University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 12, No. 1, Spring 2022 (21-44)
doi: 10.22124/CR.2023.22480.1730
pISSN: 2252-0163 eISSN: 2538-6115

RESEARCH PAPER OPEN ACCESS

# Evaluation of morpho-physiological diversity of durum wheat genotypes under rainfed condition

**Amin Ahmadirad[1], Reza Mohammadi[2*], Alireza Etminan[3*], Lia Shooshtari[4] and Ali Mehras Mehrabi[4]**

1. Ph.D. Student, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran
2. Research Associate Professor, Dryland Agricultural Research Institute, Sararood Branch, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran (*Corresponding author: r.mohammadi@areeo.ac.ir)
3. Associate Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran (*Corresponding author: alietminan55@yahoo.com)
4. Assistant Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran

## Comprehensive abstract

### Introduction

Knowledge of the amount of genetic diversity in germplasms provides valuable information for the preservation of genetic resources and their use. The aim of this study was to evaluate the diversity of durum wheat genotypes based on morpho-physiological traits and to investigate the interrelationships between traits using the genotype-by-trait biplot (GT-biplot) method.

### Materials and methods

In this study, 124 durum wheat genotypes including 120 breeding lines received from CIMMYT along with 4 check genotypes (Saji, Zahab, Imren and SRN-1\..) with six replications were examined based on an augmented desgin during two cropping years (2017-18 and 2018-19) in the Dryland Agricultural Research Sub-Institute (Sararood Station), Kermanshah, Iran. Genotypes were evaluated based on 22 morpho-physiological traits. Analysis of variance and mean comparison based on the best linear unbaised estimator (BLUE) approach were performed for the studied traits. Heatmap-based correlation analysis was to study the correlation between the studied traits, and the GT-biplot analysis was used to investigate the relationships of traits and determine the morpho-physiological characteristics of the genotypes.

### Research findings

The results of this experiment showed that there was a significant difference between the studied genotypes in terms of the studied traits under rainfed conditions, which indicates a significant genetic diversity in the studied genotypes. Based on GT-biplot analysis method in two years, the studied traits and genotypes were divided into five and eight groups, respectively. Based on the results of correlation analysis and GT-bipot analysis, number of spikes per unit area, plant height, stomatal conductance, biological yield, external peduncle length, spike length, number of days to heading, harvest index and peduncle length were identified as most important traits affecting grain yield under rainfed conditions. In total, based on the results of the selection indices, a number of the studied durum wheat breeding lines in this experiment were selected as the most promising and high-yielding lines for cultivation under rainfed conditions.

## Conclusion

The results of this study led to identify a number of durum wheat breeding lines with agro-physiological characteristics superior to the check cultivars, which can be recommended for use in the future durum wheat breeding program to improve drought tolerance and produce optimal yield under rainfed conditions. In total, breeding lines 119, 106, 117, 104, 121, 115, 109, 118, 98, 49 and 124 are introduced as the ideal genotypes under rainfed conditions.

**Keywords:** Agro-physiological traits, Correlation analysis, Genetic diversity, GT-biplot

Received: January 12, 2022 Accepted: May 7, 2022

**Cite this article:**

**Ahmadirad, A., Mohammad, R., Etminan, A.R., Shooshtari, L. and Mehrabi, A.M. 2022.** Evaluation of morpho-physiological diversity of durum wheat genotypes under rainfed condition. **Cereal Research** 12 (1): 21-44.

تحقیقات غلات
دوره دوازدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۱ (۴۴-۲۱)
doi: 10.22124/CR.2023.22480.1730

مقاله پژوهشی
دسترسی آزاد

# ارزیابی مورفو-فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های گندم دوروم در شرایط دیم

**امین احمدی‌راد[۱]، رضا محمدی[۲*]، علیرضا اطمینان[۳*]، لیا شوشتری[۴] و علی‌مهراس مهرابی[۴]**

۱- دانشجوی دکتری، گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران
۲- دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، معاونت سرارود، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران (* نویسنده مسئول: r.mohammadi@areeo.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران (* نویسنده مسئول: alietminan55@yahoo.com)
۴- استادیار، گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

## چکیده جامع

**مقدمه:** آگاهی از میزان تنوع ژنتیکی در ژرم‌پلاسم‌ها اطلاعات ارزشمندی را در جهت حفظ منابع ژنتیکی و کاربرد آنها در اختیار به‌نژادگر قرار می‌دهد. این تحقیق با هدف ارزیابی تنوع ژنوتیپ‌های گندم دوروم بر اساس صفات آگرو-فیزیولوژیک و بررسی روابط متقابل بین صفات و شناسایی ژنوتیپ‌های با ویژگی‌های مطلوب با استفاده از روش بای‌پلات ژنوتیپ در صفت انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** در این تحقیق ۱۲۴ ژنوتیپ گندم دوروم شامل ۱۲۰ لاین اصلاحی دریافتی از سیمیت به‌همراه چهار ژنوتیپ شاهد گندم دوروم (ساجی، ذهاب، ایمرن و لاین پیشرفته SRN-1/...) بر اساس ۲۲ صفت مورفو-فیزیولوژیک در قالب طرح حجیم شده (آگمنت) طی دو سال زراعی (۱۳۹۶-۹۷ و ۹۸-۱۳۹۷) در معاونت موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور (ایستگاه سرارود) مورد بررسی قرار گرفتند. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های مبتنی بر بهترین برآوردگر خطی ناریب (BLUE) برای صفات مورد مطالعه انجام شد. همچنین، از روش نمودار دمایی برای ارزیابی ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه و از روش تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ در صفت (GT-biplot) برای بررسی روابط بین صفات و تعیین ویژگی‌های مورفو-فیزیولوژیک ژنوتیپ‌ها استفاده شد.

**یافته‌های تحقیق:** نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که اختلاف آماری معنی‌داری بین ژنوتیپ‌هایمورد مطالعه از لحاظ صفات بررسی شده در شرایط دیم وجود داشت که بیانگر تنوع ژنتیکی قابل توجه بین ژنوتیپ‌ها می‌باشد. بر اساس روش تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ در صفت در دو سال آزمایش، صفات اندازه‌گیری شده در پنج گروه و ژنوتیپ‌ها در هشت گروه قرار گرفتند. بر اساس نتایج تجزیه همبستگی و نتایج تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ در صفت، صفات تعداد سنبله در واحد سطح، ارتفاع بوته، هدایت روزنه‌ای، عملکرد زیست‌توده، طول پدانکل خارجی، طول سنبله، تعداد روز تا گلدهی، شاخص برداشت و طول پدانکل به‌عنوان مهم‌ترین صفات موثر بر عملکرد دانه در شرایط دیم شناسایی شدند. در مجموع بر اساس نتایج حاصل از شاخص‌های انتخاب، تعدادی از لاین‌های مورد مطالعه در این آزمایش به‌عنوان لاین‌های امیدبخش برتر و پرمحصول به‌منظور کشت در شرایط دیم انتخاب شدند.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این تحقیق منجر به شناسایی تعدادی از لاین‌های اصلاحی گندم دوروم با ویژگی‌های آگروفیزیولوژیک برتر از ارقام شاهد شد که به‌منظور بهبود تحمل به خشکی و تولید عملکرد مطلوب در شرایط دیم می‌توانند برای استفاده در برنامه اصلاحی گندم دوروم در آینده توصیه شوند. در کل از بین لاین‌های مطالعه شده در این آزمایش، لاین‌های اصلاحی شماره ۱۱۹، ۱۰۶، ۱۱۷، ۱۰۴، ۱۲۱، ۱۱۵، ۱۰۹، ۱۱۸، ۹۸، ۴۹ و ۱۲۴ به‌عنوان ژنوتیپ‌های ایده‌آل در شرایط دیم معرفی می‌شوند.

**واژه‌های کلیدی:** بای‌پلات ژنوتیپ x صفت، تجزیه همبستگی، تنوع ژنتیکی، صفات آگرو-فیزیولوژیک

---

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۷

**نحوه استناد به این مقاله:**

**احمدی‌راد، امین، محمدی، رضا، اطمینان، علیرضا، شوشتری، لیا و مهرابی، علی‌مهراس. ۱۴۰۱.** ارزیابی مورفو- فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های گندم دوروم در شرایط دیم. **تحقیقات غلات** ۱۲ (۱): ۴۴-۲۱.

**مقدمه**

گندم دوروم (*Tritium turgidum* L. ssp. durum) دومین گونه زراعی مهم گندم و دهمین محصول مهم زراعی در دنیا است و تنها گونه تتراپلوئید گندم با اهمیت تجاری و سطح کشت وسیع می‌باشد. گندم دوروم یک غله مهم برای کشاورزی و اقتصاد کشورهای مدیترانه است که به‌علت ارزش غذایی و اقتصادی محصول و سازگاری با نواحی کم‌بارش و نیمه‌خشک مورد توجه می‌باشد (Habash *et al*., 2009). گندم دوروم حدود ۸-۵ درصد سطح زیر کشت گندم را شامل می‌شود و تولید سالانه آن حدود ۳۷ تا ۴۰ میلیون تن است. کشورهای حوزه مدیترانه بزرگ‌ترین تولیدکنندگان گندم دوروم در جهان و بزرگ‌ترین مصرف کنندگان محصولات گندم دوروم (پاستا، ماکارونی، فریکه، کوسکوس، ورمیشل، ...) هستند (Royo *et al*., 2020).

تغییرات سالانه در میزان و توزیع بارندگی که باعث تغییر و ناپایداری در تولید در شرایط دیم می‌شود، یکی از مهم‌ترین چالش‌های تولید پایدار در دیم‌زارها می‌باشد. ایجاد تنوع ژنتیکی در راستای افزایش پایه ژنتیکی عملکرد دانه و سایر صفات مهم زراعی و نیز افزایش مقاومت به تنش‌های مهم محیطی و زیستی از مهم‌ترین مراحل پیشبرد و اصلاح پویا در برنامه‌های به‌نژادی هر گونه زراعی از جمله گندم دوروم است. این صفات شامل صفاتی است که یا مستقیماً با عملکرد در ارتباط هستند (عملکرد و صفات وابسته به آن) و یا باعث پایداری عملکرد می‌شوند و تولید عملکرد قابل اطمینان را تضمین می‌کنند (Mohammadi *et al*., 2010). آگاهی از میزان تنوع و فاصله ژنتیکی بین افراد، در اصلاح نباتات از اهمیت بالایی برخوردار است و تنوع ژنتیکی از ارکان اصلی کشاورزی پایدار محسوب می‌شود. بیش‌تر به‌نژادگران معتقد هستند که کمبود تنوع ژنتیکی، پیشرفت‌های اصلاحی را در آینده مختل می‌کند (Rajaram *et al*., 1994). ارزیابی تنوع ژنتیکی در گیاهان زراعی برای برنامه‌های اصلاح نباتات و حفاظت از ذخایر توارثی کاربرد حیاتی دارد. اهمیت استراتژیک گندم و تنوع ژنتیکی آن موجب شده است تا از دیرباز و هر ساله تحقیقات وسیعی در مراکز تحقیقات داخلی و بین‌المللی کشورهای مختلف دنیا جهت پاسخگویی به نیازهای فزاینده جمعیت در حال افزایش جهان انجام گیرد. از آن جمله می‌توان به برنامه‌های به‌نژادی مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی در مناطق خشک (ایکاردا) و موسسه تحقیقات بین‌المللی سیمیت اشاره کرد. راجرام و همکاران (Rajaram *et al*., 2004) گزارش کردند که در نتیجه فعالیت‌های به‌نژادی و اصلاح گندم در موسسه تحقیقات بین‌المللی سیمیت، عملکرد دانه ارقام گندم تولید شده جدید این موسسه در مقایسه با ارقام معرفی شده دهه ۱۹۵۰، افزایش چشم‌گیری داشته است.

نقوی و همکاران (Naghavi *et al*., 2002) در بررسی تنوع ژنتیکی ۱۰۸ ژنوتیپ گندم دوروم مربوط به کشورهای مکزیک، ایتالیا و ترکیه، صفات مختلفی را ارزیابی و بیان کردند که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر اکثر صفات مورد بررسی اختلاف معنی‌داری نشان دادند. بررسی تنوع ژنتیکی گندم دوروم موجود در بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر توسط کاویانی و همکاران (Kaviani *et al*., 2014)، منجر به گزینش ۱۲۰ لاین برتر این آزمایش شد. نتایج این تحقیق مشخص کرد که مواد ژنتیکی موجود در مجموعه گندم دوروم منابع ارزشمندی هستند که علاوه بر داشتن صفات جدید، تنوع بالایی را به‌منظور اصلاح و تولید ارقام گندم دوروم برای به‌نژادگران فراهم می‌کند. چالیش و هوشمند (Chalish and Houshmand, 2011) با انجام آزمایشی روی تعدادی از ژنوتیپ‌های گندم دوروم، گزارش کردند که صفات شاخص برداشت و تعداد دانه در بوته دارای بالاترین همبستگی مثبت با عملکرد دانه بودند. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al*., 2019) در بررسی عملکرد دانه و ویژگی‌های زراعی-فیزیولوژیک تعدادی از ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم نان همبستگی شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی با عملکرد دانه، وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله را مثبت و معنی‌دار و با دمای پوشش گیاهی منفی و معنی‌دار گزارش کردند.

به‌نژادگران همواره به‌دنبال معیارهایی هستند که بتوانند از طریق آنها یک انتخاب جامع از نظر صفاتی که مطالعه می‌کنند را داشته باشند و در نهایت باعث بهبود عملکرد دانه در شرایط تنش شوند. معیارهای زراعی و فیزیولوژیک در دستیابی به این اهداف نقش مهمی دارند (Lopes *et al*., 2015; del Pozo *et al*., 2016; Roy *et al*., 2021). شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب بر اساس عملکرد دانه و سایر صفات مورد بررسی یکی از اهداف مهم اصلاح نباتات است. شناسایی ارتباط صفات زراعی با عملکرد دانه به‌عنوان یک صفت اقتصادی می‌تواند نقش

مهمی در گزینش لاین‌های برتر داشته باشد. جهت شناسایی چنین صفاتی روش آماری مختلفی از قبیل تجزیه همبستگی، تجزیه رگرسیون چندگانه، تجزیه علیت و ... وجود دارد که همگی در یک نقص کلی با هم مشترک هستند و قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب از لحاظ مجموعه‌ای از صفات نیستند. یان و راجکن (Yan and Rajcan, 2002) با معرفی مدل بای‌پلات ژنوتیپ در صفت (GT-biplot) روشی را برای شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب در داده‌های دو طرفه ژنوتیپ در صفت معرفی کردند که با استفاده از آن می‌توان به‌صورت گرافیکی، روابط بین پروفایل ویژگی‌های زراعی-فیزیولوژیک ژنوتیپ‌ها و صفات مورد بررسی را شناسایی کرد. از این روش برای بررسی روابط متقابل بین صفات مورد بررسی و نیز ارزیابی، مقایسه و انتخاب ژنوتیپ‌های مختلف در گندم نان (Kilic *et al*., 2017)، گندم دوروم (Mohammadi *et al*., 2010)، یولاف (Peterson *et al*., 2005)، سویا (Yan and Rajcan, 2002) و سایر محصولات استفاده شده است. علاوه بر این، در طرح‌های حجیم با تعداد ژنوتیپ زیاد، استفاده از روش‌های آماری قوی برای پیش‌بینی دقیق مقادیر ژنوتیپی بایستی مورد توجه به‌نژادگران قرار گیرد. استفاده از روش‌های آماری مناسب برای انتخاب ژنوتیپ پرمحصول در شرایط محیطی مختلف برای برنامه‌های اصلاحی ضروری است. استفاده از روش‌های استاندارد بهترین پیش‌بینی خطی ناریب (BLUP) و بهترین برآوردگر خطی ناریب (BLUE) به‌ترتیب برای تخمین اثرات تصادفی و ثابت ژنوتیپ‌ها در مدل‌های مختلط باعث کاهش میزان اریبی برآوردهای ژنوتیپی برای صفات مورد بررسی می‌شوند (Alvarado *et al*., 2020). استفاده از روش‌های BLUP و BLUE برای انتخاب ژنوتیپ‌ها در مراحل پیشرفته در گیاهان زراعی مختلف مورد تاکید قرار گرفته است (Purba *et al*. 2001; Ferreira *et al*., 2008; Bernardo, 2020). استفاده از بهترین برآوردگر خطی ناریب در مواردی که داده‌ها متعادل و دارای تکرار مساوی باشند، طرح آزمایش به‌صورت بلوک‌های ناقص اجرا شده باشد و مواد ژنتیکی در مراحل پیشرفته اصلاحی با ارقام شاهد مقایسه می‌شوند، بیش‌تر توصیه شده است (Mackay, 2020).

هدف از اجرای این تحقیق، ارزیابی لاین‌های اصلاحی گندم دوروم از نظر ویژگی‌های مورفو- فیزیولوژیک و تعیین صفات موثر بر عملکرد دانه در شرایط دیم با استفاده از تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ در صفت (GT-biplot) بود.

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش، ۱۲۴ ژنوتیپ گندم دوروم (جدول پیوست) شامل ۱۲۰ لاین اصلاحی گندم دوروم دریافتی از سیمیت به‌همراه چهار ژنوتیپ شاهد گندم دوروم (ساجی، ذهاب، ایمرن و لاین پیشرفته .../SRN-1) طی دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در معاونت موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور (ایستگاه سرارود) مورد بررسی قرار گرفت. لاین‌های اصلاحی مورد مطالعه در قالب طرح حجیم (آگمنت) به‌صورت سیستماتیک کشت و ارزیابی شدند و جهت برآورد خطای آزمایشی، از چهار ژنوتیپ شاهد در قالب طرح بلوکی با شش تکرار استفاده شد. بر اساس مدل طرح آگمنت (Federer and Raghavarao, 1975)، در طرح‌های حجیم می‌توان با استفاده از شاهدها و تکرار آنها در آزمایش، ارزش اصلاحی ژنوتیپ‌ها را به‌صورت دقیق برآورده کرد. برای کشت از زمینی که سال قبل به‌صورت آیش بود، استفاده شد و هر ژنوتیپ در شش ردیف سه متری با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متری با استفاده از بذرکار آزمایشی وینتراشتاینگر کشت و صفات مورد مطالعه در زمان مناسب، اندازه‌گیری شدند. صفات ارزیابی شده در این آزمایش، ۲۲ صفت مختلف زراعی، فنولوژیک و فیزیولوژیک شامل سرعت رشد اولیه، میزان آب نسبی از دست رفته برگ، تعداد روز تا گلدهی، محتوای آب نسبی برگ (RWC)، سبزینگی برگ (عدد کلروفیل‌متر) (SPAD)، دمای پوشش گیاهی، هدایت روزنه‌ای، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع بوته، طول سنبله، طول پدانکل (فاصله بالاترین گره ساقه تا پایه سنبله)، طول پدانکل خارجی (فاصله محل خروج برگ پرچم تا پایه سنبله)، طول برگ پرچم، وزن هزار دانه، تعداد کل پنجه در متر مربع، تعداد ساقه‌های خوشه‌دار (سنبله) در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، عملکرد کاه و شاخص برداشت بود.

برای اندازه‌گیری میزان آب نسبی از دست رفته (RWL) از هر ژنوتیپ در هر تکرار در مرحله چکمه‌ای شدن (زیداکس ۴۰)، پنج برگ پرچم به‌طور تصادفی انتخاب و بلافاصله وزن شدند. نمونه‌های توزین شده بلافاصله به‌مدت دو ساعت در دمای۳۰ درجه سلسیسوس

قرار داده شدند تا وزن برگ در حالت پژمردگی به‌دست آید. برای به‌دست آوردن وزن خشک نیز نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیسوس در آون قرار گرفتند. میزان آب از دست رفته بر حسب گرم آب از دست رفته در دو ساعت از طریق رابطه (۱) محاسبه شد (Yang *et al.*, 1991):

$$RWL = \frac{(W1-W2)/W3}{(T2-T1)/60} \quad (۱)$$

در این رابطه، T1 و T2 به‌ترتیب زمان لازم (ساعت) برای رسیدن برگ به وزن پژمردگی و وزن خشک و W1، و W2 و W3 به‌ترتیب وزن تر، پژمرده و خشک بر حسب گرم هستند.

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای آب نسبی برگ (RWC)، پنج برگ پرچم تصادفی از هر ژنوتیپ در هر کرت در مرحله گرده‌افشانی (زیداکس ۶۵) انتخاب و پنج قطعه پنج سانتی‌متری از نمونه‌های برگ، جدا و وزن تر (FW) آنها با ترازوی دقیق دیجیتالی اندازه‌گیری شد. برای به‌دست آوردن وزن تورژسانس (TW)، نمونه‌ها به‌مدت یک شب در شدت نور کم در آب مقطر و جهت به‌دست آوردن وزن خشک (DW)، نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون قرار داده شدند. محتوای نسبی آب برگ برای هر ژنوتیپ با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد (Barrs and Weatherley, 1962):

$$RWC\ (\%) = \left[\frac{FW-DW}{TW-DW}\right] \times 100 \quad (۲)$$

برای محاسبه سرعت رشد اولیه (GR) ارتفاع هر ژنوتیپ در دو مرحله، به‌ترتیب در زمان آغاز ساقه رفتن (زیداکس ۲۳ و مرحله دوم ۱۴ روز بعد از مرحله اول، بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری و سپس سرعت رشد اولیه هر ژنوتیپ با رابطه (۳) محاسبه شد (Hoffmann and Poorter, 2002):

$$GR\ (\%) = R\left[\frac{\ln(PH2)-\ln(PH1)}{14}\right] \quad (۳)$$

که در آن، ln لگاریتم طبیعی و PH1 و PH2 به‌ترتیب ارتفاع ژنوتیپ در مراحل اول و دوم اندازه‌گیری است.

همچنین، سایر صفات فیزیولوژیک شامل دمای پوشش گیاهی در ساعات آفتابی روز و در شرایط بدون وزش باد در مرحله گرده‌افشانی (زیداکس ۶۵) با دماسنج مادون قرمز (Kimo KIRAY 100, UK)، محتوای نسبی کلروفیل برگ پرچم (SPAD) با کلروفیل‌متر (Minolta, Tokyo, Japan)، شاخص نرمال‌شده پوشش کرت (NDVI) با دستگاه گرین‌سیکر (Trimble Green Seeker, USA) و هدایت روزنه‌ای با استفاده از پرومتر (AP4 Porometer) در مرحله گرده‌افشانی (زیداکس ۶۵) اندازه‌گیری شدند. عملکرد دانه، عملکرد زیستی و تعداد سنبله در واحد سطح بر اساس سطح یک متر مربع از هر کرت آزمایشی محاسبه شدند، اما برای اندازه‌گیری سایر صفات زراعی، پنج نمونه تصادفی از هر کرت انتخاب و میانگین آنها برای تجزیه‌های آماری استفاده شد.

پس از جمع‌آوری داده‌ها و اطمینان از نرمال بودن آنها بر اساس آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، مقادیر ژنوتیپی تصحیح شده هر یک از صفات مورد بررسی با استفاده از بهترین برآوردگر خطی نااریب (BLUE) برآورد شد. برای مقایسه میانگین تصحیح شده ژنوتیپ‌های مورد بررسی بر اساس بهترین برآوردگر خطی نااریب، از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. برای بررسی روابط بین صفات مورد بررسی، نمودار دمایی ضرایب همبستگی فنوتیپی بین صفات بر اساس مقادیر تصحیح شده بهترین برآوردگر خطی نااریب محاسبه شد. از تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ در صفت (GT-biplot) مبتنی بر مقادیر تصحیح شده بهترین برآوردگر خطی نااریب نیز برای بررسی روابط ژنوتیپ و صفت، همبستگی بین صفات و تعیین پروفایل آگرو-فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های مورد بررسی استفاده شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از بسته‌های آماری MET-R (Alvarado *et al.*, 2015) و GEA-R (Pacheco *et al.*, 2016) در محیط R انجام شد.

## نتایج و بحث

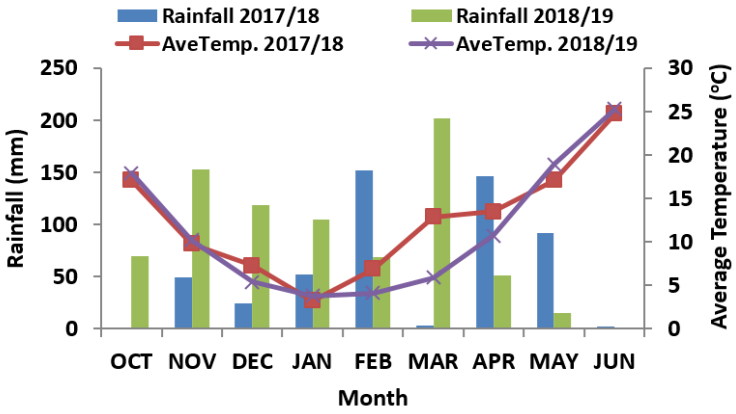
### وضعیت آب و هوایی

متوسط دمای ماهانه و میزان بارش طی دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷در ایستگاه تحقیقات دیم سرارود کرمانشاه (محل اجرای آزمایش) در شکل ۱ ارایه شده است. میزان بارندگی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ برابر با ۵۲۱/۲ میلی‌متر بوده که در مقایسه با میانگین بلندمدت ۱۰۱/۲ میلی‌متر و نسبت به سال زراعی گذشته ۵/۷ درصد افزایش داشت. پراکنش بارندگی در پاییز ۵۷/۴، در زمستان ۲۲۳/۱ و در بهار ۲۴۰/۷ میلی‌متر بوده است. به‌عبارت دیگر، ۱۱ درصد بارش‌ها در پاییز، ۴۲/۸ درصد در زمستان و ۴۶/۲ درصد در بهار به‌وقوع پیوسته است. داده‌های دما نیز نشان می‌دهد که متوسط دمای سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶

برابر با ۱۲/۱ درجه سلسیوس بود که در مقایسه با میانگین بلندمدت، ۰/۷ درجه و نسبت به سال زراعی قبل یک درجه سلسیوس افزایش دارد.

در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ نیز مقدار بارش ۷۸۲/۵ میلی‌متر بود که در مقایسه با میانگین بلندمدت ۳۶۲/۵ میلی‌متر و نسبت به سال زراعی قبل ۲۶۱/۳ میلی‌متر (۵۰/۱۳ درصد) افزایش دارد. از نظر توزیع بارندگی، ۳۱۷/۷ میلی‌متر (۴۰/۶ درصد) در پاییز، ۲۳۷/۳ میلی‌متر در زمستان (۳۰/۳۳ درصد) و ۲۲۷/۵ میلی‌متر (۲۹/۰۷ درصد) در بهار به‌وقوع پیوسته است. از نظر دما نیز متوسط دمای سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷، ۱۱/۱ درجه سلسیوس بود که نسبت به میانگین بلندمدت ۰/۳ درجه و نسبت به سال زراعی قبل یک درجه سلسیوس کاهش دارد. شایان ذکر است که کل میزان بارندگی در پاییز سال زراعی دوم، ۳۱۷/۷ میلی‌متر بود و در زمان‌های مناسب اتفاق افتاد، به‌طوری‌که بارش‌های به‌موقع و ادامه‌دار و هم‌زمان با آن مناسب بودن دمای محیط موجب جوانه زدن و سبز شدن بذرها در نیمهٔ دوم آبان‌ماه شد. ادامهٔ بارش‌ها در طول فصل‌های پاییز و زمستان و معتدل بودن نسبی دما، موجب افزایش رشد رویشی و پنجه‌زنی ژنوتیپ‌ها شد. برعکس سال اول، کاهش و پراکنش نامناسب باران در طول فصل بهار به‌ویژه در اردیبهشت از مشکلات زراعت دیم در سال دوم بود. هر چند کاهش بارندگی بسیار چشم‌گیر بود، اما معتدل بودن دما تا حد زیادی توانست صدمات ناشی از اثر خشکی را جبران کند.

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات مورد بررسی برای تیمارهای شاهد مورد بررسی (جدول ۱) نشان داد که اثر سال برای صفات سرعت رشد اولیه، شاخص NDVI، عدد کلروفیل‌متر، میزان آب نسبی برگ، دمای پوشش گیاهی، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و عملکرد کاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر ژنوتیپ برای صفات عدد کلروفیل‌متر، هدایت روزنه‌ای، میزان آب نسبی برگ، تعداد دانه در سنبله و عملکرد کاه معنی‌دار بود. برهمکنش ژنوتیپ در سال برای صفات شاخص NDVI، طول سنبله، عملکرد زیستی و عملکرد کاه در سطح احتمال یک درصد و برای وزن هزار دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. نتایج بیانگر معنی‌دار بودن اثرات اصلی برای ارقام شاهد برای برخی صفات بود، اما نتایج مقایسه میانگین‌های به‌دست آمده از روش بهترین برآوردگر خطی ناریب با استفاده از روش LSD در سطح احتمال پنج درصد وجود اختلاف آماری معنی‌دار بین بیش‌تر لاین‌های اصلاحی را با ژنوتیپ‌های شاهد آزمایش نشان داد. بنابراین، بر اساس این نتایج، امکان انتخاب لاین‌های برتر از ارقام شاهد از نظر هر یک از صفات مورد بررسی در آزمایش وجود دارد. آماره‌های توصیفی صفات مورد بررسی در ۱۲۴ ژنوتیپ گندم دوروم بر اساس بهترین برآوردگر خطی ناریب (BLUE) طی سال‌های ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ به‌همراه میانگین دو سال زراعی در جدول ۲ ارایه شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود، تنوع ژنتیکی قابل توجهی بین ژنوتیپ‌های گندم دوروم مورد مطالعه از نظر صفات ارزیابی شده وجود دارد.




شکل ۱- پراکنش ماهانه بارندگی و متوسط دما طی سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در ایستگاه تحقیقات سرارود کرمانشاه

Figure 1. Monthly distribution of rainfall and average temperature during 2017-18 and 2018-19 cropping seasons at Sararood Research Station, Kermanshah, Iran

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب صفات مورفو-فیزیولوژیک در ژنوتیپ‌های شاهد مورد بررسی

Table 1. Combined analysis of variance of morph-physiological traits for the studied check genotypes

| Source of variation | Year | Error | Genotype | G×Y | Error | CV(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| df | 1 | 10 | 3 | 3 | 30 | |
| Trait† | Mean squares | | | | | |
| GR | 10.09** | 0.65 | 0.58 | 1.11 | 0.72 | 30.2 |
| NDVI | 0.035** | 0.003 | 0.007 | 0.005** | 0.001 | 5.98 |
| DH | 0.521 | 2.471 | 1.576 | 0.521 | 2.415 | 1.22 |
| RWL | 0.338 | 0.585 | 0.227 | 0.226 | 0.237 | 41.1 |
| SPAD | 347.8** | 25.1 | 71.1** | 6.5 | 12.8 | 6.83 |
| SC | 12.0 | 246.6 | 144.8** | 12.6 | 59.9 | 17.65 |
| RWC | 399.6** | 40.7 | 332.6** | 85.9 | 149.2 | 17.0 |
| CT | 220.6** | 6.0 | 5.6 | 8.9 | 5.2 | 9.66 |
| PH | 1.8 | 168.3 | 192.9 | 577.8 | 96.7 | 12.3 |
| PL | 43.5 | 43.4 | 43.1 | 91.8 | 38.9 | 15.7 |
| SL | 3.4 | 1.7 | 2.1 | 6.7** | 0.41 | 9.18 |
| FL | 15.1 | 12.5 | 17.2 | 9.7 | 6.7 | 13.3 |
| PE | 54.0 | 21.1 | 37.9 | 27.0 | 19.7 | 24.1 |
| DM | 102.1** | 3.13 | 0.47 | 1.92 | 2.44 | 0.94 |
| NGPS | 3.5 | 121.3 | 270.7** | 40.1 | 146.6 | 27.3 |
| TKW | 301.0 | 94.2 | 52.2 | 116.3* | 49.1 | 16.5 |
| BY | 408778.2 | 330874.0 | 110848.2 | 377379.8 | 320975.7 | 32.1 |
| NS | 3333.3 | 1570.8 | 9302.8 | 5316.7 | 5263.1 | 30.3 |
| NSF | 352.1 | 602.1 | 1391.0 | 3168.8 | 6389.9 | 32.5 |
| GY | 116762.1 | 32342.1 | 10195.2 | 13051.5 | 25187.0 | 30.9 |
| HI | 968.4 | 28.8 | 56.5 | 31.1 | 19.9 | 14.9 |
| SY | 962483.5** | 198137.2 | 124534.7** | 11768.5** | 186371.6 | 34.6 |

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

† The traits abbreviation are: GR, relative growth rate; NDVI, normalized difference vegetation index; DH, days to heading; RWL, relative water loss; SPAD, the number read from SPAD; SC, stomatal conductance; RWC, relative water content; CT, canopy temperature; PH, plant height; PL, peduncle length; SL, spike length; FL, flag leaf length; PE, peduncle length; DM, days to maturity; NGPS, number of grain per spike; TKW, 1000-kernel weight; BY, biological yield; NS, number of stems per $m^2$; NFS, numper of fertile spike; GY, grain yield; HI, harvest index; SY, straw yield.

برای شناسایی لاین‌های برتر این آزمایش، تعداد ۳۰ ژنوتیپ برتر (۲۵٪ از لاین‌ها) انتخاب و میانگین آنها همراه با ضریب تغییرات و مقادیر حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد برای هر یک از صفات مورد مطالعه در جدول ۳ ارایه شد. نتایج نشان داد که لاین‌هایی که از لحاظ آماری برتر از ارقام شاهد باشند، برای صفات مختلف اندازه‌گیری شده وجود دارند. در بین ژنوتیپ‌های شاهد آزمایش، ژنوتیپ شماره ۴ از بیش‌ترین سرعت رشد اولیه طی دو سال آزمایش برخوردار بود (۳/۱ درصد) و لاین‌های اصلاحی شماره ۹۲، ۷۲، ۶۶، ۶۸، ۴۴، ۱۲۳ و ۹۹ دارای سرعت رشد اولیه بیش‌تری نسبت به شاهد برتر بودند (جدول ۳). برای شاخص سبزینگی کرت (NDVI) نیز شاهد شماره ۴ دارای بیش‌ترین مقدار در بین شاهدها بود و ژنوتیپ‌های برتر از شاهد، لاین‌های شماره ۱۲۲، ۱۳، ۲۶، ۱۶، ۵۲، ۱۱۸، ۱۸، ۲۵، ۸ و ۵۶ بودند. میانگین تعداد روز تا گلدهی طی دو سال زراعی برابر با ۱۲۷ روز بود و ۳۰ ژنوتیپ برتر در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری از لحاظ زود گلدهی نسبت به ژنوتیپ‌های شاهد داشتند. دامنه تعداد روز تا گلدهی برای ۳۰ ژنوتیپ برتر بین ۱۲۴ روز (مربوط به لاین اصلاحی شماره ۱۰) تا ۱۲۷ روز (مربوط به لاین‌های اصلاحی شماره ۹، ۱۷، ۱۹، ۲۰، ۲۳، ۲۴، ۴۶، ۴۸، ۵۰ و ۵۲) بود. از نظر صفت میزان آب نسبی از دست رفته، ۳۰ لاین برتر میزان آب نسبی از دست رفته کم‌تری نسبت به شاهدها داشتند. متوسط میزان آب نسبی از دست رفته در آزمایش برابر با ۱/۲ میلی‌گرم در گرم وزن برگ و دامنه تغییرات آن برای ۳۰ ژنوتیپ برتر بین ۰/۱۸۵ (لاین اصلاحی شماره ۹۵) تا ۰/۸۱۶ (لاین اصلاحی شماره ۷۲) بود. از لحاظ شاخص عدد کلروفیل‌متر میانگین این شاخص طی دو سال آزمایش برابر با ۵۲/۴ واحد و دامنه تغییرات آن

برای ۳۰ ژنوتیپ برتر از ۶۰/۹ (لاین شماره ۲۶) تا ۵۵/۱ واحد (لاین اصلاحی شماره ۶۶) متغیر بود. محاسبه مقدار LSD در سطح احتمال پنج درصد نیز نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های برتر با ژنوتیپ‌های شاهد از لحاظ شاخص عدد کلروفیل‌متر وجود داشت. میانگین هدایت روزنه‌ای در آزمایش برابر با ۴۶/۴ و برای شاهدها نیز ۴۳/۹ میلی‌مول در متر مربع در ثانیه بود. دامنه تغییرات هدایت روزنه‌ای برای ۳۰ ژنوتیپ برتر از ۸۷/۵ مربوط به لاین اصلاحی شماره ۵۵ تا ۵۳/۸ مربوط به لاین اصلاحی شماره ۷ متغیر بود. نتایج بیانگر تفاوت آماری معنی‌دار بین لاین‌های برتر و ارقام شاهد از نظر هدایت روزنه بود. برای صفت میزان آب نسبی برگ نیز میانگین آن در آزمایش برابر با ۷۲/۹ درصد و برای ارقام شاهد برابر با ۷۱/۹ درصد بود. ۳۰ ژنوتیپ برتر در آزمایش نیز دارای میزان آب نسبی برگ بین ۹۱/۷٪ (مربوط به لاین شماره ۱۱۴) و ۸۰ درصد (مربوط به لاین شماره ۳۵) بود.

برای صفت دمای پوشش گیاهی نیز اختلاف آماری معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی مشاهده شد و ۳۰ ژنوتیپ برتر این آزمایش خنک‌تر، همگی از لحاظ دمای پوشش گیاهی دمای کم‌تری نسبت به ارقام شاهد نشان داشتند. دمای پوشش گیاهی ۳۰ ژنوتیپ برتر بین ۲۰ درجه سلسیوس (مربوط به لاین اصلاحی شماره ۸۸) تا ۲۲/۵ درجه سانتی‌گراد (مربوط به لاین شماره ۱۱۷) متغیر بود. میانگین دمای پوشش گیاهی ارقام شاهد نیز برابر با ۲۳/۷ درجه سلسیوس بود. از لحاظ ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی وجود داشت. میانگین ارتفاع بوته در آزمایش طی دو سال برابر با ۷۴ و برای ارقام شاهد برابر با ۷۸/۹ سانتی‌متر بود. در بین ارقام شاهد، ژنوتیپ شماره ۳ دارای بیش‌ترین ارتفاع بوته بود (۸۵/۷ سانتی‌متر) و در بین ۳۰ ژنوتیپ با بیش‌ترین ارتفاع بوته قرار داشت. بیش‌ترین ارتفاع بوته مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۱۱۳، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۱۶ و ۶ به‌ترتیب با میانگین ارتفاع بوته ۹۷/۷، ۹۱/۴، ۸۹/۹، ۸۹/۴ و ۸۹/۰ سانتی‌متر بود.

اختلاف آماری معنی‌داری از لحاظ طول پدانکل، طول سنبله، طول برگ پرچم و طول پدانکل خارجی بین ژنوتیپ‌ها با شاهدها بر اساس مقادیر LSD وجود داشت. میانگین طول پدانکل در آزمایش برابر با ۳۷/۰ و برای ارقام شاهد برابر با ۳۹/۵ سانتی‌متر بود. بیش‌ترین میانگین طول پدانکل مربوط به لاین‌های شماره ۶۵، ۵۲، ۶۴، ۵۷، ۱۰۵، ۶۶ و ۵۱ به‌ترتیب با میانگین طول پدانکل برابر با ۴۸/۴، ۴۷/۶، ۴۶/۷، ۴۶/۶، ۴۶/۰، ۴۵/۲ و ۴۴/۶ سانتی‌متر بود. بیش‌ترین میانگین طول پدانکل در بین ارقام شاهد مربوط به ژنوتیپ شماره ۳ (۴۱/۴ سانتی‌متر) بود. میانگین طول سنبله در آزمایش برابر با ۶/۶ و برای ارقام شاهد برابر با ۷/۰ سانتی‌متر بود. بیش‌ترین طول سنبله در ارقام شاهد مربوط به ژنوتیپ شماره ۴ با میانگین طول سنبله برابر با ۷/۶ سانتی‌متر بود. لاین‌های اصلاحی شماره ۹۲، ۵۱، ۴۷، ۵۸، ۴۹، ۳۱، ۸۴، ۵۷، ۳۷، ۸۸ و ۱۰۸ طول سنبله بیش‌تری نسبت به شاهد شماره ۴ داشتند. برای صفت طول برگ پرچم، میانگین کل ژنوتیپ‌ها برابر با ۱۸/۲ سانتی‌متر و میانگین ارقام شاهد آزمایش برابر با ۱۹/۴ سانتی‌متر بود. شاهد شماره ۳ در بین ارقام شاهد دارای بیش‌ترین میانگین طول برگ پرچم (برابر با ۲۰/۹ سانتی‌متر) بود و لاین‌های اصلاحی شماره ۱۰۷، ۸۴، ۱۲، ۶۹، ۸۱، ۱۰۹، ۵۴، ۲۸، ۷۱، و ۷۹ دارای طول برگ پرچم بیش‌تری نسبت به شاهد شماره ۳ بودند.

ژنوتیپ‌ها از لحاظ تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک اختلاف معنی‌داری نشان دادند. میانگین تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک در آزمایش برابر با ۱۶۶ روز و برای ارقام شاهد برابر با ۱۶۵ روز بود و ژنوتیپ‌های شماره ۱۰۵، ۷۲، ۲۸، ۷۵، ۱۰۶، ۱۱۴، ۱۲۰، ۲۵، ۲۷، ۶۷، ۷۱، ۷۳، ۷۹ و ۱۲۴ با کم‌ترین تعداد روز تا رسیدن به‌عنوان ژنوتیپ‌های زودرس شناسایی شدند. از لحاظ تعداد دانه در سنبله نیز اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی وجود داشت. میانگین تعداد دانه در سنبله در آزمایش برابر با ۴۸ و برای ارقام شاهد برابر با ۴۴ دانه در سنبله بود. ژنوتیپ‌های شماره ۳۶، ۳۰، ۱۱۴، ۳۸، ۱۰۴، ۳۳، ۴۲، ۳۱، ۳۴ و ۲۶ دارای بیش‌ترین میانگین تعداد دانه در سنبله بودند. بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از لحاظ وزن هزار دانه نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. میانگین وزن هزاردانه در آزمایش برابر با ۴۴/۲ گرم و برای ارقام شاهد برابر با ۴۲/۵ گرم بود. ژنوتیپ‌های با بیش‌ترین وزن هزار دانه لاین‌های اصلاحی شماره ۵۴، ۵۳، ۷۸، ۷۳، ۶۹، ۷۰، ۴۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳ و ۱۱ به‌ترتیب با وزن هزار دانه ۶۴/۱، ۶۰/۱، ۵۶/۷، ۵۳/۸، ۵۳/۳، ۵۳/۱، ۵۲/۸، ۵۲/۷، ۵۲/۷، ۵۲/۴ و ۵۲/۳ گرم بودند که اختلاف آماری معنی‌داری با شاهد شماره ۲ (ذهاب) با بیش‌ترین وزن هزاردانه (۴۴/۵ گرم) در بین ارقام شاهد داشتند.

جدول ۲- آماره‌های توصیفی صفات مورد بررسی در ۱۲۴ ژنوتیپ گندم دوروم بر اساس بهترین برآوردگر خطی ناریب (BLUE) طی سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ و میانگین دو سال زراعی

Table 2. Description statistics of studied traits for 124 durum wheat genotypes based on best linear unbiased estimator (BLUE) in 2017-18, 2018-19 and average years

| Trait† | 2017-18 cropping season | | | | | 2018-19 cropping season | | | | | Average two years | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total mean | Mean of checks | Durum wheat lines | | | Total mean | Mean of checks | Durum wheat lines | | | Total mean | Mean of checks | Durum wheat lines | | |
| | | | Mean | Min | Max | | | Mean | Min | Max | | | Mean | Min | Max |
| GR (%) | 3.10 | 3.26 | 3.10 | 1.77 | 4.41 | 1.56 | 2.34 | 1.54 | 0.13 | 4.89 | 2.33 | 2.80 | 2.31 | 1.28 | 4.07 |
| NDVI | 0.54 | 0.564 | 0.540 | 0.437 | 0.647 | 0.608 | 0.618 | 0.608 | 0.368 | 0.723 | 0.57 | 0.59 | 0.57 | 0.41 | 0.66 |
| DH (day) | 128 | 128 | 128 | 123 | 132 | 127 | 127 | 127 | 124 | 130 | 127 | 127 | 127 | 124 | 130 |
| RWL (g/g.hr) | 1.22 | 1.27 | 1.22 | 0.04 | 2.11 | 1.07 | 1.10 | 1.06 | 0.12 | 3.12 | 1.12 | 1.18 | 1.11 | 0.19 | 2.49 |
| SPAD | 56.3 | 55.1 | 56.3 | 43.0 | 67.0 | 49.1 | 49.7 | 49.1 | 34.3 | 61.6 | 52.7 | 52.4 | 52.7 | 45.0 | 60.9 |
| SC (mmol/m$^2$/s) | 45.9 | 43.4 | 46.0 | 4.8 | 87.0 | 46.9 | 44.4 | 47.0 | 5.8 | 88.0 | 46.4 | 43.9 | 46.5 | 5.3 | 87.5 |
| RWC (%) | 74.5 | 74.7 | 74.5 | 47.4 | 92.9 | 71.3 | 69.0 | 71.4 | 27.1 | 99.6 | 72.9 | 71.9 | 73.0 | 49.7 | 91.7 |
| CT ($^o$C) | 27.1 | 25.8 | 27.2 | 18.4 | 38.3 | 21.6 | 21.5 | 21.6 | 19.6 | 25.8 | 24.4 | 23.7 | 24.4 | 20.0 | 30.7 |
| PH (cm) | 67.5 | 79.7 | 67.1 | 46.5 | 88.2 | 80.5 | 80.1 | 80.5 | 60.2 | 109.0 | 74.0 | 79.9 | 73.8 | 59.9 | 97.7 |
| PL (cm) | 36.1 | 40.5 | 36.0 | 23.8 | 53.3 | 37.9 | 38.6 | 37.9 | 26.7 | 60.3 | 37.0 | 39.5 | 36.9 | 27.4 | 48.4 |
| SL (cm) | 6.7 | 7.2 | 6.7 | 1.7 | 9.9 | 6.6 | 6.7 | 6.6 | 5.0 | 9.0 | 6.6 | 7.0 | 6.6 | 3.8 | 8.4 |
| FL (cm) | 18.2 | 19.9 | 18.2 | 10.8 | 30.5 | 18.1 | 18.8 | 18.1 | 11.6 | 23.9 | 18.2 | 19.4 | 18.1 | 12.9 | 25.1 |
| PE (cm) | 17.0 | 19.4 | 16.9 | 7.5 | 31.2 | 17.4 | 17.3 | 17.4 | 7.2 | 27.7 | 17.2 | 18.4 | 17.2 | 11.3 | 24.1 |
| DM (day) | 165 | 164 | 165 | 159 | 171 | 167 | 167 | 167 | 165 | 169 | 166 | 165 | 166 | 163 | 169 |
| NGPS | 48 | 45 | 48 | 23 | 81 | 49 | 44 | 49 | 28 | 72 | 48 | 44 | 48 | 29 | 73 |
| TKW (g) | 47.7 | 45.0 | 47.8 | 26.8 | 88.2 | 40.8 | 40.0 | 40.8 | 25.0 | 60.0 | 44.2 | 42.5 | 44.3 | 32.1 | 64.1 |
| BY (g/m$^2$) | 1637.9 | 1670.0 | 1636.9 | 288.1 | 3597.3 | 1939.1 | 1854.6 | 1941.9 | 814.6 | 3409.6 | 1788.5 | 1762.3 | 1789.4 | 877.6 | 2797.2 |
| NS | 406 | 400 | 406 | 110 | 912 | 403 | 416 | 403 | 119 | 931 | 405 | 408 | 404 | 219 | 707 |
| NFS | 398 | 391 | 398 | 106 | 864 | 388 | 397 | 387 | 117 | 934 | 393 | 394 | 393 | 221 | 693 |
| GY (g/m$^2$) | 544.3 | 562.8 | 543.7 | 120.6 | 1082.8 | 490.2 | 464.2 | 491.1 | 214.2 | 1024.2 | 517.3 | 513.5 | 517.4 | 304.9 | 834.7 |
| HI (%) | 33.9 | 34.5 | 33.9 | 13.3 | 46.0 | 25.5 | 25.5 | 25.5 | 7.0 | 40.7 | 29.7 | 30.0 | 29.7 | 19.9 | 41.7 |
| SY | 1093.6 | 1107.2 | 1093.2 | 167.5 | 2545.3 | 1448.9 | 1390.4 | 1450.8 | 520.4 | 2617.9 | 1271.3 | 1248.8 | 1272.0 | 569.0 | 2059.0 |

† The traits abbreviation are indicated in Tble 1.

جدول ۳- میانگین صفات مورد بررسی بر اساس بهترین برآوردگر خطی ناریب (BLUE) در ۳۰ ژنوتیپ برتر طی دو سال زراعی

Table 3. Average the studied traits based on BLUE in 30 superior grnotypes during two cropping years

| Trait† | GR‡ | | NDVI | | DH | | RWL | | SPAD | | SC | | RWC | | CT | | PH | | PL | | SL | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 92 | 4.1 | 122 | 0.66 | 10 | 124 | 95 | 0.185 | 26 | 60.9 | 55 | 87.5 | 114 | 91.7 | 88 | 20.0 | 113 | 97.7 | 65 | 48.4 | 92 | 8.4 |
| | 72 | 3.8 | 13 | 0.65 | 16 | 125 | 52 | 0.291 | 52 | 60.7 | 54 | 78.2 | 40 | 91.5 | 105 | 20.5 | 121 | 91.4 | 52 | 47.6 | 51 | 8.3 |
| | 66 | 3.7 | 26 | 0.65 | 45 | 125 | 61 | 0.321 | 41 | 58.5 | 115 | 69.2 | 27 | 88.0 | 115 | 20.5 | 122 | 89.9 | 64 | 46.7 | 47 | 8.1 |
| | 68 | 3.6 | 16 | 0.65 | 51 | 125 | 108 | 0.362 | 64 | 58.3 | 32 | 68.8 | 122 | 87.5 | 85 | 20.5 | 115 | 89.4 | 57 | 46.6 | 58 | 7.9 |
| | 44 | 3.4 | 52 | 0.64 | 53 | 125 | 62 | 0.371 | 31 | 58.3 | 107 | 67.5 | 42 | 86.9 | 118 | 20.6 | 6 | 89.0 | 105 | 46.0 | 49 | 7.9 |
| | 123 | 3.4 | 118 | 0.63 | 63 | 125 | 119 | 0.396 | 19 | 57.9 | 42 | 66.9 | 29 | 86.4 | 122 | 20.6 | 123 | 88.2 | 66 | 45.2 | 31 | 7.9 |
| | 99 | 3.3 | 18 | 0.63 | 12 | 125 | 60 | 0.475 | 80 | 57.8 | 122 | 65.6 | 80 | 86.2 | 111 | 20.8 | 119 | 86.9 | 51 | 44.6 | 84 | 7.8 |
| | 4 | 3.1 | 25 | 0.63 | 13 | 126 | 105 | 0.480 | 37 | 57.7 | 114 | 64.8 | 116 | 85.9 | 91 | 20.8 | 105 | 86.7 | 53 | 44.1 | 57 | 7.8 |
| | 78 | 3.0 | 8 | 0.63 | 25 | 126 | 70 | 0.484 | 99 | 57.5 | 121 | 64.4 | 45 | 85.5 | 120 | 20.9 | 110 | 86.2 | 62 | 43.6 | 37 | 7.7 |
| | 36 | 3.0 | 56 | 0.63 | 26 | 126 | 54 | 0.490 | 68 | 57.4 | 60 | 64.0 | 55 | 85.1 | 107 | 21.1 | 108 | 85.9 | 114 | 43.5 | 88 | 7.7 |
| | 62 | 3.0 | 4 | 0.62 | 27 | 126 | 123 | 0.501 | 104 | 57.4 | 106 | 62.4 | 83 | 84.6 | 42 | 21.1 | 114 | 85.9 | 108 | 43.2 | 108 | 7.7 |
| | 80 | 3.0 | 55 | 0.62 | 11 | 126 | 63 | 0.543 | 54 | 57.3 | 27 | 61.9 | 81 | 84.3 | 101 | 21.2 | 26 | 85.8 | 25 | 43.0 | 4 | 7.6 |
| | 121 | 2.9 | 61 | 0.62 | 21 | 126 | 71 | 0.565 | 76 | 57.3 | 19 | 61.9 | 74 | 84.0 | 123 | 21.3 | 3 | 85.7 | 44 | 43.0 | 28 | 7.6 |
| | 27 | 2.9 | 29 | 0.62 | 22 | 126 | 110 | 0.595 | 89 | 57.1 | 49 | 61.7 | 120 | 84.0 | 109 | 21.3 | 118 | 85.5 | 63 | 42.7 | 48 | 7.4 |
| | 122 | 2.9 | 14 | 0.62 | 49 | 126 | 45 | 0.609 | 42 | 57.1 | 124 | 60.2 | 12 | 83.5 | 89 | 21.4 | 124 | 85.0 | 31 | 42.5 | 45 | 7.4 |
| | 33 | 2.9 | 17 | 0.62 | 64 | 126 | 117 | 0.621 | 88 | 57.0 | 34 | 60.0 | 110 | 83.4 | 124 | 21.5 | 106 | 84.2 | 56 | 41.9 | 63 | 7.4 |
| | 85 | 2.9 | 46 | 0.62 | 76 | 126 | 36 | 0.630 | 95 | 56.7 | 44 | 59.1 | 39 | 83.3 | 119 | 21.6 | 109 | 83.9 | 61 | 41.9 | 91 | 7.4 |
| | 46 | 2.9 | 58 | 0.62 | 96 | 126 | 64 | 0.643 | 24 | 56.4 | 8 | 58.8 | 60 | 83.0 | 54 | 21.6 | 111 | 83.7 | 7 | 41.8 | 94 | 7.4 |
| | 37 | 2.9 | 44 | 0.61 | 106 | 126 | 68 | 0.645 | 47 | 56.4 | 119 | 58.1 | 18 | 82.8 | 40 | 21.6 | 117 | 82.7 | 60 | 41.7 | 114 | 7.4 |
| | 75 | 2.8 | 79 | 0.61 | 112 | 126 | 112 | 0.648 | 29 | 56.3 | 53 | 57.8 | 26 | 82.5 | 92 | 21.8 | 25 | 82.4 | 33 | 41.5 | 44 | 7.4 |
| | 35 | 2.8 | 123 | 0.61 | 9 | 127 | 57 | 0.663 | 120 | 56.2 | 18 | 55.5 | 43 | 82.4 | 96 | 21.8 | 112 | 81.2 | 115 | 41.5 | 98 | 7.4 |
| | 59 | 2.8 | 47 | 0.61 | 17 | 127 | 89 | 0.695 | 98 | 56.1 | 50 | 55.4 | 34 | 82.2 | 98 | 21.8 | 13 | 81.2 | 3 | 41.4 | 113 | 7.4 |
| | 113 | 2.8 | 67 | 0.61 | 19 | 127 | 111 | 0.704 | 108 | 56.1 | 17 | 54.7 | 100 | 82.2 | 110 | 21.9 | 120 | 81.0 | 107 | 41.2 | 74 | 7.3 |
| | 3 | 2.8 | 124 | 0.61 | 20 | 127 | 122 | 0.704 | 40 | 56.1 | 62 | 54.7 | 90 | 81.4 | 43 | 21.9 | 35 | 80.9 | 2 | 40.9 | 13 | 7.3 |
| | 114 | 2.8 | 51 | 0.61 | 23 | 127 | 77 | 0.720 | 33 | 56.0 | 9 | 54.6 | 56 | 81.2 | 93 | 22.1 | 107 | 80.5 | 50 | 40.7 | 27 | 7.2 |
| | 38 | 2.8 | 48 | 0.61 | 24 | 127 | 33 | 0.724 | 111 | 55.9 | 39 | 54.4 | 124 | 80.9 | 86 | 22.1 | 36 | 79.9 | 55 | 40.7 | 90 | 7.2 |
| | 51 | 2.7 | 9 | 0.61 | 46 | 127 | 88 | 0.755 | 53 | 55.8 | 117 | 54.3 | 117 | 80.6 | 59 | 22.2 | 14 | 79.5 | 43 | 40.7 | 93 | 7.2 |
| | 74 | 2.7 | 30 | 0.60 | 48 | 127 | 65 | 0.779 | 44 | 55.7 | 21 | 54.0 | 98 | 80.4 | 114 | 22.3 | 44 | 79.4 | 48 | 40.6 | 104 | 7.2 |
| | 2 | 2.7 | 27 | 0.60 | 50 | 127 | 90 | 0.783 | 27 | 55.4 | 116 | 53.8 | 15 | 80.3 | 57 | 22.3 | 21 | 79.4 | 27 | 40.3 | 26 | 7.2 |
| | 116 | 2.6 | 98 | 0.60 | 52 | 127 | 72 | 0.816 | 66 | 55.1 | 7 | 53.8 | 35 | 80.0 | 117 | 22.5 | 37 | 79.3 | 54 | 40.1 | 80 | 7.1 |
| Mean of checks | | 2.8 | | 0.59 | | 127.5 | | 1.182 | | 52.4 | | 43.9 | | 71.9 | | 23.7 | | 79.9 | | 39.5 | | 7.0 |
| Total mean | | 2.3 | | 0.57 | | 127.4 | | 1.117 | | 52.7 | | 46.4 | | 72.9 | | 24.4 | | 74.0 | | 37.0 | | 6.6 |
| LSD ($P$<0.05) | | 0.56 | | 0.06 | | 0.56 | | 0.50 | | 4.46 | | 1.72 | | 1.45 | | 1.98 | | 8.89 | | 4.66 | | 1.02 |
| CV (%) | | 29.5 | | 7.0 | | 1.0 | | 47.7 | | 8.2 | | 1.3 | | 16.3 | | 7.9 | | 11.0 | | 14.1 | | 13.8 |

Table 3. Continued

جدول ۳- ادامه

| Trait† | FL‡ | | PE | | DM | | NGPS | | TKW | | BY | | NS | | NFS | | GY | | HI | | SY | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 107 | 25.1 | 57 | 24.1 | 105 | 163 | 36 | 73 | 54 | 64.1 | 119 | 2797.2 | 117 | 706.7 | 117 | 692.7 | 104 | 834.7 | 72 | 41.7 | 63 | 2059.0 |
| | 84 | 23.9 | 106 | 24.0 | 72 | 163 | 30 | 72 | 53 | 60.1 | 63 | 2754.5 | 32 | 655.4 | 32 | 652.7 | 119 | 798.1 | 84 | 39.2 | 119 | 1999.1 |
| | 12 | 22.9 | 84 | 23.3 | 28 | 164 | 114 | 70 | 78 | 56.7 | 32 | 2509.2 | 119 | 646.7 | 119 | 602.7 | 106 | 783.6 | 121 | 38.8 | 98 | 1840.3 |
| | 69 | 22.3 | 122 | 23.3 | 75 | 164 | 38 | 69 | 73 | 53.8 | 98 | 2483.2 | 104 | 614.2 | 74 | 590.2 | 32 | 768.0 | 31 | 38.7 | 118 | 1811.2 |
| | 81 | 22.2 | 115 | 23.0 | 106 | 164 | 104 | 67 | 69 | 53.3 | 118 | 2475.3 | 74 | 584.2 | 98 | 571.5 | 121 | 725.2 | 71 | 38.6 | 78 | 1780.8 |
| | 109 | 22.1 | 112 | 22.8 | 114 | 164 | 33 | 65 | 70 | 53.1 | 106 | 2462.0 | 98 | 579.2 | 89 | 566.5 | 76 | 696.3 | 66 | 37.5 | 27 | 1768.3 |
| | 54 | 21.7 | 71 | 22.5 | 120 | 164 | 42 | 63 | 40 | 52.8 | 78 | 2457.4 | 89 | 569.2 | 104 | 566.5 | 63 | 695.5 | 81 | 37.1 | 25 | 1760.9 |
| | 28 | 21.5 | 120 | 22.0 | 25 | 164 | 31 | 63 | 21 | 52.7 | 27 | 2377.5 | 102 | 559.2 | 102 | 561.5 | 75 | 694.6 | 36 | 36.6 | 28 | 1753.0 |
| | 71 | 21.4 | 68 | 21.5 | 27 | 164 | 34 | 63 | 22 | 52.7 | 104 | 2374.2 | 109 | 556.7 | 106 | 542.7 | 89 | 678.1 | 37 | 36.6 | 17 | 1751.8 |
| | 18 | 21.3 | 82 | 21.2 | 67 | 164 | 26 | 63 | 23 | 52.4 | 73 | 2364.5 | 17 | 555.4 | 109 | 542.7 | 78 | 676.6 | 42 | 35.8 | 32 | 1741.3 |
| | 79 | 21.1 | 114 | 21.1 | 71 | 164 | 72 | 61 | 11 | 52.3 | 39 | 2341.3 | 63 | 549.2 | 17 | 540.2 | 73 | 674.3 | 94 | 35.7 | 9 | 1707.7 |
| | 60 | 20.9 | 121 | 21.1 | 73 | 164 | 106 | 61 | 42 | 52.1 | 89 | 2322.4 | 106 | 546.7 | 73 | 535.2 | 118 | 664.1 | 82 | 35.2 | 39 | 1704.8 |
| | 65 | 20.9 | 43 | 21.0 | 79 | 164 | 29 | 61 | 32 | 52.1 | 25 | 2314.5 | 118 | 546.7 | 118 | 527.7 | 34 | 655.8 | 114 | 35.1 | 73 | 1690.2 |
| | 3 | 20.9 | 8 | 20.8 | 124 | 164 | 121 | 61 | 57 | 51.8 | 9 | 2312.0 | 73 | 544.2 | 123 | 527.7 | 59 | 653.0 | 34 | 34.8 | 106 | 1678.4 |
| | 108 | 20.7 | 3 | 20.6 | 18 | 165 | 20 | 61 | 35 | 51.8 | 17 | 2287.8 | 123 | 541.7 | 63 | 522.7 | 40 | 651.4 | 80 | 34.7 | 33 | 1646.0 |
| | 78 | 20.6 | 111 | 20.5 | 26 | 165 | 40 | 60 | 82 | 51.7 | 28 | 2275.1 | 121 | 541.7 | 121 | 517.7 | 98 | 642.9 | 45 | 34.5 | 89 | 1644.3 |
| | 7 | 20.6 | 23 | 20.3 | 29 | 165 | 51 | 58 | 56 | 51.6 | 29 | 2258.9 | 115 | 526.7 | 75 | 515.2 | 102 | 641.7 | 59 | 34.2 | 29 | 1624.5 |
| | 97 | 20.5 | 113 | 20.3 | 30 | 165 | 122 | 58 | 44 | 51.5 | 40 | 2241.6 | 91 | 514.2 | 115 | 502.7 | 39 | 636.5 | 115 | 34.1 | 56 | 1623.4 |
| | 111 | 20.4 | 107 | 20.0 | 74 | 165 | 60 | 58 | 16 | 51.3 | 75 | 2225.9 | 77 | 514.2 | 91 | 486.5 | 117 | 636.1 | 67 | 33.9 | 91 | 1618.6 |
| | 20 | 20.4 | 109 | 20.0 | 76 | 165 | 18 | 58 | 76 | 51.2 | 76 | 2201.3 | 75 | 509.2 | 124 | 482.7 | 29 | 634.4 | 60 | 33.9 | 40 | 1590.2 |
| | 51 | 20.4 | 110 | 20.0 | 77 | 165 | 109 | 57 | 20 | 51.1 | 91 | 2169.0 | 61 | 489.2 | 77 | 480.2 | 74 | 626.0 | 109 | 33.6 | 30 | 1582.6 |
| | 86 | 20.3 | 17 | 19.8 | 46 | 165 | 71 | 57 | 79 | 51.1 | 117 | 2168.4 | 78 | 489.2 | 18 | 470.2 | 37 | 619.1 | 69 | 33.5 | 113 | 1582.0 |
| | 17 | 20.3 | 92 | 19.8 | 52 | 165 | 117 | 56 | 43 | 50.2 | 113 | 2163.5 | 124 | 486.7 | 37 | 467.7 | 72 | 618.4 | 104 | 33.5 | 5 | 1570.6 |
| | 45 | 20.1 | 66 | 19.8 | 53 | 165 | 105 | 56 | 67 | 49.4 | 33 | 2158.9 | 37 | 485.4 | 78 | 465.2 | 7 | 612.3 | 49 | 33.2 | 104 | 1539.5 |
| | 50 | 20.1 | 35 | 19.7 | 110 | 165 | 107 | 56 | 17 | 49.0 | 56 | 2141.1 | 111 | 481.7 | 61 | 457.7 | 27 | 609.3 | 76 | 33.2 | 117 | 1532.3 |
| | 52 | 20.1 | 79 | 19.5 | 115 | 165 | 90 | 56 | 52 | 48.5 | 7 | 2121.0 | 18 | 475.4 | 113 | 452.7 | 9 | 604.3 | 40 | 33.1 | 75 | 1531.3 |
| | 98 | 19.9 | 123 | 19.5 | 119 | 165 | 28 | 56 | 5 | 48.5 | 5 | 2119.9 | 34 | 470.4 | 34 | 452.7 | 81 | 601.6 | 1 | 33.0 | 105 | 1518.7 |
| | 76 | 19.9 | 78 | 19.3 | 121 | 165 | 86 | 56 | 12 | 48.2 | 102 | 2116.4 | 97 | 464.2 | 8 | 450.2 | 84 | 601.4 | 112 | 32.8 | 61 | 1509.1 |
| | 99 | 19.8 | 93 | 19.2 | 122 | 165 | 111 | 56 | 77 | 48.1 | 61 | 2096.2 | 29 | 460.4 | 76 | 450.2 | 53 | 589.7 | 93 | 32.4 | 7 | 1508.7 |
| | 82 | 19.8 | 124 | 19.1 | 16 | 165 | 78 | 55 | 75 | 48.0 | 105 | 2084.1 | 51 | 459.2 | 84 | 450.2 | 107 | 589.4 | 77 | 32.1 | 124 | 1508.2 |
| Mean of checks | | 19.4 | | 18.4 | | 165 | | 44.4 | | 42.5 | | 1762.3 | | 407.9 | | 394.0 | | 513.5 | | 30.0 | | 1248.8 |
| Total mean | | 18.2 | | 17.2 | | 166 | | 48.2 | | 44.2 | | 1788.5 | | 404.6 | | 392.7 | | 517.3 | | 29.7 | | 1271.3 |
| LSD ($P$<0.05) | | 2.90 | | 3.82 | | 0.48 | | 5.49 | | 7.66 | | 483.90 | | 128.08 | | 115.55 | | 137.12 | | 8.12 | | 331.16 |
| CV (%) | | 13.1 | | 19.3 | | 1.1 | | 14.5 | | 15.6 | | 25.8 | | 28.7 | | 28.4 | | 26.0 | | 13.6 | | 27.7 |

† The traits abbreviation are indicated in Tble 1.

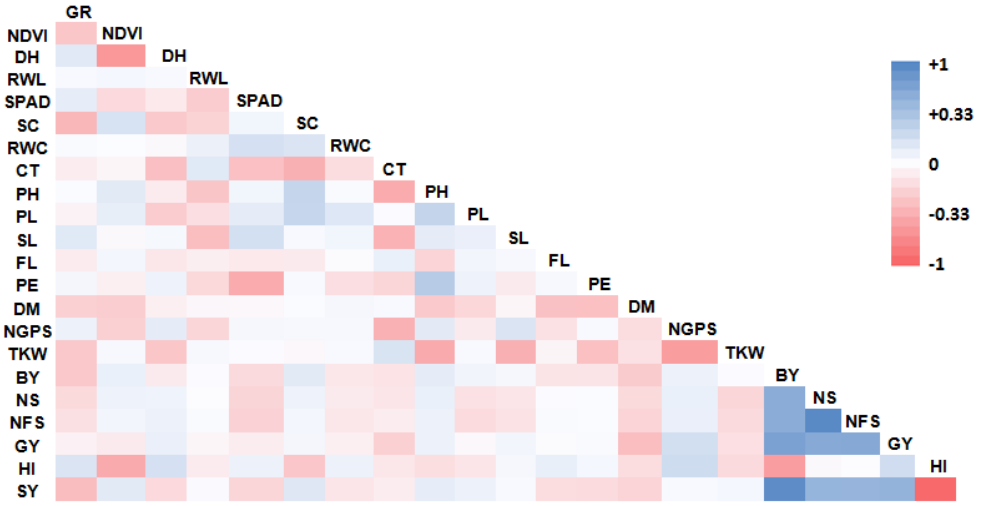
‡ The numbers of the left and the right columns are indicated the line number and the two years average of the studied traits, respectively

از لحاظ عملکرد زیستی نیز تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه وجود داشت. میانگین عملکرد زیستی آزمایش برابر با ۱۷۸۸/۵ گرم در متر مربع و دامنه تغییرات عملکرد زیستی برای ۳۰ ژنوتیپ برتر از ۲۰۸۴/۱ (لاین شماره ۱۰۵) تا ۲۷۹۷/۲ گرم در مترمربع (لاین شماره ۱۱۹) متغیر بود. از لحاظ تعداد کل ساقه (پنجه) در واحد سطح و تعداد ساقه‌های خوشه‌دار (تعداد سنبله در واحد سطح) بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. بیش‌ترین تعداد ساقه در واحد سطح مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۱۱۷، ۳۲، ۱۱۹، ۱۰۴، ۷۴، ۹۸ و ۸۹ و بیش‌ترین تعداد ساقه خوشه‌دار در واحد سطح مربوط به لاین‌های شماره ۱۱۷، ۳۲، ۱۱۹، ۷۴، ۹۸، ۸۹ و ۱۰۴ بود.

میانگین عملکرد دانه در آزمایش برابر ۵۱۷/۳ گرم در مترمربع بود که ۳۰ ژنوتیپ برتر با دامنه عملکرد دانه بین ۵۸۹/۴ گرم در واحد سطح (لاین ۱۰۷) تا ۸۳۴/۷ گرم در واحد سطح (لاین ۱۰۴) دارای عملکرد بیش‌تری نسبت به میانگین آزمایش و میانگین شاهدها (۵۱۳/۵ گرم در واحد سطح) بودند. ژنوتیپ‌های شماره ۱۰۴، ۱۱۹، ۱۰۶، ۳۲، ۱۲۱، ۷۶، ۶۳، ۷۵، ۸۹، ۷۸، ۷۳، ۱۱۸ و ۳۴ از بیش‌ترین میانگین عملکرد دانه طی دو سال زراعی برخوردار بودند و اختلاف عملکرد معنی‌داری نسبت به برترین شاهد ( شاهد شماره ۱ رقم ساجی) با میانگین عملکرد ۵۳۹/۲ گرم در واحد سطح داشتند. از لحاظ شاخص برداشت نیز اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی وجود داشت. میانگین شاخص برداشت کل آزمایش برابر با ۲۹/۷ درصد و برای ارقام شاهد برابر با ۳۰ درصد بود. شاهد شماره ۱ (رقم ساجی) دارای بیش‌ترین شاخص برداشت (۳۳٪) و پس از آن، ژنوتیپ‌های شماره ۷۲، ۸۴، ۱۲۱، ۳۱، ۷۱، ۶۶ و ۸۱ دارای بیش‌ترین مقدار شاخص برداشت بودند که با رقم ساجی تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. از لحاظ عملکرد کاه نیز اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها مشاهده شد، به‌طوری که میانگین عملکرد کاه در آزمایش برابر با ۱۲۷۱/۳ گرم در مترمربع و برای ارقام شاهد ۱۲۴۸/۸ گرم در واحد سطح بود. بیش‌ترین عملکرد کاه متعلق به شاهد شماره ۳ با ۱۳۵۴/۲ گرم در واحد سطح بود و سپس ژنوتیپ‌های شماره ۶۳، ۱۱۹، ۹۸، ۱۱۸، ۷۸، ۲۷، ۲۵، ۲۸، ۱۷، ۳۲، ۹، ۳۹، ۷۳ و ۱۰۶ عملکرد کاه بالایی داشتند، اما تفاوت بین این ژنوتیپ‌ها با شاهد شماره ۳ با بیش‌ترین عملکرد معنی‌داری بود.

نمودار دمایی همبستگی فنوتیپی ۲۲ صفت مورد بررسی برای ۱۲۴ ژنوتیپ گندم دوروم در شرایط دیم در شکل ۲ ارایه شده است. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد زیستی (r=۰/۸۲)، تعداد ساقه خوشه‌دار در واحد سطح (r=۰/۶۱)، تعداد کل ساقه در واحد سطح (r=۰/۷۴)، عملکرد کاه (r=۰/۶۵)، شاخص برداشت (r=۰/۶۸) و تعداد دانه در سنبله (r=۰/۳۱) با عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. همچنین عملکرد دانه همبستگی مثبت اما غیر معنی‌دار با تعداد روز تا گلدهی (r=۰/۱۳) و همبستگی منفی معنی‌دار با تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (r= -۰/۲۰) نشان داد که بیانگر این موضوع است که عملکرد دانه و روز تا گلدهی در ژرم‌پلاسم مورد بررسی مسستقل از هم بوده‌اند، اما واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی و گرما در انتهای فصل در شرایط دیم نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا غالبا" زودرس بوده‌اند. در ژرم‌پلاسم مورد بررسی همبستگی معنی‌داری (r= -۰/۰۲) بین تعداد روز تا گلدهی و تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک مشاهده نشد. شاخص NDVI همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد با صفات تعداد روز تا گلدهی و شاخص برداشت و همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد با هدایت روزنه‌ای و در سطح پنج درصد با ارتفاع بوته و عملکرد کاه نشان داد. شاخص SPAD همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد با صفات میزان آب نسبی برگ و طول سنبله و همبستگی منفی معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد با طول پدانکل خارجی و در سطح پنج درصد با دمای پوشش گیاهی داشت. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین هدایت روزنه‌ای با ارتفاع بوته، شاخص NDVI، میزان آب نسبی برگ و طول پدانکل در سطح احتمال یک درصد و با عملکرد کاه و عملکرد زیستی در سطح پنج درصد مشاهده شد. ارتفاع بوته با طول پدانکل و طول پدانکل خارجی، همبستگی مثبت و معنی‌دار و با وزن هزار دانه، همبستگی منفی و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد نشان داد، به این معنی که در ژنوتیپ‌های مورد بررسی صفات مرتبط با ارتفاع بوته از وزن هزار دانه کم‌تری برخوردار بودند. از طرف دیگر، وزن هزار دانه همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد با تعداد دانه در سنبله و همبستگی مثبت با دمای کانوپی نشان داد، اما ارتباطی با تعداد ساقه و تعداد ساقه‌های خوشه‌دار در واحد سطح

نداشت. همچنین صفات مرتبط با ارتفاع بوته همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد با دمای کانوپی نشان دادند و بنابراین ژنوتیپ‌های با ارتفاع بیش‌تر، دمای پوشش گیاهی کم‌تری داشتند. شاخص برداشت نیز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین صفات اقتصادی همبستگی مثبت معنی‌دار با صفات تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه، سرعت رشد اولیه و تعداد روز تا گلدهی و منفی و معنی‌دار با عملکرد زیستی و شاخص NDVI نشان داد.




شکل ۲- نمودار دمایی همبستگی بین صفات مورد بررسی با استفاده از مقادیر بهترین برآوردگر خطی ناااریب (BLUE) در ۱۲۴ ژنوتیپ گندم دوروم بر اساس میانگین دو سال زراعی. اسامی صفات در جدول ۱ ارایه شده است.

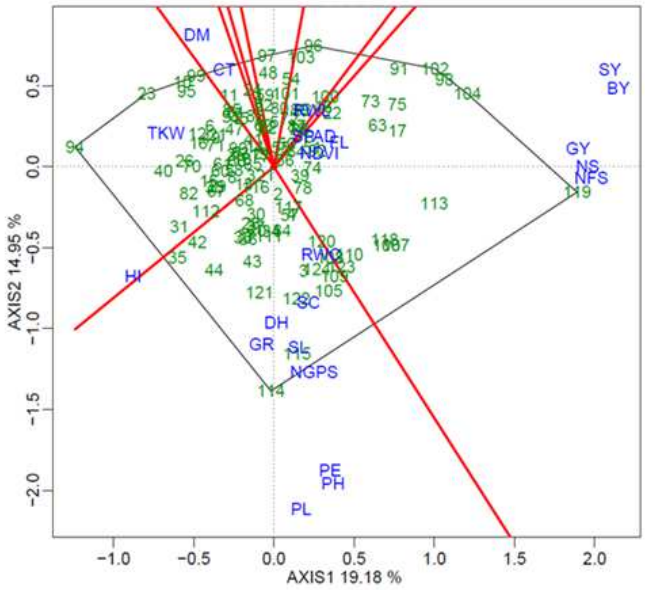
Figure 2. Correlation heatmap of correlations among the studied traits using BLUE values in 124 durum wheat genotypes based on average two cropping years. The traits abbreviation are indicated in Tble 1.

به‌منظور درک بهتر روابط متقابل بین صفات مورد بررسی و تعیین ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیک ژرم‌پلاسم مورد مطالعه از روش تجزیه گرافیکی بای‌پلات ژنوتیپ در صفت استفاده شد. شکل ۳ نمایش چندضلعی بای‌پلات ژنوتیپ در صفت برای ۲۲ صفت و ۱۲۴ ژنوتیپ مورد بررسی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ را نشان می‌دهد. در نمایش چندضلعی بای‌پلات، صفات مطالعه شده در پنج گروه و ژنوتیپ‌ها در شش گروه قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های شماره ۱۱۹، ۱۰۲، ۹۶، ۲۳، ۹۴، ۱۱۴ در رئوس چندضلعی قرار گرفتند، که این ژنوتیپ‌ها از لحاظ یک یا چند صفت دارای برتری نسبی هستند. ژنوتیپ شماره ۱۱۹ و پس از آن ژنوتیپ ۱۰۲ از لحاظ ترکیب صفات عملکرد دانه، عملکرد زیستی، عملکرد کاه، تعداد کل ساقه و تعداد ساقه خوشه‌دار در واحد سطح، طول برگ پرچم و شاخص‌های NDVI و SPAD دارای بیش‌ترین مقادیر بودند. ژنوتیپ شماره ۹۴ و سپس ژنوتیپ شماره ۲۳ نیز دارای بهترین ترکیب صفات وزن هزار دانه و شاخص برداشت و ژنوتیپ شماره ۱۱۴ دارای بالاترین ترکیب صفات ارتفاع بوته، طول پدانکل، طول پدانکل خارجی، تعداد دانه در سنبله، طول سنبله، شاخص سرعت رشد اولیه، تعداد روز تا گلدهی، هدایت روزنه‌ای و میزان آب نسبی برگ و دارای بیش‌ترین مقدار نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بود. ژنوتیپ شماره ۷۶ از لحاظ دمای پوشش گیاهی دارای بیش‌ترین مقدار بود. ژنوتیپ شماره ۹۶ دارای بالاترین میزان آب نسبی از دست رفته بود. صفات دمای کانوپی و تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک در گروهی قرار گرفتند که هیچ کدام از ژنوتیپ‌ها حائز بالاترین سطح ترکیب از این دو صفت نبودند.

در بای‌پلات ژنوتیپ در صفت، زاویه بین بردارهای دو صفت بیانگر همبستگی صفات می‌باشد. چنانچه زاویه دو بردار حاده باشد دو صفت دارای همبستگی مثبت و چنانچه دو بردار دارای زاویه باز (منفرجه) باشند دو صفت دارای همبستگی منفی می‌باشند. اگر زاویه بین دو بردار نزدیک ۹۰ درجه باشد، دو صفت دارای همبستگی نبوده و مستقل از هم هستند (Yan and Rajcan, 2002). روابط بین صفات مورد بررسی و برهمکنش ژنوتیپ‌ها با صفات

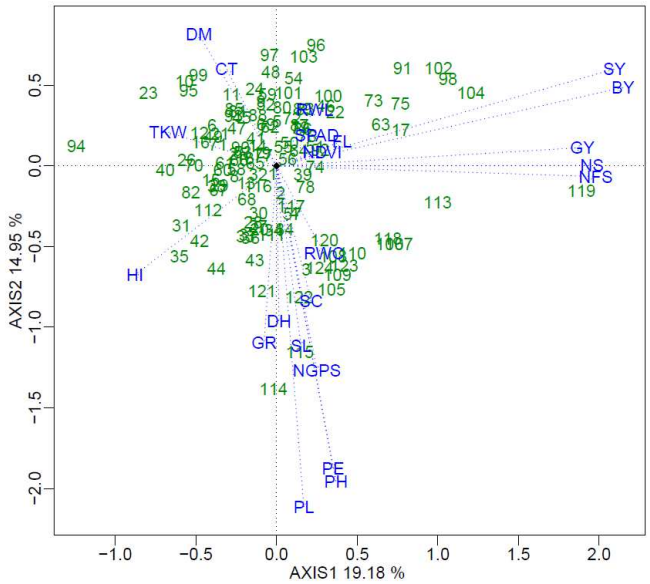
در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در شکل ۴ نمایش داده شده است. عملکرد دانه همبستگی مثبتی با عملکرد زیستی، عملکرد کاه، تعداد کل ساقه و تعداد ساقه‌های خوشه‌دار در واحد سطح نشان داد، زیرا بردار عملکرد دانه زاویه حاده‌ای با این صفات نشان داد و ژنوتیپ‌های ۱۱۹، ۱۰۴، ۱۱۳، ۹۸ و ۱۰۲ دارای برهمکنش مثبت با این صفات بودند، در حالی‌که ژنوتیپ‌های ۹۴، ۲۳، ۴۰، ۲۶، ۲۷، ۳۱، ۳۵، ۹۵، ۱۰ و ۹۹ بیش‌ترین برهمکنش منفی را با این صفات داشتند، به این معنی که این ژنوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن دارای برتری نبودند. برعکس این ژنوتیپ‌ها دارای برهمکنش مثبت با صفات وزن هزاردانه، شاخص برداشت، دمای کانوپی و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک بودند. صفات مرتبط با ارتفاع بوته با توجه به زاویه قائمه‌ای که با عملکرد دانه نشان دادند، مستقل از عملکرد بودند و بیش‌ترین ارتباط آنها با صفات سرعت رشد اولیه، تعداد دانه در سنبله، تعداد روز تا گلدهی و هدایت روزنه‌ای بود. از لحاظ این گروه از صفات ژنوتیپ‌های ۱۱۴، ۱۱۵، ۱۲۱ و ۱۲۲ دارای بیش‌ترین مقدار بودند. همبستگی مثبت بین صفات دمای کانوپی، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و وزن هزاردانه به‌واسطه زاویه حاده بین بردارهای این صفات مشاهده شد که ژنوتیپ‌های با مقادیر بالای این صفات شامل ژنوتیپ‌های شماره ۲۳، ۹۵، ۱۰ و ۹۹ بودند.

در بای‌پلات ژنوتیپ در صفت، طول بردار صفات نیز بیانگر میزان تنوع ژنوتیپ‌ها از نظر صفت مربوطه می‌باشد، بدین معنا که طول بردار بلندتر نشان دهنده تنوع بیش‌تر و طول کم‌تر نشانگر تنوع کم‌تر ژنوتیپ‌ها از لحاظ آن صفت است (Yan and Rajcan, 2002). در این آزمایش، صفات عملکرد دانه، عملکرد زیستی، عملکرد کاه، تعداد کل ساقه و تعداد ساقه‌های خوشه‌دار در واحد سطح، ارتفاع بوته، طول پدانکل، طول پدانکل خارجی و تعداد سنبله در واحد سطح با دارا بودن بیش‌ترین طول بردار، صفات موثری در نشان دادن تنوع بین ژنوتیپ‌ها بودند و برعکس شاخص‌های NDVI و SPAD و میزان آب نسبی از دست رفته که کم‌ترین طول بردار را دارند، صفات مناسبی برای نشان دادن تفاوت بین ژنوتیپ‌ها نبودند. صفات شاخص برداشت، وزن هزار دانه، شاخص سرعت رشد اولیه، هدایت روزنه‌ای، دمای کانوپی و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک نیز طول بردار متوسطی داشتند.




شکل ۳- بای‌پلات چندضلعی ژنوتیپ در صفت برای ۱۲۴ ژنوتیپ گندم دوروم بر اساس ۲۲ صفت مورد بررسی در شرایط دیم در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶. ژنوتیپ‌ها با شماره ۱ تا ۱۲۴ نشان داده شده و شماره ۱ تا ۴ ژنوتیپ‌های شاهد هستند. صفات نیز با حروف آبی مشخص شده‌اند. اسامی صفات در جدول ۱ ارایه شده است.

Figure 3. Polygon view of GT biplot for 124 durum wheat genotypes based on 22 studied traits under rainfed conditions in 2017-18 cropping season. Numbers 1-124 are genotypes and number 1-4 are check genotypes. Traits are also shown with blueletters in blue are. The traits abbreviation are indicated in Tble 1.

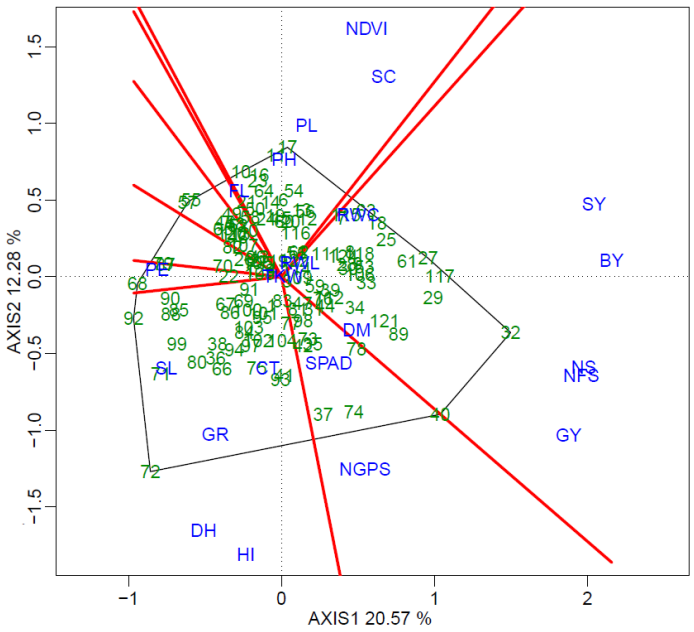



شکل ۴- بای‌پلات ژنوتیپ در صفت که در آن روابط بین ۲۲ صفت اندازه‌گیری شده و برهمکنش ژنوتیپ× صفت در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ نشان داده شده است. اسامی صفات در جدول ۱ ارایه شده است.

Figure 4. Genotype-trait biplot showing the relationships between 22 measured traits and genotype×trait interaction in 2017-18 cropping season. The traits abbreviation are indicated in Tble 1.

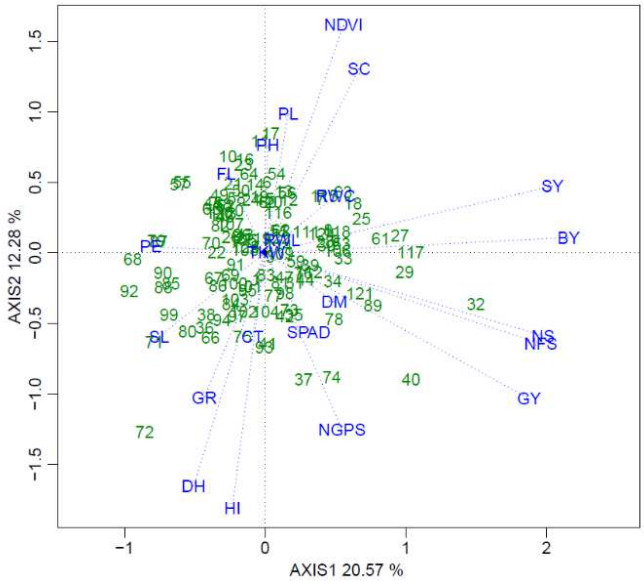
نمایش چندضلعی بای‌پلات ژنوتیپ در صفت مربوط به ۲۲ صفت و ۱۲۴ ژنوتیپ در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در شکل ۵ ارایه شده است. همانند نتایج سال اول بای‌پلات ژنوتیپ در صفت، صفات مورد بررسی در پنج گروه و ژنوتیپ‌ها در شش گروه قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های شماره ۳۲، ۷۲، ۱۷، ۴۰، ۶۸ و ۵۷ در رئوس چندضلعی قرار گرفتند، که این ژنوتیپ‌ها دارای ویژگی‌های اختصاصی بر اساس یک یا چند صفت هستند. ژنوتیپ شماره ۳۲ از لحاظ صفات عملکرد دانه، عملکرد زیستی ، عملکرد کاه، تعداد کل ساقه و تعداد ساقه خوشه‌دار در واحد سطح و میزان آب نسبی برگ دارای بیش‌ترین مقادیر بودند. ژنوتیپ شماره ۷۲ دارای بهترین ترکیب صفات وزن هزار دانه و شاخص برداشت بودند. ژنوتیپ شماره ۱۱۴ دارای بالاترین ترکیب صفات شاخص برداشت، تعداد روز تا گلدهی، سرعت رشد اولیه، طول سنبله و دمای کانوپی بود. ژنوتیپ شماره ۱۷ از لحاظ طول پدانکل، ارتفاع بوته، هدایت روزنه‌ای، شاخص NDVI و طول برگ پرچم دارای بیش‌ترین مقدار نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بود. ژنوتیپ شماره ۴۰ دارای بالاترین تعداد دانه در سنبله، شاخص SPAD و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک بود. ژنوتیپ شماره ۶۸ نیز از بیش‌ترین طول پدانکل خارجی برخوردار بود. ژنوتیپ‌های شماره ۵۷ و ۵۵ نیز که به‌صورت مشترک در راس چندضلعی قرار گرفتند، از لحاظ هیچ‌کدام از صفات برتر نبودند.

تجزیه گرافیکی روابط بین صفات و برهمکنش صفات با ژنوتیپ‌ها در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در شکل ۶ ارایه شده است. عملکرد دانه همبستگی مثبتی با عملکرد زیستی ، عملکرد کاه، تعداد کل ساقه‌ها در واحد سطح، تعداد ساقه‌های خوشه‌دار در واحد سطح و تعداد دانه در سنبله و همبستگی متوسطی با صفات شاخص SPAD و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک نشان داد و ژنوتیپ‌های ۳۲، ۴۰، ۲۹، ۸۹، ۱۲۱، ۷۸، ۷۴، ۳۷، ۱۱۷، ۲۷ و ۶۱ نیز دارای برهمکنش مثبت با این صفات بودند. همچنین، ژنوتیپ‌های ۹۲، ۶۸، ۹۰، ۸۸، ۸۵، ۹۹، ۵۷، ۵۵، ۹۹، ۷۱ و ۷۲ دارای بیش‌ترین برهمکنش منفی با این صفات بودند که بیانگر این موضوع می‌باشد که این ژنوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن دارای برتری نبودند. در مقابل، این ژنوتیپ‌ها بیش‌ترین برهمکنش مثبت را با طول پدانکل خارجی، شاخص سرعت رشد اولیه، تعداد روز تا گلدهی، طول برگ پرچم و شاخص برداشت داشتند.




شکل ۵- بای‌پلات چندضلعی ژنوتیپ در صفت برای ۱۲۴ ژنوتیپ گندم دوروم بر اساس ۲۲ صفت مورد بررسی در شرایط دیم در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷. ژنوتیپ‌ها با شماره ۱ تا ۱۲۴ نشان داده شده و شماره ۱ تا ۴ ژنوتیپ‌های شاهد هستند. صفات نیز با حروف آبی مشخص شده‌اند. اسامی صفات در جدول ۱ ارایه شده است.

Figure 5. Polygon view of GT biplot for 124 durum wheat genotypes based on 22 studied traits under rainfed condition in 2018-19 cropping season. Numbers 1-124 are genotypes and number 1-4 are check genotypes. Traits are also shown with blueletters in blue are. The traits abbreviation are indicated in Tble 1.




شکل ۶- بای‌پلات ژنوتیپ در صفت که در آن روابط بین ۲۲ صفت اندازه‌گیری شده و برهمکنش ژنوتیپ× صفت در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ نشان داده شده است. اسامی صفات در جدول ۱ ارایه شده است.

Figure 6. Genotype-trait biplot showing the relationships between 22 measured traits and genotype×trait interaction in 2018-19 cropping season. The traits abbreviation are indicated in Tble 1.

صفات مرتبط شاخص NDVI، هدایت روزنه‌ای، شاخص سرعت رشد اولیه و طول سنبله با توجه به زاویه قائمه‌ای که با عملکرد دانه نشان دادند دارای همبستگی با عملکرد نبودند. ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۱۱ بیش‌ترین اثر متقابل مثبت با شاخص NDVI و هدایت روزنه‌ای و ژنوتیپ‌های شماره ۷۲ و ۷۱ بیش‌ترین برهمکنش مثبت با صفات سرعت رشد اولیه و طول سنبله نشان دادند. بنابراین از لحاظ این صفات این ژنوتیپ‌ها دارای بیش‌ترین مقدار بودند. صفات شاخص برداشت، شاخص NDVI، عملکرد دانه، عملکرد زیستی ، عملکرد کاه، تعداد کل ساقه‌ها در واحد سطح، تعداد ساقه‌های خوشه‌دار در واحد سطح، هدایت روزنه‌ای و تعداد دانه در سنبله از بیش‌ترین طول برداری برخوردار بوده و نسبت به بقیه صفات، صفات موثری در نشان دادن تنوع بین ژنوتیپ‌ها بودند. اما برعکس صفات وزن هزار دانه و میزان آب نسبی از دست رفته با کم‌ترین طول بردار از لحاظ نشان دادن تنوع بین ژنوتیپ‌ها صفات مناسبی نبودند. صفات شاخص سرعت رشد اولیه، طول سنبله، طول پدانکل، طول پدانکل خارجی، ارتفاع بوته، شاخص اسپد و تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک دارای طول بردار متوسطی بودند.

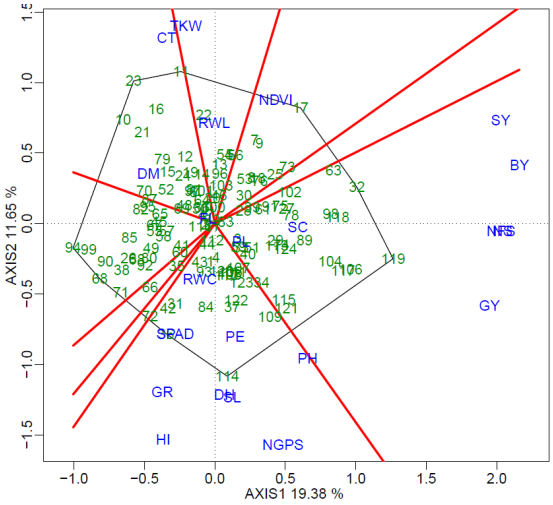
شکل ۷ تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ در صفت را بر اساس داده‌های ۲۲ صفت آگرو-فیزیولوژیک در ۱۲۴ ژنوتیپ طی دو سال زراعی نشان می‌دهد که در آن دو مولفه اول ۳۲/۰۳ درصد از کل تغییرات موجود در ماتریس داده‌های ژنوتیپ- صفت را توجیه کرد. این موضوع بیانگر این موضوع است که روابط بین صفات پیچیده است و با افزایش مطالعه تعداد صفات و ژنوتیپ‌های بیش‌تر این روابط پیچیده‌تر شده و درصد توجیه تنوع توسط دو مولفه اول که در تشکیل بای‌پلات شرکت دارند کاهش می‌یابد (Kroonenberg, 1995). بای‌پلات ژنوتیپ در صفت یک ابزار آماری برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات متعدد و شناسایی ژنوتیپ‌هایی است که از نظر صفات مورد نظر برتر هستند و از این‌رو می‌توانند برای استفاده به‌عنوان والدین در یک برنامه اصلاحی استفاده شوند و یا مستقیماً برای تولید تجاری مورد بهره‌برداری قرار گیرند. بعلاوه تجزیه و تحلیل بای‌پلات ژنوتیپ در صفت امکان تجسم همبستگی ژنتیکی بین صفات را فراهم می‌کند (Yan and Rajcan 2002; Rubio *et al.*, 2004; Yan and Frégeau-Reid 2008).

بر اساس شکل ۷، الگوی چندضلعی بای‌پلات ژنوتیپ در صفت برای ۲۲ صفت و ۱۲۴ ژنوتیپ مورد بررسی طی دو سال زراعی، صفات در پنج گروه و ژنوتیپ‌ها در هشت گروه قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های شماره ۱۱۹، ۳۲، ۱۷، ۱۱، ۲۳، ۹۴، ۶۸، ۳۶ و ۱۱۴ در رئوس چندضلعی قرار گرفتند و بنابراین از لحاظ یک یا چند صفت دارای برتری نسبی هستند. ژنوتیپ شماره ۱۱۹ از لحاظ صفات عملکرد دانه، عملکرد زیستی، عملکرد کاه، تعداد کل ساقه‌ها در واحد سطح، تعداد سنبله در واحد سطح، هدایت روزنه‌ای و طول پدانکل بیش‌ترین مقادیر را داشتند. ژنوتیپ شماره ۱۱ از لحاظ میزان آب نسبی از دست‌رفته، ژنوتیپ شماره ۲۳ دارای بهترین ترکیب صفات وزن هزار دانه، دمای کانوپی و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، ژنوتیپ شماره ۱۱۴ دارای بالاترین ترکیب صفات تعداد دانه در سنبله، شاخص برداشت، طول سنبله، تعداد روز تا گلدهی، شاخص سرعت رشد اولیه، ارتفاع بوته، طول پدانکل خارجی، شاخص اسپد و میزان آب نسبی برگ و ژنوتیپ شماره ۱۷ برای شاخص NDVI دارای بیش‌ترین مقدار بودند.

بر اساس نتایج تجزیه همبستگی صفات ۱۲۴ ژنوتیپ گندم دوروم در دو سال زراعی (شکل ۸)، صفات عملکرد زیستی، عملکرد کاه، تعداد کل ساقه‌ها و تعداد ساقه‌های خوشه‌دار در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله، ارتفاع بوته و هدایت روزنه‌ای همبستگی مثبتی با عملکرد دانه نشان دادند. ژنوتیپ‌های شماره ۱۱۹، ۱۰۶، ۱۱۷، ۱۰۴، ۱۱۸، ۹۸، ۳۲، ۱۲۱، ۱۱۵ و ۸۹ نیز دارای بیش‌ترین برهمکنش مثبت با این مجموعه از صفات بودند که بیانگر این موضوع است که این ژنوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد دانه و صفات وابسته به آن دارای بیش‌ترین مقدار بودند. ژنوتیپ‌های ۹۴، ۹۹، ۹۰، ۶۸، ۷۱، ۳۸، ۲۶، ۶۸، ۸۵، ۹۲ و ۸۰ دارای بیش‌ترین برهمکنش منفی با این صفات بودند. در مقابل، این ژنوتیپ‌ها بیش‌ترین برهمکنش مثبت را با شاخص سرعت رشد اولیه، شاخص برداشت، شاخص اسپد و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک داشتند. وزن هزار دانه و دمای کانوپی همبستگی نزدیکی با یکدیگر داشتند و ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۲۲، ۱۶، ۲۳، و ۱۶ بیش‌ترین برهمکنش مثبت را با این صفات نشان دادند. تعداد دانه در سنبله، شاخص برداشت، شرعت رشد اولیه، تعداد روز تا گلدهی، طول سنبله، طول پدانکل خارجی و ارتفاع بوته و شاخص اسپد همبستگی مثبتی با یکدیگر نشان دادند و ژنوتیپ‌های شماره ۱۱۴، ۱۰۹، ۳۷، ۱۲۲، ۸۴ و ۳۶ دارای بیش‌ترین

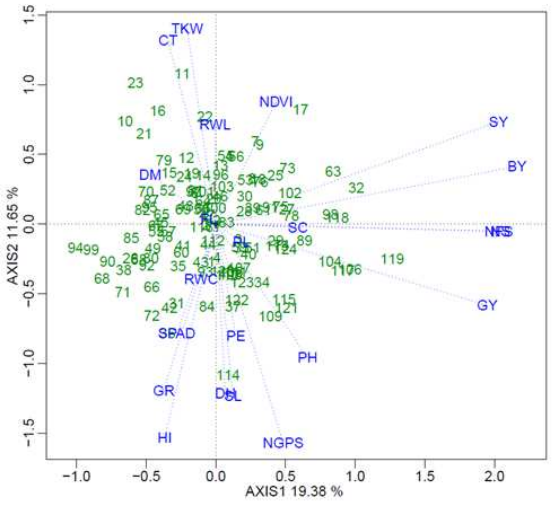
برهمکنش مثبت با این صفات بودند و بنابراین دارای بیشترین مقدار برای این صفات بودند.

بیش‌ترین طول بردار نیز مربوط به صفات تعداد دانه در سنبله، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی، عملکرد کاه، عملکرد دانه، تعداد کل ساقه‌ها در واحد سطح و تعداد ساقه‌های خوشه‌دار در واحد سطح بود، به این معنی که این صفات نقش بیش‌تری در نشان دادن تنوع بین ژنوتیپ‌ها داشتند. در مقابل، صفات طول برگ پرچم، طول پدانکل، میزان آب نسبی از دست رفته، هدایت روزنه‌ای و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک از کم‌ترین طول بردار برخوردار بودند و نقش کم‌تری در نشان دادن تنوع بین ژنوتیپ‌ها داشتند. صفات ارتفاع بوته، شاخص سرعت رشد اولیه، طول سنبله، طول پدانکل خارجی، ارتفاع بوته، شاخص اسپد، شاخص NDVI، و تعداد روز تا گلدهی و میزان آب نسبی از دست رفته دارای طول بردار متوسطی بودند.




شکل ۷- بای‌پلات چندضلعی ژنوتیپ در صفت برای ۱۲۴ ژنوتیپ گندم دوروم بر اساس ۲۲ صفت مورد بررسی در شرایط دیم طی دو سال زراعی. ژنوتیپ‌ها با شماره ۱ تا ۱۲۴ نشان داده شده و شماره ۱ تا ۴ ژنوتیپ‌های شاهد هستند. صفات نیز با حروف آبی مشخص شده‌اند. اسامی صفات در جدول ۱ ارایه شده است.

Figure 7. Polygon view of GT biplot for 124 durum wheat genotypes based on 22 studied traits under rainfed condition across years. Numbers 1-124 are genotypes and number 1-4 are check genotypes. Traits are also shown with blueletters in blue are. The traits abbreviation are indicated in Tble 1.




شکل ۸- بای‌پلات ژنوتیپ در صفت که در آن روابط بین ۲۲ صفت اندازه‌گیری شده و برهمکنش ژنوتیپ× صفت طی دو سال زراعی. اسامی صفات در جدول ۱ ارایه شده است.

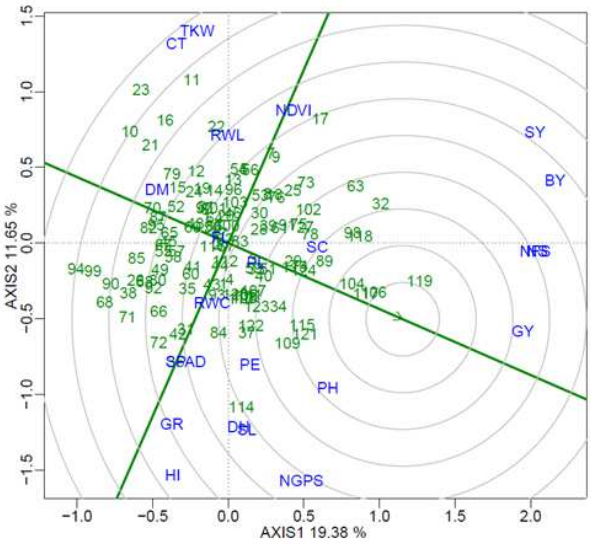
Figure 8. Genotype-trait biplot showing the relationships between 22 measured traits and genotype×trait interaction across years. The traits abbreviation are indicated in Tble 1.

روش گرافیکی تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ در صفت روش مفیدی برای تفسیر روابط بین صفات و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات مورد بررسی می‌باشد. با استفاده از این روش می‌توان پروفایل ویژگی‌های ژنوتیپ‌ها در محصولات مختلف را تعیین کرد (Yan and Rajcan, 2002; Rubio *et al.*, 2004; Yan and Frégeau-Reid, 2008). بوگال و همکاران (Bogale *et al.*, 2011) و محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2011) گزارش کردند که با استفاده از صفات زراعی در شرایط تنش خشکی می‌توان عملکرد دانه گندم دوروم را بهبود بخشید. اهمیت انتخاب صفات موثر بر عملکرد تحت شرایط تنش رطوبتی توسط محققین مختلف در گیاهان زراعی از جمله گندم گزارش شده است (Naghdipoor *et al.*, 2010; Chalish and Houshmand, 2011). کارآیی استفاده از صفات مورفولوژیک مانند ارتفاع بوته، تعداد پنجه، تعداد پنجه بارور، طول سنبله اصلی، طول پدانکل و طول ریشک در زمان بروز تنش‌خشکی قبلاً گزارش شده است (Bogale *et al.*, 2011; Mohammadi *et al.*, 2019). این صفات در تحمل به تنش خشکی موثر بوده و ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با انجام تغییرات مورفولوژیک با کمبود آب مقابله می‌کنند. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در واحد سطح در این تحقیق مشاهده شد که بیانگر اهمیت این صفات در بهبود عملکرد در شرایط تنش رطوبتی است. اما شاخص‌های NDVI و اسپد و صفت وزن هزار دانه دارای همبستگی با عملکرد دانه نبودند و تعداد روز تا گلدهی نیز دارای همبستگی منفی معنی‌دار با عملکرد دانه بود. بنابراین افزایش عملکرد در ژنوتیپ‌های مورد بررسی از طریق افزایش تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در واحد سطح از طریق انتخاب ژنوتیپ‌های زودرس امکان‌پذیر است.

در شکل ۹ ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل ارزیابی شده‌اند. دوایر متحدالمرکز، موقعیت ژنوتیپ ایده‌آل را نشان می‌دهد. محوری که حاوی فلش است و از مرکز بای‌پلات و دایره متحدالمرکز عبور می‌کند، میانگین صفات را نشان می‌دهد. ژنوتیپ‌هایی که به دوایر متحدالمرکز نزدیک‌تر هستند، پتانسیل زراعی و فیزیولوژیک بهتری در شرایط دیم دارند. صفاتی که در سمت راست بای‌پلات و در مجاورت محل ژنوتیپ ایده‌آل قرار گرفته‌اند نقش مهمی در برتری ژنوتیپ‌ها دارند و برعکس صفاتی که در سمت چپ بای‌پلات قرار گرفته‌اند، نقش کم‌تری در افزایش پتانسیل ژنوتیپ‌ها دارند و بنابراین ژنوتیپ‌های مجاور این صفات نیز فاصله بیش‌تری از ژنوتیپ ایده‌آل دارند. بر این اساس، لاین‌های شماره ۱۱۹، ۱۰۶، ۱۱۷، ۱۰۴، ۱۲۱، ۱۱۵، ۱۰۹، ۱۱۸، ۹۸، ۴۹ و ۱۲۴ به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر هستند. این ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن از قبیل تعداد سنبله در واحد سطح، ارتفاع بوته، هدایت روزنه‌ای، عملکرد زیستی، طول پدانکل خارجی، طول سنبله، تعداد روز تا گلدهی، شاخص برداشت و طول پدانکل برتر هستند و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، میزان آب نسبی از دست رفته و وزن هزار دانه کم‌تری دارند و کاهش وزن هزار دانه از طریق تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در واحد سطح قابل جبران است. بنابراین، ژنوتیپ‌های نزدیک به ژنوتیپ ایده‌آل در این تحقیق دارای صفات مطلوب شرایط دیم هستند و باید جهت ارزیابی‌های بیش‌تر در برنامه‌های اصلاحی گندم دوروم در سال‌های بعد مورد توجه قرار گیرند.

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان داد که تنوع قابل توجهی بین ژنوتیپ‌های گندم دوروم بر اساس شاخص‌های زراعی، فنولوژیک و فیزیولوژیک وجود داشت. بر اساس نتایج تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ در صفت، برخی از صفات مانند تعداد سنبله در واحد سطح، ارتفاع بوته، هدایت روزنه‌ای، عملکرد زیستی، طول پدانکل خارجی، طول سنبله، تعداد روز تا گلدهی، شاخص برداشت و طول پدانکل به‌عنوان مهم‌ترین صفات موثر بر عملکرد دانه تحت شرایط دیم شناسایی شدند. بنابراین، استفاده از این صفات به‌عنوان شاخص‌های انتخاب در برنامه‌های اصلاحی گندم دوروم می‌تواند مفید باشد. بر اساس نتایج این آزمایش، لاین‌های اصلاحی شماره ۱۱۹، ۱۰۶، ۱۱۷، ۱۰۴، ۱۲۱، ۱۱۵، ۱۰۹، ۱۱۸، ۹۸، ۴۹ و ۱۲۴، ژنوتیپ‌های مطلوب در شرایط دیم بودند و جهت بررسی‌های بیش‌تر توصیه می‌شوند. نتایج تجزیه همبستگی بای‌پلات ژنوتیپ در صفت در توافق با نتایج تجزیه همبستگی صفات بر اساس روش پیرسون بود. روش بای‌پلات ژنوتیپ در صفت، علاوه بر نمایش گرافیکی روابط بین صفات، یک روش مفید جهت مقایسه ژنوتیپ‌ها و تعیین روابط بین صفات می‌باشد و انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس گروه‌های مختلف صفات مورد بررسی را به‌صورت مشاهده‌ای تسهیل می‌کند.




شکل ۹- بای‌پلات ژنوتیپ در صفت جهت ارزیابی ژنوتیپ‌ها نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل. اسامی صفات در جدول ۱ ارایه شده‌اند.

Figure 9. GT biplot to access the studied genotypes compared to ideal genotype. The traits abbreviation are indicated in Table 1.

**تضاد منافع**

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

**رعایت اخلاق در نشر**

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

**اجازه انتشار مقاله**

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

## References

**Alvarado, G., Rodríguez F.M., Pacheco, A., Burgueño J., Crossa, J., Vargas, M., Pérez-Rodríguez, P. and Lopez-Cruz M.A. 2020.** META-R: A software to analyze data from multi-environment plant breeding trials. **The Crop Journal** 8(5): 745-756.

**Alvarado, G., López, M., Vargas, M., Pacheco, Á., Rodríguez, F., Burgueño J. and Crossa, J. 2015.** "META-R: Multi Environment Trail Analysis with R for Windows. Ver. 6.0". hdl: 11529/10201, CIMMYT Research Data and Software Repository Network. Accessed 30 November 2016.

**Barrs, H.D. and Weatherley, P.E. 1962.** A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **Australian Journal of Biological Science** 24: 519-570.

**Bernardo, R. 2020.** Reinventing quantitative genetics for plant breeding: Something old, something new, something borrowed, something BLUE. **Heredity** 125: 375-385.

**Bogale, A., Tesfaye, K. and Geleto, T. 2011.** Morpholigical and physiological attributes associated to drought tolerance of Ethiopian durum wheat genotypes under water deficit. **Journal of biodiversity and environmental sciences** 1(2): 22-36.

**Chalish, L. and S. Houshmand. 2011.** Estimate of heritability and relationship of some durum wheat characters using recombinant inbred lines. **Electronic Journal of Crop Production** 4 (2): 223-238. (In Persian with English Abstract).

**Del Pozo, A., Yáñez, A., Matus, I.A., Tapia, G., Castillo, D., Sanchez-Jardón L. and Araus, J.L. 2016.** Physiological traits associated with wheat yield potential and performance under water-stress in a Mediterranean environment. **Frontiers in Plant Science** 7: 987.

**Federer, W. and D. Raghavarao. 1975.** On augmented designs. **Biometrics** 31 (1): 29-35.

**Ferreira, A.D.C., Fritsche Neto, R. and Geraldi, I.O. 2008.** Estimation and prediction of parameters and breeding values in soybean using REML/BLUP and least squares. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** 8 (3): 219-224.

**Kaviani, R., Aghaee Sarbarzeh, M., Bihamta, M.R. and Mohammadi, M. 2014.** Genetic diversity and factor analysis for agronomical and morphological traits in durum wheat landraces. **Seed and Plant Journal** 29 (4): 673-692. (In Persian with English Abstract).

**Kilic, H., Sanal, T., Erdemci, I. and Karaca, K. 2017.** Screening bread wheat genotypes for high molecular weight glutenin subunits and some quality parameters. **Journal of Agricultural Science and Technology** 19 (6):1393-1404.

**Kroonenberg, P.M. 1995.** Introduction to biplots for G×E tables. Department of Mathematics, Research Report 51. University of Queensland, Australia.

**Habash, D.Z., Kehel, Z. and Nachit, M. 2009.** Genomic approaches for designing durum wheat ready for climate change with a focus on drought. **Journal of Experimental Botany** 60: 2805-2815.

**Hoffmann, W.A. and Poorter, H. 2002.** Avoiding bias in calculations of relative growth rate. **Annals of Botany** 90: 37-42.

**Lopes, M.S., El-Basyoni, I., Baenziger, P.S., Singh, S., Royo, C., Ozbek, K., Aktas, H., Ozer, E., Ozdemir, F., Manickavelu, A., Ban, T. and Vikram, P. 2015.** Exploiting genetic diversity from landraces in wheat breeding for adaptation to climate change. **Journal of Experimental Botany** 66 (12): 3477-3486.

**Mackay, I. 2020.** Estimating surrogates of genetic value. IM plant Consulting Ltd., Chelmsford, CM2 6HA, UK. 64 p.

**Mohammadi, R., Armion, M., Sadeghzadeh, D., Amri, A. and Nachit, M. 2010.** Analysis of genotype-by-environment interaction for agronomic traits of durum wheat in Iran. **Plant Production Science** 14 (1): 15-21.

**Mohammadi, R., Etminan, A. and Shooshtari L. 2019.** Agro-physiological characterization of durum wheat genotypes under drought conditions. **Experimental Agriculture** 55: 484-499.

**Mohammadi, R., Geravandi, M., Haghparast, R., Rajabi, R., Abdulahi, A., Malekhosseini, R., Yarkarami, Kh. and Shahsavari, B. 2019.** Study of grain yield and agro-physiological characteristics of some promising rainfed bread wheat genotypes under no-till condition. **Journal of Crop Breeding** 11 (32): 207-217. (In Persian with English Abstract).

**Mohammadi, R., Haghparast, R., Sadeghzadeh, B., Ahmadi, H., Solimani K. and Amri, A. 2014.** Adaptation patterns and yield stability of durum wheat landraces to highland cold rainfed areas of Iran. **Crop Science** 54: 944–954.

**Naghavi, M.R., Shahbaz-Pourshahbazi, A. and Taleie, A. 2002.** Study of genetic variation in durum wheat germplasm for some morphological and agronomic characteristics. **Iranian Journal of Crop Sciences** 4 (2): 81-89. (In Persian with English Abstract).

**Naghdipoor, A., Khodarahmi, M., Poorshahbazi, A. and Ismaeilzadeh, M. 2010.** Factor analysis for grain yield and other traits in durum wheat. **Journal of Agronomy and Plant Breeding** 7 (1): 84-96. (In Persian with English Abstract).

**Pacheco, A., Vargas, M., Alvarado, G., Rodríguez, F., Crossa, J. and Burgueño, J. 2016.** GEA-R: Genotype×environment analysis with R for windows. Ver. 2.0. Mexico: CIMMYT. Retrieved from http://hdl.handle.net/11529/10203.

**Peterson, D.M., Wesenberg, D.M., Burrup, D.E. and Erickson, C.A. 2005.** Relationships among agronomic traits and grain composition in oat genotypes grown in different environments. **Crop Science** 45:1249-1255.

**Purba, A.R., Flori, A., Baudouin, L. and Hamon, S. 2001.** Prediction of oil palm (*Elaeis guineesis* Jacq.) agronomic performances using best linear unbiased prediction (BLUP). **Theoretical and Applied Genetics** 102: 787-792.

**Rajaram, S., Borlaug, N.E. and van. Ginkel, M. 2004.** CIMMYT international wheat breeding. CIMMYT. Mexico.

**Rajaram, S., van Ginkel, M. and Fischer, R.A. 1994.** CIMMYT's wheat breeding mega-environments (ME). In Proceedings of the 8th International Wheat Genetics Symposium, 19-24 July, 1994, Beijing, China.

**Roy, C., Chattopadhyay, T., Ranjan, R.D., Ul-Hasan, W., Kumar, A. and De, N. 2021.** Association of leaf chlorophyll content with the stay-green trait and grain yield in wheat grown under heat stress conditions. **Czech Journal of Genetics and Plant Breeding** 57: 140-148.

**Royo, C., Dreisigacker, S., Ammar, K. and Villegas, D. 2020.** Agronomic performance of durum wheat landraces and modern cultivars and its association with genotypic variation in vernalization response (Vrn-1) and photoperiod sensitivity (Ppd-1) genes. **European Journal of Agronomy** 120: 126129.

**Rubio, J., Cubero, J.I., Martin, L.M., Suso, M.J. and Flores, F. 2004.** Biplot analysis of trait relations of white lupin in Spain. **Euphytica** 135:217-224.

**Yan, W. and Frégeau-Reid, J.A. 2008.** Breeding line selection based on multiple traits. **Crop Science** 48: 417-423.

**Yan W. and Rajcan, I.R. 2002.** Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. **Canadian Journal of Plant Science** 42: 11-20.

**Yang, R.C., Jana S. and Clarke, J.M. 1991.** Phenotypic diversity and associations of some potentially drought-responsive characters in durum wheat. **Crop Science** 31: 1484-1491.