کل را توجیه کردند. مؤلفه اول که ۶۰/۶۴ درصد از واریانس کل را توجیه کرد با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش به ترتیب همبستگی برابر با ۰/۷۵ و ۰/۸۶ داشت. مؤلفه دوم که ۳۰/۱۴ درصد از واریانس کل را توجیه کرد با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش به ترتیب همبستگی برابر با ۰/۶۶ و -۰/۵- نشان داد (جدول ۶). سپس ژنوتیپ‌ها بر اساس امتیاز فاکتورهای F<sub>1</sub> و F<sub>2</sub> در پلات پراکندگی قرار گرفتند. در تجزیه بای‌پلات، کسینوس زاویه بین بردارهای دو صفت معرف ضریب همبستگی بین صفات است. فاصله بین دو ژنوتیپ تقریبی است از فاصله ماهالانویس در فضای K بعدی، فاصله ژنوتیپ با بردار صفت معرف ارتباط آن‌ها با صفت مورد نظر است و هم‌چنین طول بردار صفت معادل با انحراف معیار صفت است (۹).

برای فاکتور اول و مقادیر کم برای فاکتور دوم بودند در مجاورت بردار شاخص‌های MP، HM، GMP و STI قرار داشتند. بنابراین این ژنوتیپ‌ها از نظر این شاخص‌ها مقادیر عددی بالایی دارند و در هر دو شرایط پتانسیل عملکرد خوبی دارند (گروه A فرناندز). ژنوتیپ‌های شماره ۵۱، ۱۲، ۲۴، ۸۵، ۶، ۱۲۰، ۴۷، ۹۴ (بهار)، ۷۲، ۱۱۴، ۹۱، ۱۳۱، ۱۶ و ۱۲۷ در این منطقه قرار گرفتند و پتانسیل عملکرد بالایی در شرایط تنش و بدون تنش داشتند (شکل ۱).

دارند. این نتایج با نتایج پژوهش‌های زیادی مطابقت داشت (۱۱). در مطالعات بسیاری گزارش شده است که ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش می‌توانند به وسیله شاخص‌های STI، MP و GMP شناسایی شوند (۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶). مؤلفه اصلی اول با شاخص‌های MP، HM، GMP و STI به ترتیب همبستگی برابر با ۰/۹۹، ۰/۹۹، ۰/۹۴ و ۰/۹۸ داشت در حالی که مؤلفه اصلی دوم با این شاخص‌ها همبستگی نزدیک به صفر داشت. بنابراین ژنوتیپ‌هایی که در نمودار بای‌پلات دارای مقادیر بالا



شکل ۱- نمایش بای‌پلات شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در ژنوتیپ‌های گندم براساس مؤلفه‌های اول و دوم.

**Fig. 1. Biplot display of stress tolerance and sensitivity indices in wheat genotypes based on first and second principal components.**

مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسید در میان همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بلندترین طول دوره پرشدن دانه را داشت (جدول ۵) و بنابراین به احتمال زیاد از طریق سبزمانی بیش‌تر و تأخیر در پیری برگ پرچم و حفظ اندام‌های فتوستتکننده عملکرد بالایی داشته است. سایر ژنوتیپ‌ها تنها سرعت پرشدن دانه بالایی داشتند. افزایش ناگهانی درجه حرارت پس از گل‌دهی

در میان این ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ‌های شماره ۵۱، ۱۲۰ و ۱۳۱ زود وارد مرحله سنبله‌دهی شدند و زود هم به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند (جدول ۵). هم‌چنین دوره پر شدن دانه طولانی داشتند (جدول ۵). این ژنوتیپ‌ها به احتمال زیاد از سازوکار فرار از تنش بهره می‌گیرند. ژنوتیپ شماره ۷۲ از آنجایی که خیلی زود وارد مرحله سنبله‌دهی شد و خیلی دیر به



TOL قرار گرفتند. این ژنوتیپ‌ها برای این شاخص‌ها مقادیر عددی بالایی داشتند. در نمودار بای‌پلات ژنوتیپ‌های شماره ۸، ۲۵، ۵۲، ۶۸، ۸۰، ۹۷ و ۱۱۶ در مجاورت بردارهای شاخص TOL قرار داشتند. این ژنوتیپ‌ها در گروه B فرناندز قرار می‌گیرند و برای کشت در مناطق بدون تنش توصیه می‌شوند. هم‌چنین می‌توان از ژنوتیپ‌های انتخابی برای انجام تلاقی‌ها و ایجاد جمعیت‌های مختلف به منظور تولید لاین‌های با عملکرد بالا در شرایط بدون تنش استفاده کرد (۷). مؤلفه اصلی دوم با شاخص‌های RDI و YSI به ترتیب همبستگی برابر با ۰/۹۹ و ۰/۹۹ داشتند و همبستگی این شاخص‌ها با مؤلفه اول نزدیک به صفر بود. بنابراین ژنوتیپ‌هایی که در نمودار بای‌پلات برای فاکتور دوم امتیاز فاکتور بالایی داشتند و برای فاکتور اول امتیاز نزدیک به صفر داشتند از نظر شاخص‌های RDI و YSI مقادیر عددی بالایی داشتند و در مجاور بردار این شاخص‌ها قرار گرفتند. شاخص‌های RDI و YSI برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و عملکردی کم‌تر از میانگین ژنوتیپ‌ها در شرایط عدم تنش کارایی دارند (گروه C فرناندز). با استفاده از این شاخص‌ها ژنوتیپ‌های شماره ۴۴ (پیش‌تاز)، ۴۳، ۷۸، ۶۲، ۲۳ (لاین ۱۷)، ۱۵ (اینیا)، ۲۷ (دز)، ۱۲۳ (مهرگان)، ۱۱۱ (افق) و ۷۱ (بهاران) شناسایی شدند. ژنوتیپ‌های شماره ۱۲۳ (مهرگان) و ۲۷ (دز) بالاترین سرعت پر شدن دانه را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی داشتند.

### نتیجه‌گیری

به نظر می‌رسد هر چه شدت تنش ملایم‌تر باشد همبستگی بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش بیش‌تر خواهد بود اما در شرایط تنش شدید چنین نیست. بنابراین اگر شدت تنش زیاد باشد ژنوتیپ‌هایی که در شرایط بدون تنش عملکرد بالایی

منجر به کاهش تولید می‌شود. افزایش ناگهانی درجه حرارت پس از گل‌دهی منجر به کاهش تولید می‌شود. افزایش میانگین درجه حرارت روزانه به بیش از ۱۵ درجه سانتی‌گراد در طول مرحله پر شدن دانه منجر به کاهش تعداد دانه در سنبله، اندازه دانه و وزن دانه می‌شود و سرانجام منجر به کاهش معنی‌داری در عملکرد دانه می‌شود (۱۷). دمای بالای ۲۰ درجه سانتی‌گراد در مرحله پر شدن دانه باعث کاهش وزن دانه از طریق کاهش مدت پر شدن دانه می‌شود (۱۸). بنابراین در شرایط تنش گرمایی سرعت انتقال آسمیلات‌ها و انتقال مجدد مواد اهمیت بسیار بالایی دارد و مهم‌ترین مکانیزم در شرایط تنش می‌باشد (۱۹). پاتل و همکاران (۲۰۱۹) بیان داشتند که ژنوتیپ‌های انتخابی حاصل از اعمال تنش را می‌توان برای انجام تلاقی‌ها و ایجاد جمعیت‌های مختلف به‌منظور تولید لاین‌های با عملکرد بالا در شرایط نرمال و حساسیت کم‌تر به تنش استفاده کرد (۲۰). اولومکان و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که در نمودار بای‌پلات ژنوتیپ‌هایی که در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های STI، GMP و MP قرار دارند را می‌توان به عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و عدم تنش معرفی نمود (۹). شاخص TOL با عملکرد در شرایط بدون تنش همبستگی مثبت و بسیار بالا و با عملکرد در شرایط تنش همبستگی منفی نشان دادند (۱۹). بنابراین این شاخص‌ها توانایی تفکیک ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط بدون تنش ولی حساس به تنش (گروه B فرناندز) را دارند. هم‌چنین مؤلفه دوم با شاخص‌های TOL همبستگی برابر با ۰/۹۷- داشت در حالی که همبستگی این شاخص‌ها با فاکتور اول نزدیک به صفر بود (جدول ۶). بنابراین ژنوتیپ‌هایی که دارای امتیاز منفی و بزرگی برای فاکتور دوم و امتیاز نزدیک به صفر برای فاکتور اول بودند در مجاورت شاخص

گرمایی انتهایی فصل توصیه می‌شوند. بر این اساس، از ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش در گروه A و یا C فرناندز می‌توان به‌عنوان منابع ژرم‌پلاسم دارای ژن‌های تحمل به تنش گرما در برنامه‌های اصلاحی استفاده کرد. هم‌چنین به منظور مکان‌یابی ژن‌های تحمل به تنش گرما می‌توان از تلاقی ژنوتیپ‌های واقع در گروه B فرناندز با ژنوتیپ‌های قرار گرفته در گروه A و یا C فرناندز استفاده کرد.

دارند الزاماً عملکرد بالایی در شرایط تنش نخواهند داشت. بنابراین جهت انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش باید انتخاب را در همان محیط تنش انجام داد. ژنوتیپ‌های شناسایی شده با استفاده از شاخص‌های HM، GMP و MP برای کشت در مناطقی که تنش وجود ندارد اما احتمال وقوع تنش گرما در برخی سال‌ها می‌باشد توصیه می‌گردند. ژنوتیپ‌های شناسایی شده با استفاده از شاخص‌های YSI و RDI برای کشت در مناطق با تنش شدید

### منابع

- Banerjee, K., Krishnan, P. and Das, B. 2020. Thermal imaging and multivariate techniques for characterizing and screening wheat genotypes under water stress condition. *Ecol. Indicat.* 119: 106829.
- Rosielle, A.A. and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Sci.* 21: 943-946.
- Kamrani, M., Mehraban, A. and Shiri, M. 2018. Identification of drought tolerant genotypes in dryland wheat using drought tolerance indices. *J. Crop Breed.* 10: 28. 13-26.
- Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: C.G. Kuo (ed.) *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress.* P 257-270. AVRDC Publication, Tainan, Taiwan.
- Nacer, A.B., Cheikh-muamed, H., Abdelly, C. and Mubarek, B.E.N. 2018. Screening of North African barley genotypes for drought tolerance based on yields using tolerance indices under water deficit conditions. *Turk. J. Field Crops.* 23: 2. 135-145.
- Nouriani, H. 2017. Effect of paclobutrazol levels on grain growth process and yield of three cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.) under post-anthesis heat stress conditions. *Environ. Stress. Crop Sci.* 9: 4. 407-415. (In Persian)
- Semahegn, Y., Shimelis, H., Laing, M. and Mathew, I. 2020. Evaluation of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for yield and related traits under drought stress conditions. *Acta Agri. Scand. Section B-Soil & Plant Sci.* pp. 1-11.
- Mkhabela, S.S., Shimelis, H., Odindo, A.O. and Mashilo, J. 2019. Response of selected drought tolerant wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for agronomic traits and biochemical markers under drought-stressed and non-stressed conditions. *Acta Agri. Scand., Section B-Soil & Plant Sci.* 69: 8. 674-689.
- Negarestani, M., Tohidi-Nejad, E., Khajoei-Nejad, G., Nakhoda, B. and Mohammadi-Nejad, G. 2019. Comparison of different multivariate statistical methods for screening the drought tolerant genotypes of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Agro.* 9: 10. 645.
- Hasanzadeh, H., Shahbazi, E., Mohammadi, S. and Saeidi, K.A. 2020. Evaluation of drought tolerance indices for selection of superior genotypes in black cumin (*Nigella sativa* L.). *J. Crop Prod. Process.* 10: 2. 67-80.
- Bonea, D. 2020. Grain yield and drought tolerance indices of maize hybrids. *Notulae Sci. Biol.* 12: 2. 376-386.
- Arifuzzaman, M., Barman, S., Hayder, S., Azad, M.A.K., Turin, M.T.S., Amzad, M.A. and Masuda, M.S. 2020.

- Screening of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under drought stress conditions using multivariate analysis. *Cereal Res. Commun.* pp. 1-8.
13. Bennani, S., Nsarellah, N., Jlibene, M., Tadesse, W., Birouk, A. and Ouabbou, H. 2017. Efficiency of drought tolerance indices under different stress severities for bread wheat selection. *Aust. J. Crops Sci.* 11: 04. 395-405.
14. Ferede, B., Mekbib, F., Assefa, K., Chanyalew, S., Abraha, E. and Tadele, Z. 2020. Evaluation of drought tolerance in Tef [*Eragrostis Tef* (Zucc.) Trotter] genotypes using drought tolerance indices. *J. Crop Sci. Biotech.* 23: 2. 107-115.
15. Mazengo, K.D., Tryphone, G.M. and Tarimo, A.J. 2019. Identification of drought selection indices of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes in the Southern highlands of Tanzania. *Afric. J. Agri. Res.* 14: 3. 161-167.
16. Mwadzingeni, L., Shimelis, H. and Tsilo, T.J. 2017. Variance components and heritability of yield and yield components of wheat under drought-stressed and non-stressed conditions. *Aust. J. Crop Sci.* 11: 11. 1425.
17. Nagy, É., Lantos, C. and Pauk, J. 2017. Selection of drought tolerant and sensitive genotypes from wheat DH population. *Acta Physiol. Plant.* 39: 12. 261.
18. Olumekun, V.O., Ajayi, A.T. and Ibidapo, O.V. 2020. Genetic variation and tolerance indices interactions among wheat (*Triticum aestivum* L.) accessions under drought stress. *J. Pure App. Agri.* 5: 3. 91-101.
19. Sehgal, A., Sita, K., Siddique, K.H., Kumar, R., Bhogireddy, S., Varshney, R.K., Hanumantha Rao, B., Nair, R.M., Prasad, P.V. and Nayyar, H. 2018. Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: Impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. *Frontiers in Plant Sci.* 9: 1705.
20. Patel, J.M., Patel, A.S., Patel, C.R., Mamrutha, H.M., Pradeep, S. and Pachchigar, K.P. 2019. Evaluation of selection indices in screening durum wheat genotypes combining drought tolerance and high yield potential. *Inter. J. Current Microbiol. App. Sci.* 8: 1165-78.

