

Research paper

Identification of Genotypes Tolerant to Drought Stress in Wheat Using Quantitative Indices in Different Regions of Iran's Cold Climate

Ali Akbar Asadi¹, Ashkboos Amini², Taqi Babaie³, Ali Reza Eivazi⁴ and Masoud Qudsi⁵

1- Assistant Professor of Seed and Plant Improvement Research Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zanjan, Iran, (Corresponding author: asadipm@gmail.com)

2- Associate Professor of Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Karaj, Iran

3- Assistant Professor of Seed and Plant Improvement Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Arak, Iran

4- Assistant Professor of Seed and Plant Improvement Research Department, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran

5- Assistant Professor of Seed and Plant Improvement Research Department, Razavi Khorasan Agricultural and Natural Resources and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

Received: 26 February, 2023

Accepted: 7 June, 2023

Extended Abstract

Background: Yield under stress conditions has never been an accurate criterion for selecting drought-tolerant genotypes, and preparing drought-tolerant cultivars has always aimed to create cultivars with relatively better stress tolerance than other genotypes and less yield loss in the same agricultural conditions. In most studies, only the seed yield is examined for the field selection of crops. However, some researchers believe that the effective indicators in identifying the stability of cultivars under drought stress conditions should be identified and used as a selection index in addition to seed yield to be more efficient in breeding compatible and superior cultivars in arid and semi-arid regions. Therefore, the relative yield of genotypes in drought stress and irrigated conditions is a starting point for identifying and selecting genotypes for improvement in dry environments. In semi-arid regions where the rainfall distribution is not proportional, the yield potential in stress conditions is not considered the best criterion for drought tolerance. In addition to yield stability, the comparison of yield in stress and optimal conditions is a more suitable criterion for the reaction of genotypes to moisture stress. Most studies on indicators in crop species, especially wheat, concentrate only on one place, one year, and in a specific environment, the results are generalized to all environments, and the variable effects of year and place are not taken into account in the calculation of indicators. Accordingly, this research aimed to evaluate the autumn wheat genotypes in terms of drought tolerance to select the best drought tolerance indices and to identify drought stress-tolerant cultivars in different regions of Iran's cold climate.

Methods: In this research project, 20 genotypes were investigated under normal irrigation and water deficit conditions in a randomized complete block design (RCBD) with three replications in the research stations of Karaj, Mashhad, Miandoab, and Arak cities in the crop years of 2017-2018 and 2018-2019. Different tolerance and stress sensitivity indices were determined for the target genotypes, which were grouped based on their sensitivity and tolerance to drought by each of these indices to investigate drought tolerance. Principal component analysis (PCA) was used to summarize the data, draw a diagram based on the first two components, and identify the desired indicators. Finally, biplot analysis was used to group genotypes and indices based on drought tolerance criteria.

Results: Stress decreased the yield of genotypes, but the reduction rate was different in different genotypes. The average grain yields for all genotypes were 7.002 and 5.215 tons per hectare under normal irrigation and drought stress conditions, respectively, at the end of the season, which showed that the stress conditions caused a decrease of about 25% in grain yield compared to normal irrigation conditions. The environmental and agricultural conditions of different regions and the studied years caused differences in the estimated indices, and the ranking of genotypes changed based on different indices in different years and regions. Therefore, studies should be conducted on stress tolerance indices in several places over multiple years to correctly determine the process of functional changes in different cultivars and genotypes and obtain more confidence in the calculated tolerance and sensitivity indices. Genotypes G4, G2, G16, and G5 showed higher yields in both conditions. STI, MP, GMP, MSTI1, MSTI2, YI, HM, and RR had a positive and significant correlation with grain yield under normal and stress conditions; therefore, they can be used for more favorable selection of drought-tolerant genotypes. The PCA showed that indicators could be grouped using the first two components. The first principal component explained 53.16%

of the changes in the total data and had a positive and significant correlation with yield in normal and stress conditions, as well as with MP, STI, GMP, YI, MSTI1, MSTI2, HM, and RDY indicators. Due to the high correlation of this component with yield under normal and stress conditions, this component was named as the yield potential component in both conditions. The second estimated component justified 42.33% of the total data changes and showed a positive and significant correlation with yield in normal conditions and SSI, TOL, ATI, SSPI, and RR indices. It seems that this component can identify high-yield genotypes under stress conditions. Biplot analysis indicated that HM, MP, STI, MSTI1, MSTI2, GMP, RDY, YI, and SNPI indices had a positive and high correlation with yield under stress and normal conditions. The sharp angles between these indices showed their positive and very high correlation with each other. RDI and YSI indices had a negative correlation with yield in normal conditions, and RR, SSI, TOL, and SSPI indices had a negative correlation with yield in stressful conditions.

Conclusion: To achieve varieties resistant to drought stress using tolerance indices and to prevent the interaction effects of the environment in the genotype, experiments should be carried out in many years and places to reduce the effects of the environment on the calculated indices and obtain more reasonable results. Finally, G4, G2, G16, G5, and G17 can be selected as high-yield genotypes under normal and stress conditions.

Keywords: Biplot, Drought stress, Index, Wheat

How to Cite This Article: Asadi, A. A., Amini, A., Babaie, T., Eivazi, A. R., Qudsi, M. (2024). Identification of Genotypes Tolerant to Drought Stress in Wheat Using Quantitative Indices in Different Regions of Iran's Cold Climate. *J Crop Breed*, 16(1), 17-31. DOI:[10.61186/jcb.16.49.17](https://doi.org/10.61186/jcb.16.49.17)

مقاله پژوهشی

شناسایی ژنوتیپ‌های گندم متحمل به تنش کمبود آب انتهایی فصل با استفاده از شاخص‌های تحمل در مناطق سردسیر ایران

علی اکبر اسدی^۱، اشکبوس امینی^۲، تقی بابایی^۳، علیرضا عیوضی^۴ و مسعود قدسی^۵

۱- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران، (نویسنده مسوول: Asasdipm@gmail.com)

۲- دانشیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۳- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران

۴- استادیار بخش تحقیقات نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

۵- استادیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۲/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۷

صفحه: ۱۷ تا ۳۱

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: عملکرد در شرایط تنش هیچ‌گاه نتوانسته ملاک دقیقی جهت انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی باشد و همواره هدف از تهیه ارقام متحمل به خشکی، ایجاد ارقامی بوده که به‌طور نسبی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها تنش را بهتر تحمل کنند و در شرایط زراعی یکسان افت عملکرد کمتری را نشان دهند. در اغلب بررسی‌ها برای گزینش مزرعه‌ای گیاهان زراعی فقط عملکرد دانه مدنظر قرار می‌گیرد، در صورتی که برخی از پژوهشگران معتقد هستند برای بازدهی بیشتر در اصلاح ارقام سازگار و برتر در مناطق خشک و نیمه‌خشک باید شاخص‌هایی را که در شناسایی پایداری ارقام در شرایط تنش خشکی مؤثر هستند شناسایی کرده و آن‌ها را علاوه بر عملکرد دانه به‌عنوان معیارهای انتخاب مورد استفاده قرار داد، از این‌رو وضعیت عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی و شرایط آبی به‌عنوان یک نقطه شروع برای شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌ها برای اصلاح در محیط‌های خشک است. در مناطق نیمه‌خشک که پراکنش بارندگی متناسب نیست، پتانسیل عملکرد در شرایط تنش بهترین معیار تحمل به خشکی محسوب نمی‌شود بلکه پایداری عملکرد، مقایسه میزان عملکرد در شرایط تنش و مطلوب معیار مناسب‌تری برای واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش رطوبتی پذیرفته می‌شود. در مناطق نیمه‌خشک که پراکنش بارندگی متناسب نیست، پتانسیل عملکرد در شرایط تنش بهترین معیار تحمل به خشکی محسوب نمی‌شود بلکه علاوه بر پایداری عملکرد، مقایسه میزان عملکرد در شرایط تنش و مطلوب معیار مناسب‌تری برای واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش رطوبتی است. با توجه به این که اکثر مطالعات مربوط به شاخص‌ها در گونه‌های زراعی و بخصوص گندم تنها در یک مکان و یک سال و در نهایت در یک محیط خاص انجام می‌شود و نتایج حاصل به تمامی محیط‌ها تعمیم داده می‌شود و به هیچ عنوان اثرات متغیر سال و مکان در محاسبه شاخص‌ها مورد توجه قرار نمی‌گیرد؛ بنابراین انتخاب شاخص‌ها و ژنوتیپ‌های متحمل به‌نظر صحیح نمی‌باشد. در همین راستا، این تحقیق جهت ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم پاییزه از نظر تحمل خشکی، انتخاب بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی و شناسایی ارقام متحمل به تنش خشکی در مناطق مختلف اقلیم سرد کشور انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این پروژه تحقیقاتی ۲۰ ژنوتیپ در شرایط آبیاری نرمال و تنش کمبود آب انتهایی فصل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه‌های تحقیقاتی کرج، مشهد، میاندوآب و اراک، در سال‌های زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۳۹۷-۱۳۹۸ مورد بررسی قرار گرفتند. به‌منظور بررسی تحمل خشکی ژنوتیپ‌ها، شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به تنش برای ژنوتیپ‌های تحت بررسی تعیین و ژنوتیپ‌ها براساس حساسیت و تحمل به خشکی توسط هر یک از این شاخص‌ها گروه‌بندی شدند. برای تعیین معیارهایی که همبستگی بالایی باهم دارند، همبستگی بین شاخص‌ها محاسبه گردید. از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز به‌منظور خلاصه نمودن داده‌ها و ترسیم نمودار براساس دو مؤلفه اول و شناخت شاخص‌های مطلوب استفاده شد. در نهایت از تجزیه بای‌پلات نیز جهت گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های مورد استفاده براساس معیارهای تحمل به خشکی استفاده شد.

یافته‌ها: تنش خشکی باعث کاهش عملکرد ژنوتیپ‌ها گردید ولی، مقادیر کاهش در ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت بود. میانگین عملکرد دانه در واحد هکتار برای تمامی ژنوتیپ‌ها در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی انتهایی فصل به‌ترتیب ۷/۰۰۲ و ۵/۲۱۵ تن در هکتار بود که نشان داد شرایط تنش باعث کاهش حدود ۲۵ درصدی عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال گردید. شرایط محیطی و زراعی مناطق مختلف و سال‌های مورد بررسی باعث تفاوت در شاخص‌های برآورد شده گردید به‌طوری که رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس شاخص‌های مختلف در سال‌ها و مناطق مختلف تغییر کرد. بنابراین بهتر است در مطالعات شاخص‌های تحمل تنش‌ها، بررسی‌ها در چند مکان و چند سال انجام شود تا روند تغییرات عملکردی ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف به‌درستی مشخص شده و در نتیجه اطمینان بیشتری نسبت به شاخص‌های تحمل و حساسیت محاسبه‌شده وجود داشته باشد. ژنوتیپ‌های G4، G2، G5 و G16 در هر دو شرایط، عملکرد بالاتری نشان دادند. شاخص‌های STI، MP، GMP، MSTI1، MSTI2، YI، HM و RR همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش داشتند و لذا، برای گزینش مطلوب‌تر ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. تجزیه مؤلفه اصلی نشان داد که می‌توان با استفاده از دو مؤلفه اول به گروه‌بندی شاخص‌ها پرداخت. اولین مؤلفه اصلی ۵۳/۱۶ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه نمود و همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط نرمال و تنش و نیز شاخص‌های STI، MP، GMP، YI، MSTI1، MSTI2، HM و RDY داشت. به‌دلیل همبستگی بالای این مؤلفه با عملکرد در شرایط نرمال و تنش این مؤلفه به نام مؤلفه پتانسیل عملکرد در شرایط نرمال و تنش نام‌گذاری شد. دومین مؤلفه برآورد شده ۴۲/۳۳ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه نمود و همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط نرمال و شاخص‌های SSI، TOL، ATI، SSPI و RR نشان داد. به‌نظر می‌رسد این مؤلفه قادر است ژنوتیپ‌هایی را که دارای عملکرد بالایی در شرایط تنش هستند را شناسایی کند. تجزیه بای‌پلات نشان داد که شاخص‌های MP، HM، STI، MSTI1، MSTI2، GMP، RDY، YI و SNPI همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد در شرایط تنش و نرمال داشتند به‌طوری که زوایای تند بین این شاخص‌ها نسبت به هم، نشان از همبستگی مثبت و بسیار بالای آن‌ها باهم داشت. شاخص‌های RDI و YSI با عملکرد در شرایط نرمال همبستگی منفی و شاخص‌های RR، SSI، TOL و SSPI همبستگی منفی با عملکرد در شرایط تنش داشتند.

نتیجه‌گیری: جهت دست‌یابی به ارقام متحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل و جهت جلوگیری از اثرات متقابل محیط در ژنوتیپ، آزمایشات باید در سال‌ها و مکان‌های متعدد انجام گیرد تا بتوان اثرات محیط در شاخص‌های محاسبه شده را کاهش داد و نتایج منطقی‌تری را به‌دست آورد. در نهایت می‌توان ژنوتیپ‌های G4، G2، G16، G5 و G17 را به‌عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط نرمال و تنش انتخاب کرد.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، تنش خشکی، شاخص تحمل، گندم

مقدمه

تنش‌های محیطی از مهم‌ترین فاکتورهای تعیین‌کننده الگوی پراکنش گیاهی در سطح جهان می‌باشد (Schneider)

(Clark *et al.*, 1992) عنوان کردند ارزیابی عملکرد ارقام در شرایط تنش و شرایط نرمال یک نقطه شروع در شناسایی ارقام متحمل به خشکی می‌باشد. شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف و تعیین تحمل و حساسیت آن‌ها ارائه شده است و همواره هدف از آن‌ها تهیه ارقام متحمل به خشکی یا معرفی ارقامی بوده که به‌طور نسبی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها تنش را بهتر تحمل کرده و در شرایط یکسان افت عملکرد کمتری داشته باشند (Srivastava *et al.*, 1976). طبق نظر فرناندز (Fernandez, 1992) ژنوتیپ‌ها براساس میزان عملکردشان در محیط‌های نرمال و تنش به چهار گروه تقسیم می‌شوند. ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تظاهر مطلوب و یکسانی دارند (گروه A)، ژنوتیپ‌هایی که فقط در محیط عدم تنش تظاهر خوبی دارند (گروه B)، ژنوتیپ‌هایی که فقط در محیط تنش تظاهر خوبی دارند (گروه C) و ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تظاهر ضعیف دارند (گروه D). طبق معیار فرناندز، مناسب‌ترین معیار برای تنش باید بتواند ژنوتیپ‌های گروه اول را از سایر گروه‌ها تفکیک نماید. در مناطق نیمه‌خشک که پراکنش بارندگی متناسب نیست، پتانسیل عملکرد در شرایط تنش بهترین معیار تحمل به خشکی محسوب نمی‌شود بلکه پایداری عملکرد، مقایسه میزان عملکرد در شرایط تنش و مطلوب معیار مناسب‌تری برای واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش رطوبتی پذیرفته می‌شود (Simane *et al.*, 1993). ریچارد (Richards, 1996) عقیده داشت که انتخاب ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی سبب تجمع آل‌های مطلوب شده و ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالاتر گزینش می‌شوند. شاخص‌های تحمل خشکی در مطالعات زیادی استفاده می‌شوند ولی بیشتر آن‌ها معایبی دارد، مخصوصاً این که نمی‌تواند گروه‌های فرناندزی را به راحتی مجزا سازند (Moosavi *et al.*, 2006). برخی محققین به انتخاب ارقام با عملکرد بالا در شرایط مطلوب (Betran *et al.*, 2003) و بعضی در شرایط تنش (Ceccarelli & Grando, 1991) اعتقاد دارند، اما بررسی‌هایی نیز نشان می‌دهد که انتخاب ارقام با عملکرد دانه بالا تحت هر دو شرایط تنش و غیرتنش در شناسایی ارقام متحمل مؤثرتر است (Rajaram & Van, 1978; Ginkle, 2001; Fischer & Maurer, 1978). بنابراین، ارقامی که در هر دو شرایط تنش و نرمال تفاوت عملکرد کمی دارند، دارای تحمل نسبی به خشکی هستند. بنابراین، یکی از مهم‌ترین مسائل در ارزیابی ژنوتیپ‌ها برای تحمل خشکی، اندازه‌گیری کمی معیارهای تحمل به خشکی است (Clark *et al.*, 1992).

شاخص SSI، ژنوتیپ‌هایی را با مقدار عملکرد نسبتاً کم در شرایط نرمال اما مقدار عملکرد نسبتاً زیاد در شرایط تنش انتخاب می‌کند. مقدار بیشتر این شاخص نشانگر حساسیت بیشتر یک ژنوتیپ به تنش است. مهم‌ترین نقص این شاخص این است که توانایی تفکیک گروه A از گروه C را ندارد (Fernandez, 1992). به‌طوری‌که در گروه A کاهش مقدار SSI می‌تواند به دلیل افزایش محصول در هر دو شرایط باشد، درحالی‌که علت این کاهش در گروه C به‌خاطر زیاد بودن مقدار نسبی محصول در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال می‌باشد

(Clark *et al.*, 1992). تنش خشکی نیز به‌سهم خود تعیین‌کننده بخشی از این پراکنش می‌باشد. مقدار آب موجود در خاک برای رشد گیاه دارای یک حد بهینه است و چنانچه مقدار آب به هر میزان از این حد کمتر یا بیشتر شود رشد گیاه را کاهش خواهد داد. در دهه اخیر مطالعات زیادی در زمینه تنش‌های گیاهی حاصل از خشکی در دنیا صورت گرفته و اطلاعاتی نیز جمع‌آوری گردیده است، لیکن به‌کارگیری آن‌ها در برنامه‌های کلاسیک با مشکلاتی روبرو بوده است. علت این امر عمدتاً وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط ذکر شده که ارتباط صفات باهم و با عملکرد دانه را شدیداً تحت تأثیر قرار داده و سبب بی‌اعتباری نتایج این‌گونه آزمایشات شده و رسیدن به نتایج قطعی را مشکل و عمدتاً غیرممکن ساخته است (Schneider *et al.*, 1992). از این‌رو عملکرد در شرایط تنش هیچ‌گاه نتوانسته ملاک مناسب و دقیقی جهت انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی باشد و همواره هدف از تهیه ارقام متحمل به خشکی ارقامی بوده که به‌طور نسبی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها تنش را بهتر تحمل کرده و در شرایط محیطی یکسان افت عملکرد کمتری را داشته باشند (Srivastava *et al.*, 1987). در اغلب بررسی‌ها برای گزینش مزرعه‌ای گیاهان زراعی فقط عملکرد دانه مدنظر قرار می‌گیرد، درصورتی‌که برخی از پژوهشگران معتقد هستند برای بازدهی بیشتر در اصلاح ارقام سازگار و برتر در مناطق خشک و نیمه‌خشک باید شاخص‌هایی را که در شناسایی پایداری ارقام در شرایط تنش خشکی مؤثر هستند شناسایی کرده و آن‌ها را علاوه بر عملکرد دانه به‌عنوان معیارهای انتخاب مورد استفاده قرار داد، از این‌رو وضعیت عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی و شرایط آبی به‌عنوان یک نقطه شروع برای شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌ها برای اصلاح در محیط‌های خشک است (Ehdaie *et al.*, 2006). با توجه به اینکه حفظ پتانسیل عملکرد دانه در شرایط تنش را می‌توان به‌عنوان یک معیار فیزیولوژیک تحمل به تنش خشکی در نظر گرفت (Ahmadi *et al.*, 2009). بنابراین ارقام با درصد بالای کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی به‌عنوان ارقام حساس به تنش مطرح می‌شوند (Sio-Se Mardeh *et al.*, 2006). هارد اولین کسی بود که مسئله تهیه ارقام متحمل به خشکی را به‌روشنی انتخاب در شرایط تنش آبی مصنوعی مطرح نمود و انتخاب محیط آزمایش با اقلیم منطقه دارای تنش را شرط موفقیت‌آمیز در آزمایش دانست (Jensen, 1988). بسیاری از آزمایشاتی که جهت اصلاح ژنوتیپ‌ها برای تحمل به خشکی صورت می‌گیرد، عموماً در دو شرایط تنش و بدون تنش اجرا می‌شوند. هدف اصلی این‌گونه آزمایشات انتخاب ژنوتیپ‌هایی است که به هر دو شرایط فوق سازگار باشند. روش‌های متفاوتی برای ارزیابی واکنش گیاهان زراعی نسبت به انواع تنش‌ها شناسایی شده و مورد استفاده به‌نژادگران قرار گرفته است. پژوهشگران معتقدند برای بازدهی بیشتر در گزینش ارقام متحمل به خشکی باید شاخص‌هایی را که در شناسایی پایداری عملکرد ارقام در شرایط تنش مؤثرند، شناسایی نموده و از این شاخص‌ها همراه با عملکرد دانه، برای گزینش ارقام متحمل استفاده کرد (Normand Moayed *et al.*, 2001). کلارک و همکاران

بهم بهتر نشان داده می‌شود. این شاخص جهت انتخاب ژنوتیپ‌های با تحمل نسبی بالا معرفی گردید (Moosavi et al., 2008). هرچقدر درصد تغییرات عملکرد یک ژنوتیپ یا به عبارتی SSPI یک ژنوتیپ کمتر باشد، آن ژنوتیپ متحمل‌تر است (Moosavi et al., 2008). شاخص SNPI ژنوتیپ‌ها را براساس داشتن دو خصوصیت به‌طور هم‌زمان، یعنی داشتن عملکرد بالا و قابل قبول نسبی در شرایط تنش و غیرتنش و همچنین پایداری عملکرد (با تأکید بیشتر بر عملکرد شرایط تنش نسبت به عملکرد شرایط غیرتنش) مجزا و بررسی می‌کند. همبستگی قوی و معنی‌دار این شاخص با عملکرد در شرایط تنش نشان‌دهنده اهمیت دادن این شاخص به مقدار عملکرد شرایط تنش در حین توجه به میزان عملکرد شرایط نرمال است. برخی از محققین در تحقیقات خود مطلوب‌ترین شاخص جهت انتخاب ژنوتیپ‌های گروه A را شاخص SNPI معرفی کردند (Moosavi et al., 2008). هرچه مقدار عددی این شاخص بیشتر باشد، ژنوتیپ موردنظر مطلوب‌تر یا متحمل‌تر است (Moosavi et al., 2008). شاخص تحمل غیر زیستی ATI به‌منظور تعیین ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش و دارای قابلیت تحمل به تنش معرفی شده است که می‌تواند گروه‌های B و C را از یکدیگر جداسازی کند. این شاخص شدت تنش و مقادیر عملکرد در دو محیط را در نظر می‌گیرد و می‌تواند ژنوتیپ‌های گروه A را از دیگر ژنوتیپ‌ها جدا کند و بنابراین شاخص مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش است. این شاخص به دلیل این که ژنوتیپ‌هایی را گزینش می‌کند که عملکرد زیادی در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارند، معیار مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفی شده است. میزان بالای این شاخص برای ژنوتیپ‌ها نمایانگر تحمل به خشکی بیشتر و عملکرد بالقوه بیشتر آن ژنوتیپ‌ها است (Fischer & Maurer, 1978). شاخص پایداری عملکرد YSI توسط بوسلاما و چاپاق (Bouslama & Schapaugh, 1984) ارائه شد. انتظار می‌رود ژنوتیپ‌های با YSI بالا دارای عملکرد بالا تحت شرایط تنش و عملکرد پایین در شرایط بدون تنش باشند. در مطالعه سی‌وسه مرده و همکاران (Sio-Se Mardeh et al., 2006) ارقامی با YSI بالاتر حداقل عملکرد را در شرایط نرمال و بالاترین عملکرد را در شرایط تنش نشان دادند. بنابراین مقادیر بالای این شاخص نشان‌دهنده تحمل به تنش خشکی می‌باشد. با توجه به این که اکثر مطالعات مربوط به شاخص‌ها در گونه‌های زراعی و بخصوص گندم تنها در یک مکان و یک سال و در نهایت در یک محیط خاص انجام می‌شود و نتایج حاصل به تمامی محیط‌ها تعمیم داده می‌شود و به هیچ‌عنوان اثرات متغیر سال و مکان در محاسبه شاخص‌ها مورد توجه قرار نمی‌گیرد؛ بنابراین انتخاب شاخص‌ها و ژنوتیپ‌های متحمل به‌نظر صحیح نمی‌باشد. در همین راستا، این تحقیق جهت ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم پاییزه از نظر تحمل خشکی، انتخاب بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی و شناسایی ارقام متحمل به تنش خشکی در مناطق مختلف اقلیم سرد کشور انجام شد.

(Moosavi et al., 2008). در شاخص SSI علاوه بر میزان عملکرد ارقام در شرایط تنش، تغییر یا آسیب وارده به ارقام در اثر تنش نیز مدنظر قرار می‌گیرد. یعنی اگر رقمی در هر دو شرایط تنش و عدم تنش دارای عملکرد بالاتری باشد اما درصد تغییر زیادی نشان دهد به‌عنوان لاین متحمل شناسایی نمی‌شود (Chogan et al., 2006). شاخص TOL ژنوتیپ‌هایی با عملکرد کم در شرایط نرمال و با عملکرد بالا در شرایط تنش را انتخاب می‌کند (گروه C). این شاخص نیز دارای عدم توانایی در تمایز گروه A از گروه C می‌باشد (Fernandez, 1992). اگر مقدار شاخص RDI، برای یک ژنوتیپ بزرگ‌تر از یک باشد، تحمل نسبتاً خوبی به تنش خشکی دارد ولی اگر میزان عددی این شاخص کوچک‌تر از یک باشد در این صورت این ژنوتیپ حساس است (Fischer & Maurer, 1978). شاخص MP میانگین عملکرد ژنوتیپ در دو شرایط تنش و غیرتنش است. این شاخص می‌تواند ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط نرمال ولی مقدار نسبتاً کم عملکرد در شرایط تنش (گروه B) را انتخاب نماید و عیب عمده آن عدم توانایی تشخیص بین گروه A و B است (Farshadfar et al., 2001; Rosielle & Hamblin, 1981). میانگین هندسی عملکرد GMP در شرایط تنش و نرمال، برای تفکیک کردن گروه A از گروه‌های دیگر به‌کار می‌رود و از شاخص میانگین عملکرد MP، قوی‌تر است. میانگین هندسی کمتر تحت تاثیر داده‌های پرت قرار می‌گیرد، لذا شاخص GMP کمتر تحت تاثیر مقادیر متفاوت عملکرد در دو شرایط نرمال و تنش قرار می‌گیرد (Moosavi et al., 2008). در مورد STI مقدار بزرگ این شاخص نشان‌دهنده یک تحمل نسبی زیاد است و بهترین مزیت این شاخص توانایی آن در مجزا کردن گروه A از گروه‌های دیگر می‌باشد (Moosavi et al., 2008). به دلیل این که شاخص STI حاصل ضرب دو کمیت ($Y_s \times Y_p$) است و به دلیل خاصیت ضرب اعداد ممکن است برای جفت‌هایی از اعداد که با یکدیگر تفاوت زیادی دارند، مربع میانگین هندسی یکسان باشد (Naderi et al., 1998)؛ بنابراین ممکن است ژنوتیپ‌های شناسایی شده ژنوتیپ‌های متحمل نباشند زیرا امکان دارد ژنوتیپی دارای عملکرد بالا در شرایط بدون تنش ولی دارای عملکرد پایین در شرایط تنش باشد. بنابراین این شاخص زمانی قابل اعتماد است که ژنوتیپ دارای عملکرد بالا در شرایط تنش نیز باشد. فرشادفر و استوکا (Farshadfar & Stuka, 2002) جهت بهبود کارایی شاخص تحمل به تنش STI شاخص تغییر یافته تحمل تنش MSTI را پیشنهاد کردند، که در آن فرمول STI توسط وزنه‌ای اصلاح می‌گردد. مقادیر بالای شاخص MSTI1 نشان‌دهنده تحمل به تنش است. شاخص SSPI شاخص جدیدی است که تحمل نسبی ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی را نشان می‌دهد. ماهیت این شاخص، براساس مکانیسم بقای یک ژنوتیپ در شرایط تنش می‌باشد. خواه این ژنوتیپ عملکردی زیاد و یا عملکردی کم در دو شرایط نرمال و تنش داشته باشد. SSPI درصد تغییرات عملکرد را در دو شرایط تنش و نرمال مشخص می‌کند و به‌همین خاطر با استفاده از شاخص SSPI درصد تغییرات عملکرد ژنوتیپ‌ها در مقایسه

مواد و روش‌ها

عرض ۶۰ سانتی‌متر) بود. کود پتاس از منبع سولفات پتاسیم، کود فسفره از منبع فسفات آمونیم به‌صورت پایه و کود ازته از منبع اوره در دو نوبت پایه و سرک به مصرف رسید. هر ژنوتیپ در یک کرت به مساحت ۶ مترمربع کشت گردید. میزان بذر مصرفی براساس ۴۵۰ بذر در مترمربع و با در نظر گرفتن وزن هزاردانه برای هر ژنوتیپ تعیین گردید. بذور آزمایشی قبل از کاشت به‌منظور جلوگیری از بیماری‌های قارچی با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام به نسبت ۲ در هزار ضدعفونی گردیدند. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک برگ مخلوطی از علف‌کش‌های گرانتار و پوماسوپر به ترتیب به مقدار ۲۰ گرم و یک لیتر در هکتار در مرحله پنجه‌زنی تا ساقه رفتن استفاده گردید. بقیه عملیات زراعی در ایستگاه‌های مختلف تا حدود زیادی یکسان انجام شد. در زمان برداشت هر کرت شش مترمربعی با استفاده از کمباین آزمایشی برداشت شده، توزین و عملکرد بر مبنای تن در هکتار گزارش گردید.

در این پروژه تحقیقاتی تعداد ۱۷ ژنوتیپ گندم آبی (منتخب از آزمایشات مقایسه عملکرد پیشرفته سراسری اجرا شده در موسسه تحقیقاتی اصلاح و تهیه نهال و بذر) که دارای تیپ رشد زمستانه و بینابین^۱ بودند به‌همراه ارقام شاهد میهن، حیدری و زرینه (جمعاً ۲۰ ژنوتیپ) در شرایط آبیاری نرمال و تنش کمبود آب انتهای فصل در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با سه تکرار در ایستگاه‌های تحقیقاتی کرج (۳۵° ۵۹' طول جغرافیایی و ۵۰° ۷۵' عرض جغرافیایی)، مشهد (۳۶° ۰۲' طول جغرافیایی و ۵۹° ۰۶' عرض جغرافیایی)، میاندوآب (۳۶° ۰۸' طول جغرافیایی و ۳۷° ۰۱' عرض جغرافیایی) و اراک (۳۴° ۰۸' طول جغرافیایی و ۴۹° ۷۱' عرض جغرافیایی)، در سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ و ۱۳۹۸-۱۳۹۹ مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱). عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک، دو بار لولر عمود بر هم، کودپاشی و ایجاد فارو

جدول ۱- ژنوتیپ‌های گندم بررسی شده در مناطق مختلف اقلیم سرد کشور

ژنوتیپ Genotype	کد ژنوتیپ Code
Mihan	G1
Haydari	G2
Zarrineh	G3
Ghk"s"/Bow"s"/90Zhong87/3/Shiroodi/4/55.174/P101/Maya/3/Snb	G4
Ghk"s"/Bow"s"/90Zhong87/3/Shiroodi/4/55.174/P101/Maya/3/Snb	G5
Vorona/Milan/Sha7/3/MV17/4/Pehlivan	G6
Tam113	G7
Unknown/Zolotava/6/Jup/4/Cilf/3/II1453/Odin/Ci134431/Sel6425/Wa00477*2/5/Croc-1/Ae.Squarro1 (213)/Pgo	G8
Charger/CMH80A.768/3*Cno79	G9
MV35-13	G10
MV-Pantalika	G11
Zander/Attila/3*Bcn	G12
Boh4/7/Wa476/3/391/Num/5/W22/5/Ana/6/Tam200/Kasyan	G13
Car422/Ana/Yaco/3/Kauz*2/Trip/Kauz/4/Bucur/5/Bucur	G14
Rumeli	G15
Id80628/3/Cer/Ymh/Hys/4/Cer/Ymh/Hys/5/Tjb368.251/Buc/Anb/Buc	G16
Charger/CMH80A.768/3*Cno79	G17
BEZ1/PBW343*2/KUKUNA (code:1005)	G18
GRK79/INQALAB 91*2/TUKURU(Code:1015	G19
kalym (Rus 2005)(code:Rus 2005)	G20

(RDY) (معادله ۹) (Ilker et al., 2011)، کاهش نسبی^{۱۱} (RR) (معادله ۱۰) (Chaves et al., 2003)، شاخص عملکرد^{۱۲} (YI) (معادله ۱۱) (Gavuzzi et al., 1997)، شاخص بهره‌وری تنش و غیرتنش^{۱۳} (SNPI) (معادله ۱۲)، شاخص تحمل غیرزیستی^{۱۴} (ATI) (معادله ۱۳) و شاخص درصد حساسیت به تنش^{۱۵} (SSPI) (معادله ۱۴) (Moosavi et al., 2008)، شاخص‌های تحمل به تنش تغییر یافته^{۱۶} (MSTI1، MSTI2) (معادلات ۱۵ و ۱۶) (Farshadfar & Stuka, 2002) و شاخص تحمل^{۱۷} (TOL) (معادله ۱۷) (Rosielle and Hamblin, 1981) استفاده گردید. فرمول هر شاخص به‌قرار زیر است:

برای تعیین میزان تحمل یا حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی از شاخص حساسیت به تنش^۲ (SSI) (معادله ۱) (Fischer and Maurer, 1978)، شاخص تحمل به تنش^۳ (STI) (معادله ۲) (Fernandez, 1992)، میانگین بهره‌وری^۴ (MP) (معادله ۳) (Rosielle and Hamblin, 1981)، شاخص میانگین هارمونیک^۵ (HM) (معادله ۴) (Fischer and Maurer, 1978)، شاخص میانگین هندسی^۶ (GMP) (معادله ۵) (Fischer and Maurer, 1978)، شاخص تحمل به خشکی^۷ (DI) (معادله ۶) (Lan, 1998)، شاخص پایداری عملکرد^۸ (YSI) (معادله ۷) (Bouslama & Schapaugh, 1984)، شاخص خشکی نسبی^۹ (RDI) (معادله ۸) (Fischer and Maurer, 1978)، شاخص کاهش نسبی عملکرد^{۱۰}

$$SSI = (1 - Y_s/Y_p)/SI, SI = 1 - (Y_s/Y_p)$$

$$STI = (Y_p)/(Y_s)/(Y_p)^2$$

$$MP = (Y_s + Y_p)/2$$

$$HM = \sqrt{(2 \times Y_p \times Y_s)/(Y_p + Y_s)}$$

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

$$DI = (Y_s/(Y_s/Y_p))/Y_s$$

$$YSI = Y_s/Y_p$$

$$RDI = (Y_s/Y_p)/(Y_s/Y_p)$$

$$RDY = 100 \times (Y_s/100 \times Y_p)$$

$$RR = ((Y_p - Y_s)/Y_p) \times 100$$

$$YI = Y_s/Y_s$$

$$SNPI = [(\sqrt{Y_p} + \sqrt{Y_s})/(\sqrt{Y_p} - \sqrt{Y_s})]^{0.333} \times [\sqrt{Y_p} \times \sqrt{Y_s} \times \sqrt{Y_s}]^{0.333}$$

$$ATI = [(Y_p/Y_s)/(Y_p/Y_s)] \times (\sqrt{Y_p} \times \sqrt{Y_s})$$

$$SSPI = ((Y_p - Y_s)/(2 \times Y_p)) \times 100$$

$$M1STI = K_1 \times STI, K_1 = Y^2 p / Y^2 p$$

$$M2STI = K_2 \times STI, K_2 = Y^2 s / Y^2 s$$

$$TOL = Y_p - Y_s$$

$$Y_s = \text{میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط تحت تنش}, Y_p = \text{میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط مطلوب}$$

(۱) معادله

(۲) معادله

(۳) معادله

(۴) معادله

(۵) معادله

(۶) معادله

(۷) معادله

(۸) معادله

(۹) معادله

(۱۰) معادله

(۱۱) معادله

(۱۲) معادله

(۱۳) معادله

(۱۴) معادله

(۱۵) معادله

(۱۶) معادله

(۱۷) معادله

1- Facultative productivity	2- Susceptible stress index	3- Stress tolerance index	4- Mean productivity	5- Harmonic mean	6- Geometrical mean
11- Relative Reduction percentage index	7- Drought Index	8- Yield stability index	9- Relative Drought index	10- Relative Decrease in Yield	
	12- Yield index	13- Stress and non-stress production index	14- Abiotic tolerance index	15- Stress susceptibility	
	16- Modified Stress tolerance index 1 and 2	17- Tolerance			

هکتار بود که نشان داد شرایط تنش باعث کاهش حدود ۲۵ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال گردید. البته با توجه به معنی دار شدن اثرات سال و مکان و اثر متقابل آن‌ها، کاهش عملکرد شرایط تنش نسبت به نرمال در مناطق مختلف و سال‌های مورد بررسی یکسان نبود به‌طوری که در برخی از مناطق و سال‌ها کاهش عملکرد کمتر و در برخی بیشتر بود. در صفات عملکرد در دو شرایط نرمال و تنش و همچنین شاخص‌های محاسبه‌شده، اثر ژنوتیپ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (به‌جز شاخص SNPI). همچنین به‌غیر از شاخص‌های SSI، RDI، TOL، YSI، DI، RR، SSPI و SNPI در بقیه شاخص‌های محاسبه‌شده و عملکرد در دو شرایط نرمال و تنش اثرات متقابل ژنوتیپ × سال، ژنوتیپ × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. این معنی‌دار بودن نشان می‌دهد که شرایط محیطی و زراعی متفاوت مناطق و سال‌های مورد بررسی باعث تفاوت در شاخص‌های برآورد شده گردیده است به‌طوری که رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس شاخص‌های مختلف در سال‌ها و مناطق مختلف تغییر می‌کند. بنابراین بهتر است در مطالعات شاخص‌های تحمل تنش‌ها، بررسی‌ها در چند مکان و چند سال انجام شود تا روند تغییرات عملکردی ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف به‌درستی مشخص شده و در نتیجه اطمینان بیشتری نسبت به شاخص‌های تحمل و حساسیت محاسبه‌شده وجود داشته باشد.

به‌منظور بررسی تحمل خشکی ژنوتیپ‌ها، شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به تنش برای ژنوتیپ‌های تحت بررسی تعیین و ژنوتیپ‌ها براساس حساسیت و تحمل به خشکی توسط هریک از این شاخص‌ها گروه‌بندی شدند. برای تعیین معیارهایی که همبستگی بالایی باهم دارند، همبستگی بین شاخص‌ها محاسبه گردید. از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز به‌منظور خلاصه نمودن داده‌ها و ترسیم نمودار براساس دو مؤلفه اول و شناخت شاخص‌های مطلوب استفاده شد. در نهایت از تجزیه بای‌پلات نیز جهت گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های مورد استفاده براساس معیارهای تحمل به خشکی استفاده شد. برای انجام تجزیه‌های آماری مانند تجزیه واریانس، محاسبه شاخص‌ها، همبستگی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه بای‌پلات از نرم‌افزارهای SAS، SPSS، Exell، R و استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های مربوط به چهار منطقه اقلیم سرد کشور در دو سال زراعی (جدول ۲) نشان داد که بین سال‌ها و مناطق مختلف مورد بررسی از نظر عملکرد و شاخص‌های محاسبه‌شده اختلاف معنی‌دار وجود دارد. همچنین اثر متقابل سال × مکان نیز معنی‌دار بود. میانگین عملکرد دانه در واحد هکتار برای تمامی ژنوتیپ‌ها در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی انتهایی فصل به‌ترتیب ۷/۰۰۲ و ۵/۲۱۵ تن در

جدول ۲- تجزیه واریانس شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های گندم

میانگین مربعات Means of Squares										درجه آزادی df	منابع تغییر SOV
YSI	YI	GMP	STI	MP	TOL	RDI	SSI	YS	YP		
0.05	1.09**	29.63**	1.99**	32.03**	0.79	0.098	0.29	29.85**	34.28**	1	سال
0.18**	0.86**	35.29**	2.49**	37.99**	20.43**	2.67**	2.67**	23.51**	62.47**	3	مکان
1.33**	2.93**	34.28**	2.18**	26.87**	50.51**	2.4**	16.91**	79.84**	3.77**	3	سال×مکان
0.088	0.103	1.27	0.087	1.04	4.74	0.15	1.1	2.81	2.010	16	خطای ۱
0.058**	0.11**	3.01	0.18**	2.98**	2.45**	0.104**	0.63**	2.96**	4.61**	19	ژنوتیپ
0.024	0.04**	1.37**	0.08**	1.48**	1.39	0.043	0.24	1.08*	2.71**	19	ژنوتیپ×سال
0.018	0.047**	1.34**	0.08**	1.33**	0.98	0.033	0.2	1.27**	2.001**	57	ژنوتیپ×مکان
0.02	0.027	0.63**	0.03*	0.63**	1.001	0.036	0.22	0.75	1.13**	57	ژنوتیپ×سال×مکان
0.02	0.022	0.34	0.022	0.33	1.04	0.038	0.24	0.611	0.068	304	خطای ۲
19.27	14.99	9.74	19.72	9.4	35.13	19.27	39.69	14.99	11.760		CV%

Continued Table 2.

میانگین مربعات Means of Squares										درجه آزادی df	منابع تغییر SOV
RDY	HM	RR	SNPI	SSPI	MSTI2	MSTI1	ATI	DI			
4788.4**	27.57**	223.4	134.12**	40.18	17.14**	9.28**	83.45	1.408**		1	سال
5980.8**	33.04**	1702.6**	147.8**	1042.2**	17.38**	16.08**	650.62**	0.61**		3	مکان
5238.6**	42.02**	10935**	418.5**	2577.2**	22.55**	4.88**	587.2**	5.93**		3	سال×مکان
210.14	1.57	739.2	66.92	242.15	1.16	0.31	86.67	0.260		16	خطای ۱
431.8**	3.06**	414.3**	40.98	125.15**	0.99**	0.93**	60.71**	0.18**		19	ژنوتیپ
203.8**	1.29**	180.03**	60.8	71.04	0.45**	0.48**	38.82**	0.070		19	ژنوتیپ×سال
197.93**	1.38**	132.45	41.99	50.12	0.51**	0.47**	26.43	0.070		57	ژنوتیپ×مکان
83.49**	0.63**	141.54	30.45	51.08	0.28	0.19**	26.16	0.070		57	ژنوتیپ×سال×مکان
53.7	0.37	162.1	38.63	53.12	0.25	0.12	20.79	0.070		304	خطای ۲
19.72	10.33	40.31	37.15	40.13	35.6	40.39	35.58	32.600			CV%

Yp: عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال، Ys: عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط تحت تنش، SSI: شاخص حساسیت به تنش، RDI: شاخص خشکی نسبی، TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، STI: شاخص تحمل به تنش، GMP: میانگین بهره‌وری هندسی، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد، DI: شاخص پایداری به خشکی، ATI: شاخص تحمل غیر زیستی، MSTI1 و MSTI2: شاخص تحمل به تنش تغییر یافته، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش، SNPI: شاخص بهره‌وری در شرایط تنش و بدون تنش، RR: کاهش نسبی، HM: میانگین هارمونیک، RDY: شاخص کاهش نسبی عملکرد، * و ** معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد به ترتیب

Yp: Yield in Normal Condition, Ys: Yield in Stress Condition, SSI: Susceptible Stress Index, RDI: Relative Drought Index, TOL: Tolerance, MP: Mean Productivity, STI: Stress Tolerance Index, GMP: Geometrical Mean Productivity, YI: Yield Index, YSI: Yield stability Index, DI: Drought Index, ATI: Abiotic Tolerance Index, MSTI1: Modified Stress Tolerance Index 1, MSTI2: Modified Stress Tolerance Index 2, SSPI: Stress Susceptibility Percentage Index, SNPI: Stress and non-Stress Production Index, RR: Relative Reduction, HM: Harmonic Mean, RDY: Relative Decrease in Yield

عددی شاخص میانگین هارمونیک HM نیز نشان‌دهنده تحمل نسبی ژنوتیپ‌ها است. براین اساس متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش ژنوتیپ‌های G4، G16، G2، G5 و G19 و حساس‌ترین آن‌ها ژنوتیپ‌های G8، G20، G15 و G6 بودند (جدول ۳).

انتخاب براساس شاخص‌های GMP و STI - مطابق نتایج (جدول ۳) برای شاخص‌های GMP و STI نیز همانند شاخص MP، ژنوتیپ‌های G4، G2، G16 و G5 به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل‌تر و ژنوتیپ‌های G8، G20، G15 و G6 به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس‌تر انتخاب شدند. مقدم و هادی‌زاده (2002) Moghaddam & Hadizade اظهار داشتند که شاخص STI از مزایای بیشتری جهت انتخاب ارقام مطلوب در هر دو شرایط تنش رطوبتی و عدم تنش برخوردار است. سی‌وسه مرده و همکاران (2006) Sio-Se Mardeh *et al.* با ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم نان نشان دادند که در شرایط تنش ملایم شاخص‌های STI، MP و GMP برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و نرمال مناسب هستند. شاخص تحمل به تنش STI ژنوتیپ‌هایی را گزینش می‌کند که در هر دو محیط دارای تنش و نرمال، عملکرد بالایی دارند (1992) Fernandez. بنابراین طبق نظر فرناندز (1992) Fernandez بهترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌ها، شاخص STI است. چون این شاخص قادر است ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط نرمال و تنش (A) را از گروه ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا فقط در شرایط نرمال (B) و یا گروه دارای عملکرد بالا فقط در شرایط تنش (C) جدا نماید.

انتخاب براساس شاخص‌های MSTI1 و MSTI2 - بر اساس شاخص MSTI1 متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی ژنوتیپ‌های G4، G16، G5 و G2 و حساس‌ترین آن‌ها ژنوتیپ‌های G20، G15، G8، G6 و G3 بودند. مقادیر بالای شاخص MSTI2 نیز نشان‌دهنده تحمل به تنش است. براین اساس متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی ژنوتیپ‌های G5، G16، G4 و G19 و حساس‌ترین آن‌ها ژنوتیپ‌های G8، G20 و G15 بودند (جدول ۳).

انتخاب براساس شاخص SSPI - براساس این شاخص، که ماهیتاً شبیه شاخص TOL است با این تفاوت که درصد تغییرات عملکرد ارقام را واضح‌تر نشان می‌دهد ژنوتیپ‌های G15، G20 و G19 و G3 به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و ژنوتیپ‌های G8، G7 و 417 و G2 به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها معرفی شدند (جدول ۳).

انتخاب براساس شاخص SNPI - براساس این شاخص ژنوتیپ‌های G12، G11، G14 و G19 به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و ژنوتیپ‌های G8، G9، G15 و G4 به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها معرفی شدند (جدول ۳).

انتخاب براساس شاخص DI - شاخص متحملت به خشکی DI ژنوتیپ‌هایی را شناسایی می‌کند که با شرایط تنش و شرایط بدون تنش سازگاری دارند. بر این اساس ژنوتیپ‌های G19، G15، G13 و G3 متحمل و ژنوتیپ‌های G8، G6، G7 و G20 حساس به تنش بودند (جدول ۳).

به‌دلیل معنی‌دار شدن اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه در عملکردهای به‌دست‌آمده و بیشتر شاخص‌های محاسبه‌شده، مقایسات میانگین بین ژنوتیپ‌ها انجام نشد ولی میانگین کل عملکرد و شاخص‌های مختلف محاسبه‌شده مربوط به هر ژنوتیپ در جدول ۳ نشان داده شده است. وجود اختلاف بین عملکردها و شاخص‌ها در ژنوتیپ‌های مختلف نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی و امکان انتخاب برای تحمل به خشکی است.

انتخاب براساس شاخص SSI - براساس شاخص SSI ژنوتیپ‌های G15، G19، G20 و G3 به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و ژنوتیپ‌های G8، G7، G6 و G2 به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس شناخته می‌شوند (جدول ۳). فیشر و مورر (1978) Fischer & Maurer اظهار داشتند که در برخی شرایط، رابطه مثبت بین عملکرد در شرایط تنش و SSI مشاهده می‌شود و این حالت زمانی روی می‌دهد که برخی صفات در شرایط تنش مناسب بوده ولی در شرایط عدم تنش مناسب نیستند. محمدی و همکاران (2008) Mohammadi *et al.* اظهار داشتند که ژنوتیپ‌های با میزان بالای شاخص‌های GMP و STI و میزان کم SSI به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناخته شدند. البته باید در نظر داشت که عملکرد بالا در شرایط تنش، به‌تنهایی نمی‌تواند بیانگر تحمل به خشکی یک ژنوتیپ باشد، زیرا جنبه فرار از خشکی و توانایی ژنوتیپی نیز باید موردتوجه قرار گیرد.

انتخاب براساس شاخص‌های TOL و RDI - برای شاخص TOL، که مقدار کم آن نشان‌دهنده تحمل نسبی به تنش خشکی است، ژنوتیپ‌های G15، G20، G19 و G3 به‌عنوان متحمل و ژنوتیپ‌های G8، G7، G4 و G2 به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس شناخته می‌شوند. همچنین براساس شاخص RDI ژنوتیپ‌های G15، G19، G3 و G20 به‌عنوان متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های G8، G7، G2 و G6 به‌عنوان حساس‌ترین شناسایی شدند (جدول ۳). از آنجایی که پایین بودن درصد تغییرات به‌عنوان یک فاکتور متحملت به تنش، بیشتر ارزش فیزیولوژیکی دارد تا زراعی، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت انتخاب براساس شاخص حساسیت به تنش SSI و تحمل به تنش TOL باعث گزینش ارقامی با عملکرد به نسبت پایین در محیط عادی و عملکرد پایین در محیط دارای تنش می‌گردد، که چنین ارقامی مطابق با گزارش‌های اشنایدر و همکاران (1997) Schneider *et al.* به‌علت عملکرد پایین، از نظر زراعی نامطلوب می‌باشند. همچنین در مورد شاخص تحمل به تنش TOL مشخص‌شده که پایین بودن مقدار این شاخص الزاماً به‌دلیل بالا بودن عملکرد رقم در محیط تنش نیست، چراکه ممکن است عملکرد رقمی در شرایط عادی پایین باشد و در شرایط تنش نیز با افت عملکرد کمتری همراه باشد، که باعث کوچک شدن شاخص تحمل به تنش شود و در نتیجه این رقم، رقمی متحمل معرفی گردد (2002) Moghaddam & Hadizade.

انتخاب براساس شاخص‌های MP و HM - براساس شاخص MP، ژنوتیپ‌های G4، G16، G2 و G5 به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر و ژنوتیپ‌های G8، G20، G15 و G60 به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس‌تر انتخاب شدند (جدول ۳). مقادیر بالای

G19 و G3 دارای کمترین و ژنوتیپ‌های G7، G8، G6 و G2 دارای بیشترین مقدار کاهش نسبی بودند (جدول ۳).

انتخاب براساس شاخص YI - شاخص عملکرد YI ژنوتیپ‌ها را فقط براساس عملکرد در شرایط تنش رتبه‌بندی می‌کند. بنابراین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط را تشخیص نمی‌دهد (Sio-Se Mardeh *et al.*, 2006). بر این اساس ژنوتیپ‌های G19، G4، G5 و G11 متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های G8، G6، G20 و G7 حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی بودند (جدول ۳).

انتخاب براساس شاخص ATI - بر اساس این شاخص متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی ژنوتیپ‌های G4، G7، G2 و G16 و حساس‌ترین آن‌ها ژنوتیپ‌های G15، G20، G19 و G3 بودند (جدول ۳).

انتخاب براساس شاخص YSI - ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از این شاخص نشان داد که متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی ژنوتیپ‌های G15، G19، G3 و G13 و حساس‌ترین آن‌ها ژنوتیپ‌های G7، G6، G2 و G8 بودند (جدول ۳).

انتخاب براساس شاخص RDY - شاخص کاهش نسبی عملکرد RDY اگر کوچک باشد ژنوتیپ‌ها تا حدودی حساس و برعکس اگر زیاد باشد ژنوتیپ‌ها متحمل می‌باشند. بر این اساس حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها ژنوتیپ‌های G8، G15 و G6 و متحمل‌ترین آن‌ها ژنوتیپ‌های G4، G16، G5 و G2 می‌باشند (جدول ۳).

انتخاب براساس شاخص RR - محاسبه شاخص کمترین کاهش نسبی (RR) نشان داد که ژنوتیپ‌های G15، G18،

جدول ۳- میانگین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه گندم از نظر شاخص‌های تحمل به خشکی

Table 3. Comparison of the mean of studied wheats genotypes in terms of drought tolerance indices

ژنوتیپ	YS	SSI	RDI	TOL	MP	STI	GMP	YI	YSI
G1	5.381	0.877	1.061	1.603	6.149	0.77	6.07	1.031	0.792
G2	5.366	1.108	0.966	2.166	6.441	0.831	6.314	1.028	0.721
G3	5.289	0.857	1.083	6.001	6.001	0.728	5.91	1.013	0.808
G4	5.452	1.089	0.973	2.222	6.554	0.872	6.422	1.045	0.726
G5	5.447	1.034	1.001	1.991	6.411	0.839	6.296	1.043	0.747
G6	4.84	1.192	0.938	2.158	5.91	0.694	5.771	0.927	0.7
G7	5.003	1.192	0.934	2.275	6.141	0.747	6	0.958	0.697
G8	4.107	1.398	0.864	2.331	5.273	0.558	5.102	0.787	0.644
G9	5.177	1.046	1.011	1.869	6.053	0.76	5.94	0.992	0.754
G10	5.229	1.024	1.011	1.94	6.165	0.766	6.057	1.002	0.754
G11	5.453	0.924	1.026	1.724	6.315	0.819	6.232	1.045	0.765
G12	5.379	0.954	1.016	1.817	6.287	0.804	6.181	1.03	0.757
G13	5.438	0.879	1.077	1.582	6.149	0.775	6.056	1.042	0.803
G14	5.281	0.97	1.021	1.841	6.173	0.764	6.063	1.012	0.762
G15	5.176	0.726	1.143	1.228	5.684	0.650	5.602	0.992	0.852
G16	5.438	1.084	0.979	2.129	6.486	0.853	6.354	1.042	0.73
G17	5.237	1.08	0.982	2.057	6.248	0.798	6.138	1.003	0.732
G18	5.332	0.913	1.051	1.729	6.147	0.761	6.039	1.022	0.784
G19	5.657	0.739	1.11	1.409	6.324	0.817	6.25	1.084	0.828
G20	4.61	0.857	1.071	1.382	5.253	0.557	5.174	0.883	0.799
G20	4.61	0.857	1.071	1.382	5.253	0.557	5.174	0.883	0.799

ادامه جدول ۳-

Continued Table 3.

ژنوتیپ	DI	ATI	MSTI1	MSTI2	SSPI	SNPI	RR	HM	RDY
G1	0.834	7.201	0.839	0.946	11.453	11.248	22.302	5.994	37.737
G2	0.767	9.996	1.035	1.03	15.473	11.252	28.184	6.192	40.734
G3	0.85	6.795	0.732	0.862	11.162	10.236	21.787	5.823	35.668
G4	0.781	10.832	1.212	1.149	15.873	9.796	27.691	6.294	42.708
G5	0.813	9.199	1.073	1.179	14.222	11.092	26.286	6.184	41.132
G6	0.679	8.994	0.731	0.703	15.411	10.209	30.314	5.639	34.021
G7	0.688	10.07	0.86	0.773	16.251	11.024	30.317	5.865	36.582
G8	0.531	8.925	0.565	0.454	16.652	8.59	35.553	4.943	27.35
G9	0.792	8.187	0.916	0.997	13.35	9.616	26.603	5.832	37.243
G10	0.774	8.84	0.875	0.864	13.86	10.306	26.047	5.953	37.516
G11	0.816	8	0.981	1.074	12.312	13.105	23.491	6.152	40.132
G12	0.807	8.270	0.96	1.036	12.978	13.353	24.257	6.08	39.383
G13	0.882	6.836	0.843	1.074	11.298	10.917	22.355	5.967	37.981
G14	0.798	8.205	0.835	0.905	13.147	13.096	24.66	5.96	37.443
G15	0.899	4.855	0.522	0.751	8.771	9.738	18.467	5.524	31.839
G16	0.793	9.830	1.121	1.165	15.205	10.905	27.557	6.23	41.782
G17	0.751	9.568	0.998	0.966	14.69	10.169	27.458	6.031	39.115
G18	0.836	7.646	0.822	0.934	12.347	10.016	22.213	5.936	37.273
G19	0.918	6.527	0.914	1.103	10.063	12.789	18.803	6.18	40.016
G20	0.731	5.342	0.43	0.503	9.872	10.037	21.786	5.099	27.3

Yp: عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال، Ys: عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط تحت تنش، SSI: شاخص حساسیت به تنش، RDI: شاخص خشکی نسبی، TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، STI: شاخص تحمل به تنش، GMP: میانگین بهره‌وری هندی، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد، DI: شاخص تحمل به خشکی، ATI: شاخص تحمل غیر زیستی، MSTI1 و MSTI2: شاخص تحمل به تنش تغییر یافته، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش، SNPI: شاخص بهره‌وری در شرایط تنش و بدون تنش، RR: کاهش نسبی، HM: میانگین هارمونیک، RDY: شاخص کاهش نسبی عملکرد

Yp: Yield in Normal Condition, Ys: Yield in Stress Condition, SSI: Susceptible Stress Index, RDI: Relative Drought Index, TOL: Tolerance, MP: Mean Productivity, STI: Stress Tolerance Index, GMP: Geometrical Mean Productivity, YI: Yield Index, YSI: Yield stability Index, DI: Drought Index, ATI: Abiotic Tolerance Index, MSTI1: Modified Stress Tolerance Index 1, MSTI2: Modified Stress Tolerance Index 2, SSPI: Stress Susceptibility Percentage Index, SNPI: Stress and non-Stress Production Index, RR: Relative Reduction, HM: Harmonic Mean, RDY: Relative Decrease in Yield

و تنش وجود داشت ولی در شرایط تنش این همبستگی علیرغم معنی‌دار بودن اندک بود. در مورد شاخص‌های دیگری نظیر SSI و RR با توجه به این که این شاخص‌ها همبستگی منفی با عملکرد در شرایط تنش دارند، بنابراین نشان‌دهنده میزان حساسیت به خشکی می‌باشند و ژنوتیپ‌هایی که دارای مقادیر کوچک‌تری از این شاخص‌ها هستند، بایستی به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی نسبتاً متحمل انتخاب شوند. بنابراین ژنوتیپ‌هایی که براساس این شاخص‌ها انتخاب می‌شوند باید دارای عملکرد بالایی در شرایط تنش باشند ولی عملکرد آن‌ها در شرایط نرمال پایین است (ژنوتیپ‌های G18،

همبستگی

با توجه به نتایج تجزیه همبستگی، شاخص‌های STI، GMP، MP، MSTI1، MSTI2، YI، HM و RDY همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش داشتند و لذا برای گزینش ارقام متحمل گندم، می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. بنابراین ژنوتیپ‌های G4، G2، G16 و G5 با دارا بودن عملکرد بالا در دو شرایط موردبررسی، به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در این تحقیق معرفی می‌شوند (جدول ۴). البته همبستگی مثبت بین شاخص YI و عملکرد دانه در شرایط نرمال

و عملکرد تحت شرایط نرمال و تنش خشکی استفاده گردید (جدول ۵). نمودار مربوطه بر مبنای دو مؤلفه اول و دوم که حدود ۹۵/۴۹ درصد از تغییرات موجود بین داده‌ها را توجیه می‌کردند، رسم گردید (شکل ۱). در فضای نمودار، ژنوتیپ‌ها در گروه‌های مشخصی قرار گرفتند که مرتبط با میانگین عملکرد و تحمل آن‌ها به تنش است (شکل ۱ و جدول ۵). در این بررسی اولین مؤلفه اصلی ۵۳/۱۶ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه نمود (جدول ۵) و همبستگی مثبت و معنی‌داری (بالای ۰/۷۵) را با عملکرد در شرایط نرمال و نیز شاخص‌های MP، STI، GMP، YI، MSTI1، MSTI2، HM، RDY داشت. به دلیل همبستگی بالای این مؤلفه با عملکرد در شرایط نرمال و تنش این مؤلفه به نام مؤلفه پتانسیل عملکرد در شرایط نرمال و تنش نام‌گذاری شد. با توجه به این که میزان بالای این شاخص‌ها در امر گزینش مطلوب است، بنابراین در نمودار به‌دست‌آمده اگر به مقادیر مثبت و بالای این مؤلفه توجه شود، می‌توان ژنوتیپ‌هایی را که دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط بوده و از نظر شاخص‌های مذکور نیز مطلوب‌تر باشند را انتخاب کرد. به عبارت دیگر این مؤلفه قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا می‌باشد و مقادیر بیشتر مؤلفه آن مطلوب‌تر است. دومین مؤلفه برآورد شده ۴۲/۳۳ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه نمود (جدول ۶). این مؤلفه همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد در شرایط نرمال (در حدود ۰/۶) و شاخص‌های SSI، ATI، TOL، RR و همبستگی منفی بالایی با شاخص‌های RDI، YSI و DI نشان داد. این شاخص‌ها (RDI، YSI و DI) با عملکرد در شرایط نرمال همبستگی معنی‌داری نداشتند. به نظر می‌رسد این مؤلفه قادر است ژنوتیپ‌هایی را که دارای عملکرد بالایی در شرایط تنش هستند را شناسایی کند. نمودار رسم شده (شکل ۱) نشان داد که ژنوتیپ‌های G2، G16، G11، G12، G18، G1، G17، G4، G10، G14، G19، G5 و G13 در قسمت مثبت محور مؤلفه اول قرار دارند. درواقع می‌توان گفت که این ژنوتیپ‌ها دارای سازگاری خوبی به محیط‌های نرمال و تنش هستند. از بین این ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ‌های G2، G16، G10، G42، G17 و G5 در قسمت مثبت محور مؤلفه دوم قرار دارند؛ بنابراین می‌توان این ژنوتیپ‌ها را نیز ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش معرفی کرد.

به‌طور کلی این نوع توزیع ژنوتیپ‌ها در فضای نمودار را می‌توان حاکی از وجود تنوع ژنتیکی ارقام نسبت به تنش دانست. محققین متعددی در آزمایشات خود از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده کردند و اظهار داشتند که بیشترین تغییرات بین داده‌ها با دو مؤلفه اول بیان می‌شود (Askar et al., 2010). علی و السادک (Ali & El-Sadek, 2016) از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به منظور ارزیابی شاخص‌های تحمل خشکی در گندم نان تحت شرایط تنش و بدون تنش استفاده کردند و نشان دادند که دو مؤلفه اول بیش از ۹۸ درصد از کل تغییرات مربوط به شاخص‌های تحمل به خشکی را به‌خود اختصاص داده‌اند. این روش در لوبیا توسط فرناندز (Fernandez, 1992) در گلرنگ (Ashkani et al., 2007) و گندم (Farshadfar et al., 2001) و (Golabadi et al., 2006) و در گندم دوروم توسط طالبی و همکاران (Talebi et al., 2009) مورد استفاده قرار گرفته است.

G15، G19 و G3؛ بنابراین انتخاب براساس این شاخص‌ها توصیه نمی‌شود. با توجه به این که جهت شناسایی ارقام متحمل به تنش، شاخص‌های مختلفی براساس روابط ریاضی بین شرایط تنش و نرمال ارائه شده است (Huang, 2000)؛ ولی به‌طور کلی شاخص‌هایی که در هر دو شرایط تنش و غیر تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد باشند به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند، زیرا این شاخص‌ها قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر محیط هستند و می‌توان از آن‌ها برای تخمین پایداری عملکرد استفاده کرد (Khalilzade & Karbalai-Khiavi, 2001; Farshadfar et al., 2002). فرناندز (Fernandez, 1992) با استفاده از همبستگی بین شاخص‌های SSI، MP، STI و TOL با YS و YP نتیجه گرفت که STI شاخص خوبی از نظر عملکرد در شرایط عادی و تنش می‌باشد. دستفال و همکاران (Dastfal et al., 2011)، کرمی و همکاران (Karami et al., 2005) و سنجرى و یزدان سیاس (Sanjari & Yazdansepas, 2008) و قاجارسپانو و همکاران (Qajarspanlu et al., 2000) گزارش نمودند که عملکرد در شرایط تنش و نرمال از ضرایب همبستگی بالاتری با شاخص‌های MP، GMP و STI برخوردار است. نعیمی و همکاران (Naeemi et al., 2008) در کلزا شاخص‌های GMP، MP و STI را به‌واسطه دارا بودن همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد در هر دو محیط تنش و نرمال بهترین شاخص‌ها برای گزینش و تعیین ارقام متحمل به تنش آخر فصل معرفی نمودند. STI و GMP در بسیاری از بررسی‌ها بهترین شاخص‌ها جهت گزینش ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شناسایی شده‌اند (Sundari et al., 2005; Kargar et al., 2004; Farayedi, 2002; Ayzanlv et al., 2004). سنجرى (Sanjari, 1998) با مطالعه شاخص‌های متحمل به خشکی در گندم همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد در شرایط نرمال و شاخص‌های MP و TOL و در شرایط واجد تنش با شاخص‌های STI و MP را مشاهده کرد. گل‌آبادی و همکاران (Golabadi et al., 2006) و جعفری و همکاران (Jafari et al., 2007) نیز روابط عملکرد در دو شرایط تنش و نرمال را با MP و STI مثبت گزارش کردند. مالکی و همکاران (Maleki et al., 2008) نیز همین نتایج را در گندم به‌دست آوردند. تقیان و ابوالوفا (Taghian & Abo-Elwafa, 2003) و کل‌پرو (Golparvar, 2000) همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد در دو شرایط تنش و نرمال با GMP، MP و STI را در گندم گزارش کردند و نشان دادند که این شاخص‌ها به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها جهت شناسایی ارقام تحت تنش خشکی، در برنامه‌های اصلاحی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. حصادی (Hessadi, 2006) شاخص‌های MP، TOL، HARM و GMP و صارمی و همکاران (Saremi et al., 2002) شاخص‌های MP، GMP، HARM و STI را برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی در جو مناسب دانست.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

تجزیه به مؤلفه اصلی روش مفیدی به‌منظور بررسی هم‌زمان کلیه شاخص‌های تحمل به تنش خشکی، عملکرد دانه در شرایط معمول و تنش خشکی و همچنین بررسی دقیق‌تر تحمل به تنش خشکی ارقام می‌باشد (Gabriel, 1971). برای این منظور ابتدا از تجزیه چند متغیره مؤلفه‌های اصلی بر مبنای شاخص‌های متحمل

جدول ۴- ضرایب همبستگی میان شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش و عملکرد در ژنوتیپ‌های گندم موردبررسی

Table 4. Correlation coefficients among tolerance and susceptibility indices and yield in wheat genotypes

شاخص	Ys	Yp	SSI	RDI	TOL	MP	STI	GMP	YI	YSI	DI	ATI	MSTI1	MSTI2	SSPI	SNPI	RR	HM
Ys	1																	
Yp	0.59**	1																
SSI	-0.56*	0.33	1															
RDI	0.5*	-0.4	-0.99**	1														
TOL	-0.26	0.62**	0.94**	-0.95**	1													
MP	0.86**	0.92**	-0.07	0	0.25	1												
STI	0.87**	0.9**	-0.09	0.9**	0.23	0.99**	1											
GMP	0.9**	0.89**	-0.14	0.07	0.19	0.99**	0.99**	1										
YI	0.99**	0.59**	-0.56*	0.5*	-0.26	0.86**	0.87**	0.9**	1									
YSI	0.5*	-0.4	-0.99**	1	-0.95**	0	0.02	0.07	0.5*	0.88**	1							
DI	0.84**	0.07	-0.89**	0.88**	-0.72**	0.46*	0.48*	0.52*	0.84**	0.05	-0.82**	1						
ATI	0.05	0.82**	0.78**	-0.82**	0.95**	0.54*	0.51*	0.48*	0.05	0.22	-0.24	-0.48*	1					
MSTI1	0.69**	0.96**	0.17	0.96**	0.47*	0.94**	0.95**	0.92**	0.69**	0.22	-0.24	-0.82**	0.71**	1				
MSTI2	0.91**	0.76**	0.91**	-0.26	0.03	0.92**	0.96**	0.94**	0.91**	0.2	-0.72**	0.62**	0.32	0.88**	1			
SSPI	-0.26	0.62**	0.94**	0.94**	1	0.25	0.23	0.19	-0.26	-0.95**	-0.95**	-0.72**	0.95**	0.47*	0.03	1		
SNPI	0.58**	0.35	-0.37	0.25	-0.21	0.51*	0.5*	0.52*	0.58**	0.25	0.43	0.43	-0.04	0.36	0.49*	1		
RR	-0.56*	0.33	0.99**	0.99**	0.94**	-0.07	0.09	-0.14	-0.56*	-0.99	-0.89**	-0.89**	0.78**	0.17	-0.26	0.94**	1	
HM	0.92**	0.86**	-0.2	0.13	0.13	0.99**	0.99**	0.92**	0.92**	0.13	0.57**	0.57**	0.43	0.9**	0.95**	0.12	0.55*	1
RDY	0.87**	0.9*	-0.09	0.02	0.23	0.99**	1	0.99**	0.87**	0.02	0.48*	0.48*	0.51*	0.95**	0.96**	0.5*	-0.1	0.99**

SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، MP: میانگین بهره‌وری، ATI: شاخص تحمل غیر زیستی، GMP: میانگین بهره‌وری هندسی، M₁STI و M₂STI: شاخص تحمل به تنش تغییر یافته، TOL: شاخص تحمل، YSI: شاخص پایداری عملکرد، RSI: شاخص خشکی نسبی، YI: شاخص عملکرد، SI: شوری، SNPI: شاخص بهره‌وری در شرایط تنش و بدون تنش، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش، YSI_i=ارزش میانگین ژنوتیپ i ام در شرایط تنش، YP_i=ارزش میانگین ژنوتیپ i ام در شرایط مطلوب، Ys= میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط تحت تنش، Yp= میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط مطلوب

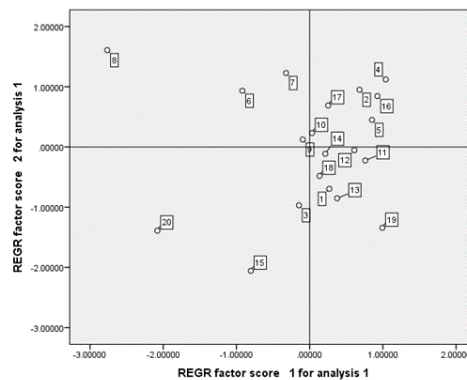
Yp: Yield in Normal Condition, Ys: Yield in Stress Condition, SSI: Susceptible Stress Index, RDI: Relative Drought Index, TOL: Tolerance, MP: Mean Productivity, STI: Stress Tolerance Index, GMP: Geometrical Mean Productivity, YI: Yield Index, YSI: Yield stability Index, DI: Drought Index, ATI: Abiotic Tolerance Index, MSTI1: Modified Stress Tolerance Index 1, MSTI2: Modified Stress Tolerance Index 2, SSPI: Stress Susceptibility Percentage Index, SNPI: Stress and non-Stress Production Index, RR: Relative Reduction, HM: Harmonic Mean, RDY: Relative Decrease in Yield

جدول ۵- سهم تجمعی و بردارهای ویژه شاخص تحمل به خشکی و عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش
Table 5. cumulative contribution and eigenvectors of drought resistance and grain yield indices under drought stress and non-drought conditions

شاخص	مؤلفه اول	مؤلفه دوم
YP	0.788	0.61
YS	0.958	-0.277
SSI	-0.309	0.947
RDI	0.239	-0.965
TOL	0.01	0.997
MP	0.968	0.241
STI	0.975	0.218
GMP	0.982	0.175
YI	0.958	-0.278
YSI	0.24	-0.964
DI	0.656	-0.736
ATI	0.316	0.94
MSTI1	0.865	0.467
MSTI2	0.966	0.032
SSPI	0.01	0.997
SNPI	0.583	-0.194
RR	-0.309	0.945
HM	0.991	0.113
RDY	0.975	0.219
درصد واریانس	53.16	42.33
درصد واریانس تجمعی	53.16	95.48

SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، MP: میانگین بهره‌وری، ATI: شاخص تحمل غیر زیستی، GMP: میانگین بهره‌وری هندسی، M₂STI و M₁STI: شاخص تحمل به تنش تغییر یافته، TOL: شاخص تحمل، YSI: شاخص پایداری عملکرد، RSI: شاخص خشکی نسبی، YI: شاخص عملکرد، SI: شوری، SNPI: شاخص بهره‌وری در شرایط تنش و بدون تنش، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش، Y_{SI}= ارزش میانگین ژنوتیپ ا₂ ام در شرایط تنش، Y_{P1}= ارزش میانگین ژنوتیپ ا₁ ام در شرایط مطلوب، Y_S= میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط تحت تنش، Y_P= میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط مطلوب

Yp: Yield in Normal Condition, Ys: Yield in Stress Condition, SSI: Susceptible Stress Index, RDI: Relative Drought Index, TOL: Tolerance, MP: Mean Productivity, STI: Stress Tolerance Index, GMP: Geometrical Mean Productivity, YI: Yield Index, YSI: Yield stability Index, DI: Drought Index, ATI: Abiotic Tolerance Index, MSTI1: Modified Stress Tolerance Index 1, MSTI2: Modified Stress Tolerance Index 2, SSPI: Stress Susceptibility Percentage Index, SNPI: Stress and non-Stress Production Index, RR: Relative Reduction, HM: Harmonic Mean, RDY: Relative Decrease in Yield

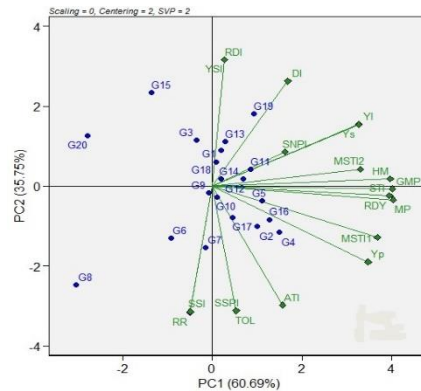


شکل ۱- گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد بررسی با استفاده از شاخص‌های محاسبه شده با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی
Figure 1: Grouping of studied genotypes using calculated indices using principal component analysis

تجزیه بای پلات

تفسیر نتایج می‌تواند براساس هر مؤلفه اصلی و کاملاً مستقل از مؤلفه‌های اصلی دیگر انجام شود. از این جهت دو مؤلفه را می‌توان به صورت دو محور عمود برهم نمایش داد و ژنوتیپ‌ها را براساس این دو مؤلفه در سطح نمودار مشخص نمود. پراکندگی ژنوتیپ‌ها در فضای دو بردار با اختلاف بسیار اندکی مانند تجزیه به مؤلفه‌های اصلی است ولی پراکندگی شاخص‌ها در فضای دو بردار جنبه جدیدی از کاربرد این نوع تجزیه است. با توجه به زوایای بین بردارهای شاخص‌ها ملاحظه می‌شود که شاخص‌های HM، MP، STI، MSTI1، MSTI2، GMP، RDY، YI و SNPI همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد در شرایط تنش و نرمال داشتند به طوری که زوایای تند بین این شاخص‌ها نسبت به هم، نشان از همبستگی مثبت و بسیار بالای آن‌ها باهم دارد. شاخص‌های RDI و YSI با عملکرد در شرایط نرمال همبستگی منفی و شاخص‌های ATI، SSPI، TOL و SSPI همبستگی منفی با عملکرد در شرایط تنش داشتند. این یافته‌ها توسط تجزیه همبستگی نیز تأیید می‌شود.

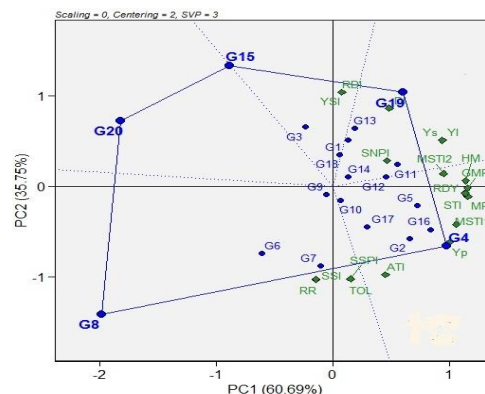
با توجه به تغییر رتبه ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص‌های تحمل خشکی اندازه‌گیری شده، استفاده از تجزیه بای پلات مبتنی بر اثر متقابل ژنوتیپ × صفت، روشی مناسب و قدرتمند جهت بررسی روابط بین ژنوتیپ‌ها، شاخص‌ها و ارزیابی ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به خشکی به شمار می‌آید (Yan & Kang, 2003). با استفاده از شاخص‌های تحمل خشکی محاسبه شده و به کارگیری روش‌های گرافیکی از جمله GGE Biplot که اثر متقابل ژنوتیپ × شاخص را در ارزیابی لحاظ می‌کند می‌توان ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد بالا در شرایط بدون تنش و تنش خشکی را مشخص کرد. براساس روش بای پلات مؤلفه اول ۶۲/۵۹ و مؤلفه دوم ۳۴/۳۶ درصد از تنوع داده‌های اولیه را توجیه کرد. استفاده از این دو مؤلفه سهم بسیار زیادی از کل تنوع موجود بین داده‌ها را توجیه کرد (شکل ۲). تفسیر نتایج و ترسیم بای پلات براساس دو مؤلفه اصلی اول و دوم بسیار مفید بوده و می‌تواند ژنوتیپ‌های مورد مطالعه را به خوبی در فضای دوبعدی گروه‌بندی نماید. بدین ترتیب، گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و



شکل ۲- نمودار پراکندگی ژنوتیپ‌ها و شاخص‌ها براساس تجزیه بای‌پلات
Figure 2. Scatter plot of genotypes and indices based on biplot analysis

براساس شکل ۳ ژنوتیپ‌های رئوس چندضلعی در این آزمایش ژنوتیپ‌های G15، G8، G4، G19 و G20 بودند. این ژنوتیپ‌ها بالاترین پاسخ را به شاخص‌ها نشان دادند. بدین معنی که بهترین یا بدترین ژنوتیپ‌ها از لحاظ مقدار، در تعدادی یا همه شاخص‌ها بودند. خطوط عمودی در اطراف چندضلعی ترسیم شده‌اند که از مبدأ بای‌پلات شروع شده و بای‌پلات را به ۵ ناحیه تقسیم کرده‌اند (Yan & Kang, 2003). ژنوتیپ برتر برای هر ناحیه، ژنوتیپی است که بیشترین مقادیر شاخص‌هایی که در آن ناحیه قرار گرفته‌اند را داراست. ژنوتیپ‌های G19، G11، G14، G1، G13 بیشترین مقادیر را برای شاخص‌های DI و YI و عملکرد در شرایط تنش را نشان دادند (ناحیه ۱). ژنوتیپ‌های G2، G4، G16، G5، G17، G10 و G12 بیشترین مقدار را برای شاخص‌های MSTI2، MSTI1

نرمال نشان دادند (ناحیه ۲). ژنوتیپ‌های G6، G8، G7 و G9 بیشترین مقدار را در شاخص‌های SSI، RR، TOL و SSPI (ناحیه ۳) و ژنوتیپ‌های G3، G15 و G18 بیشترین مقدار را در شاخص‌های RDI و YSI نشان دادند (ناحیه ۴). ژنوتیپ G20 به دلیل اینکه که در ناحیه بدون شاخص قرار دارد، دارای کمترین مقدار برای شاخص‌های محاسبه شده می‌باشد. نتایج بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی با نتایج برخی گزارش‌های منتشر شده مطابقت نسبی بالایی دارد (Naghavi *et al.*, 2006). تفاوت بین نتایج این تحقیق با سایر مطالعات می‌تواند به دلیل اختلاف در ارقام مورد استفاده و انجام آزمایش در چند سال و چند مکان باشد.



شکل ۳- نمایش چندضلعی ژنوتیپ‌های گندم و شاخص‌های محاسبه شده براساس تجزیه بای‌پلات
Figure 3. Polygonal representation of wheat genotypes and indices calculated based on biplot analysis

عملکرد در ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت بود به گونه‌ای که ژنوتیپ‌های حساس با بیشترین کاهش در عملکرد و ژنوتیپ‌های متحمل با کمترین نقصان عملکرد مواجه شدند. نتایج نشان داد که مطالعه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش خشکی به تنهایی نمی‌تواند به گزینش ژنوتیپ‌های برتر کمک کند لذا مطالعه و ارزیابی ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط نرمال و تنش باید انجام گیرد. با توجه به نتایج تجزیه آماری این آزمایش می‌توان به ترتیب ژنوتیپ‌های G4، G2، G16 و G5 که در هر دو شرایط محیطی، عملکرد مناسب و تقریباً بالاتری به دست آورده‌اند را به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در شرایط اقلیمی سرد کشور پیشنهاد نمود. به دلیل تغییر رتبه‌بندی

نتیجه‌گیری
نتایج این تحقیق نشان داد که تنش از مرحله گل‌دهی تا رسیدگی دانه (انتهای فصل رشد)، به‌ویژه در مناطقی که وزش بادهای گرم و خشک در مرحله پر شدن دانه در آن‌ها مرسوم است (مخصوصاً مناطق اقلیم سرد و خشک کشور)، باعث چروکیدگی و در نتیجه، کاهش وزن دانه‌ها می‌شود که این وضعیت اثر بارزی بر کاهش عملکرد دارد. بنابراین به‌منظور جلوگیری از افت بالای عملکرد در شرایط تنش خشکی آخر فصل، باید ارقام زودرس، متحمل به تنش خشکی و با پتانسیل عملکرد دانه بالا شناسایی و کشت گردند. باینکه اعمال تنش باعث کاهش عملکرد ژنوتیپ‌ها گردیده ولی، مقادیر کاهش

RDY، YI و SNPI همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد در شرایط تنش و نرمال دارند و می‌توانند جهت گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به شرایط تنش مورد استفاده قرار گیرند. همچنین جهت دستیابی به ارقام متحمل به تنش خشکی می‌توان مشابه چنین بررسی‌هایی را در سال‌های متعددی انجام داد و ارقام گزینش‌شده را در برنامه‌های بهنجاری جهت ایجاد ارقام برتر گندم نان استفاده کرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل از نتایج پروژه پژوهشی با شماره مصوب ۹۷۰۹۰۶-۲۱۷-۰۳-۰۳-۰۳ اجرا شده در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی می‌باشد. بدین‌وسیله از تمامی همکاران محترمی که در اجرای این طرح در ایستگاه‌های تحقیقاتی همکاری داشته‌اند تشکر می‌شود.

ژنوتیپ‌ها براساس شاخص‌های مختلف در سال‌ها و مناطق مختلف، بهتر است بررسی‌های مربوط به شاخص‌ها در چند مکان و چند سال انجام شود تا روند تغییرات عملکردی ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف به‌درستی مشخص‌شده و بالطبع اطمینان بیشتری نسبت به شاخص‌های متحمل و حساسیت محاسبه‌شده وجود داشته باشد. شاخص‌های STI، GMP، MP، MSTI1، MSTI2، YI، HM و RDY همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش داشتند و لذا برای گزینش مطلوب‌تر ارقام گیاهی متحمل به خشکی مخصوصاً گندم، می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. تجزیه مؤلفه اصلی نشان داد که می‌توان ژنوتیپ‌های G4، G2، G16، G5 و G17 را ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط نرمال و تنش معرفی کرد. و درنهایت تجزیه بای‌پلات نشان داد که شاخص‌های HM، MP، STI، MSTI1، MSTI2، GMP.

References

- Ahmadi, A., M. Jodi, A. Tavakoli, & M. Ranjbar. 2009. Investigation of yield and its related morphological traits responses in wheat genotypes under drought stress and irrigation conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, 12(46):155-165 (In Persian).
- Ali, M.B. & A.N. El-Sadek. 2016. Evaluation of drought tolerance indices for wheat (*Triticum aestivum* L.) under irrigated and rainfed conditions. *Communications in Biometry and Crop Science*, 11: 77-89.
- Arsalan, B. 2007. Assessing heritability and variance components of yield and some agronomic traits of different safflower cultivars under stress and non-stress irrigation regimes. *Asian Journal of Plant Sciences*, 6: 554-557.
- Ashkani, J., H. Paknia & V. Ghotbi. 2007. Genetic evaluation of physiological traits for screening of suitable spring safflower genotype under stress and non-stress irrigation regimes. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10: 2320-2326.
- Askar, M., A. Yazdansepe, & A. Amini. 2010. Evaluation of winter and facultative bread wheat genotypes under irrigated and post-anthesis drought stress conditions. *Seed and Plant Journal*, 1-26: 329-313 (In Persian).
- Ayzanly, A.S., A.S. Khanghah, & N. Majnoon Hosseini. 2002. Determination of the best drought resistance indices in commercial varieties of soybeans. Abstracts of the Seventh Iranian Crop Science Congress. Seed and Plant Improvement Institute, 55 pp. Karaj, Iran (In Persian).
- Betran, F.J., D. Beck, M. Banziger, & G.O. Edmeades. 2003. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and nonstress environments in tropical maize. *Crop Science*, 43: 807-817.
- Bouslama, M. & 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.
- Ceccarelli, S. & S. Grando. 1991. Selection environment and environmental sensitivity in barley. *Euphytica*, 57: 157-167.
- Chaves, M.M., J.P. Maroco, & J.S. Pereira. 2003. Understanding plant responses to drought: from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30: 239-264.
- Chogan, R., T. Taherkhani, M.R. Gonadha, & M. Khodarahmi. 2006. Evaluation of drought tolerance in grain corn lines using drought stress tolerance indices. *Iranian Journal of Crop Science*, 8(1): 79-89 (In Persian).
- Clark, J.M.R., M. Depauw, & T.F. Ownley-Smith. 1992. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Science*, 32: 723-728.
- Dastfal, M., V.Y. Barati, Emam, H. Haghighatnia, & M. Ramazanpour. 2011. Evaluation of grain yield and its components in wheat genotypes under terminal drought stress conditions in Darab region. *Seed and Plant Production Journal*, 272: 195-217 (In Persian).
- Ehdaie, B., G.A. Alloush, M.A. Madore, & J.G. Waines. 2006. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: Postanthesis changes in internode dry matter. *Crop Science*, 46: 735-746.
- Farayed, Y. 2004. Evaluation of drought tolerance in Kabuli chickpea genotypes. *Iranian Journal of Agriculture*, 6: 27-38 (In Persian).
- Farshadfar, E., M.R. Zamani, M. Matlabi, & E.E. Emam-Jome. 2001. Selection for drought resistance chickpea lines. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 32: 65-77 (In Persian).
- Farshadfar, E. & J. Sutka. 2002. Screening drought tolerance criteria in maize. *Acta Agronomica Hungarica*, 50: 411-16.
- Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo C.G., (ed). *Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress*. Shanhua: Asian Vegetable Research and Development Center, Taiwan, Publ. No 93-410, 257-270.
- Fischer, R.A. & R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29: 897-912.
- Gabriel, K.R. 1971. The biplot graphical display of matrices with applications to principal component analysis. *Biometrika*, 58: 453-467.
- Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R.G. Campaline, G.L. Ricciardi, & B. Borghi. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 77: 523-531.
- Golabadi, M., A. Arzani, & S.A.M. Mirmohammadi Maibody. 2006. Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. *African Journal of Agricultural Research*, 1: 162-171.
- Golparvar, A.R. 2000. Evaluation of some genotypes of wheat under drought stressed and non-stressed conditions and determination of the most suitable selection criteria in both conditions. MSc. Thesis, College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran (In Persian).
- Huang, B. 2000. Role of root morphological and physiological characteristics in drought resistance of plants. In: Wilkinson, R.E. (ed.) and *Plant-Environment Interactions*, 2: 39-64.

- Hessadi, P. 2006. Selection for drought resistance in lines of barley in Kermanshah region. *Journal of Agricultural Sciences*, 1: 143-153 (In Persian).
- Ilker, E., Ö. Tatar, F. Aykut Tonk, & M. Tosun. 2011. Determination of tolerance level of some wheat genotypes to post-anthesis drought. *Turkish Journal of Field Crops*, 16(1): 59-63.
- Jafari, A., R. Choukan, Paknejad, F. & A. Pourmaidani. 2007. Study of selection indices for drought tolerance in some of grain mize hybrids. *Iranian Journal of Crop Science*, 9: 200-212 (In Persian).
- Jensen, N.F. 1988. *Plant Breeding Methodology*. Cornell university. New York. Jogn wiley: 379-380.
- Karami, A., M.R. Ghanadha, M. Naghavi, & M. Mardi. 2005. Evaluation of drought resistance in barley. *Journal of Agricultural Sciences*, 36(3): 547-560 (In Persian).
- Kargar, S.M.A., M.R. Ghannadha, R. Bozorgi-Pour, A.A. Atari, & H.R. Babaei. 2004. Investigation of drought tolerance indices in some soybean genotypes under restricted irrigation condition. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 35: 97-111 (In Persian).
- Khalilzade, G.H. & H. Karbalai-Khiavi. 2002. Investigation of drought and heat stress on advanced lines of durum wheat. In: Proc of the 7th Iranian Congress of Crop Sciences, 563-564 pp. Gilan, Iran (In Persian).
- Lan, J. 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agricult Bor-occid Sinic*, 7: 85-87.
- Maleki, A., F. Babaei, H. Cheharsooghi, J. Amin & A. Asadi Dizaji. 2008. The study of seed yield stability and drought tolerance indices of bread wheat genotypes under irrigated and non-irrigated conditions. *Research Journal of Biological Sciences*, 3: 841-844.
- Moghaddam, A. & M.H. Hadizade. 2002. Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. *Seed and Plant Improvement Journal*, 18: 255- 272 (In Persian).
- Mohammadi, A., Bihanta, M.R., Soluoki, M. & H.R. Dorri. 2008. Study of quantitative and qualitative traits and their relationships with grain yield in white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under optimum and limited irrigation conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 10(3): 231 -243 (in Persian).
- Moosavi, S.S., B. Yazdi Samadi, M.R. Naghavi, A.A. Zali, H. Dashti, & A. Pourshahbazi. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes, *Desert*, 12: 165-178.
- Naderi, A., A. Hashemi Dezfali, R. Shokrani, & A. Rezaei. 1998. Effects of irrigation cut-off time and harvest date on quantitative and qualitative yield of sugarcane of CP-57 variety in Khuzestan, *Iranian Journal of Crop Sciences*, 1(1): 13-19 (In Persian).
- Naeemi, M., G. A. Akbari, A.H. Shirani Rad, S.A.M. Modares Sanavi, S.A. Sadat Nouri, & H. Jabari. 2008. Evaluation of drought tolerance in different Canola cultivars based on stress evaluation indices in terminal growth duration. *Electronic Journal of Crop Production*, 3: 83-98 (In Persian).
- Naghavi, M.R., M. Moghaddam, M. Toorchi, & M.R. Shakiba. 2016. Evaluation of spring wheat cultivars based on drought resistance indices, *Journal of Crop Breeding*, 8(17): 192-207 (In Persian).
- Normand Moayed, F.M., E. Rostam, & M.R. Ghanadha. 2001. Assessment of drought resistance indices in bread wheat. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 32: 805-795 (In Persian).
- Qajarspanlu, M., H. Siadat, & S.K. Mir Latifi. 2000. Effect of limited irrigation at different growth stages on yield and water use efficiency and comparison of several indices of drought tolerance in wheat cultivars. *Iranian Journal of Water and Soil*, 12: 75-64 (In Persian).
- Rajaram, S. & M. Van Ginkle. 2001. Mexico, 50 years of international wheat breeding. In: Bonjean, A.P. and W.J. Angus. (eds.), the World Wheat Book: A History of Wheat Breeding. 579-604 pp. Lavoisier Publishing, Paris, France.
- Richard, R.A. 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regulation*, 20: 157-166.
- Rosielle, A.A. & J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, 21: 943-946.
- Sanjari, A.G. 1998. Evaluation of drought tolerance and yield stability of wheat cultivars and lines in semi-arid areas of the country. Abstracts of Iranian Congress of Agronomy and Plant Breeding, 224 ppp Karaj. Iran, (In Persian).
- Sanjari, P.A., & A. Yazdansepas. 2008. Mobilization of dry matter and its relation with drought stress in wheat genotypes. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 11(2): 121-129.
- Saremi, Z., M. Shahbazi, M. Zeinalabedini, E. Majidi Haravan, & 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).
- Schneider, K.A., R. Rosales-Serna, F. Ibarra-Perez, B. Cazares-Enriques, J.A. Acosta-Gallegos, P. Ramirez-Allejo, N. Wassimi, & J.D. Kelly. 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*, 37: 43-50.
- Schneider. A.A., B.L. Jonson, & T.L. Henderson. 1992. Rooting depth and water use of different sunflower phenotypes. Proc. 13 th. Int. Sunflower Conf. Pisa. Italy.
- Simane, B., P.C. Struik, M. Nachit, & J.M. Peacock. 1993. Ontogenetic analysis of yield components and yield stability of durum wheat in water limited environments. *Euphytica*, 71: 211-219.
- Sio-Se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini, & V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field crops Research*, 98: 222-229.
- Srivastava, J.P., E. Acevedo, & S. Varma. 1987. *Drought Tolerance in Winter Cereal*. 2ed. John Wiley Pub., USA. 678 pp.
- Srivastava, R.L., R.N. Sahai, J.K.S. Axena, & I.P. Singh. 1976. Path anlysis of yield component in soybean. *Indian Journal of Agricultural Research*, 10: 171-173.
- Sundari, T., S. Tohari, & W. Mangoendidjojo. 2005. Yield performance and tolerance of mungbean genotypes to shading. *Journal Pertanian*, 12: 12-19.
- Taghian, A.S. & A. Abo-Elwafa. 2003. Multivariate and rapid analysis of drought tolerance in spring wheat. *Assiut Journal of Agricultural Science*, 34: 1-25.
- Talebi, R., F. Fayaz & A. Mohammad-Naji. 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiology*, 35: 64-74.
- Yan, W. & M.S. Kang. 2003. GGE-Biplot analysis: A graphical tool for Breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL.