Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 16, Issue 3, 2024 p: 25-36

OPEN ACCESS

Research Paper

Evaluation of Yields and Grain Filling Speeds of Bread Wheat Genotypes under End-of-the-Season Drought Stress Conditions

Ahmad Shahizadeh[1], Rasool Asghari Zakaria[2], Marefat Ghasemi[3] and Parisa Sheikhzadeh Mosaddeq[4]

1- Ph.D. Student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghgh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, (Corresponding author: r-asghari@uma.ac.ir)

3- Assistant Professor, Horticulture and Crops Research Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Ardabil Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran

4- Associate Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghgh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: 23 January, 2024 Accepted: 14 May, 2024

Extended abstract

Background: One method for selecting high-yielding cultivars is selection based on physiological traits. Investigating the seed growth and filling process and its effect on seed weight is among the basic research in breeding programs. The speed and period of grain filling are important traits affecting grain yield in wheat, which are affected by environmental conditions. Selection based on traits such as seed filling speed and period can be a good physiological criterion for cultivar evaluation. This research aimed to evaluate the yield, speed, and period of grain-filling in bread wheat genotypes under end-of-the-season drought stress conditions and to identify superior genotypes.

Methods: In this research, 18 bread wheat genotypes along with two control varieties were obtained from the Ardabil Agricultural Research Station and Natural Resources. An experiment was conducted in a completely randomized block design with three replicates in two conditions of full irrigation and drought stress at the end of the season in the Ardabil Agricultural Research Station. In the field, the genotypes were cultivated inside each plot of 4 × 3 m with a distance of 20 cm between lines and a density of 400 seeds/m^2. Genotypes were cultivated in the research station in the fall of 2019. In stress conditions, irrigation was not applied from flowering to seed maturity, while irrigation was carried out three times (early flowering, mid-seed setting, and late seed setting) from flowering to physiological maturity in stress-free conditions. Grain yield traits, grain filling speed, maximum grain dry weight, length of grain filling period, and effective grain filling period were measured in this study.

Results: The results of variance analysis for the evaluated traits showed a significant difference between environments and between genotypes in all evaluated traits. The genotype × environment interaction effect was also significant for all mentioned traits. The significance of the difference between genotypes indicates genetic diversity between the studied cultivars. Moreover, the significance of the interaction effect showed that the studied genotypes did not behave the same in two environments without and with stress. The seed-filling rate of all genotypes decreased under drought-stress conditions. The average seed-filling rates were 1.20 and 1.37 mg per day in the stressed and non-stressed environments, respectively. The length of the grain-filling period and the effective grain-filling period decreased with increasing the grain-filling speed. The length of the seed-filling period in the stressed environment was shorter by 2.31 days on average. The effective length and period of seed filling were directly related to the seed dry weight. The average yield of genotypes under stress conditions (594 g/m^2) declined significantly compared to the non-stress environment (768 g/m^2). On average, the length of the seed-filling period in the stressed environment (34.90 days) was shorter than that in the non-stressed environment (37.21 days). The greatest decrease in the effective length of seed filling was observed in genotype 5 (5.30 days). The longest seed-filling periods were recorded for genotypes 14 (41 days) and 12 (40.44 days) in stress conditions, and genotype No. 13 (43.21 days) in non-stress conditions. Genotype 3 showed the shortest seed-filling period in both stress and non-stress conditions. The correlation coefficients showed a negative and significant correlation between the speed and the effective period of seed filling in the stress (r = -0.358**) and non-stress (r = -0.404**) environments. A cluster analysis of the genotypes grouped them into three and four clusters in the stress and non-stress environments, respectively. The heat map of the distribution of genotypes grouped them into three clusters based on the traits studied in the stressful environment. Genotypes 19, 18, 3,

[DOI: 10.61186/jcb.16.3.25]

10, and 1 were in the first group, with a short effective seed-filling period and a higher filling speed, which was desirable due to the relatively better yield. The second group included genotypes 7, 4, 9, 17, 6, 5, and 8, with lower seed yields and short effective seed-filling periods. Finally, genotypes 13, 12, 2, 14, 11, 20, 15, and 16 were included in the third group, with lower values of speed and maximum seed weight and higher values of effective seed-filling periods. Members of this group showed relatively good yields, which could be attributed to the length and long effective seed-filling period. Considering the importance of grain-filling processes to reach the desired grain weight, selection to increase the grain-filling speed and the effective long filling period can lead to more yields in stressful conditions.

Conclusion: A significant variation in traits was observed among the studied genotypes, indicating the existence of appropriate genetic diversity in the studied plant material. End-of-season drought stress negatively affected the final grain weight by reducing the speed and period of grain filling, eventually lowering the yield. In such conditions, selecting genotypes with higher seed-filling speeds can lead to the selection of drought-tolerant genotypes. However, the speed of seed filling and the effective period of seed filling alone cannot guarantee a high yield, and other factors affecting yield should be considered in the selection of drought-tolerant genotypes.

Keywords: Correlation Coefficients, Genotype, Seed yield, Selection

How to Cite This Article: Shahizadeh, A., Asghari Zakaria, R., Ghasemi, M., & Sheikhzadeh Mosaddeq, P. (2024). Evaluation of Yields and Grain Filling Speeds of Bread Wheat Genotypes under End-of-the-Season Drought Stress Conditions. *J Crop Breed,* 16(3), 25-36. DOI: 10.61186/jcb.16.3.25

OPEN ACCESS
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

ارزیابی عملکرد و سرعت پرشدن دانه ژنوتیپ‌های گندم نان در شرایط تنش خشکی آخر فصل

احمد شاهی‌زاده[۱]، رسول اصغری زکریا[۲]، معرفت قاسمی[۳] و پریسا شیخ‌زاده مصدق[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، (نویسنده مسوول: r-asghari@uma.ac.ir)
۳- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
۴- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۳   تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۲۵
صفحه: ۲۵ تا ۳۶

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: یکی از روش‌های گزینش ارقام با عملکرد بالا، گزینش بر اساس صفات فیزیولوژیکی است. بررسی روند رشد و پر شدن دانه و اثر آن بر وزن دانه از تحقیقات پایه در برنامه‌های به‌نژادی به‌شمار می‌رود. سرعت و دوره پر شدن دانه از صفات مهم مؤثر بر عملکرد دانه در گندم هستند که تحت‌تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرند. گزینش بر اساس صفاتی نظیر سرعت و دوره پرشدن دانه می‌تواند یک معیار فیزیولوژیک مناسب برای ارزیابی ارقام باشد. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی عملکرد، سرعت و دوره پرشـدن دانه ژنوتیپ‌های گندم نان در شرایط تنش خشکی آخر فصل و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش ۱۸ لاین پیشرفته گندم نان به‌همراه دو رقم شاهد که از ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل تهیه شده بودند، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی آخر فصل در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل مورد مطالعه قرار گرفت. در مزرعه ژنوتیپ‌ها در داخل هر کرت به ابعاد ۴×۳ متری با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع کشت شدند. ژنوتیپ‌ها در پاییز ۱۳۹۹ در ایستگاه تحقیقاتی کشت شدند. در شرایط تنش از مرحله گلدهی تا رسیدگی دانه آبیاری اعمال نشد در صورتی‌که در شرایط بدون تنش از زمان گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک در سه نوبت (اوایل گل‌دهی، اواسط دانه بستن و اواخر دانه بستن) آبیاری انجام گرفت. در این مطالعه صفات عملکرد دانه، سرعت پرشدن دانه، حداکثر وزن خشک دانه، طول دوره پر شدن دانه و دوره مؤثر پر شدن دانه اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی نشان داد که بین محیط‌ها و بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ کلیه صفات مورد ارزیابی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. اثر متقابـل ژنوتیـپ و محیط نیز برای کلیه صفات ذکر شده معنی‌دار بـود. معنی‌دار شدن اختلاف بین ژنوتیپ‌ها نشان دهنـده تنـوع ژنتیکی بین ارقام مورد مطالعه اسـت. همچنین معنی‌دار شدن اثر متقابل نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در دو محیط بدون تنش و دارای تنش رفتار یکسانی نداشتند. سرعت پرشدن دانه همه ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش خشکی کاهش پیدا کرد. میانگین سرعت پر شدن دانه در محیط دارای تنش ۱/۲۰ میلی‌گرم در روز و در محیط بدون تنش ۱/۳۷ میلی‌گرم در روز بود. مشخص گردید با بیشترشدن سرعت پر شدن دانه، طول دوره پر شدن دانه و دوره مؤثر پر شدن دانه کاهش می‌یابد. طول دوره پر شدن دانه در محیط تنش نسبت به محیط بدون تنش به‌طور متوسط ۲/۳۱ روز کوتاه‌تر بود. مشخص گردید کـه طول و دوره مؤثر پر شدن دانه بـا وزن خشک دانه رابطه مستقیم دارد. میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش (۵۹۴ گرم در متر مربع) در مقایسه با محیط بدون تنش (۷۶۸ گرم در متر مربع) کاهش قابل توجهی داشت. به‌طور میانگین طول دوره پر شدن دانه در محیط تنش (۳۴/۹۰ روز) نسبت به محیط بدون تنش (۳۷/۲۱ روز) کوتاه‌تر بود. بیشترین کاهش طول مؤثر پر شدن دانه در ژنوتیپ شماره ۵ (۵/۳۰ روز) مشاهده شد. در شرایط تنش ژنوتیپ‌های شماره ۱۴ (۴۱ روز) و ۱۲ (۴۰/۴۴ روز) و در شرایط بدون تنش ژنوتیپ شماره ۱۳ (۴۳/۲۱ روز) طولانی‌ترین طول دوره پر شدن دانه را داشت. ژنوتیپ شماره ۳ در هر دو شرایط تنش و بدون تنش کوتاه‌ترین دوره پر شدن دانه را به‌خود اختصاص داد. نتایج ضرایب همبستگی نشان داد که بین سرعت و دوره مؤثر پر شدن دانه همبستگی منفی و معنی‌داری در محیط تنش ($r = -0/358^{**}$) و محیط بدون تنش ($r = -0/404^{**}$) وجود دارد. تجزیه‌ای خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها در محیط تنش، آن‌ها را در سه خوشه و در محیط بدون تنش در چهار خوشه گروه‌بندی کرد. نقشه حرارتی توزیع ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات مورد مطالعه در محیط دارای تنش، ژنوتیپ‌ها را در سه خوشه گروه‌بندی کرد. ژنوتیپ‌های شماره ۱۹، ۱۸، ۳، ۱۰ و ۱ در گروه اول قرار داشتند که دارای طول و دوره مؤثر کوتاه با سرعت پر شدن بیشتر بودند که با توجه به عملکرد نسبی بهتر، این گروه مطلوب بود. گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های ۷، ۴، ۹، ۱۷، ۶، ۵ و ۸ بود که دارای مقادیر عملکرد دانه کمتر و دوره مؤثر پر شدن دانه کوتاه بودند و در نهایت در گروه سوم ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۲، ۲، ۱۴، ۱۱، ۲۰، ۱۵ و ۱۶ قرار داشتند که از نظر سرعت و حداکثر وزن دانه دارای مقادیر کمتر و از نظر طول و دوره مؤثر پر شدن دانه دارای مقادیر بیشتر بودند. اعضای این گروه دارای عملکرد نسبی خوب بودند که علت آن‌را می‌توان به طول و دوره مؤثر پر شدن طولانی نسبت داد. با توجه به اهمیت فرایندهای پر شدن دانه برای رسیدن به وزن مطلوب دانه، انتخاب برای افزایش سرعت پر شدن دانه و دوره مؤثر پر شدن طولانی می‌تواند منجر به تولید عملکرد بیشتر در شرایط تنشی شود.

نتیجه‌گیری: تنوع قابل‌توجهی از نظر صفات مورد بررسی در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مشاهده شد که نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی مناسب در مواد گیاهی مورد مطالعه است. تنش خشکی آخر فصل از طریق کاهش سرعت و دوره پر شدن دانه، بر وزن نهایی دانه تأثیر منفی داشت و در نهایت عملکرد را کاهش داد. در چنین شرایطی انتخاب ژنوتیپ‌های با سرعت پرشدن دانه بیشتر، می‌تواند منجر به گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی باشد. با این‌حال، سرعت پر شدن دانه و دوره مؤثر پرشدن دانه، به‌تنهایی نمی‌توانند عملکرد بالا را تضمین کند و باید سایر اجزای مؤثر در عملکرد را در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: ژنوتیپ، ضرایب همبستگی، عملکرد دانه، گزینش

مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) از مهم‌ترین غلات در سطح جهان و نیز در ایران به‌شمار می‌آید. با توجه به نقش این غله در تأمین نیاز غذایی افراد جامعه، اصلاح برای افزایش عملکرد دانه گندم می‌تواند نقش اساسی در تضمین امنیت غذایی داشته باشد (Alipour *et al.*, 2017). حـدود ۲۰ درصد از اراضی جهان بـه کشـت گندم اختصاص یافته است و بیشترین استفاده آن (نزدیـک بـه ۶۸ درصـد) بـرای تأمین غـذا است. میانگین رشد جهانی عملکرد گندم، فقـط ۰/۸ درصد در سال، در کشورهای اصلی تولیدکننده گنـدم است. گندم مورد نیاز برای تـأمین غـذا در سـال ۲۰۲۰ به ۱۴۵ میلیون تن رسید که شیب رشـد آن نسبت به دهه گذشته، آهسته‌تـر بـود

[DOI: 10.61186/jcb.16.3.25]

(FAO, 2020). در دنیا گندم در حدود ۲۲/۲۱۸ میلیون هکتار کشت می‌شود که مجموع تولید آن ۷۶۵/۵۳ میلیون تن در فصل زراعی ۲۰۱۹/۲۰۱۸ برآورد شده است (USDA, 2022). افزایش سریع جمعیت و تغییرات شدید آب‌وهوایی، امنیت جهانی غذا را تحت‌تأثیر داده است (Lesk *et al*., 2016). این گیاه اصلی‌ترین محصول زراعی است که به‌دلیل تنوع ژنتیکی بالا و سازگاری با محیط‌های مختلف، از تنوع بالایی برخوردار است (Jasemi *et al*., 2017).

حفظ و بهره‌گیری از تنوع ژنتیکی می‌تواند راهبرد مفیدی در فرآیند اصلاح گیاهان برای تحمل خشکی باشد. در این‌مورد یکی از روش‌های گزینش ارقام با عملکرد بالا، گزینش بر اساس صفات فیزیولوژیکی است (Moradi *et al*., 2010). بررسی روند رشد و پر شدن دانه و اثر آن بر وزن دانه از تحقیقات پایه‌ای در برنامه‌های مطالعات فیزیولوژی به‌شمار می‌رود. سرعت و دوره پرشدن دانه از صفات مؤثر بر عملکرد دانه هستند که تحت‌تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرند (Rahemi Karizaki., 2011).

در مناطق مدیترانه‌ای نظیر ایران که بارش‌ها معمولاً در اواسط فصل بهار به اتمام می‌رسد، وزن هزار دانه بیشتر از هر عامل دیگری تحت تأثیر کمبود رطوبت قرار می‌گیرد. وزن دانه یکی از اجزاء مهم عملکرد دانه گندم به‌شمار می‌رود و تحت تأثیر ساختار ژنتیکی گیاه، شرایط محیطی و اثرات متقابل آنها قرار می‌گیرد (Rahemi Karizaki *et al*., 2015). از عوامل محیطی مهم و مؤثر در عملکرد دانه فراهمی رطوبت است. بنابراین تأمین رطوبت کافی در اراضی دیم از طریق انجام آبیاری‌های تکمیلی کمک شایانی به ثبات تولید گندم در این مناطق می‌نماید. طبق گزارش امجدی و همکاران (Amjadi *et al*., 2019) عملکرد دانه گندم در برخی ارقام تحت شرایط دیم (بدون آبیاری)، تا پنجاه درصد نسبت به شرایط کاربرد آبیاری تکمیلی کاهش داشت. فرآیند پرشدن دانه تحت تأثیر دو عامل مهم؛ یعنی سرعت پرشدن و طول دوره پرشدن دانه قرار دارد (Brdar *et al*., 2008). سرعت پرشدن دانه صفتی است که می‌تواند در انتخاب ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی طی برنامه‌های اصلاحی استفاده گردد هرچند گزینش به این روش دشوار خواهد بود (Reynolds *et al*., 2012). سرعت پرشدن دانه بیانگر سرعت واکنش‌های بیوشیمیایی دخیل در سنتز نشاسته و پروتئین است، درحالی‌که طول دوره پرشدن دانه انعکاسی از فرایندهای نموّی دانه است. ظرفیت تجمع ماده خشک به‌وسیله دانه طی مرحله توسعه دانه، که از گلدهی تا ۲۰–۱۵ روز پس از آن است تعیین می‌شود (Papakosta & Gagianas, 1991).

فرآیند پر شدن دانه شامل سه مرحله است، در ابتدا وزن خشک دانه به آرامی و در یک مرحله تأخیری افزایش می‌یابد. سپس مرحله خطی پر شدن دانه شروع می‌شود، که افزایش حدود ۹۰ درصد از وزن خشک دانه در این مرحله صورت می‌گیرد. این مرحله را دوره مؤثر پر شدن دانه نیز می‌گویند. در آخر که دوره رسیدگی نامیده می‌شود ماده خشک دانه افزایش قابل‌توجهی پیدا نمی‌کند و در پایان این مرحله ارتباط گیاه مادری با دانه قطع می‌شود (Kafi *et al*., 2001). هرچند اندازه‌گیری برخی از این صفات به‌منظور انتخاب در جمعیت‌های بزرگ کاری سخت و پرزحمت است، اما به‌نظر می‌رسد که گزینش بر اساس صفاتی نظیر سرعت و دوره پرشدن دانه می‌تواند روشی مناسب برای ارزیابی فیزیولوژیکی باشد (Kheirkhah *et al*., 2004). از آن‌جایی که هدف نهایی به‌نژادگر افزایش عملکرد گیاهان زراعی است و بین سرعت و طول دوره پرشدن دانه با عملکرد و اجزای عملکرد روابط مستقیم وجود دارد، محققان می‌توانند از این روابط در انتخاب غیرمستقیم بهره‌برداری کنند (Moradi & Motamedi, 2010; Bradar *et al*., 2008). دستور و همکاران (Dastoor *et al*., 2014) با بررسی ۱۰ رقم گندم زراعی در دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش بیان کردند ارقامی که دوره پرشدن دانه کوتاهی دارند، دارای سرعت رشد دانه بیشتری در مقایسه با ارقام با دوره پرشدن دانه طولانی هستند. انتقال مجدد و سرعت رشد دانه می‌تواند راه مناسبی برای توسعه ارقام متحمل به خشکی برای مناطق خشک باشد (Valdes *et al*., 2019). از ویژگی‌های ارقام با عملکرد بالا، سرعت پر شدن دانه است و انتقال مجدد ذخایر ساقه به‌عنوان یکی از شاخص‌های تحمل به خشکی در نظر گرفته می‌شود (Li *et al*., 2020).

هدف از انجام این پژوهش ارزیابی تنوع ژنوتیپ‌های گندم نان از لحاظ عملکرد، سرعت و دوره پرشدن دانه و تعیین روابط همبستگی بین این صفات و نیز شناسایی ژنوتیپ‌های برتر است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۱۸ ژنوتیپ گندم نان به‌همراه دو رقم شاهد (جدول ۱) که از ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل تهیه شده بود، از نظر تحمل به تنش خشکی آخر فصل مورد مطالعه قرار گرفت. این بررسی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی آخر فصل در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل اجرا شد. این ایستگاه در ۱۲ کیلومتری جاده اردبیل به خلخال با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا و طول جغرافیایی 48^{o} و $20'$ و عرض جغرافیایی 38^{o} و $15'$ با اقلیم نیمه‌خشک و سرد با متوسط بارندگی ۳۱۰/۹ میلی‌متر و متوسط حداقل و حداکثر دمای سالانه ۱/۹۸– و ۱۵/۱۸ درجه سانتی‌گراد واقع شده است. خاک مزرعه مورد آزمایش جزو خاک‌های لومی‌رسی با وضعیت تهویه مطلوب بود (جدول ۲). در مزرعه هر کرت شامل ۴ خط ۳ متری، با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع بود. کشت در پاییز ۱۳۹۹ انجام شد و آبیاری در مرحله جوانه‌زنی به‌منظور رسیدن به سطح سبز یکنواخت در هر دو شرایط انجام شد. در شرایط تنش از مرحله گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک دانه آبیاری اعمال نشد در صورتی‌که در شرایط بدون تنش از زمان گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک در سه نوبت (اوایل گل‌دهی، اواسط دانه بستن و اواخر دانه بستن) آبیاری انجام گرفت. در این مطالعه صفات عملکرد دانه، سرعت پرشدن دانه، حداکثر وزن خشک دانه، طول دوره پر شدن دانه و دوره مؤثر پر شدن دانه طبق دستورالعمل‌های زیر اندازه‌گیری شدند.

[DOI: 10.61186/jcb.16.3.25]

جدول ۱- ژنوتیپ‌های گندم مورداستفاده در آزمایش و شجره آن‌ها

Table 1. Wheat genotypes used in the experiment and their genealogy

Pedigrees شجره نامه	Genotype number شماره ژنوتیپ
Zarrineh	G1
Heyran	G2
EVWYT2/Azd//Rsh*2/10120/3/ Yan7578.128//Chil/2*Star	G3
Charger/40817	G4
Zagross/Astet	G5
40653//CM67A.912/CMH76A.769	G6
Shpd/Guadalop//Zareh	G7
EVWYT2/Azd//Rsh*2/10120/4/ Ghk"s"/Bow"s"//90Zhong87/3/Shiroodi	G8
Spb"s"//K1349/Go/3/Vee"s"/4/Bkt/90-Zhong 87	G9
Ymh/Tob//Lira(BDME-G)/3/Gaspard/4/Shahriyar	G10
B1551-WH/KS94U326/3/F10S-1//STOZHER/KARL/4/F10S-1//STOZHER/KARL	G11
MV SED	G12
ART/KS990494-11-~O//KS06O3A~36	G13
ADAGIO	G14
PATWIN YR15/4/VORONA/HD2402/3/RSK/CA8055//CHAM6	G15
BABAX/LR42//BABAX*2/3/KURUKU/4/TX96V2427/5/KAUZ//ALTAR 84/AOS/3/F10S-1	G16
SAVALAN//KRC66/SERI/3/TORIK/4/2*F10S-1//STOZHER/KARL	G17
PRL/2*PASTOR//OVL/5/T67/JGR 'S'//K92/3/SNF/4/JGR 'S'//JGR 'S'/HBC059E	G18
FGMUT213	G19
AiII192	G20

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

Table 2. Physicochemical characteristics of the field soil

شوری Salinity (dS/m)	درصد آهک Lime%	درصد اشباع Saturation%	pH	درصد شن Sand%	درصد سیلت Silt%	درصد رس Clay%	بافت Texture
2.04	5	53	7.76	31	30	39	رسی لومی loamy clay
منگنز Mn (ppm)	مس Cu (ppm)	آهن Fe (ppm)	روی Zn (ppm)	پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium (ppm)	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus (ppm)	نیتروژن Nitrogen (ppm)	کربن آلی Organic Carbon%
4.27	8.56	2.52	2.32	594	2.2	0.08	0.858

عملکرد به‌صورت وزن دانه تمامی بوته‌های هر کرت پس از حذف اثر حاشیه بر حسب گرم توزین و به تن در هکتار تبدیل شد. برای تعیین سرعت رشد دانــه در فاصــله هــر چهار روز بعد از گرده‌افشانی یک‌بار سه سنبله یکنواخت از هر واحد آزمایشی به‌صورت تصــادفی برداشت، و پس از انتقال به آزمایشگاه نیام‌ها از سنبله‌ها و دانــه از نیــام جدا شدند. سپس دانه‌های حاصل به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد در داخــل آون خشک شدند. میانگین وزن خشک دانه برای هر رقم برای هر زمان مشخص به‌دست آمــد. با بررسی روند تغییرات وزن دانه، وزن نهایی دانه در زمان رسیدگی وزنی (زمانی‌که وزن خشک دانه ثابت یا تغییرات آن بسیار اندک است) مشخص شد. همچنین با توجه به اینکه بیشترین وزن خشک دانه طی مرحله رشد خطی تجمع می‌یابد؛ بنابراین، از طریق مدل خطی دو تکه‌ای رابطه میان وزن نهایی دانه با زمان برای رشد خطی دانه تعیین شد و براساس رابطه (۱) شیب‌خط رگرسیون به‌عنوان سرعت پر شدن دانه برآورد گردید.

$$b = \frac{\sum X_iY_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)/n}{\sum X_i^2 - (\sum x_i)^2/n} \qquad (۱)$$

در معادله بالا X_i، روزهای نمونه‌برداری، Y_i وزن دانه در هر نمونه‌برداری و n تعداد نمونه است. به‌منظور برآورد و تجزیه‌وتحلیل پارامترهای مربوط به پر شدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی (دوتکه‌ای) بر اساس رویه DUD و دستورالعمل Proc Nline نرم‌افزار SAS به‌صورت زیر استفاده شد.

$$GW \begin{cases} a + bt_0 & t < t_0 \\ a + bt & t \geq t_0 \end{cases} \qquad (۲)$$

در این رابطه GW وزن دانه، t روزهای پس از گلدهی و b شیب خط تا مرحله رسیدگی وزنی که نمایانگر سرعت پر شدن دانه است، t_0 پایان دوره پر شدن دانه و a عرض از مبدأ است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کند: مرحله اول که مرحله خطی پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t_0 که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است، به‌صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله ($t \geq t_0$) سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهد با پردازش این مدل برای کلیه داده‌ها ابتدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه یعنی سرعت پر شدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t_0) به‌دست آمده و سپس مقدار عددی t_0 در قسمت دوم رابطه قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه شد. برای تعیین دوره مؤثر پر شدن دانه از رابطه (۳) استفاده شد.

$$EFP = \frac{MGW}{b} \qquad (۳)$$

در این رابطه EFP دوره مؤثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و b سرعت پر شدن دانه است.

برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای IBM SPSS Statistics، SAS 9.1 و Excel اســتفاده شــد. بــرای مقایســه میانگین‌ها از روش چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید. ترسیم نقشه‌های حرارتی و انجام تجزیه خوشه‌ای در دو محیط دارای تنش و بدون تنش بر اساس روش Ward و فاصله اقلیدسی با استفاده از ابزار CIMMiner (https://discover.nci.nih.gov/cimminer) صورت گرفت. برای تعیین تعداد گروه‌ها از طریق تجزیه تابع تشخیص از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

[DOI: 10.61186/jcb.16.3.25]

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) صفات مورد ارزیابی نشان داد که بین محیط‌ها و ژنوتیپ‌ها از لحاظ صفات مورد ارزیابی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. اثر متقابل ژنوتیپ و محیط نیز برای کلیه صفات ذکر شده معنی‌دار بود (جدول ۳). معنی‌دار بودن اختلاف بین ژنوتیپ‌ها نشان دهنده تنوع ژنتیکی بین ارقام مورد مطالعه است. همچنین معنی‌دار بودن اثر متقابل نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در دو محیط بدون تنش و دارای تنش رفتار یکسانی نداشتند.

سرعت پر شدن دانه

برازش رگرسیونی تغییرات وزن دانه در ژنوتیپ‌های گندم مورد ارزیابی نشان داد که وزن دانه در ابتدا به‌صورت خطی افزایش یافت و پس از رسیدن به حداکثر خود تغییری نداشت. سرعت پرشدن دانه همه ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش خشکی کاهش پیدا کرد (جدول ۴). مطابق با این نتایج، دستور و همکاران (Dastoor *et al.* 2014) معنی‌دار بودن اثر تنش خشکی بر سرعت پر شدن دانه را در ارقام مختلف گندم گزارش کردند. رسیدگی وزنی (پایان پر شدن دانه) در شرایط تنش خشکی انتهای فصل در ۲۸ تا ۴۱ روز و در شرایط آبیاری کامل در ۳۰ تا ۴۳ روز بعد از گلدهی به‌دست آمد (جدول ۴). دو ژنوتیپ شماره ۳ و ۱۰ در هر دو محیط تنش و بدون تنش از بالاترین سرعت پر شدن دانه برخوردار بودند. همچنین ژنوتیپ شماره ۱۶ در هر دو شرایط وجود تنش خشکی انتهای فصل و شرایط آبیاری کامل، کمترین سرعت پر شدن دانه را به‌خود اختصاص داد (جدول ۴).

با افزایش سرعت پر شدن دانه، دوره مؤثر پر شدن دانه کاهش یافت به‌طوری‌که ژنوتیپ شماره ۳ با بیشترین سرعت پر شدن دانه، دارای کوتاه‌ترین دوره مؤثر پر شدن دانه و ژنوتیپ شماره ۱۶ با کمترین سرعت پر شدن دانه دارای دوره مؤثر پر شدن طولانی‌تری در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بود. شیب خط رگرسیونی نمایانگر سرعت پر شدن دانه و نقطه‌ای که در آن وزن دانه به حداکثر می‌رسد، نشان‌دهنده طول دوره پر شدن دانه است.

با توجه به اینکه ژنوتیپ شماره ۳ عملکرد نسبتاً بالایی در هر دو محیط تنش و بدون تنش داشت و همچنین این ژنوتیپ دارای دوره پرشدن دانه کوتاه‌تری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بود، می‌توان گفت که عملکرد بالای این ژنوتیپ از طریق سرعت بالای پر شدن دانه در دوره کوتاه‌تر مؤثر پرشدن دانه به‌دست آمده است (جدول ۴).

دوره مؤثر پر شدن و طول دوره پر شدن دانه

دوره مؤثر پر شدن دانه در محیط تنش نسبت به محیط بدون تنش کوتاه‌تر بود. بیشترین کاهش طول مؤثر پر شدن دانه در ژنوتیپ‌های شماره ۵ (۴/۴۴ روز) و ژنوتیپ ۸ (۳/۶۱ روز) مشاهده شد. ژنوتیپ شماره ۹ (۳۶/۹۱ روز) بیشترین طول مؤثر پر شدن دانه و ژنوتیپ شماره ۳ (۲۴/۴۶ روز) کمترین طول مؤثر پر شدن دانه در محیط دارای تنش داشتند و در محیط بدون تنش ژنوتیپ‌های ۵ (۳۸/۰۸ روز) و ۱۳ (۳۷/۲۹ روز) به‌طور مشترک بیشترین و ژنوتیپ ۳ (۲۵/۸۰ روز) کمترین طول مؤثر پر شدن دانه را داشت (جدول ۴).

ژنوتیپ شماره ۳ با سرعت پر شدن دانه بیشتر، دارای کمترین طول مؤثر پر شدن دانه در هر دو محیط است. این امر نشان می‌دهد بـا افزایش سرعت پر شدن دانه، دوره مؤثر پر شدن دانه کاهش یافته است. ژنوتیپ‌هایی که دوره مؤثر پر شدن دانه کوتاهی دارند، دارای سرعت پر شدن دانـه سریع‌تری هستند (Yarahmadi *et al*., 2020). در ایـن رابطـه اگلـی (Egli, 2017) بیان داشت که کاهش دوره مؤثر پر شدن دانه همراه با افزایش سرعت پرشدن دانه در شرایط تنش رطوبتی می‌تواند یـک پدیده جبرانی در گیاهان زراعی و عاملی مهم در ثابـت نگـه داشـتن عملکرد در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش باشد. اغلب به‌نژادگران در راستای افزایش عملکرد به‌طور ناخواسته دوره مؤثر پرشدن دانه را هم افزایش داده‌اند (Kumudini *et al*., 2001).

به‌طور میانگین طول دوره پر شدن دانه در محیط تنش (۳۴/۹۰ روز) نسبت به محیط بدون تنش (۳۷/۲۱ روز) کوتاه‌تر بود. بیشترین کاهش طول مؤثر پر شدن دانه در ژنوتیپ شماره ۵ (۵/۳۰ روز) مشاهده شد. در شرایط تنش ژنوتیپ‌های شماره ۱۴ (۴۱ روز) و ۱۲ (۴۰/۴۴ روز) و در شرایط بدون تنش ژنوتیپ شماره ۱۳ (۴۳/۲۱ روز) طولانی‌ترین طول دوره پر شدن دانه را داشت. ژنوتیپ شماره ۳ در هر دو شرایط تنش و بدون تنش کوتاه‌ترین دوره پر شدن دانه را به‌خود اختصاص داد (جدول ۴).

طول دوره پر شدن دانه همبستگی مثبت و بالایی (r=۰/۸۷) با دوره مؤثر پر شدن دانه داشت. ژنوتیپ‌هایی که طول دوره پر شدن دانه کوتاهی دارند، دارای سرعت پر شدن دانه بیشتری بودند.

پاک‌نژاد و همکاران (Paknejad *et al*., 2006) اظهار داشتند که تنش خشکی در طی مرحله پر شدن دانه با انتقال مواد از ساقه و برگ موجب تسریع پیری، کاهش طول دوره پر شدن دانه و کاهش وزن دانه می‌شود. اعتصامی (Etesami, 2007) در مطالعه‌ای روی ارقام جو بیان داشت که طول دوره پر شدن دانه در ژنوتیپ‌های جدید طولانی‌تر از ژنوتیپ‌های قدیمی می‌باشد، اما سرعت پر شدن دانه در طی اصلاح و تکامل ژنوتیپ‌ها بهبود کمتری داشته است.

حداکثر وزن خشک دانه

از نظـر حداکثر وزن خشک دانه، محیط دارای تـنش (میانگین ۳۸/۵۳ میلـی‌گـرم) نسبت به محیط بدون تنش (میانگین ۴۵/۷۳ میلی‌گرم) کاهش یافته بود (جدول ۴). با توجه به نتایج مربوط به طول دوره پر شدن دانه و دوره مؤثر پر شدن دانه و مقایسه آنها با نتایج به‌دست آمده در حداکثر وزن خشک دانه مشخص می‌گـردد کـه طول دوره پر شدن دانه و دوره مؤثر پر شدن دانه بـا وزن خشک دانه رابطه مستقیم دارد یعنی هر چقدر طول دوره پر شدن دانه و دوره مؤثر پر شدن دانه بیشتر باشد، حداکثر وزن خشک آن هم بیشتر خواهد شد (Yaghini *et al*., 2020).

ژنوتیـپ شـماره ۱۰ (۴۵/۱۳ میلی‌گرم) در محیط دارای تـنش و ژنوتیپ‌های ۵ (۵۳/۳۳ میلی‌گرم) و ۶ (۵۳/۱۷ میلی‌گرم) به‌طور مشترک در محیط بدون تنش دارای بیشترین وزن خشک دانه بودند. همچنین ژنوتیپ‌های شماره ۱۵، ۱۶، ۱۸ و ۱۹ به‌طور مشترک در هر دو محیط دارای تنش و بدون تنش کمترین وزن خشک دانه را داشتند (جدول ۴).

[DOI: 10.61186/jcb.16.3.25]

با توجه به این‌که از نظر عملکرد در محیط دارای تنش ژنوتیپ شماره ۲ و در محیط بدون تنش ژنوتیپ شماره ۳ بیشترین عملکرد دانه را داشـتند (جدول ۴)، بنابراین، حداکثر وزن خشک دانه به‌تنهایی نمی‌تواند متضمن عملکرد بالاتر در یک ژنوتیپ باشد و عوامل دیگری مثـل سرعت و دوره پرشدن دانه، تعداد دانه در سنبله و نیز تعداد پنجه در سنبله را باید در نظر گرفت (Yarahmadi *et al*., 2020).

عملکرد دانه

نتایج نشان داد که میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش (۵۹۵ گرم در مترمربع) در مقایسه با محیط بدون تنش (۷۶۸ گرم در متر مربع) کاهش قابل‌توجهی داشت (جدول ۴). همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تنش خشکی عملکرد دانه را به طور متوسط به مقدار ۱۷۳ گرم در متر مربع کاهش داده است. نتایج مشابهی توسط دستور و همکاران (Dastoor *et al*., 2014) ارائه شده است.

در محیط بدون تنش ژنوتیپ شماره ۳ (۸۷۸ گرم در متر مربع)، و در محیط دارای تنش ژنوتیپ ۲ (۶۵۰ گرم در متر مربع) بیشترین عملکرد دانه را در واحد سطح داشتند. کمترین عملکرد دانه در محیط بدون تنش مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۱۷ (۶۵۲ گرم در متر مربع)، ۱۸ (۶۵۷ گرم در متر مربع) و ۴ (۶۶۱ گرم در متر مربع) به طور مشترک بود و در محیط دارای تنش ژنوتیپ‌های ۸ (۵۳۴ گرم در متر مربع)، ۴ و ۹ (۵۳۸ گرم در متر مربع)، ۱۸ (۵۴۵ گرم در متر مربع)، ۵ (۵۴۶ گرم در متر مربع)، ۷ (۵۴۸ گرم در متر مربع)، ۱۷ (۵۵۹ گرم در متر مربع) و ۶ (۵۶۳ گرم در متر مربع) به طور مشترک کمترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۴).

علت کاهش عملکرد دانه در تنش خشکی بعد از گرده‌افشانی را می‌توان به پایین آمدن تعداد سنبله در واحد سطح مرتبط دانست (Alipour *et al*., 2020). تحقیقات مؤید آن است که به‌منظور دستیابی به عملکرد مطلوب در زراعت گندم، ضروری است که آب موردنیاز در مرحله گرده‌افشانی تأمین شود (Ahmadi Lahijani and Emam, 2013; Kakaei, 2023). اردکانی و همکاران (Ardakani *et al*., 2007) کاهش عملکرد ناشی از تنش خشکی را به کاهش سطح فتوسنتز کننده، افزایش انرژی مصرفی گیاه جهت جذب آب و بالا بردن غلظت شیره سلولی نسبت دادند. توکلی (Tavakoli, 2003) اظهار داشت که آبیاری تکمیلی اثر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد دانه گندم دارد.

همبستگی بین صفات

از مقایسه روابط بین صفات در دو محیط تنش و بـدون تـنش خـشکی مـی تـوان دریافت که شرایط محیطی تأثیر زیادی بر این روابط داشته و لذا تعیین شاخص‌های انتخاب مؤثر در بهبود عملکرد دانه برای هر محیط بایستی با توجه به شرایط آن صورت گیرد (Golparvar *et al*.,2008) .

یکی از رویکردهای مؤثر در اصلاح نباتات گزینش غیرمستقیم عملکرد دانه از طریق سایر صفات است. درک روابط پیچیده بین عملکرد و اجزای عملکرد و سایر صفات برای موفقیت در اصلاح و بهبود عملکرد می‌تواند مهم باشد (Saba *et al*., 2018). نتایج ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های مختلف گندم مورد آزمایش در دو محیط دارای تنش و بدون تنش نشان داد که بین سرعت و دوره مؤثر پر شدن دانه همبستگی منفی و معنی‌داری در محیط تنش (r=-۰/۳۵۵**) و محیط بدون تنش (r=-۰/۴۰۴**) وجود دارد. همبستگی منفی و معنی‌دار همچنین بین سرعت و طول دوره پر شدن دانه در محیط تنش (r = -۰/۲۶۸**) و بدون تنش (r = -۰/۲۷۲**) وجود داشت (جدول ۵). همبستگی منفی و معنی‌دار بین سرعت و دوره مؤثر پر شدن دانه توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Soughi *et al*., 2020; Dastour *et al*., 2014; Yarahmadi *et al*., 2020).

بین حداکثر وزن دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش و صفات دوره مؤثر پر شدن دانه و طول دوره پر شدن دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۵). همچنین همبستگی عملکرد دانه با سرعت پر شدن دانه مثبت و معنی‌دار و با دوره پر شدن دانه ناچیز و غیرمعنی‌دار بود (جدول ۵). این به معنی آن است که در شرایط تنش عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها عمدتاً تحت تأثیر سرعت پر شدن دانه است. به‌طور کلی می‌توان اظهار داشت اگرچه در شرایط بدون تنش سرعت پر شدن دانه با دوره مؤثر پر شدن دانه طولانی‌تر ممکن است از نظر تئوری برآیند مطلوب‌تری داشته باشند، اما با توجه به اهداف برنامه‌های به‌نژادی و گزینش ارقام زودرس و متحمل به تنش خشکی آخر فصل، سرعت پر شدن دانه با لحاظ نمودن شرایط محیطی مناطق خشک و نیمه‌خشک یک مزیت تلقی می‌گردد. افزایش سرعت پر شدن دانه می‌تواند کاهش عملکرد دانه را در شرایط دشوار که عمدتاً با کوتاه شدن دوره مؤثر پر شدن دانه همراه است، جبران نماید. علاوه بر آن با توجه به اینکه برخی محققین اظهار داشته‌اند که سرعت پر شدن دانه غالباً از ثبات ژنتیکی بیشتری برخوردار است بنابراین استفاده از این ویژگی در برنامه‌های اصلاحی قابل اعتمادتر است (Hosseinpour *et al*., 2007). همبستگی معنی‌دار بین سرعت پر شدن دانه و عملکرد دانـه توسـط دستور و همکاران (Dastoor *et al*., 2014) و راحمی و همکاران (Rahemi *et al*., 2015) نیز گزارش شده است.

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه روابط عملکرد، سرعت و دوره پر شدن دانه در گندم انجام شده است. از آنجایی‌که در کلیه این مطالعات سرعت پر شدن دانه یکی از عوامل تعیین کننده عملکرد در ارتباط با دوره پر شدن دانه است، این ارتباط می‌تواند یک راهکار برای به‌نژادگران در جهت رسیدن به حداکثر عملکرد باشد. از طرف دیگر زودرسی در مناطقی که در پایان فصل رشد با تنش خشکی روبرو هستند، بسیار مهم است. اما در اکثر اوقات زودرسی با کاهش عملکرد همراه است. با توجه به اینکه فرآیندهای دوره پر شدن دانه از اجزای مهم در رسیدگی دانه‌ها می‌باشند، انتخاب در جهت افزایش سرعت پر شدن دانه، راهی برای رسیدن به ارقام پر محصول و زودرس می‌باشد. سرعت پر شدن دانه بیشتر تحت تأثیر عوامل ژنتیکی (ژنوتیپ) است ولی در مورد طول دوره پر شدن دانه عوامل محیطی بیشتر تعیین‌کننده هستند (Brdar *et al*., 2006.). همچنین گزارش شده است که ژنوتیپ‌های گندم با سرعت بالای پر شدن دانه و طول دوره پر شدن دانه کوتاه می‌توانند،

[DOI: 10.61186/jcb.16.3.25]

عملکرد بالاتری در نواحی با دوره رشد کوتاه تولید کنند (Foulkes *et al.*, 2009). در اغلب مطالعات بین سرعت پر شدن دانه با وزن و عملکرد دانه همبستگی مثبت معنی‌داری گزارش شده است (Mojtabaei Zamani *et al.*, 2006؛ Dias and Lidon, 2009).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر محیط بر خصوصیات رشد و عملکرد لاین‌های مختلف گندم تحت شرایط تنش خشکی و بدون تنش

Table 3. Variance analysis of environment effect on growth characteristics and performance of different wheat lines under drought stress and non-stress conditions

Mean Squares میانگین مربعات						
عملکرد دانه Grain yield	حداکثر وزن خشک دانه Maximum dry weight of seeds	طول دوره پر شدن دانه grain filling period	دوره مؤثر پر شدن دانه Effective grain filling period	سرعت مؤثر پر شدن دانه Grain filling rate	درجه آزادی df	منابع تغییر Source of variation
899947**	1551.9617**	160.5560**	46.7544**	0.8444**	1	محیط Environment
379.01	1.8154	0.4482	0.346	0.0006	4	محیط × تکرار Replication (Evironment)
17475.23**	96.8008**	73.0317**	49.7656**	0.1358**	19	ژنوتیپ Genotype
4639.31**	6.3196**	3.4797**	4.5154**	0.0058**	19	ژنوتیپ × محیط Genotype (Environment)
267.02	0.9686	.5237	.6306	0.0002	76	خطا Error
12.40	2.34	2.01	2.41	1.15		ضریب تغییرات Coefficient of variation (٪)

*, **: Significant at the five percent probability level, and significant at the one percent probability level, respectively

جدول ۴- مقایسات میانگین بین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش

Table 4. Mean comparisons between genotypes under stress and non-stress conditions

Traits صفات						
عملکرد دانه Grain yield (gr/m^2)	حداکثر وزن خشک دانه Maximum dry weight of seeds (mg)	طول دوره پر شدن دانه grain filling period (day)	دوره مؤثر پر شدن دانه Effective grain filling period (day)	سرعت پر شدن دانه Grain filling rate (mg/day)	ژنوتیپ Genotype	محیط Environment
646 ab	40.00 ef	32.56 hi	30.23 j	1.3233 d	1	تنش خشکی Stressed
650 a	38.83 f	37.75 cd	35.52 b	1.0933 i	2	
596 d	36.03 gh	28.43 k	24.46 m	1.4733 b	3	
536 e	36.93 g	34.48 efg	32.12 gh	1.15 h	4	
546 e	43.17 bc	34.47 efg	33.64 def	1.2833 e	5	
563 e	44.53 ab	33.83 g	32.35 fgh	1.3767 c	6	
548 e	39.10 ef	37.44 d	33.75 def	1.16 gh	7	
534 e	40.70 de	35.04 efg	30.46 ij	1.3367 d	8	
538 e	42.07 cd	34.97 efg	36.91 a	1.14 h	9	
630 ab	45.13 a	31.83 i	29.57 jk	1.5267 a	10	
634 ab	35.83 gh	38.88 bc	34.90 bcd	1.0267 j	11	
617 bcd	40.70 de	40.94 a	35.39 bc	1.15h	12	
636 ab	39.67 ef	39.21 b	34.10 cde	1.1633gh	13	
627 abc	37.13 g	41.00 a	35.71 ab	1.04 j	14	
619 bcd	33.43 i	35.43 e	31.84 gh	1.05 j	15	
599 cd	32.87 i	35.20 ef	33.85 de	0.9713 k	16	
559 e	42.47 c	33.98 fg	31.69 hi	1.34 d	17	
545 e	33.73 i	29.05 jk	27.65 l	1.22 f	18	
643 ab	33.87 i	29.74 j	28.70 kl	1.18 g	19	
627 abc	34.47 hi	33.72 gh	33.14 efg	1.04 j	20	
595 b	38.53 b	34.90 b	32.30 b	1.20 b	میانگین Mean	
811 cd	48.77 bcd	34.50 ik	30.80 gh	1.5833 b	1	بدون تنش Non-stressed
828 bcd	43.42 h	37.72 fgh	33.83 ef	1.2833 hi	2	
878 a	43.43 h	30.51 m	25.80 i	1.6833 a	3	
661 h	46.70 ef	38.95 ef	35.29 bcde	1.3233 f	4	
745 e	53.33 a	39.77 de	38.08 a	1.4 de	5	
723 ef	53.17 a	36.77 hi	34.30 bcdef	1.55 c	6	
673 gh	50.30 b	40.98 bcd	35.50 bcd	1.4167 d	7	
726 e	47.23 de	38.89 ef	34.06 def	1.3867 e	8	
737 e	46.77 ef	35.86 i	35.79 b	1.3067 fgh	9	
853 ab	50.07 b	33.65 k	31.49 g	1.59 b	10	
821 cd	45.23 fg	41.11 bc	35.52 bcd	1.2733 ij	11	
854 ab	45.20 fg	40.50 cd	34.33 bcdef	1.3167 fg	12	
750 e	49.10 bc	43.21 a	37.29 a	1.3167 fg	13	
835 bc	44.20 gh	41.84 b	35.64 bc	1.24 k	14	
835 bc	39.30 j	38.19 fg	34.17 cdef	1.15 l	15	
822 cd	39.43 j	37.56 gh	34.91 bcde	1.13 l	16	
652 h	48.30 cde	34.23 k	30.63 gh	1.5767 b	17	
657 h	39.43 j	32.37 l	30.50 gh	1.2933 ghi	18	
697 fg	39.67 j	32.02 l	29.82 h	1.33 f	19	
801 d	41.47 i	35.59 ij	33.17 f	1.25 jk	20	
768 a	45.73 a	37.21 a	33.55 a	1.37 a	میانگین Mean	

Means with common letters in each column are not significantly different based on Duncan's test at the 5% probability level.

[DOI: 10.61186/jcb.16.3.25]

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات مورد ارزیابی در شرایط تنش خشکی (بالای قطر) و بدون تنش (زیر قطر)
Table 5. Correlation coefficients between assessed traits under drought stress conditions (above the diagonal) and without stress (below the diagonal)

GY	MAXW	GFR	GFP	EGFP	صفات Traits	محیط Environment
0.175	0.341**	-0.358**	0.861**	1	دوره مؤثر پر شدن دانه Effective grain filling period (day) (EGFP)	
0.306**	0.317**	-0.375**	1	0.870**	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period (GFP)	
0.308**	0.674**	1	-0.272**	-0.404**	سرعت پر شدن دانه Grain filling rate (GFR)	بدون تنش Non-stressed
0.476**	1	0.710**	0.379**	0.351**	حداکثر وزن خشک دانه Maximum dry weight of seeds (MAXW)	
1	0.444**	0.344**	0.305**	0.142	عملکرد دانه Grain yield (GY)	

*, **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

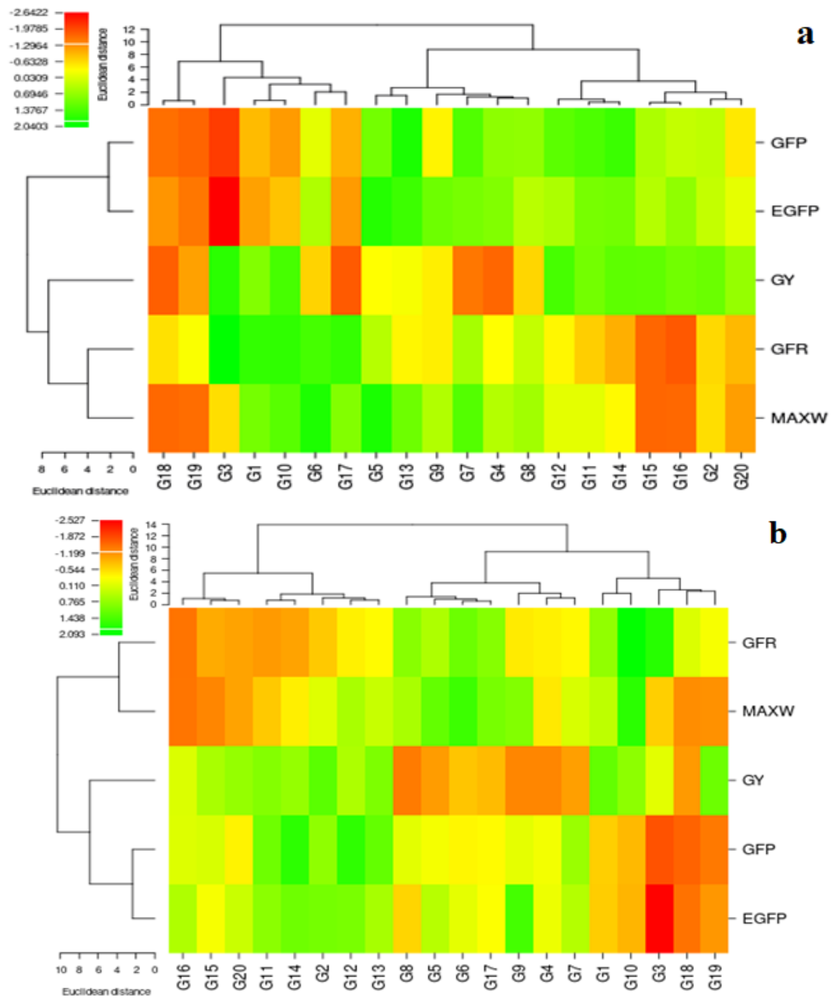
تجزیه خوشه‌ای

تجزیه خوشه‌ای و نقشه حرارتی توزیع ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات مورد مطالعه در محیط بدون تنش، ژنوتیپ‌ها را در چهار خوشه گروه‌بندی کرد (شکل ۱ a). ژنوتیپ‌های ۲۰، ۲، ۱۶، ۱۵، ۱۴، ۱۱ و ۱۲ در گروه اول قرار گرفت. اعضای این گروه از نظر صفات سرعت پر شدن دانه و حداکثر وزن دانه دارای مقادیر کمتر اما از نظر صفات طول دوره پر شدن دانه، دوره مؤثر پر شدن دانه و عملکرد دانه دارای مقادیر بیشتر بودند. می‌توان چنین استنباط کرد که مقدار بیشتر عملکرد این گروه از طریق طول دوره پر شدن دانه و دوره مؤثر پر شدن دانه به‌دست آمده است. در گروه دوم ژنوتیپ‌های ۸، ۴، ۷، ۹، ۱۳ و ۵ قرار گرفت. ژنوتیپ‌های این گروه هرچند از نظر طول و دوره مؤثر پر شدن دانه و حداکثر وزن دانه مقادیر بیشتری داشت ولی از نظر عملکرد و سرعت پر شدن دانه دارای مقادیر کمتر بودند. عملکرد پایین این گروه را می‌توان به‌سرعت پر شدن دانه پایین آن‌ها نسبت داد. گروه سوم شامل ژنوتیپ‌های ۱۷، ۶، ۱۰، ۱ و ۳ بود که دارای سرعت پر شدن دانه بیشتر با طول و دوره مؤثر پر شدن دانه کوتاه بودند. که با توجه به همبستگی منفی بین سرعت و دوره پر شدن دانه مورد انتظار بود، و در گروه چهارم ژنوتیپ‌های شماره ۱۸ و ۱۹ وجود داشت که از نظر صفات مورد ارزیابی دارای مقادیر کمتر بودند و جزو ژنوتیپ‌های ضعیف در محیط بدون تنش بودند.

نقشه حرارتی توزیع ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات مورد مطالعه در محیط دارای تنش، ژنوتیپ‌ها را در سه خوشه گروه‌بندی کرد (شکل b۱). ژنوتیپ‌های شماره ۱۹، ۱۸، ۳، ۱۰ و ۱ در گروه اول قرار داشتند که دارای طول و دوره مؤثر کوتاه با سرعت پر شدن بیشتر بودند که با توجه به عملکرد نسبی بهتر، این گروه مطلوب بود. گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های ۷، ۴، ۹، ۱۷، ۶، ۵ و ۸ بود که دارای مقادیر عملکرد دانه کمتر و دوره مؤثر پر شدن دانه کوتاه بودند و در نهایت در گروه سوم ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۲، ۲، ۱۴، ۱۱، ۲۰، ۱۵ و ۱۶ قرار داشتند که از نظر سرعت و حداکثر وزن دانه دارای مقادیر کمتر و از نظر طول و دوره مؤثر پر شدن دانه دارای مقادیر بیشتر بودند. اعضای این گروه دارای عملکرد نسبی خوب بودند که علت آن‌را می‌توان به طول و دوره مؤثر پر شدن طولانی نسبت داد. با توجه به اهمیت فرایندهای پر شدن دانه برای رسیدن به وزن مطلوب دانه، انتخاب برای افزایش سرعت پر شدن دانه و دوره مؤثر پر شدن طولانی می‌تواند منجر به تولید عملکرد بیشتر در شرایط تنشی شود.

در شرایط تنش، افزایش سرعت پر شدن به‌طور قابل‌توجهی دوره پر شدن را کاهش می‌دهد. این منجر به همبستگی منفی بین سرعت پر شدن دانه و عملکرد می‌شود. در حالی‌که دوره‌های پر شدن بذر طولانی‌تر ممکن است در شرایط بهینه مفید به‌نظر برسد، برای ارقام متحمل به تنش‌های محیطی، پر شدن سریع‌تر دانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مفید است. تسریع پر شدن دانه می‌تواند وزن دانه را در شرایط تنشی با کوتاه کردن دوره پر شدن و جبران صدمه به بذر کاهش دهد. عملکرد بذر در شرایط تنش نشان‌دهنده همبستگی مثبت با سرعت پر شدن و دوره پر شدن دانه است. این یافته با مطالعات محققان مختلف در مناطق نیمه‌خشک که در آن کاهش فتوسنتز گیاهی منجر به تجمع مواد بذر محدود می‌شود، مطابقت دارد (Hoseipour *et al.*, 2007). کاهش فتوسنتز به‌دلیل تنش‌های محیطی می‌تواند سرعت و مقدار ماده خشک تجمع یافته در دانه را کاهش دهد. با این‌حال، سازوکارهای جبرانی مانند توزیع مجدد مواد از اندام‌های رویشی به دانه می‌تواند تا حدی کاهش وزن دانه را جبران کند. در نهایت، سرعت انباشت مواد و دوره پر شدن دانه نقش مهمی در تعیین وزن نهایی دانه ایفا می‌کنند که هر دو تحت تأثیر ژنوتیپ و محیط هستند.

[DOI: 10.61186/jcb.16.3.25]



شکل ۱- نمودار نقشه حرارتی بر اساس صفات مورد ارزیابی a) در محیط بدون تنش خشکی، b) در محیط دارای تنش خشکی. دوره مؤثر پر شدن دانه (EGFP)، طول دوره پر شدن دانه (GFP)، سرعت پر شدن دانه (GFR)، حداکثر وزن خشک دانه (MAXW)، عملکرد دانه

Figure 1. Thermal map diagram based on evaluated traits a) without drought stress b) with drought stress. Effective grain filling period (day) (EGFP), Grain filling period (GFP), Grain filling rate (GFR), Maximum dry weight of seeds (MAXW), and Grain yield (GY)

نتیجه‌گیری

تنوع قابل‌توجهی از نظر صفات مورد بررسی در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مشاهده شد. مشخص گردید با بیشتر شدن سرعت پر شدن دانه، طول دوره پر شدن دانه و دوره مؤثر پر شدن دانه کاهش می‌یابد و طول و دوره مؤثر پر شدن دانه با وزن خشک دانه رابطه مستقیم دارد. میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش (۵۹۴ گرم در مترمربع) در مقایسه با محیط بدون تنش (۷۶۸ گرم در مترمربع) کاهش قابل‌توجهی داشت. در محیط دارای تنش ژنوتیپ شماره ۲ (۶۵۰ گرم در مترمربع) بیشترین عملکرد دانه را داشت. تنش خشکی آخر فصل از طریق کاهش سرعت و دوره پر شدن دانه، بر وزن نهایی دانه تأثیر منفی داشت و در نهایت عملکرد را کاهش داد. در چنین شرایطی انتخاب ژنوتیپ‌های با سرعت پرشدن دانه بیشتر، می‌تواند منجر به گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی باشد. با این‌حال، سرعت پر شدن دانه و دوره مؤثر پرشدن دانه، به‌تنهایی نمی‌تواند عملکرد بالا را تضمین کند و باید سایر اجزای مؤثر در عملکرد را در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در نظر گرفت.

References

Ahmadi Lahijani, M. J., & Emam, Y. (2013). Response of wheat genotypes to terminal drought stress using physiological indices. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, *3*(9), 163-176. http://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1392.3.9.13.6 [In Persian]

Alipour H, Abdi H, Bi Hamta M R. (2020). Assessment of growing degree-days values of phenological stages in Iranian bread wheat cultivars and landraces. *Journal of Crop Breeding*, *12*(34), 71-82. doi:10.29252/jcb.12.34.71 [In Persian].

Amjadi, H., Siosemardeh, A., & Hosseinpanahi, F. (2019). Evaluation of yield and yield components of wheat varieties under supplemental irrigation levels. *Journal of Plant Production and Genetics*, 1(1), 23-32. [In Persian]

[DOI: 10.61186/jcb.16.3.25]

Ardakani, M., Abbaszadeh, B., Sharifi Ashourabadi, E., Lebaschi, M., & Packnejad, F. (2007). The effect of water deficit on quantitative and qualitative characters of balm (*Melissa officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *23*(2), 251-261. [In Persian]

Alipour, H., Bihamta, M. R., Mohammadi, V., Peyghambari, S. A., Bai, G., & Zhang, G. (2017). Genotyping-by-sequencing (GBS) revealed molecular genetic diversity of Iranian wheat landraces and cultivars. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 1293. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01293

Brdar, M., Kobiljski, B., & Balalić-Kraljević, M. (2006). Grain filling parameters and yield components in wheat. *Genetika-Belgrade*, *38*(3), 175-181. http://dx.doi.org/10.2298/GENSR0603175B

Brdar, M.D., Marija, M., Kraljevic, B., & Borislav, D. (2008). The parameters of grain filling and yield components in common wheat (*Triticum aestivum* L.).and durum wheat (*Triticum turgidum* L. Var. Durum). *Central European Journal of Biology*, 3(1), 75-82.

Dastour, A., Asghari, R., & Shahbazi, H. (2014). Evaluation of yield and grain filling rate of wheat lines in two conditions without stress and drought stress after pollination. *Journal of Agroecology*, *6*(3), 561-570. [In Persian]

Dias, A. S., & Lidon, F. C. (2009). Evaluation of grain filling rate and duration in bread and durum wheat, under heat stress after anthesis. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *195*(2), 137-147. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2008.00347.x

Egli, D.B. (2017). *Seed Biology and the Yield of Grain Crops*. CAB International. UK. pp. 149.

Etesami, M. (2007). *Evaluation of the effect of some morphophysiological traits on yield of (Hordeum vulgar) barely genotypes* (Doctoral dissertation, M. Sc. Thesis in Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,108. [In Persian]

FAO. 2020. FAOSTAT agriculture. Food and Agriculture Organization of United Nations. Retrieved Available 9, 2020, from http://www.fao.org/ world food situation/ csdb/en/.

Foulkes, M.J., Reynolds, M.P., & Sylvester-Bradley, R. 2009. Genetic improvement of grain crops: yield potential. In: Sadras, V.O., Calderini, D.F. (Eds), *Crop Physiology Applications for Genetic Improvement and Agronomy*. Academic Press, Amsterdam, pp. 355–386.

Golparvar, A., Madani, H., & Rasouli, M. (2008). Relationship between yield and its components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes in drought and non-drought stress conditions. *New Finding in Agriculture*, *2*(6), 151-159.

Hosseinpour, T., Rafiei, M., Siadat, A., Mamgbani, R., & Fathee, G. (2007). Study on the grain-filling rate and grain-filling period of wheat genotypes under rainfed conditions in the kohdasht of Lorestan. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, *13*, 66-77. https://sid.ir/paper/9665/en

Jasemi, S., Naghipour, F., Sanjani, S., Esfandyaripour, A., Khorsandi, H., & Najafian, G. (2017). Evaluation of quality properties of four bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in wheat producing provinces of Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *19*(2), 102-115. [In Persian]

Kafi, M., Kamkar, B., & Mahdavi Damghani, A. M. (2001). Biology of grain and grain crop yield (translation). Mashhad Ferdowsi University Publication. 550 p (In Persian).

Kakaei M. (2023). Selection of old and new varieties of bread wheat tolerant to drought stress after the flowering Stage. *Journal of Crop Breeding*, *15*(46), 189-197. http://dorl.net/dor/20.1001.1.22286128.1402.15.46.18.6 [In Persian]

Kheirkhah, M., Honarnejad, R., Esfahani, M., and Golipour. M. (2004). Relationships between rate and duration of grain filling and yield, and yield components of different rice cultivars at three sowing dates. *Research Journal of Agricultural Science*, 1(2), 36-40.

Kumudini, S., Hume, D. J., & Chu, G. (2001). Genetic improvement in short season soybeans: I. Dry matter accumulation, partitioning, and leaf area duration. *Crop Science*, *41*(2), 391-398.

Lesk, C., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Journal of Nature*, *529*(7584), 84-87.

Li, M., Liu, Y., Ma, J., Zhang, P., Wang, C., Su, J., & Yang, D. (2020). Genetic dissection of stem WSC accumulation and remobilization in wheat (*Triticum aestivum* L.) under terminal drought stress. *BMC Genetics*, *21*(1), 1-14.

Mojtabaei Zamani, M., Esfahani, M., Honarnejad, R., & Allagholipor, M. (2006). Investigating the rate and filling period correlation with yield component and other physiological parameter in rice cultivars. *Journal of Science Technology of Agriculture and Natural Resources*, *10*, 213-224.

Moradi, M., SoltaniHoveize, M., & Motamedi, M. (2010). Path analysis of yield and related traits in some wheat varieties. *Research Quarterly Journal of Crop Physiology*, 101-107.

Papakosta, D.K., &Gagianas, A.A. (1991). Nitrogen and dry matter accumulation, remohilization, and losses for Mediterranean wheat during grain filling. *Agronomy Journal*, 83, 864-870.

Rahemi Karizaki, A. (2011). Investigation of the changes of physiological and morphological traits associated with wheat (*Triticum aestivum* L.) yield. A Thesis Ph. D, *Sciences and Natural Resources Gorgan University Agricultural. 104p*.

Rahmi Karizki A., Galshi, S., & Soltani, A. (2015). Evaluation of improvement of grain filling rate and period during breeding processes in wheat cultivars. *Journal of Plant Production Research*, 22(1), 23-38. [In Persian]

[DOI: 10.61186/jcb.16.3.25]

Rahemi, A., Galeshi, S., & Soltani, A. (2015). Evaluation of improvement of rate and duration of grain filling duration inbreeding processes in wheat cultivars. *Journal of Plant Production Research*, *22*(1), 23-37 https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222050.1394.22.1.2.9. [In Persian]
Reynolds, M.P., Pask, A., & Mullan, D. (2012). Physiological Breeding I: Interdisciplinary Approaches to Improve Crop Adaptation. Mexico, CIMMYT. Fisher, R. A., Maurrer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars; Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 897-903
Saba, J., Tavana, S., Qorbanian, Z., Shadan, E., Shekari, F., & Jabbari, F. (2018). Canonical correlation analysis to determine the best traits for indirect improvement of wheat grain yield under terminal drought stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *20*(5), 1037-1048. http://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2018.20.5.10.0
Soughi, H. A., Feyzbakhsh, M. T., & Rrezvantalab, N. (2020). Evaluation of Yield and Grain Filling Rate of Bread Wheat Promising Lines (*Triticum aestivum* L.) to Growth Degree Days (GDD). *Crop Science Research in Arid Regions*, 2(1), 97-111. https://dorl.net/dor/20.1001.1.2423611.1399.2.1.10.2 [In Persian]
Tavakoli, A. (2003). Effect of supplementary irrigation and nitrogen on yield and yield of wheat in Sabalan cultivar. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *19*(3), 367-380.
United States Department of Agriculture. (2022). World Agricultural Production and Global Market Analysis.
Valdés Valdés, C., Estrada Campuzano, G., Domínguez López, A., Martínez Rueda, C. G., & Morales-Rosales, E. J. (2019). Variability in soluble carbohydrates of the stem and its contribution to grain yield in wheat. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *10*(3), 615-627. https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1540
Yaghini, F., Seyedsharifi, R., & Narimani, H. (2020). Effects of supplemental irrigation and biofertilizers on yield, chlorophyll content, rate and period of grain filling of rainfed wheat. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *18*(1), 101-109. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20081472.1399.18.1.8.3 [In Persian]
Yarahmadi, S., Nematzade, G., Sabouri, H., & Najafi Zarrini, H. (2020). The importance of agro-morphological traits in supplementary irrigation conditions as selection criteria for spring wheat improvement. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *51*(4), 25-37. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20084811.1399.51.4.3.8 [In Persian]

[DOI: 10.61186/jcb.16.3.25]