



## Investigating the water deficit stress tolerance in a segregating population of bread wheat using genotype $\times$ trait biplot

Seyyedeh Fatemeh Danyali<sup>1\*</sup>, Mohammad Moghaddam Vahed<sup>2</sup>, Seyad Siamak Alavikia<sup>3</sup> and Majid Norouzi<sup>3</sup>

1. Graduate Ph.D. Student, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran (\*Corresponding author: [danyalisf@gmail.com](mailto:danyalisf@gmail.com))
2. Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran
3. Associate Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran

### Comprehensive abstract

#### Introduction

Water deficit compared to other abiotic stresses is the most important factor limiting the growth and production in all crops, especially in wheat. Investigating the response of crop plants under stress conditions is the best way to produce drought-tolerant cultivars and improve yield under stress conditions. The challenge of breeding for drought stress tolerance in all crop plants, is to achieve a rapid screening method of genotypes and genetic improvement of yield under these difficult environmental conditions. The objective of this experiment was to identify high-yielding and water deficit tolerant genotypes in an F<sub>4</sub> generation population of bread wheat.

#### Materials and methods

The plant materials of this experiment were 90 genotypes of the F<sub>4</sub> generation resulting from a cross between two bread wheat cultivars (Arta, a spring cultivar sensitive to salinity and drought stresses, and Arg, a tolerant cultivar to salinity and drought stresses). These genotypes along with the parents, were evaluated in split plots based on randomized complete block design with three replications under two conditions (normal irrigation and non-irrigation from the pollination stage) in the research farm of Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran, in 2014. Evaluating the genotypes were done by simultaneous application of stress tolerance index (STI) based on yield-related traits including grain yield (STI-Y), spike weight (STI-S), 1000-grain weight (STI-1000) and harvest index (STI-HI) and identifying the relationship between these indices using genotype  $\times$  trait biplot analysis. The studied genotypes were ranked based on the relationships in the biplot, and the high yield and water deficit tolerant genotypes were identified.

#### Research findings

The results of biplot showed that the first two principal components explained 72% (46% and 26%, respectively) of total variance in the studied population. Acute and closed angle between the STI-Y, STI-S and STI-HI vectors indicated a positive correlation between these traits, while the open and obtuse angle between the STI-Y and STI-HI traits with STI-1000 showed a negative correlation between them. In contrast, an quadrant angle was observed between STI-S and STI-1000 vectors, indicating that these two traits were independent and uncorrelated. In total, according to the relationships in the biplot and based on the combination of STI-Y and STI-1000 vectors, genotypes No. 84, 45, 89 and 15 were identified and introduced as the highest grain yield and most water deficit tolerant genotypes.



**Conclusion**

The results of this experiment led to identification of superior and promising genotypes with higher yield potential and more tolerance to water deficit stress. Genotypes No. 84, 45, 89 and 15, which were superior to the stress-tolerant parent, after the purification steps, can be introduced as suitable genotypes for cultivation under water stress conditions as well as in normal environments. These genotypes can be used as drought tolerant parental lines in future breeding programs.

**Keywords:** Drought stress, Genotype×environment interaction, Grain yield, Stress tolerance index

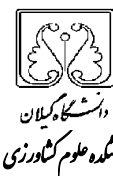
---

Received: May 1, 2022

Accepted: June 14, 2022

**Cite this article:**

**Danyali, S.F., Moghaddam Vahed, M., Alavikia, S.S. and Norouzi, M. 2022.** Evaluation of water deficient stress tolerance in segregating population of wheat using genotypextrait biplot. **Cereal Research** 12 (2): 135-146.



## ارزیابی تحمل به تنش کم آبی در یک جمعیت در حال تفرق گندم نان با استفاده از بای پلات ژنوتیپ × صفت

سیده فاطمه دانیالی<sup>۱\*</sup>، محمد مقدم واحد<sup>۲</sup>، سید سیامک علوی کیا<sup>۲</sup> و مجید نوروزی<sup>۳</sup>

۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران (\* نویسنده مسئول):

[danyalisf@gmail.com](mailto:danyalisf@gmail.com)

۲- استاد، گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- دانشیار، گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

### چکیده جامع

**مقدمه:** کمبود آب نسبت به سایر تنش‌های غیر زیستی، مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد و تولید در تمامی گیاهان زراعی به‌ویژه گندم است. بررسی چگونگی واکنش گیاهان زراعی تحت شرایط تنش، بهترین راه‌کار برای مقابله با تنش خشکی به‌منظور تولید ارقام زراعی متحمل به تنش و بهبود عملکرد تحت این شرایط به‌شمار می‌رود. چالش اصلاح برای تحمل به تنش خشکی در تمامی گیاهان زراعی، دستیابی به یک روش سریع غربال‌گری ژنوتیپ‌ها و بهبود ژنتیکی عملکرد در این شرایط دشوار محیطی است. هدف از اجرای این آزمایش، شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول و متحمل به تنش کم‌آبی در یک جمعیت نسل چهارم گندم نان بود.

**مواد و روش‌ها:** مواد گیاهی این آزمایش، ۹۰ ژنوتیپ نسل چهارم حاصل از تلاقی بین دو رقم گندم نان (آرتا، یک رقم بهاره حساس به تنش‌های شوری و خشکی، و ارگ، یک رقم متحمل به تنش‌های شوری و خشکی) بود. این ژنوتیپ‌ها به‌همراه والدین در قالب کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت دو شرایط آبیاری و قطع آبیاری در مرحله گرده‌افشانی در سال زراعی ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز مورد ارزیابی قرار گرفتند. ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده همزمان از شاخص تحمل به تنش (STI) بر اساس صفات مرتبط با عملکرد شامل عملکرد دانه (STI-Y)، وزن سنبله (STI-S)، وزن هزار دانه (STI-1000) و شاخص برداشت (STI-HI) و شناسایی روابط میان این شاخص در صفات مربوطه توسط تجزیه بای پلات ژنوتیپ × صفت انجام شد. در انتها بر مبنای روابط موجود در بای پلات، ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به تنش کم‌آبی رتبه‌بندی و شناسایی شدند.

**یافته‌های تحقیق:** نتایج حاصل از بای پلات نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول به ترتیب ۴۶ و ۲۶ درصد و در مجموع ۷۲ درصد از تغییرات کل داده‌ها را در جمعیت مورد مطالعه توجیه کردند. زاویه بسته بین بردارهای STI-Y، STI-S و STI-HI وجود همبستگی مثبت بین این صفات را نشان داد، در حالی که زاویه باز بین صفات STI-Y و STI-HI با STI-1000 نشان دهنده وجود همبستگی منفی بین این صفات بود. در مقابل، بین بردارهای STI-S و STI-1000 زاویه قائمه مشاهده شد که بیانگر عدم وجود همبستگی بین این دو صفت بود. در مجموع، با توجه به روابط موجود در بای پلات و بر مبنای ترکیب بردارهای

صفات STI-Y و STI-1000، ژنوتیپ‌های شماره ۸۴، ۴۵، ۸۹ و ۱۵ که دارای عملکرد بالاتر و تحمل بیش‌تر به تنش کم‌آبی بودند، شناسایی و معرفی شدند.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این آزمایش منجر به شناسایی ژنوتیپ‌های برتر و امیدبخش با پتانسیل عملکرد بالاتر و تحمل بیش‌تر به تنش کم‌آبی شد. ژنوتیپ‌های شماره ۸۴، ۴۵، ۸۹ و ۱۵ که برتر از والد متحمل به تنش خود بودند، بعد از مراحل خالص‌سازی می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های مناسب و مطلوب جهت کشت در محیط‌های نرمال و دارای تنش کم‌آبی معرفی شوند. از این ژنوتیپ‌ها می‌توان به‌عنوان پایه‌های والدینی متحمل به تنش کم‌آبی در برنامه‌های به‌نژادی آینده نیز استفاده کرد.

**واژه‌های کلیدی:** برهمکنش ژنوتیپ× محیط، تنش خشکی، شاخص تحمل به تنش، عملکرد دانه

---

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۴

**نحوه استناد به این مقاله:**

دانیالی، سیده فاطمه، مقدم واحد، محمد، علوی‌کیا، سید سیامک و نوروزی، مجید. ۱۴۰۱. ارزیابی تحمل به تنش کم‌آبی در جمعیت در حال تفرق گندم با استفاده از بای‌پلات ژنوتیپ× صفت. *تحقیقات غلات* ۱۲ (۲): ۱۴۶-۱۳۵.

## مقدمه

گندم نان یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که یک پنجم کالری کل مورد نیاز برای جمعیت جهان را فراهم می‌کند (Sehgal *et al.*, 2015). پیش‌بینی شده است که تا سال ۲۰۵۰ جمعیت جهان تا بیش از نه میلیارد نفر افزایش یابد (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2017). این افزایش در جمعیت، ۶۰ درصد نیاز برای گندم را در مقایسه با شرایط فعلی افزایش می‌دهد. برای تامین این نیاز، میزان افزایش یک درصد در عملکرد در شرایط فعلی باید تا سال ۲۰۵۰ به ۱/۶ درصد در سال افزایش یابد. کمبود آب نسبت به سایر تنش‌های غیر زیستی، مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد و تولید گیاهان زراعی به‌ویژه گندم است (Datta *et al.*, 2011; Saint Pierre *et al.*, 2012) که با توجه به تغییرات اقلیمی و تشدید این پدیده، تولید ارقام متحمل به تنش خشکی از برنامه‌های مهم اصلاح‌گران محسوب می‌شود. بررسی چگونگی واکنش ارقام به تنش خشکی و بهبود عملکرد تحت شرایط تنش و تولید ارقام زراعی متحمل به خشکی بهترین راه‌کار برای مقابله با این مشکل به‌شمار می‌رود (Bhargava and Sawant, 2013). چالش اصلاح برای تحمل به خشکی، دستیابی به روش سریع غربال ژنوتیپ‌ها و بهبود ژنتیکی عملکرد در این شرایط است (Guendouz *et al.*, 2012). معیارهای گزینش متعددی برای گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد آن‌ها در محیط‌های بدون تنش و واجد تنش پیشنهاد شده است (Golabadi *et al.*, 2006). برای متمایز کردن ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، چند شاخص گزینش بر اساس رابطه ریاضی بین محیط‌های فاقد تنش و واجد تنش پیشنهاد شده است. شاخص تحمل به تنش (TOL) توسط روزیل و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) پیشنهاد شد و عبارت از اختلاف عملکرد در شرایط نرمال (Yp) و تنش (Ys) است. مقادیر بالای TOL نشان دهنده حساسیت به تنش است. شاخص MP، میانگین عملکرد در هر دو محیط واجد و فاقد تنش است (Rosielle and Hamblin, 1981). از آنجا که MP میانگین عملکرد در دو محیط نرمال و واجد تنش است، به نظر می‌رسد گزینش بر اساس این پارامتر منجر به غربال ژنوتیپ‌های پر محصول در هر دو شرایط شود. حساسیت اندک میانگین هندسی عملکرد (GMP) به داده‌های استثنایی با مقادیر بسیار کم یا بسیار زیاد بر خلاف MP

منجر به کارایی بالاتر این شاخص در شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد زیاد در هر دو شرایط شده است (Fernandez, 1992). فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978) شاخص حساسیت به تنش (SSI) را پیشنهاد کردند. مقادیر کم SSI نشان دهنده تحمل بالاتر به تنش است. به عبارتی هر چه مقادیر Yp و Ys به هم نزدیک‌تر باشند، مقدار SSI کوچک‌تر و میزان تحمل به تنش بیش‌تر است (Fischer and Maurer, 1978). در بیش‌تر مطالعات SSI با TOL همبستگی مثبت نشان داده است. با استفاده از این شاخص و شاخص TOL اغلب می‌توان ژنوتیپ‌های برخوردار از عملکرد خوب در محیط‌های واجد تنش، ولی دارای عملکرد کم‌تر در محیط‌های نرمال را متمایز کرد (Fernandez, 1992). ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس SSI، تحمل و حساسیت تقسیم می‌کند. شاخص تحمل به تنش (STI) توسط فرناندز (Fernandez, 1992) پیشنهاد شد. مقادیر بالای STI بیانگر تحمل زیاد به تنش و عملکرد بالقوه زیاد است. گزینش بر اساس STI و GMP اغلب منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به تنش می‌شود (Fernandez, 1992).

به‌طور کلی، شاخص‌های تنش را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. دسته اول شامل شاخص‌های حساسیت (SSI و TOL) است که تمایل به تمایز بین ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به تنش دارند و رابطه منفی با عملکرد نشان می‌دهند. دسته دوم شامل شاخص‌های تحمل (MP، GMP و به‌ویژه STI) است که تمایل به شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش و میانگین عملکرد بالا دارند و رابطه مثبتی با عملکرد نشان می‌دهند (Rosielle and Hamblin, 1981; Fernandez, 1992; Sareen *et al.*, 2012). با این حال، شاخص‌های تحمل و حساسیت برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و تحمل به تنش بالا در هر دو شرایط محیطی فاقد و واجد تنش ایده‌آل نیستند (Thiry *et al.*, 2016). در مقابل، گزینش بر اساس عملکرد و اجزای آن ممکن است معیار مفیدتری برای بهبود تحمل به تنش باشد. به‌عبارت دیگر، می‌توان با استفاده از روش‌های مختلفی مانند تجزیه خوشه‌ای، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه بای‌پلات برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در هر دو محیط فاقد و واجد تنش استفاده کرد. روش بای‌پلات GGE در اصل برای تجزیه داده‌های آزمایش‌های چند محیطی پیشنهاد شد (Yan

یک شاخص شامل ده صفت را برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی گندم پیشنهاد دادند. فرشادفر و همکاران (Farshadfar *et al.*, 2012) و عبدی و طاهری مازندرانی (Abdi and Taheri Mazandarani, 2016) به‌منظور بررسی تحمل به تنش خشکی در گندم با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش از تجزیه بای‌پلات استفاده و ژنوتیپ‌های برتر را معرفی کردند. رجایی و همکاران (Rajaie *et al.*, 2016) برای مطالعه اثر تنش خشکی انتهایی بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های ۳۵ لاین گندم نان، شاخص‌های تحمل مختلف را بررسی کردند و نشان دادند که شاخص‌های MP، GMP و STI برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی از کارایی بهتری برخوردار هستند و هر سه شاخص، ژنوتیپ‌های مشابهی را در هر دو محیط فاقد و واجد تنش به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل با عملکرد زیاد معرفی کردند. معتمدی و صفری (Motamedi and Safari, 2019) برای مطالعه و گزینش برترین ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیب شاخص‌های تحمل به تنش خشکی به صورت گرافیکی از بای‌پلات GT استفاده کردند.

اگرچه گزارش‌های زیادی در مورد ارتباط شاخص‌های مختلف با تحمل به خشکی در گیاهان مختلف وجود دارد، اما تعداد گزارش‌های مرتبط با جمعیت‌های در حال تفرق و ارزیابی شاخص تحمل به خشکی مربوط به سایر صفات زراعی به‌غیر از عملکرد محدود هستند. یکی از اهداف اصلی به‌نژادگران گیاهی، شناسایی ارقام متحمل به تنش از طریق گزینش در جمعیت‌های در حال تفرق تحت شرایط محیطی واجد تنش است (Clarke and Townley-Smith, 1984). به‌همین منظور، هدف از مطالعه حاضر ارزیابی ژنوتیپ‌ها در جمعیت‌های در حال تفرق گندم نان بر مبنای استفاده همزمان از شاخص تحمل به تنش مرتبط با عملکرد و برخی از صفات زراعی و بررسی روابط میان شاخص تحمل به تنش در آن صفات با استفاده از تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ × صفت بود.

#### مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای در سال ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز واقع در کرکج (۴/۴۶ درجه شرقی و ۳۸/۰ درجه شمالی با ارتفاع ۱۳۶۱ متر از سطح دریای آزاد) اجرا شد.

(and Kang, 2003)، اما به‌همان اندازه برای انواع داده‌های دوطرفه مانند ژنوتیپ × صفت (GT) قابل کاربرد است. ارزیابی ژنوتیپی باید بر اساس صفات متعددی باشد که به عنوان اهداف اصلاحی در نظر گرفته می‌شوند. داده‌های ژنوتیپ × صفت را می‌توان با استفاده از بای‌پلات GT به صورت گرافیکی بررسی کرد. مدل بای‌پلات GT (Yan and Rajcan, 2002) مشابه بای‌پلات GGE است، با این تفاوت که از داده‌های مقیاس‌بندی شده به‌منظور حذف واحد صفات و ایجاد اهمیت یکسان یا یکنواختی در کلیه صفات مورد اندازه‌گیری استفاده می‌شود. در مواردی که برای ارزیابی ارقام، صفات متعددی اندازه‌گیری می‌شوند، اما مشخص نیست که رقم ایده‌آل باید از چه ویژگی برخوردار باشد، بهتر است به‌عنوان گام اول فرض شود که کلیه صفات مورد اندازه‌گیری به یک نسبت مهم هستند و ارقام به‌عنوان مجموعه‌هایی از صفات مقایسه شوند. مقیاس‌بندی با استفاده از انحراف استاندارد (SD) صفت، رایج‌ترین روش مورد استفاده در تجزیه داده‌های چند صفتی است (Yan, 2014).

موری و همکاران (Moore *et al.*, 2012) برای ارزیابی مقاومت به خشکی انتهای فصل در ارقام گندم با استفاده از عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی، ۳۰ رقم گندم را طی دو سال مورد ارزیابی قرار دادند و از تجزیه به مولفه‌های اصلی و ترسیم بای‌پلات برای بررسی روابط بین شاخص‌ها و تعیین برترین ژنوتیپ‌ها استفاده کردند. نتایج نشان داد که شاخص‌های STI، GMP و MP به‌دلیل داشتن بیش‌ترین همبستگی با عملکرد دانه در ارزیابی تحمل به خشکی مناسب‌ترین شاخص‌ها بودند و ارقام شیرودی، بهار و کویر در مجاورت بردارهای مربوط به این شاخص‌ها قرار داشتند. سیّاح و همکاران (Sayyah *et al.*, 2012) با بررسی ۲۱ ژنوتیپ گندم تحت شرایط طبیعی و تنش خشکی نشان دادند که مناسب‌ترین معیار تحمل تنش برای غربال ژنوتیپ‌ها، میانگین تولید (MP)، میانگین هندسی (GMP) و شاخص تحمل تنش (STI) هستند و هنگامی که تنش شدید بود، شاخص حساسیت به تنش (SSI) مفیدترین شاخص در تمایز ژنوتیپ‌های مقاوم شناخته شد. عبدولشاهی و همکاران (Abdolshahi *et al.*, 2015) برای معرفی معیار گزینش یکپارچه برای تحمل به تنش خشکی در برنامه‌های اصلاح گندم، ۴۰ ژنوتیپ گندم را با استفاده از تجزیه تابع تشخیص مورد ارزیابی قرار دادند و

$$STI = \frac{(Y_p \times Y_s)}{(\bar{Y}_p)^2} \quad (1)$$

که در آن،  $Y_s$  عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی،  $Y_p$  عملکرد دانه تحت شرایط بدون تنش و  $\bar{Y}_p$  میانگین عملکرد تمامی ژنوتیپ‌ها تحت شرایط بدون تنش است. برای سایر صفات مورد مطالعه نیز در رابطه (۱) به جای عملکرد، هر یک از صفات جایگزین شدند.

### تجزیه بای پلات ژنوتیپ × صفت

مدل مورد استفاده برای تجزیه بای پلات GT عبارت از تجزیه به مولفه‌های اصلی تصحیح شده بر اساس میانگین صفت و استاندارد شده توسط انحراف استاندارد بود:

$$\hat{Y}_{ij} - \mu - \beta_j / d_j = g_{i1}e_{1j} + g_{i2}e_{2j} + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

که در آن،  $\hat{Y}_{ij}$  مقدار مورد انتظار برای ژنوتیپ  $i$  در ترکیب با صفت  $j$ ،  $\mu$  میانگین کل تمامی ترکیب‌های ژنوتیپ × صفت،  $\beta_j$  اثر اصلی صفت  $j$ ،  $g_{i1}$  و  $e_{1j}$  به ترتیب آثار اولیه ژنوتیپ  $i$  و صفت  $j$ ،  $g_{i2}$  و  $e_{2j}$  به ترتیب آثار ثانویه برای ژنوتیپ  $i$  و صفت  $j$ ،  $d_j$  انحراف استاندارد فنوتیپی صفت  $j$  و  $\varepsilon_{ij}$  آثار باقی‌مانده توجیه نشده به وسیله آثار اولیه و ثانویه است. بای پلات مورد نظر با رسم  $g_{i1}$  در مقابل  $g_{i2}$  و  $e_{1j}$  در مقابل  $e_{2j}$  در یک نمودار پراکنش ایجاد شد. برای به‌کارگیری این رابطه از رایج‌ترین روش یعنی تجزیه به مقادیر منفرد (SVD)، استفاده شد:

$$\hat{Y}_{ij} - \mu - \beta_j / d_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{1j} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{2j} + \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

که در آن  $\lambda_1$  و  $\lambda_2$  به ترتیب مقادیر ویژه اولین و دومین مولفه اصلی ( $PC_1$  و  $PC_2$ )،  $\xi_{i1}$  و  $\xi_{i2}$  به ترتیب بردارهای ویژه ژنوتیپ  $i$  برای  $PC_1$  و  $PC_2$  و  $\eta_{1j}$  و  $\eta_{2j}$  به ترتیب بردارهای ویژه صفت  $j$  برای  $PC_1$  و  $PC_2$  هستند. این روش آماری با جزئیات توسط یان و کانگ (Yan and Kang, 2003) و یان (Yan, 2014) توصیف شده است. کلیه بای پلات‌های ارائه شده توسط نرم‌افزار GGE-Biplot (Yan, 2001) ایجاد شدند.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس تفاوت‌های معنی‌داری بین دو شرایط آبیاری و نیز میان ژنوتیپ‌های گندم در همه صفات مورد مطالعه نشان داد. اثر ژنوتیپ × آبیاری و ژنوتیپ × تکرار نیز برای عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۱).

برای تهیه بستر کشت، شخم نسبتاً عمیقی در اوایل بهار زده شد و سپس عملیات دیسک زنی اجرا شد. ابعاد کرت‌های تیمار آبیاری  $2/5 \times 7/05$  متر و فاصله بین تکرارها  $1/5$  متر بود. برای ایجاد سهولت رفت و آمد و اندازه‌گیری صفات در وسط هر کرت تیمار آبیاری یک راهرو در نظر گرفته شد و به این ترتیب هر کرت به دو قسمت برای کشت تقسیم شد. طول هر ردیف کشت ۹۰ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها ۱۵ سانتی‌متر بود و در هر ردیف ۱۷ بذر با فاصله پنج سانتی‌متر کشت شد. در ابتدا و انتهای ردیف‌های کشت هر کرت تیمار آبیاری ردیف‌هایی به‌عنوان حاشیه کشت شدند. عملیات کاشت در اواخر فروردین به صورت دستی انجام شد. پس از کشت تا زمان گرده‌افشانی، آبیاری در هر دو شرایط تیمار آبیاری و قطع آبیاری به‌طور یکسان انجام شد. نیتروژن مورد نیاز گیاه از منبع اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در کرت‌های آزمایشی پخش شد. پخش کود همراه با آب آبیاری طی دو مرحله انجام گرفت. وجین علف‌های هرز به دفعات مورد نیاز به صورت دستی انجام گرفت. برای مبارزه با خسارت گنجشک‌ها در زمان رسیدگی دانه، مزرعه تورکشی شد. طول زمان برداشت از اواخر مرداد تا اواسط شهریور بود و برداشت به صورت دستی انجام شد.

مواد گیاهی آزمایش، ۹۰ ژنوتیپ مربوط به نسل چهارم حاصل از تلاقی ارقام آرتا (حساس به شوری و خشکی) و ارگ (مقاوم به شوری و متحمل به خشکی) همراه با والدین آنها بودند. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمار آبیاری در دو سطح شامل آبیاری مطلوب و قطع آبیاری از زمان گرده‌افشانی در کرت‌های اصلی و ژنوتیپ‌ها در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. برای اجرای صحیح نمونه‌برداری و حذف اثرات حاشیه‌ای، بوته‌های واقع در ردیف‌های ابتدایی و انتهایی هر کرت آبیاری و نیز بوته‌های ابتدا و انتهای هر ردیف کشت در نظر گرفته نشدند و اندازه‌گیری‌ها روی حداقل ۱۰ بوته از هر ردیف انجام شد. پس از آزمون نرمال بودن باقی‌مانده‌ها، تجزیه واریانس با استفاده از برنامه آماری SAS 9.0 (SAS Institute, 2002) برای شناسایی تفاوت‌های معنی‌دار میان ژنوتیپ‌ها برای عملکرد دانه، وزن سنبله، وزن هزار دانه و شاخص برداشت انجام شد.

شاخص تحمل به تنش بر اساس عملکرد دانه با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Fernandez, 1992):

جدول ۱- تجزیه واریانس ژنوتیپ‌های نسل چهارم گندم حاصل از تلاقی ارقام آرتا و ارگ در شرایط واجد و فاقد تنش کم‌آبی  
Table 1. Analysis of variance of wheat F<sub>4</sub> genotypes derived from the cross between Arta and Arg cultivars under water deficit stress and non-stress conditions

Sources of variation	df	Mean squares			
		Grain yield	Spike weight	Harvest index	1000-grain weight
Replication (R)	2	0.059 <sup>ns</sup>	0.637 <sup>ns</sup>	3.088 <sup>ns</sup>	8.762 <sup>ns</sup>
Water regime (W)	1	5.584 <sup>**</sup>	6.593 <sup>**</sup>	282.100 <sup>**</sup>	3297.571 <sup>**</sup>
Main plot error	2	0.164	1.030	37.612	7.587
Genotype (G)	91	0.065 <sup>**</sup>	0.110 <sup>*</sup>	47.731 <sup>*</sup>	63.631 <sup>*</sup>
W × G	91	0.026 <sup>ns</sup>	0.086 <sup>ns</sup>	36.312 <sup>ns</sup>	35.516 <sup>ns</sup>
R × G	182	0.056 <sup>*</sup>	0.071 <sup>ns</sup>	34.583 <sup>ns</sup>	29.305 <sup>ns</sup>
Sup-plot error	182	0.036	0.067	33.132	36.413
CV (%)		15.419	9.903	27.898	21.162

<sup>ns</sup>, <sup>\*</sup> and <sup>\*\*</sup>: Not-significant and Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

در مقابل، زاویه بین شاخص‌های STI-HI و STI-Y با STI-1000 باز بود که نشان دهنده وجود همبستگی منفی بین این دو گروه از شاخص‌ها است. بین بردارهای STI-S و STI-1000 زاویه نزدیک به قائمه مشاهده شد که بیانگر عدم وجود همبستگی بین این دو صفت است. روابط مشخص شده در بای‌پلات را می‌توان از جدول همبستگی عددی (جدول ۲) نیز تایید کرد. مقایسه زوایای واقع در شکل ۱ و ضرایب همبستگی (جدول ۲) مطابقت زیاد بین آن‌ها را آشکار می‌سازد (Yan and Kang, 2003) که البته با توجه به توجیه درصد زیادی از تغییرات به وسیله دو مولفه اصلی اول چنین انتظاری نیز می‌رود. از بای‌پلات شکل ۱ می‌توان برای شناسایی صفات زاید نیز استفاده کرد، به این معنی که وجود زاویه‌های کوچک بین صفات، حاکی از همبستگی مثبت و بالای آنها است و بنابراین اطلاعات حاصل از ژنوتیپ‌ها در مورد این صفات نیز مشابه است و از این‌رو انتخاب فقط یک صفت از میان آن‌ها کافی است. چنان‌چه مشاهده می‌شود همبستگی‌های بالایی بین معیارهای مختلف وجود دارد و به نظر می‌رسد که برای مطالعه ژنوتیپ‌ها بر اساس این معیارها به تمامی آن‌ها نیازی نیست و می‌توان برخی از آن‌ها را حذف کرد. با توجه به روابط موجود در بای‌پلات، شاخص‌های STI-Y و STI-1000 در بای‌پلات حفظ شدند و ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس این دو صفت انجام گرفت. شاخص STI توانایی تمایز ژنوتیپ‌ها را بر اساس پتانسیل عملکرد و تحمل آنها به تنش دارد و بنابراین با در نظر گرفتن مقادیر مثبت و بالای این شاخص، انتظار می‌رود ژنوتیپ‌های گزینش شده عملکرد بالایی در محیط‌های دارای تنش و فاقد تنش داشته باشند.

تفکیک متجاوز برای تمامی صفات مورد مطالعه از جمله عملکرد دانه در هر دو جهت مثبت و منفی مشاهده شد، به طوری که متوسط عملکرد دانه والد حساس به تنش (آرتا) در دو شرایط نرمال و تنش برابر با ۱/۱۰ و در والد متحمل به تنش (ارگ) ۱/۴۱ بود، در صورتی که در جمعیت نسل چهارم، ژنوتیپ‌هایی با دامنه عملکرد بین ۰/۸۹ تا ۱/۴۸ وجود داشتند.

بای‌پلات ژنوتیپ × صفت با استفاده از داده‌های استاندارد شده صفات در نرم‌افزار GGE-Biplot ایجاد شد (شکل ۱) که در آن صفات شامل شاخص تحمل به خشکی اندازه‌گیری شده برای عملکرد، وزن سنبله، وزن هزار دانه و شاخص برداشت و ژنوتیپ‌ها نیز جمعیت نسل چهارم حاصل از تلاقی ارقام آرتا و ارگ به همراه ارقام والدینی بودند. این بای‌پلات به درک روابط متقابل میان صفات و ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات کمک می‌کند. مدل مورد استفاده (مدل ۲) و درصد توجیه GT به وسیله هر محور در بالای بای‌پلات نمایش داده شده است. به این ترتیب، این بای‌پلات، ۷۲ درصد از تغییرات کل را توجیه کرد. صفات با بردار کوتاه در بای‌پلات از توانایی کم‌تری در تمایز ژنوتیپ‌ها نسبت به سایر صفات برخوردارند (Yan, 2014). در این مطالعه طول بردار تمامی شاخص‌ها بلند بودند که نشان دهنده توانایی تمایز آن‌ها است.

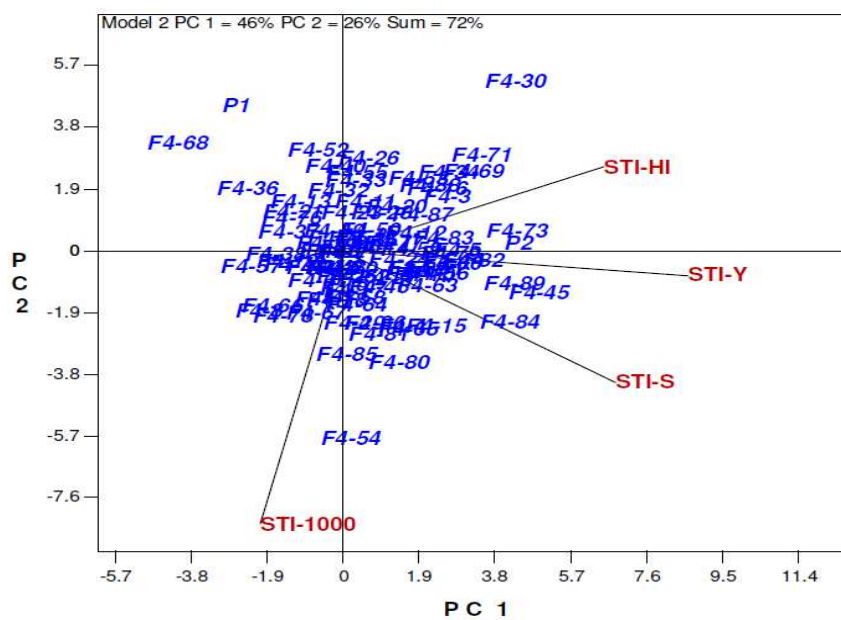
کسینوس زاویه بین دو بردار میزان همبستگی بین صفات را برآورد می‌کند. بنابراین ارتباط میان کلیه صفات را می‌توان به راحتی از بای‌پلات تجسم کرد. روابط متقابل میان صفات در بای‌پلات شکل ۱ ارایه شده است. زاویه بین بردارهای STI-HI، STI-Y و STI-S بسته بود که نشان دهنده همبستگی بالای بین این شاخص‌ها است و



جدول ۲- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل

Table 2. Correlation coefficients among the stress tolerance indices

	STI-Y	STI-S	STI-1000	STI-HI
STI-Y	1	0.557**	-0.114**	0.494**
STI-S		1	0.007	0.142**
STI-1000			1	-0.122**
STI-HI				1

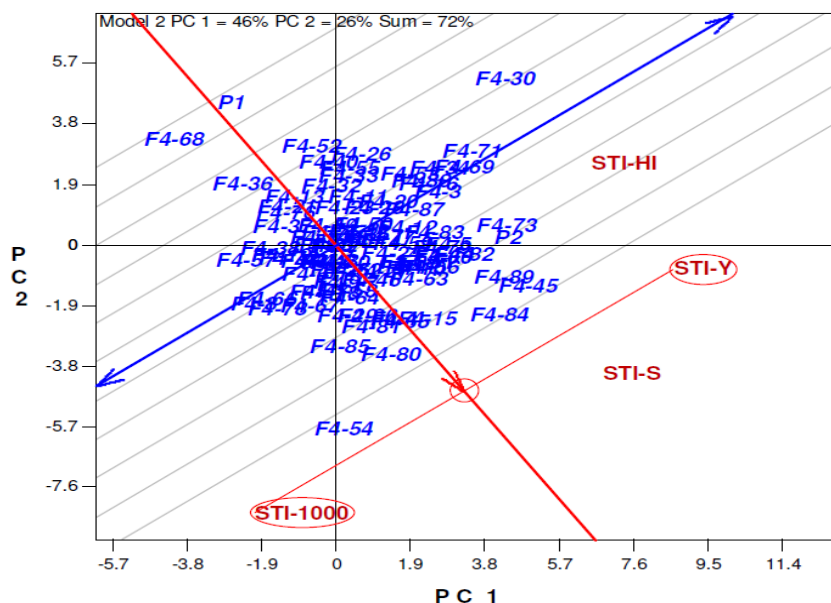


شکل ۱- نمودار بای پلات شاخص تحمل به تنش برای صفات عملکرد، وزن سنبله، وزن هزار دانه و شاخص برداشت در ژنوتیپ‌های گندم

Figure 1. Biplot diagram of stress tolerance index (STI) for yield (STI-Y), spike weight (STI-S), 1000-grain weight (STI-1000) and harvest index (STI-HI) in wheat genotypes

گندم از لحاظ ۱۰ شاخص تحمل به تنش خشکی از بای پلات GGE برای شناسایی روابط بین شاخص‌های تحمل به خشکی در شرایط تنش و عدم تنش و گزینش برترین ژنوتیپ‌ها بر مبنای چندین شاخص تحمل به خشکی استفاده نمودند. با توجه به شکل ۲ برترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند که فهرست کامل رتبه آن‌ها بر اساس ترکیب این دو شاخص در جدول ۳ ارائه شده است. ۴ ژنوتیپ ۸۴، ۴۵، ۸۹ و ۱۵ برتر از والد متحمل به تنش (ارگ) را می‌توان به عنوان ژنوتیپ‌های مناسب برای محیط‌های دارای تنش کم‌آبی و عادی در نظر گرفت. ژنوتیپ شماره ۶۸ به عنوان ضعیف‌ترین ژنوتیپ بعد از والد حساس به تنش (آرتا) شناسایی شد.

ژنوتیپ‌ها را می‌توان به‌طور هم‌زمان از نظر دو صفت ارزیابی کرد. این کار با اتصال دو صفت و پیدا کردن نقطه میانه آن‌ها در بای پلات انجام می‌شود و از آن به عنوان صفت مجازی برای مطالعه استفاده می‌شود (Yan and Kang, 2003). بای پلات شکل ۲ امکان بررسی ژنوتیپ‌ها را بر اساس ترکیب شاخص‌های STI-Y و STI-1000 فراهم کرد. معتمدی و صفری (Motamedi and Safari, 2019) نیز از ترکیب دو شاخص STI و SSI در بای پلات برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها استفاده نمودند و این گونه بیان نمودند که بای پلات GT به عنوان یک راهنمای مفید برای درک روابط میان صفات و گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیبی از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی است. آکتاش (Aktas, 2016) نیز به‌منظور ارزیابی ۱۲ ژنوتیپ



شکل ۲- نمودار بای پلات ژنوتیپ‌های گندم بر اساس رتبه شاخص تحمل به خشکی برای صفات عملکرد و وزن هزار دانه  
 Figure 2. Biplot diagram of wheat genotypes based on rank of stress tolerance index (STI) for yield (STI-Y) and 1000-grain weight (STI-1000) indices

جدول ۳- رتبه ژنوتیپ‌های گندم در بای پلات GT بر مبنای ترکیب شاخص‌های STI-Y و STI-1000

Table 3. Rank of wheat genotypes in GT biplot based on combination of the STI-Y and STI-1000 indices

Genotype	Rank	Genotype	Rank	Genotype	Rank	Genotype	Rank
F4-84	1	F4-59	24	F4-35	47	F4-49	70
F4-45	2	F4-27	25	F4-20	48	F4-74	71
F4-89	3	F4-24	26	F4-71	49	F4-78	72
F4-15	4	F4-46	27	F4-70	50	F4-33	73
P2	5	F4-12	28	F4-42	51	F4-55	74
F4-82	6	F4-54	29	F4-50	52	F4-72	75
F4-80	7	F4-85	30	F4-28	53	F4-32	76
F4-65	8	F4-29	31	F4-6	54	F4-26	77
F4-4	9	F4-3	32	F4-7	55	F4-66	78
F4-60	10	F4-64	33	F4-53	56	F4-19	79
F4-73	11	F4-77	34	F4-47	57	F4-30	80
F4-44	12	F4-87	35	F4-2	58	F4-8	81
F4-56	13	F4-17	36	F4-90	59	F4-37	82
F4-63	14	F4-14	37	F4-1	60	F4-40	83
F4-5	15	F4-17	38	F4-48	61	F4-38	84
F4-51	16	F4-62	39	F4-67	62	F4-76	85
F4-79	17	F4-69	40	F4-22	63	F4-21	86
F4-10	18	F4-16	41	F4-61	64	F4-13	87
F4-41	19	F4-9	42	F4-75	65	F4-57	88
F4-39	20	F4-88	43	F4-11	66	F4-52	89
F4-81	21	F4-34	44	F4-43	67	F4-36	90
F4-83	22	F4-18	45	F4-23	68	P1	91
F4-86	23	F4-25	46	F4-31	69	F4-68	92

## نتیجه‌گیری کلی

یک ژنوتیپ به‌عنوان مجموعه‌ای از صفات در نظر گرفته می‌شود. ارزیابی ژنوتیپ‌ها باید بر اساس صفات متعددی انجام شود که به‌عنوان اهداف اصلاحی در نظر گرفته می‌شوند. با تجزیه داده‌های ژنوتیپ  $\times$  صفت (GT) می‌توان به سه هدف (درک روابط میان صفات، شناخت مجموعه صفات ژنوتیپ‌ها و ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس چند صفت) دست یافت. بای‌پلات GT یک روش موثر در تجسم روابط میان شاخص‌ها و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش بود. این بای‌پلات توانست گزینش برترین ژنوتیپ‌ها را بر اساس شاخص تحمل به تنش مربوط به صفات عملکرد و برخی صفات زراعی امکان‌پذیر سازد. تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ  $\times$  صفت روابط بین شاخص‌ها را به صورت گرافیکی نمایان ساخت که با نتایج حاصل از همبستگی بین شاخص تحمل به تنش در صفات مورد نظر انطباق داشت. با در نظر گرفتن روابط بین بردارهای صفات و حذف صفات زاید و انتخاب دو شاخص STI-Y و STI-1000 به‌عنوان مهم‌ترین شاخص‌ها، ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیب این دو شاخص رتبه‌بندی شدند و ژنوتیپ‌های برتر از عملکرد و تحمل بالاتری نسبت به تنش کم‌آبی برخوردار بودند. ژنوتیپ‌های مطلوب شناسایی شده در این مطالعه، بعد از مراحل خالص‌سازی، می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های

مناسب برای محیط‌های واجد و فاقد تنش کم‌آبی و همچنین به‌عنوان پایه‌های والدینی در برنامه‌های اصلاحی مورد استفاده قرار گیرند.

## تضاد منافع

نویسنده (گان) تایید می‌کند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

## رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

## اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کند.

## References

- Abdi, H. and Taheri Mazandarani, M. 2016. Study of drought tolerance in bread wheat cultivars using biplot. *International Journal of Life-Sciences Scientific Research* 2: 651-657.
- Abdolshahi, R., Nazari, M., Safarian, A., Sadathossini, T.S., Salarpour M. and Amiri, H. 2015. Integrated selection criteria for drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) breeding programs using discriminant analysis. *Field Crops Research* 174: 20-29.
- Aktaş, H. 2016. Drought tolerance indices of selected landraces and bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes derived from synthetic wheats. *Applied Ecology and Environmental Research* 14: 177-189.
- Bhargava, S. and Sawant, K. 2013. Drought stress adaptation: Metabolic adjustment and regulation of gene expression. *Plant Breeding* 132: 21-32.
- Clarke, J.M. and Townley-Smith, T.F. 1984. Screening and selection techniques for improving drought resistance. In: Vose, P.B. and Blixt, S.G. (Eds.). *Crop breeding: A contemporary basis*. Pergamon Press. pp: 137-162.
- Datta, J.K., Mondal, T., Banerjee, A. and Mondal, N.K. 2011. Assessment of drought tolerance of selected wheat cultivars under laboratory condition. *Journal of Agricultural Science and Technology* 7: 383-393.
- Farshadfar, E., Jamshidi, B. and Aghae, M. 2012. Biplot analysis of drought tolerance indicators in bread wheat landraces of Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 4: 226-233.

- Fernandez, G.C. 1992.** Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress. August 13-18, Shanhua, Taiwan. pp. 257-270.
- Fischer, R.A. and Maurer, R. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. **Crop and Pasture Science** 29: 897-912.
- Golabadi, M., Arzani, A. and Maibody, S.M. 2006.** Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. **African Journal of Agricultural Research** 1: 162-171.
- Guendouz, A., Guessoum, S. and Hafsi, M. 2012.** Investigation and selection index for drought stress in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under Mediterranean condition. **Electronic Journal of Plant Breeding** 3: 733-740.
- Moori, S., Emam, Y. and Karimzadeh Sourashjani, H.A. 2012.** Evaluation of late season drought resistance in wheat cultivars using grain yield, its components and drought resistance indices. **Environmental Stresses in Crop Sciences** 5: 19-32. (In Persian with English Abstract).
- Motamedi, M. and Safari, P. 2019.** Evaluation of water deficient stress tolerance in some wheat cultivars and their hybrids using canonical discriminant analysis and genotype by trait biplot. **Journal of Crop Breeding** 11 :104-116. (In Persian with English Abstract).
- Rajaie, M., Tahmasebi, S., Bidadi, M.J., Zare, K. and Sarfarazi, S. 2016.** The effect of terminal drought stress on yield and yield components of wheat genotypes. **Cereal Research** 5 (4): 341-352. (In Persian with English Abstract).
- Rosielle, A.A. and Hamblin, J. 1981.** Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. **Crop Science** 21: 943-946.
- Saint Pierre, C., Crossa, J.L., Bonnett, D., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Reynolds, M.P. 2012.** Phenotyping transgenic wheat for drought resistance. **Journal of Experimental Botany** 63: 1799-1808.
- Sareen, S., Tyagi, B.S., Tiwari, V. and Sharma, I. 2012.** Response estimation of wheat synthetic lines to terminal heat stress using stress indices. **Journal of Agricultural Science** 4: 97-104.
- SAS Institute. 2002.** SAS user's guide: Statistics version 9 for windows. SAS Institute. Carry, NC.
- Sayyah, S.S., Ghobadi, M., Mansoorifar, S. and Zebarjadi, A.R. 2012.** Evaluation of drought tolerant in some wheat genotypes to post-anthesis drought stress. **Journal of Agricultural Science** 4: 248-256.
- Sehgal, D., Vikram, P., Sansaloni, C.P., Ortiz, C., Saint Pierre, C., Payne, T., Ellis, M., Amri, A., Petroli, C.D., Wenzl, P. and Singh, S. 2015.** Exploring and mobilizing the gene bank biodiversity for wheat improvement. **PLoS One** 10: e0132112.
- Thiry, A.A., Chavez Dulanto, P.N., Reynolds, M.P. and Davies, W.J. 2016.** How can we improve crop genotypes to increase stress resilience and productivity in a future climate? A new crop screening method based on productivity and resistance to abiotic stress. **Journal of Experimental Botany** 67: 5593-5603.
- United Nations Department of Economic and Social Affairs. 2017.** World population projected to reach 9.7 billion by 2050. Retrieved December 10, 2022, from <https://www.un.org/en/desa>.
- Yan, W. 2001.** GGE-biplot: A Windows application for graphical analysis of multienvironment trial data and other types of two-way data. **Agronomy Journal** 93: 1111-1118.
- Yan, W. 2014.** Crop variety trials: Data management and analysis. Wiley-Blackwell.
- Yan, W. and Kang, M.S. 2003.** GGE-biplot analysis: A graphical tool for geneticists, breeders, and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Yan, W. and Rajcan, I. 2002.** Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. **Crop Science** 42: 11-20.