University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

Comparison of Bread Wheat Genotypes and Correlation Analysis of Traits in Different Moisture Conditions based on GT-Biplot Method

Fatemeh Bavandpouri [1]✉| Ezatollah Farshadfar [2]| Mohsen Farshadfar[3]

1. Corresponding Author, Department of Plant Production Engineering and Genetics, Faculty of Sciences and Agricultural Engineering, Razi University of Kermanshah, Iran. Email: bavandpouri.fatemeh@razi.ac.ir
2. Department of Plant Production Engineering and Genetics, Faculty of Sciences and Agricultural Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.
3. Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: December 31, 2022
Received in revised form: May 13, 2023
Accepted: June 10, 2023
Published online: December 22, 2023

Keywords:
Biplot,
bread wheat,
correlation,
drought tolerance,
genotype×trait interaction.

ABSTRACT

In order to compare 25 genotypes of bread wheat in terms of morpho-physiological and biochemical traits, an experiment was conducted in a randomized complete blocks design with three replications in the rainfed and irrigated conditions at Razi University, Iran, in 2016-2017. GT-biplot was used to evaluate genetic diversity and to identify stable genotypes with high yield and drought tolerance. Combined variance analysis showed that there was high variability among genotypes for the most of traits. Examining the correlation of traits in two environmental conditions showed that morpho-physiological traits; especially yield components, were the most related to yield. The results of the GT-biplot method showed that the first and second principal components explain 41.7% and 40.1% of the total changes in rainfed and irrigated conditions, respectively. Based on the GT-biplot analysis diagrams of genotypes 10, 15, 6, 13, 2, 14, and the Pishtaz cultivar in terms of physiological traits, yield and its components and the traits related to stem and spike in irrigated conditions, and genotypes 10, 15, 6, 18, and 17 in terms of biochemical traits, yield and its components, and traits related to stem and spike in rainfed conditions were recognized as superior genotypes. The genotypes 2 and 6 in irrigated conditions and the genotype 6 in rainfed conditions had the lowest genotype×trait interaction. Finally, the genotypes 10, 15, and 6 were superior in two environmental conditions and the genotype 6 had the least interaction effect in both conditions. Therefore, these genotypes can be used in breeding programs.

Cite this article: Bavandpouri, F., Farshadfar, E., & Farshadfar, M. (2023). Comparison of bread wheat genotypes and correlation analysis of traits in different moisture conditions based on GT-biplot method. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *54*(4), 1-17. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.352540.654959.

© The Authors.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2023.352540.654959

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

مقایسه ژنوتیپ‌های گندم نان و تحلیل همبستگی صفات در شرایط متفاوت رطوبتی بر اساس روش GT بای‌پلات

فاطمه باوندپوری[۱]✉ | عزت‌اله فرشادفر[۲] | محسن فرشادفر[۳]

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: bavandpouri.fatemeh@razi.ac.ir

۲. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۳. گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:
اثر متقابل ژنوتیپ×صفت، ارتباط، بای‌پلات، تحمل خشکی، گندم نان.

چکیده

به‌منظور مقایسه ۲۵ ژنوتیپ گندم نان از لحاظ صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی، آزمایشی در سال ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه‌های دانشگاه رازی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط دیم و آبیاری انجام شد. برای ارزیابی تنوع ژنتیکی و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا و تحمل خشکی از GT بای‌پلات استفاده شد. تجزیه واریانس مرکب نشان داد تنوع بالایی بین ژنوتیپ‌ها برای اکثر صفات وجود داشت. بررسی همبستگی صفات در دو شرایط محیطی نشان داد که صفات مورفوفیزلوژیکی خصوصاً اجزای عملکرد بیشترین ارتباط با عملکرد را داشتند. نتایج حاصل از روش GT بای‌پلات نشان داد در شرایط دیم و آبیاری هر کدام به‌ترتیب ۴۱/۷ و ۴۰/۱ درصد از مجموع تغییرات را مؤلفه‌های اصلی اول و دوم توجیه می‌کردند. بر اساس نمودارهای تجزیه GT بای‌پلات ژنوتیپ‌های ۱۰، ۱۵، ۶، ۱۳، ۲، ۱۴ و رقم پیشتاز از نظر صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای آن و صفات مربوط به ساقه و سنبله در شرایط آبیاری و ژنوتیپ‌های ۱۰، ۱۵، ۶، ۱۸ و ۱۷ از نظر صفات بیوشیمیایی، عملکرد و اجزای آن و صفات مربوط به ساقه و سنبله در شرایط دیم به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناخته شدند. ژنوتیپ‌های ۲ و ۶ در شرایط آبیاری و ژنوتیپ ۶ در شرایط دیم کمترین اثر متقابل ژنوتیپ×صفت را داشتند. در نهایت ژنوتیپ‌های ۱۰، ۱۵ و ۶ در دو شرایط محیطی برتر بودند و ژنوتیپ ۶ دارای کمترین اثر متقابل در هر دو شرایط بود. بنابراین از این ژنوتیپ‌ها می‌توان در برنامه‌های اصلاحی استفاده کرد.

استناد: باوندپوری، ف.، فرشادفر، ع.، و فرشادفر، م. (۱۴۰۲). مقایسه ژنوتیپ‌های گندم نان و تحلیل همبستگی صفات در شرایط متفاوت رطوبتی بر اساس روش GT بای‌پلات. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۴(۴)، ۱-۱۷. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.352540.654959

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان

۱. مقدمه

گندم یکی از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین غلات در سراسر جهان با ۲۱۵ میلیون هکتار سطح زیر کشت و تولید ۷۶۵ میلیون تن می‌باشد (FAO, 2019). اصلاح ارقام جدید گندم مقاوم به خشکی با عملکرد بالا به‌عنوان یک اولویت تحقیقاتی به‌ویژه در مناطق خشک قرار دارد (Blum, 2011). تنش خشکی پس از گرده‌افشانی و در اواخر فصل رشد سبب نقصان چشمگیر عملکرد می‌شود (Amiri *et al.,* 2013). عوامل ایجاد شرایط تنش، تعادل طبیعی را تغییر داده و منجر به یک سری تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان می‌شوند که تأثیر منفی بر رشد و تولید آنها دارد و در نهایت منجر به کاهش رشد و میزان عملکرد نهایی گیاه می‌شود (Guo *et al.,* 2010).

موفّقیّت در اصلاح گیاه، بستگی به درک عمیق از ساختار ژنتیکی صفات دارد. اصلاح برای مقاومت به تنش یک راه مؤثّر سازگارکردن گیاهان زراعی به تنش‌های غیر زنده است (Farshadfar, 2018). انتخاب ژنوتیپ بر اساس چندین صفت یکی از مسائل مهم به‌نژادی است و استفاده از GT[1] بای‌پلات اساساً برای فائق‌آمدن در مشکلاتی است که در انتخاب بر اساس سطوح مستقل (Independent Culling) و شاخص گزینش (Index Selection) وجود دارد. ازآنجایی‌که مسئله عملکرد نهایی و اصلاح برای عملکرد همیشه از اهداف برجسته به‌نژادی است، لذا ترکیب صفت×عملکرد (GYT بای‌پلات) توصیه می‌شود (Yan & Fregeau-Reid, 2018). روش بای‌پلات به‌طور معمول برای آزمایش‌های ناحیه‌ای طراحی شده، اما امکان کاربرد آن براساس داده‌های دو طرفه ژنوتیپ–تستر نیز وجود دارد. این روش بر پایه مقادیر مؤلفه اصلی اول و دوم مطرح و بسط داده شده است (Yan & Haunt, 2002). تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ×صفت (GT بای‌پلات) توسط Yan & Rajcan (2002) پیشنهاد شد که برای تشخیص صفاتی ابداع شد که می‌توانند برای انتخاب غیر مستقیم صفت هدف استفاده شوند و اطلاعات مفیدی از ارقام در خصوص تولید محصول ازجمله‌اینکه به نشان‌دادن صفاتی که موجب کاهش عملکرد می‌شوند، کمک می‌کند. همچنین به‌عنوان یک ابزار آماری قدرتمند برای توصیف و خلاصه‌کردن ماتریس اطلاعات در تجزیه توصیفی داده‌ها، مطالعه روابط بین صفات، ارزیابی ارقام براساس صفات چندگانه و برای شناسایی آن ارقامی که از لحاظ صفات خاصی برتر هستند، نمایش گرافیکی معایب یا شایستگی‌های یک صفت، نمایش گرافیکی روابط متقابل میان صفات و نیز شناسایی صفاتی که ارتباط زیادی با صفت هدف دارند، استفاده می‌شود (Yan & Kang, 2002). ژنوتیپ‌ها به‌عنوان ورودی و صفات چندگانه به‌عنوان تسترها قرار داده می‌شوند (Rubio *et al.,* 2004). در این روش، روابط بین صفات از طریق همبستگی‌های ساده به‌دست نمی‌آید، بلکه از طریق روابط متقابل تمام صفات اندازه‌گیری می‌شود و الگوی کلی داده‌ها به‌دست می‌آید (Samonte *et al.,* 2013). Zabat *et al.* (2019) گزارش کردند که در نمودار دووجهی ژنوتیپ×صفت، یک بردار از مبدأ نمودار تا موقعیت هر صفت کشیده می‌شود تا ارتباطات درونی بین دو یا چند صفت نشان داده شود.

همچنین در این گزارش بیان شده که طول بردار در نمودار دووجهی تا حدودی متناسب با انحراف معیار استاندارد آنها است، بنابراین طول بردار بیشتر نشان‌دهنده نقش بیشتر آن ژنوتیپ یا صفت در توجیه تنوع داده‌های نمودار دووجهی است و خطوط عمود بر اضلاع چندضلعی، مقایسه بین ژنوتیپ‌های نزدیک به هم را در رأس چندضلعی آسان می‌کند. تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ×صفت برای ارزیابی صفات مختلف در ژنوتیپ‌های یولاف (Yan & Fregeau-Reid, 2008)، ذرت (Safari Dolatabad *et al.,* 2010؛ Badu-Apraku & Akinwale, 2011) و گندم (Akcura, 2011، Farshadfar *et al.,* 2020؛ Zabat *et al.,* 2019) استفاده شده است. بررسی ژرم‌پلاسم گندم نان در ایران از لحاظ تحمل به خشکی و براساس صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک، فنولوژیک و بیوشیمیایی امری ضروری به‌نظر می‌رسد.

ازاین‌رو هدف از تحقیق حاضر مقایسه ژنوتیپ‌های گندم نان و مطالعه روابط بین صفات به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های برتر بود. به‌عبارت دیگر شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا برای تحمل به خشکی بااستفاده‌از صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی تحت شرایط دیم و آبیاری و نیز ارزیابی تنوع ژنتیکی بااستفاده‌از روش GT بای‌پلات از اهداف این پژوهش است.

1. Genotype×Trait

۲. روش‌شناسی پژوهش

مواد گیاهی مورد استفاده در این پژوهش، ۲۵ ژنوتیپ شامل دو رقم پیشتاز و پیشگام (شاهد) و ۲۳ توده گندم نان پاییزه تهیه‌شده از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج بودند (جدول ۱).

جدول ۱. کد و نام ارقام و ژنوتیپ‌های گندم نان مورد مطالعه.

Genotype code	Genotype name	Origin	Genotype type	Genotype code	Genotype name	Origin	Genotype type	Genotype code	Genotype name	Origin	Genotype type
1	WC-4924	Kalat	Accession	10	WC-4987	Unknown	Accession	19	Pishtaz	Pishtaz	Cultivar
2	WC-4582	Kermanshah	Accession	11	WC-47615	Mexico	Accession	20	Pishgam	Pishgam	Cultivar
3	WC-4592	Kermanshah	Accession	12	WC-4612	Kordestan Babrar	Accession	21	WC-47640	Minnesota	Accession
4	WC-47341	Montana	Accession	13	WC-5001	Unknown	Accession	22	WC-47467	Mexico	Accession
5	WC-4965	Kashan	Accession	14	WC-4994	Unknown	Accession	23	WC-4553	Kerend	Accession
6	WC-4840	Sarakhs	Accession	15	WC-47638	Peru	Accession	24	WC-4583	Kermanshah	Accession
7	WC-4958	Badranloo	Accession	16	WC-47583	Canada	Accession	25	WC-4554	Kerend	Accession
8	WC-47399	Bulgaria	Accession	17	WC-47522	Mexico	Accession				
9	WC-4600	Kermanshah	Accession	18	WC-47569	Minnesota	Accession				

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در دو شرایط دیم و آبیاری در مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه‌های دانشگاه رازی به اجرا درآمد. موقعیت جغرافیایی و آب و هوایی محل اجرای آزمایش به شرح زیر می‌باشد: طول جغرافیایی (۴۷ درجه و ۹ دقیقه)، عرض جغرافیایی (۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه)، ارتفاع از سطح دریا (۱۳۱۹ متر)، متوسط بارندگی (۴۵۰-۴۸۰ میلی‌متر)، بافت خاک (سیلتی رسی)، وضعیت آب و هوایی و وضع طبیعی (سرد معتدل، رشته‌کوه‌های زاگرس شمالی)، متوسط درجه حرارت سالیانه (۱۳/۳ درجه سانتی‌گراد)، میزان بارندگی در سال ۹۶-۱۳۹۵ (۴۰۱/۵۱ میلی‌متر). هر کرت شامل پنج خط دو متری با فاصله خطوط ۲۳ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع بود. در شرایط دیم و آبیاری، اولین آبیاری پس از کاشت (۹۵/۰۸/۲۴) به‌عنوان تاریخ کشت در نظر گرفته شد. برای شرایط آبیاری در تاریخ ۲۵ اردیبهشت‌ماه در مرحله ۵۰ درصد سنبله‌دهی، آبیاری با روش غرقابی انجام شد و مرحله دوم آبیاری در اوایل خردادماه بعد از سنبله‌دهی کامل و مرحله سوم در ۱۵ خردادماه و در مرحله شیری‌شدن دانه‌ها انجام شد. در شرایط دیم در تمام طول دوره رشد آبیاری انجام نشد. در طی اجرای آزمایش از هیچ‌گونه کود شیمیایی استفاده نشد و عملیات وجین به‌صورت دستی انجام گرفت. برای انجام یادداشت‌برداری از هر کرت پنج نمونه به‌طور تصادفی و با رعایت اثر حاشیه‌ای انتخاب شد. اندازه‌گیری صفات پس از آخرین آبیاری و در مرحله رشد دانه‌ها و باتوجه‌به وضعیت ظاهری ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط دیم و آبیاری به شرح زیر انجام شد و در نهایت برداشت در اوایل تیرماه ۱۳۹۶ انجام شد. صفات مورد مطالعه و نحوه اندازه‌گیری آن‌ها به شرح زیر ارائه می‌شود.

عملکرد دانه در متر مربع (GY): پس از حذف اثر حاشیه‌ای، سنبله‌های سه ردیف یک متری از هر کرت برداشت شده و خرمن‌کوبی شدند و وزن دانه‌های به‌دست‌آمده محاسبه شد. تعداد سنبله در متر مربع (NSP): برای این منظور تمام سنبله‌های سه خط یک متری از هر کرت با رعایت اثر حاشیه شمارش و سپس تعداد سنبله در متر مربع محاسبه شد. تعداد دانه در سنبله (NSPS): برای اندازه‌گیری این صفت پنج سنبله به‌صورت تصادفی از هر کرت انتخاب شد و سپس تعداد دانه‌های آنها شمارش شد. وزن هزار دانه (TSW): وزن هزار دانه هر ژنوتیپ بااستفاده‌از دانه‌های برداشت‌شده از هر کرت بر حسب گرم اندازه‌گیری شد. عملکرد بیولوژیک (BY): با کف‌برکردن بوته‌ها از سطح خاک و محاسبه وزن آن‌ها صورت گرفت. ارتفاع بوته (PHe): ارتفاع پنج بوته برحسب سانتی‌متر از سطح خاک تا سنبلچه انتهایی بدون درنظرگرفتن ریشک اندازه‌گیری شد. وزن سنبله‌ها در متر مربع (عملکرد سنبله) (SW): برای این منظور تمام سنبله‌های سه خط یک متری از هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای که شمارش شده بودند، وزن شدند و سپس وزن سنبله‌ها در متر مربع محاسبه شد. طول سنبله (SL): فاصله پایه سنبله تا سنبلچه انتهایی بدون درنظرگرفتن طول ریشک برای هر بوته برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. طول پدانکل (PL): فاصله پایه سنبله تا اولین گره برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. طول اکستراژن (XL): فاصله پایه سنبله تا یقه برگ پرچم بر حسب سانتی‌متر برای پنج بوته محاسبه شد. طول پنالتی‌میت (PML): فاصله اولین گره تا دومین گره برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. وزن هکتولیتر (HW): با وزن‌کردن بذرهای داخل استوانه مدرج

که حجم آن یک لیتر بود و بر حسب گرم در لیتر محاسبه شد. وزن خشک سنبله (SDW)، وزن دانه در سنبله (SGW) و وزن خشک ساقه (StW) به‌ترتیب با شمارش و وزن‌کردن تصادفی پنج سنبله و سپس وزن‌کردن ساقه‌های همان پنج بوته در هر کرت محاسبه شد. تعداد سنبلچه زایا و نازا (NPS و NNPS) به‌ترتیب با شمارش تعداد سنبلچه‌های بارور و نابارور پنج سنبله تصادفی انجام شد. تعداد روز تا بوتینگ (DB): فاصله زمانی از کاشت (اولین آبیاری) که به‌عنوان تاریخ کاشت در نظر گرفته شد تا زمانی‌که ۵۰ درصد بوته‌ها وارد مرحله شکم‌خوش شده باشند، محاسبه شد. روز تا سنبله‌دهی (DAS): فاصله زمانی از کاشت (اولین آبیاری) تا مرحله به‌سنبله‌رفتن ۵۰ درصد بوته‌ها محاسبه شد. روز تا گلدهی (DF): فاصله زمانی از کاشت (اولین آبیاری) تا ۵۰ درصد گلدهی محاسبه شد. روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (DPM): فاصله زمانی از کاشت (اولین آبیاری) تا رسیدن فیزیولوژیکی دانه که دیگر ماده‌ای به وزن خشک دانه اضافه نمی‌شود برای هر توده در هر تکرار محاسبه شد. محتوی آب نسبی برگ (RWC)، کمبود آب اشباع (WSD) و میزان آب نسبی ازدست‌رفته (RWL) (Barrs, 1968)؛ میزان آب نگهداری‌شده در برگ‌های بریده‌شده (ELWR)، محتوی آب برگ (LWC) و محتوی آب اولیه (IWC) (Clarke & Mccaig, 1982)؛ آب ازدست‌رفته در برگ‌های بریده‌شده (ELWL) (Manette *et al.,* 1988)؛ میزان آب ازدست‌رفته برگ (LWL) (Xing *et al.,* 2004)؛ آب حفظ‌شده برگ (RWP) (Hashemi Nasab, 2011)؛ راندمان مصرف آب (WUE) و کارایی تبخیر و تعرق (ETE) (Wright *et al.,* 1995)؛ محتوی کلروفیل و کاروتنوئید از روش Lichtenthaler & Welburn (1983)؛ سرعت فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD) از روش Chance & Maehly (1995) با اندکی تغییرات؛ سرعت فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (SOD) از روش Beauchamp & Fridovich (1971)؛ سرعت فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) بااستفاده‌از روش Sinha (1972) با اندکی تغییرات؛ سرعت فعالیت آنزیم آسکوربیک‌پراکسیداز (APX) از روش Nakano & Asada (1981)؛ غلظت پروتئین محلول از روش Bradford (1976)؛ پراکسیداسیون لیپیدهای غشا (MDA) از روش Heath & Packer (1968)؛ غلظت پرولین از روش Bates *et al.* (1973) محاسبه شد. برای انجام تجزیه‌های آماری در ابتدا آزمون کلموگروف– اسمیرنوف (Kmogorov-Smirnov)، برای آزمون نرمال‌بودن و بررسی چولگی و کشیدگی داده‌های محیط‌های آزمایشی استفاده شد. جهت اطلاع از وضعیت توزیع و ماهیت داده‌های موجود بااستفاده‌از آزمون‌های بارتلت (Bartlett, 1937) و لون (Leven, 1960) همگنی واریانس خطاهای آزمایشی مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه واریانس مرکب براساس داده‌های حاصل از ارزیابی ۲۵ ژنوتیپ، شامل دو رقم و ۲۳ توده به‌منظور تعیین سهم اثرات اصلی ژنوتیپ، شرایط آبیاری و اثرات متقابل آن‌ها بااستفاده‌از نرم‌افزار SAS 9.1.3 مورد ارزیابی قرار گرفت.

رابطه‌های بین صفات و ضرایب همبستگی فنوتیپی بااستفاده‌از نرم‌افزار SPSS به‌دست آمد. همچنین به‌منظور بررسی رابطه بین صفات مختلف و مقایسه ژنوتیپ‌ها از روش GT بای‌پلات و بااستفاده‌از نرم‌افزار GGE بای‌پلات براساس اشکال دریافت‌شده از این برنامه ارزیابی شد. مدل آماری GT بای‌پلات بر اساس رابطه زیر است (Yan & Rajcan, 2002):

$$\frac{T_{ij}-\overline{T}_j}{S_j}=\lambda_1\xi_{i1}\tau_{1j}+\lambda_2\xi_{i2}\tau_{2j}+\varepsilon_{ij}$$

که در این رابطه، T_{ij} ارزش متوسط ژنوتیپ i برای صفت j، $\overline{T}$ ارزش متوسط صفت j روی همه ژنوتیپ‌ها، S_j انحراف استاندارد صفت j بین میانگین‌های ژنوتیپ، λ_1 و λ_2 به‌ترتیب مقادیر منفرد مؤلفه‌های اصلی اول و دوم، ξ_{i1} و ξ_{i2} به‌ترتیب نمره‌های PC1 وPC2 برای ژنوتیپ i، τ_{1j} و τ_{2j} به‌ترتیب نمره‌های PC1 و PC2 برای صفت j و ε_{ij} باقی‌مانده مدل است.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

تجزیه واریانس مرکب صفات مورفولوژیکی نشان داد که بین شرایط مختلف آبیاری، برای صفات عملکرد دانه در متر مربع، وزن هکتولیتر، وزن هزاردانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در متر مربع، عملکرد بیولوژیک، وزن سنبله‌ها در متر مربع، ارتفاع گیاه، طول اکستراژن، طول پدانکل، طول پنالتی‌میت، تعداد سنبلچه نازا، وزن خشک سنبله، وزن خشک ساقه و وزن دانه در سنبله اختلاف معنی‌داری وجود دارد. برای اثر ژنوتیپ، بین آن‌ها از نظر همه صفات اختلاف معنی‌داری وجود دارد. همچنین، اثر متقابل ژنوتیپ×آبیاری روی صفت وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). در تحقیقی که روی ۲۰ توده بومی گندم نان تحت شرایط تنش

آبی و بدون تنش (شامل آبیاری در زمان کاشت و بعد از ۲۱ روز و پس از آن توقف آبیاری تا پایان فصل رشد) انجام شد، نشان داد که تنش آبی باعث کاهش ۹/۵۴ درصدی در عملکرد دانه شد که با کاهش در تمام صفات مورد مطالعه بجز محتوای پروتئین دانه همراه بود. نتایج نشان داد که توده‌های بومی متحمل به خشکی با ویژگی‌هایی چون بلوغ زودرس، دوره کوتاه پر شدن دانه، ارتفاع بوته کوتاه و عملکرد دانه بالا در گیاه مشخص می‌شوند (Al-Naggar *et al.,* 2020b).

نتایج حاصل از تجزیه مرکب صفات فیزیولوژیکی (جدول ۳) نشان داد که بین شرایط مختلف آبیاری، برای همه صفات به‌استثنای LWL اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات ELWR، ELWL، LWL، RWP، WUE، Chl b و Car اختلاف معنی‌داری وجود دارد. همچنین اثر متقابل ژنوتیپ×آبیاری روی صفت RWP معنی‌دار بود. نتایج تحقیق روی توده‌های بومی گندم نان براساس صفات مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی نشان داد که اثر ژنوتیپ برای بیشتر صفات معنی‌دار بود (Naderi *et al.,* 2020) که با نتایج این پژوهش در تعدادی از ژنوتیپ‌ها مطابقت داشت. در مطالعه‌ای روی صفات فیزیولوژیکی گندم نان مشخص شد که شاخص محتوی آب نسبی برگ، محتوی کلروفیل، محتوی آب ازدست‌رفته از برگ‌های بریده‌شده و کمبود آب اشباع روند کاهشی قابل توجهی در تیمار تنش خشکی (مرحله پیش از گرده‌افشانی یا به‌عبارتی ۱۰±۹۵ روز پس از کاشت و خشکی با توقف آبیاری برای حدود ۸ تا ۱۲ روز تا زمانی که علائم خشکی به شکل پژمردگی موقت برگ شروع شود) نسبت به گیاهان خوب آبیاری‌شده از خود نشان دادند (Ahmed *et al.,* 2020). به‌طور کلی در این پژوهش و بر اساس نتایج برخی از محققان، بر طبق تجزیه واریانس مرکب می‌توان نتیجه گرفت که در مورد صفات فیزیولوژیکی، تنش خشکی روی صفات محتوی آب نسبی برگ، کمبود آب اشباع، آب نگهداری‌شده در برگ‌های بریده‌شده، آب از دست‌رفته در برگ‌های بریده‌شده، آب حفظ‌شده برگ، محتوی آب برگ، راندمان مصرف آب و کلروفیل b بیشترین تأثیر را گذاشت.

نتایج حاصل از تجزیه مرکب صفات فنولوژیکی نشان داد که بین شرایط مختلف آبیاری، برای صفات روز تا بوتینگ، روز تا سنبله‌دهی، روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۴). بین ژنوتیپ‌ها از نظر تمامی صفات بجز روز تا رسیدگی فیزیولوژیک اختلاف معنی‌داری وجود دارد. همچنین اثر متقابل ژنوتیپ×آبیاری از نظر صفت روز تا رسیدگی فیزیولوژیک معنی‌دار بود. در بررسی صفات فنولوژیک ۳۰ ژنوتیپ گندم گزارش شد که صفات روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، دوره پر شدن دانه، روز تا گلدهی و روز تا کامل‌شدن سنبله در هر دو شرایط دیم (تنش آبی پس از گرده‌افشانی) و آبی (سه بار آبیاری پس از گرده‌افشانی) معنی‌دار شدند (Ashrafi Parchin *et al.,* 2011) که از نظر به‌کارگیری این صفات با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. در تجزیه مرکب اثر محیط برای روز تا کامل‌شدن سنبله در سطح پنج درصد و بقیه صفات در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج پژوهشی با هدف شناخت فنولوژی دامنهٔ گسترده‌ای از ارقام و ژنوتیپ‌های گندم زراعی در ایران و بررسی ارتباط فنولوژی با حفظ پتانسیل عملکرد در شرایط تنش خشکی آخر فصل، نشان داد ارقامی که رشد رویشی خود را به‌سرعت سپری می‌کنند و وارد دورهٔ زایشی می‌شوند، توان بیشتری برای تحمل تنش خشکی آخر فصل دارند. همچنین در شرایط تنش خشکی مشاهده شد که اغلب ارقام گندم با دوره کوتاه پر شدن دانه صاحب برترین رتبه‌های تولید وزن هزار دانه بودند (Ziloee *et al.,* 2015).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب صفات بیوشیمیایی نیز نشان داد که بین شرایط مختلف آبیاری برای همه صفات اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۵). بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز، پرولین، آسکوربیک‌پراکسیداز و مالون‌دی‌آلدئید اختلاف معنی‌داری وجود دارد. همچنین اثر متقابل ژنوتیپ×آبیاری روی همه صفات بیوشیمیایی بجز مالون-دی‌آلدئید معنی‌دار بود. معنی‌دارشدن اثر ژنوتیپ بیانگر وجود پتانسیل ژنتیکی متفاوت در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی برای صفات مورد مطالعه بود. در مطالعه‌ای به‌منظور ارزیابی برخی صفات بیوشیمیایی در چند گونه زراعی و وحشی گندم تحت تنش خشکی، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تاثیر تنش خشکی روی غلظت پروتئین، کلروفیل a و b، کاروتنوئید، آنزیم کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز، آسکوربات‌پراکسیداز و مالون‌دی‌آلدئید معنی‌دار بود. فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز تحت تنش خشکی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و یکی از ارقام در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت بیشترین میزان را داشت (Derogar *et al.,* 2019).

جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب در دو شرایط دیم و آبیاری برای صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد ۲۵ ژنوتیپ گندم نان.

S.O.V.	df	GY	HW	TSW	NSPS	NSP	BY
Irrigation	1	470283.3**	345926.3**	4710.5**	440.3*	385433.9**	1729933.7**
Replication in the Irrigation	4	21490.8	5265.2	9.5	56.05	5534.1	34548.4
Genotype	24	28250.6**	15709.6**	102.6**	107.3**	17476.7**	90158.9**
Genotype×Irrigation	24	6237.1 ns	4973.5 ns	16.16**	10.07 ns	5910.9 ns	30977.9 ns
Error	96	4496.4	6207.6	3.5	26.19	9474.1	56443.6
C.V%		19.74	9.75	5.45	14.02	24.19	19.82

ادامه جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب در دو شرایط دیم و آبیاری برای صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد در ۲۵ ژنوتیپ گندم نان.

S.O.V.	df	NPS	NNPS	PH	XL	PL	PML
Irrigation	1	15.75 ns	7.09*	1418.9**	482.48**	525.81*	107.1*
Replication in the Irrigation	4	3.3	0.54	22.78	18.56	37.77	12.98
Genotype	24	10.84**	2.39**	541.97**	63.76**	86.39**	44.54**
Genotype × Irrigation	24	0.39 ns	0.11 ns	32.27 ns	17.39 ns	18.04 ns	4.15 ns
Error	96	1.62	0.23	63.1	11.92	13.17	5.05
C.V%		7.36	25.37	8.55	24.98	10.57	9.69

ادامه جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب در دو شرایط دیم و آبیاری برای صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد در ۲۵ ژنوتیپ گندم نان.

S.O.V.	df	SL	SW	SDW	StW	SGW
Irrigation	1	6.62 ns	577780.8*	13.16**	0.81*	9.37**
Replication in the Irrigation	4	2.04	32871.4	0.35	0.04	0.13
Genotype	24	7.6**	47684.9**	0.5**	0.23**	0.27**
Genotype × Irrigation	24	0.22 ns	7027.5 ns	0.12 ns	0.02 ns	0.08 ns
Error	96	0.72	10792.1	0.11	0.04	0.05
C.V%		8.43	19.93	17.44	16.41	17.1

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns غیر معنی‌دار.

جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب در دو شرایط دیم و آبیاری برای صفات فیزیولوژیک در ۲۵ ژنوتیپ گندم نان.

S.O.V.	df	RWC	WSD	RWL	ELWR	ELWL	LWL	RWP
Irrigation	1	2979.43**	2979.42**	1544.1**	1954.1*	2544.1*	781.3 ns	2535.1**
Replication in the Irrigation	4	78.28	78.28	3.77	97.85	146.6	218.6	1.79
Genotype	24	98.73 ns	98.73 ns	46.54 ns	175.9**	385.7**	78.58**	384.2**
Genotype×Irrigation	24	60.59 ns	60.59 ns	29.34 ns	30.46ns	55.87 ns	22.72 ns	55.54**
Error	96	52.76	52.76	27.05	94.05	222.1	45.8	18.01
C.V%		12.38	17.58	24.39	17.21	22.15	27.04	12.96

ادامه جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب در دو شرایط دیم و آبیاری برای صفات فیزیولوژیک در ۲۵ ژنوتیپ گندم نان.

S.O.V.	df	LWC	IWC	WUE	ETE	Chl a	Chl b	Car
Irrigation	1	639.7**	68635.9 **	92.6**	1846.2**	140.7**	5.34**	8.9**
Replication in the Irrigation	4	1.53	322.8	0.61	3.84	4.03	0.1	0.16
Genotype	24	13.98 ns	1069.4 ns	0.98**	4.79 ns	5.18 ns	0.3*	0.44*
Genotype×Irrigation	24	8.1 ns	559.7 ns	0.25 ns	3.02 ns	2.91 ns	0.14 ns	0.2 ns
Error	96	8.12	533.6	0.27	3.28	3.81	0.21	0.34
C.V%		4.41	12.4	23.76	22.4	12.15	12.54	12.92

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns غیر معنی‌دار.

جدول ٤. تجزیه واریانس مرکب در دو شرایط دیم و آبیاری برای صفات فنولوژیک در ۲۵ ژنوتیپ گندم نان.

S.O.V.	df	DB	DAS	DF	DPM
Irrigation	1	37.5*	73.5*	92.83**	4816.7**
Replication in the Irrigation	4	2.46	4.21	4.29	2.13
Genotype	24	34.29**	48.62**	38.21**	10.12 ns
Genotype × Irrigation	24	2.25 ns	1.38 ns	3.26 ns	5.72**
Error	96	2.65	3.17	3.77	0.93
C.V.%		0.96	1.02	1.08	0.46

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns غیر معنی‌دار.

جدول ۵. تجزیه واریانس مرکب در دو شرایط دیم و آبیاری برای صفات بیوشیمیایی در ۲۵ ژنوتیپ گندم نان.

S.O.V.	df	POD	SOD	CAT	Protein	Prolin	APX	MDA
Irrigation	1	0.37**	2.58**	33.22**	32924.4**	272.5**	489561.6**	0.05**
Replication in the Irrigation	4	0.0003	0.0002	0.0004	11.35	0.02	178.2	0.001
Genotype	24	0.02**	0.17**	1.42*	1416.6 ns	16.07**	21384.4*	0.005**
Genotype×Irrigation	24	0.006**	0.05**	0.63**	855.4**	5.44**	8793.4**	0.001 ns
Error	96	0.001	0.0003	0.005	25.39	0.04	153.9	0.001
C.V.%		8.89	4.08	6.28	5.07	3.44	6.39	10.07

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns غیر معنی‌دار.

نتایج به‌دست‌آمده برای ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه با عملکرد دانه در شرایط آبیاری نشان داد که بین عملکرد دانه در متر مربع با وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، عملکرد بیولوژیک، عملکرد سنبله، ارتفاع گیاه، طول پدانکل، طول پنالتی‌میت، تعداد سنبلچه زایا، وزن خشک سنبله، وزن خشک ساقه، وزن دانه در سنبله، محتوی آب نسبی برگ، راندمان مصرف آب و کارایی تبخیر و تعرق همبستگی مثبت و معنی‌دار و همچنین با وزن هکتولیتر، تعداد سنبلچه نازا و کمبود آب اشباع‌شده همبستگی منفی و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۶). نتایج به‌دست‌آمده برای ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه در شرایط دیم نشان داد که بین عملکرد دانه در متر مربع با وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد سنبله، ارتفاع گیاه، طول اکستراژن، طول پدانکل، طول پنالتی‌میت، وزن خشک سنبله، وزن دانه در سنبله، راندمان مصرف آب، کارایی تبخیر و تعرق و فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز همبستگی مثبت و معنی‌دار و با وزن هکتولیتر، تعداد سنبلچه نازا، روز تا سنبله‌دهی و روز تا گلدهی همبستگی منفی و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۶). باتوجه‌به نتایج کاملاً مشخص است که در شرایط دیم دو صفت راندمان مصرف آب و کارایی تبخیر و تعرق بیشتر با عملکرد ارتباط داشتند که این نتیجه‌گیری تأییدی بر اهمیت استفاده بهینه از رطوبت موجود در شرایط دیم دارد، از طرف دیگر منفی‌بودن ارتباط وزن هکتولیتر با عملکرد می‌تواند بیانگر این مطلب باشد که در شرایط دیم دانه‌ها وزن کمتری دارند و به‌عبارتی پرشدن دانه در این شرایط دچار مشکل می‌شود؛ بنابراین اگر درشرایط دیم بتوان دانه‌هایی با وزن بیشتر به‌دست آورد، می‌توان به ارقامی با تولید عملکرد بالا دست یافت. در مطالعه‌ای نیز بین تعداد دانه در سنبله و شاخص برداشت با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (Heydari *et al.*, 2008) که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت. در آزمایشی بین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیو و آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد وجود داشت که به نظر می‌رسد پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز که تحت تنش افزایش بیشتری نشان دادند، نقش مهمی در تحمل به خشکی داشتند (Mohammadkhani & Sharifi, 2016).

۳-۱. نمایش پلی‌ژنی GT بای‌پلات در شرایط آبیاری

نتایج حاصل از روش GT بای‌پلات در شرایط آبیاری نشان داد که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم به‌ترتیب ۲۵/۲ و ۱۴/۹درصد و در مجموع ۴۰/۱ درصد کل تغییرات را توجیه کرده‌اند (شکل ۱). بررسی نمودار چندضلعی نشان داد که صفات مورد بررسی در پنج

گروه قرار دارند و ژنوتیپ‌های شماره ۱۸، ۱۰، ۷، ۱۲ و ۱۶ که در رئوس این چندضلعی قرار دارند، برای صفات هر گروه که در بین خطوط مربوطه قرار گرفته‌اند برتر می‌باشند. ژنوتیپ شماره ۱۸ به‌همراه ژنوتیپ‌های شماره ۲۳ و ۹ بیشترین مقدار را برای صفات CHL B، CHL A، Prolin، CAT، RWL، CAR، POD، XL، MDA و LWL دارا بودند و تقریباً از لحاظ صفات مربوط‌به کلروفیل و صفات بیوشیمیایی برتر بودند. ژنوتیپ شماره ۱۰ به‌همراه ژنوتیپ‌های شماره ۱۵، ۱۳، ۱۴، ۲، ۶، ۲۵ و رقم پیشتاز بیشترین میزان را برای صفات GY، WUE، SW، BY، ETE، RWC، PML، NPS، SL، PL، TSW، NSP، APX، PH، NSPS، STW و SGW دارا بودند و تقریباً از لحاظ صفات فیزیولوژیک، عملکرد و صفات مرتبط با آن و صفات مربوط به ساقه و سنبله برتری داشتند و ژنوتیپ شماره ۷ به‌همراه ژنوتیپ شماره ۵ و رقم پیشگام برای صفات DPM، ELWR، RWP، DF، DB، DAS، LWC، IWC، SOD و SDW بیشترین مقدار را داشتند و تقریباً از نظر صفات فنولوژیک برتر بودند.

ژنوتیپ شماره ۱۲ به‌همراه ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۱، ۱۱ و ۴ بیشترین مقدار را برای صفات NNPS و WSD داشتند و ژنوتیپ شماره ۱۶ به‌همراه ژنوتیپ‌های شماره ۲۴ ، ۱۷، ۲۱، ۲۲ و ۸ نیز بیشترین مقدار را برای صفات HW، Protein و ELWL به خود اختصاص دادند. به‌عبارتی صفاتی که روی هم قرار گرفته اند ارتباط بالا یا روند واکنشی یکسانی با هم دارند که در مورد صفاتی همچون GY با WUE؛ BY با ETE؛ RWC با PML، SL و NPS؛ ELWR با RWP و RWP اینگونه بود. همچنین هر چقدر به سمت مرکز نمودار حرکت کنیم، ژنوتیپ‌ها برای صفات تغییرات کمتری نشان می‌دهند و هر چه به سمت رأس چندضلعی‌ها حرکت کنیم ژنوتیپ‌ها برای آن صفات تغییرات بیشتری نشان می‌دهند که به‌عنوان مثال ژنوتیپ شماره ۱۰ برای صفات فیزیولوژیک، عملکرد و صفات مرتبطبا آن و صفات مربوطبه ساقه و سنبله دارای بیشترین سهم در تنوع این صفات بودند و در ادامه ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۳، ۱۴، ۲، ۶، ۲۵ و رقم پیشتاز دارای سهم متوسطی در تغییرات این صفات بودند. اگر مجموع مؤلفه‌های اصلی اول و دوم نتواند اکثر تغییرات موجود را توجیه کند که در تحقیق حاضر نیز اینگونه بود، ماهیت پیچیده اثر متقابل ژنوتیپ×صفت را نشان می‌دهد (Yan & Tinker, 2005)؛ ولی الزاماً به‌معنای غیر معتبربودن بای‌پلات نیست (Yan *et al.,* 2007).

جدول ٦. همبستگی فنوتیپی صفات مورد بررسی با عملکرد دانه در متر مربع در دو شرایط دیم و آبیاری.

Traits	Irrigation	Rainfed	Traits	Irrigation	Rainfed	Traits	Irrigation	Rainfed
HW	-0.414*	-0.584**	**StW**	0.562**	0.349	**CHLb**	0.212	-0.276
TSW	0.621**	0.533**	**SGW**	0.794**	0.450*	**CAR**	0.316	-0.305
NSPS	0.433*	-0.012	**RWC**	0.593**	-0.308	**DB**	-0.333	-0.316
NSP	0.390	0.136	**WSD**	-0.593**	0.308	**DAS**	-0.347	-0.399*
BY	0.719**	0.838**	**RWL**	0.057	-0.062	**DF**	-0.153	-0.434*
SW	0.973**	0.950**	**ELWR**	-0.043	0.118	**DPM**	0.012	-0.135
PH	0.417*	0.415*	**ELWL**	-0.090	-0.113	**POD**	0.334	-0.102
XL	0.185	0.597**	**LWL**	0.191	-0.043	**SOD**	0.012	0.479*
PL	0.453*	0.663**	**RWP**	0.085	0.112	**CAT**	0.068	0.106
PML	0.532**	0.556**	**LWC**	-0.030	0.235	**Protein**	-0.382	-0.175
SL	0.227	0.157	**IWC**	0.034	0.086	**Prolin**	-0.135	0.195
NPS	0.616**	0.384	**WUE**	1**	0.985**	**APX**	0.157	0.333
NNPS	-0.610**	-0.440*	**ETE**	0.689**	0.753**	**MDA**	0.158	0.057
SDW	0.713**	0.424*	**CHLa**	0.181	-0.319			

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

در تحقیقی روی ژنوتیپ‌های گندم نان در شرایط دیم، نمای چندضلعی بای‌پلات ژنوتیپ–صفت نشان داد که یکی از ژنوتیپ‌ها برترین ژنوتیپ از نظر عملکرد دانه، راندمان مصرف آب، آب نگهداری‌شده در برگ‌های بریده‌شده و میزان سبزینگی برگ بود. رابطه ژنتیکی مثبت و معنی‌داری میان راندمان مصرف آب و عملکرد دانه، میان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II و آب ازدست‌رفته برگ و میان آب نگهداری‌شده در برگ‌های بریده‌شده و درجه سبزینگی برگ مشاهده شد که از نظر صفات راندمان مصرف آب و عملکرد دانه و نحوه اعمال تنش با نتایج این پژوهش مطابقت داشت (Morovati *et al.,* 2019). همچنین در بررسی تنوع ژنتیکی ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم براساس ویژگی‌های فیزیولوژیک و شاخص‌های تحمل به خشکی بااستفاده‌از روش GT بای‌پلات ملاحظه شد که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم به‌ترتیب ۲۸/۵ و ۱۹/۴ درصد و در مجموع ۴۷/۹ درصد از کل تغییرات را توجیه کردند و بر اساس نمودار چندضلعی توده‌های برتر که در رئوس چندضلعی بودند، شناسایی شدند (Farshadfar *et al.,* 2020). علاوه‌براین Gholizadeh *et al.* (2018) در بررسی روابط متقابل میان صفات در نژادگان‌های گندم از روش نمودار دووجهی GT بای‌پلات

استفاده کردند. در مطالعه مقاومت به خشکی گندم نان، نتایج تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ با صفت نشان داد که هفت مؤلفه اصلی اول (PC1 تا PC7) تحت شرایط کنترل ۷۷/۲۷ درصد و تحت شرایط تنش خشکی ۷۹/۰۲ درصد از کل واریانس تجمعی را توجیه کردند (Ahmad *et al.,* 2020). بر همین اساس در گزارش‌های متعددی سودمندی استفاده از GT بای‌پلات در بررسی تنوع ژنتیکی و ارتباط آن با صفات مختلف در گیاهان برنج (Aminpanah *et al.,* 2018)، چغندر قند (Abu-Ellail *et al.,* 2021)، ذرت (Al-Naggar *et al.,* 2020a; Osuman *et al.,* 2020) و رازیانه (Zabat *et al.,* 2019) گزارش شده است.

۳-۲. نمایش برداری GT بای‌پلات

GT بای‌پلات می‌تواند ارتباط بین صفات را نشان دهد که این کار شناسایی آن دسته از صفاتی را که می‌توانند برای گزینش غیر مستقیم برای یک کاراکتر هدف استفاده شوند را تسهیل می‌کند (Yan & Tinker, 2005). این بای‌پلات می‌تواند از دو جنبه در نظر گرفته شود؛ اول اینکه، ارتباط بین صفات در ۲۵ ژنوتیپ را نشان می‌دهد. دوم اینکه یک برش عرضی از صفات در ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد؛ به‌ویژه آنهایی که در فاصله دورتری از منشأ بای‌پلات قرار دارند (Yan & Fregeau-Reid, 2008). طول بردار صفات، توانایی صفات در تبعیض ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهند. صفات با طول بردار کوتاه‌تر قدرت تبعیض کمتری دارند و صفات با طول بردار بلندتر بالعکس.

بر طبق شکل ۲، ژنوتیپ‌های شماره ۱۰، ۱۵، ۱۳، ۱۴، ۲۳، ۹، ۲۵، ۱۸ و رقم پیشتاز برای صفات GY، WUE، RWC، PML، NPS، SL، BY، ETE، NSP، XL، POD، CAR، MDA، CHL A، CHL B، CAT و LWL؛ ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۶ و ۷ و رقم پیشگام برای صفات SW، PL، TSW، APX، STW، SGW، PH، NSPS، SDW، DPM، RWP، ELWR و IWC؛ ژنوتیپ‌های شماره ۵، ۱، ۴، ۱۱، ۳ و ۱۲ برای صفات LWC، DF، SOD، DB، DAS، NNPS و WSD و ژنوتیپ‌های شماره ۲۲، ۸، ۲۴، ۱۷، ۲۱ و ۱۶ برای صفات Protein، HW، ELWL، Prolin و RWL بیشترین مقدار را دارند و این ژنوتیپ‌ها دارای یک روند کلی برای این صفات بودند. همچنین هر چه زاویه بین بردارهای صفات کم‌تر باشد بر همبستگی مثبت بیشتر صفات دلالت دارد که صفاتی همچون GY با WUE، RWC، PML، SL، BY، ETE و NPS همبستگی بسیار بالا و مثبت و صفاتی از جمله XL، POD، CAR، MDA، CHL A، CHL B، CAT و LWL همبستگی نسبتاً بالا و مثبتی دارند. به‌عبارتی این صفات دارای ارتباط مثبت و بالایی با عملکرد دانه بودند. از طرفی هر چه زاویه بین بردارهای صفات بیشتر باشد بر همبستگی منفی بیشتر صفات دلالت دارد که در مورد صفاتی همچون WSD، NNPS، DAS، DB، DF، SOD و LWC مشاهده شد که نشان‌دهنده ارتباط منفی و بالای این صفات با عملکرد دانه بود که در تطابق با نظر محققانی همچون Mohammadi & Amri (2011) و Rahmati *et al.* (2020) بود. با این ارتباط بالای بین صفات و ژنوتیپ‌ها پیشنهاد می‌شود که یکی از این صفات می‌تواند به‌عنوان یک ملاک گزینشی برای ژنوتیپ‌های مربوطه در نظر گرفته شود.

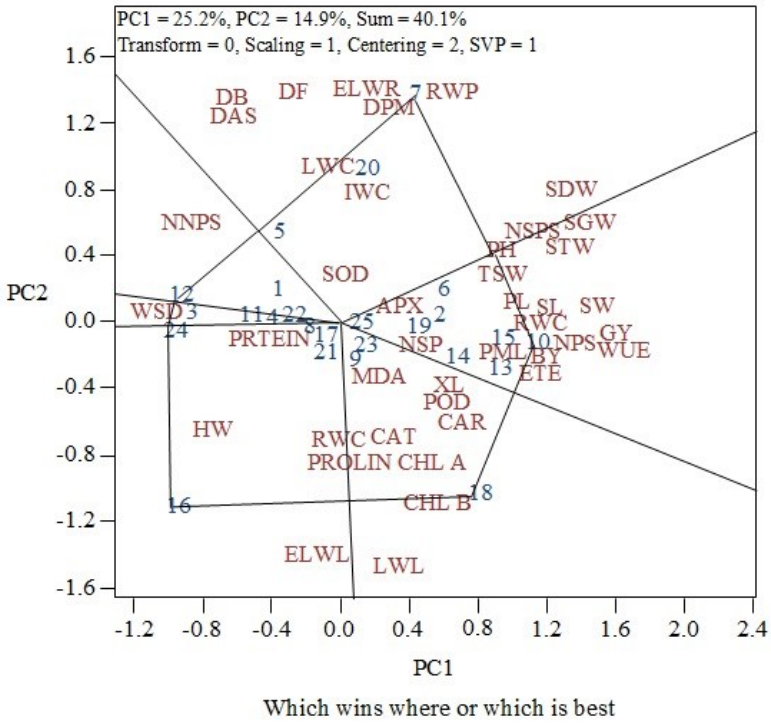
۳-۳. رتبه‌بندی ورودی‌ها براساس میانگین و میزان تنوع برای گزینش ژنوتیپ‌ها در شرایط آبیاری

در شکل ۳، محور آبی‌رنگ (محور عمودی) نشان‌دهنده میزان تنوع و محور قرمزرنگ (محور افقی) میانگین ژنوتیپ‌ها را برای تمامی صفات نشان می‌دهد. به این صورت که با حرکت در جهت محور قرمزرنگ به میانگین صفات برای ژنوتیپ افزوده شده و حرکت بر خلاف آن موجب کاهش میانگین برای آن صفات در ژنوتیپ مذکور خواهد شد. همچنین حرکت به هر دو جهت در محور آبی برای هر ژنوتیپ نشان‌دهنده تنوع بیشتر در کلیه صفات مورد بررسی می‌باشد. بنابراین ژنوتیپ‌های شماره ۱۰، ۱۵، ۶، ۱۳، ۲، ۱۴ و ارقام پیشتاز و پیشگام بیشترین میانگین را برای تمامی صفات مورد بررسی از خود نشان دادند و در بین این گروه، ژنوتیپ شماره ۱۳ و رقم پیشگام دارای تنوع بالاتری برای صفات بودند و ژنوتیپ‌های شماره ۱۶، ۲۴، ۱۲ و ۳ کمترین میانگین برای صفات مورد بررسی را نشان دادند. از طرف دیگر ژنوتیپ‌های شماره ۷، ۱۸، ۱۶، ۵، ۱۳ و رقم پیشگام بیشترین تنوع را برای این صفات دارند.

۳-۴. نمایش پلی‌ژنی GT بای‌پلات در شرایط دیم

نتایج حاصل از تجزیه GT بای‌پلات در شرایط دیم نشان داد که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم به‌ترتیب ۲۵/۸ و ۱۵/۹ درصد و در مجموع ۴۱/۷ درصد از کل تغییرات را توجیه کرده‌اند (شکل ۴). بررسی نمودار چندضلعی نشان داد که صفات مورد بررسی در چهار

گروه قرار دارند و ژنوتیپ‌های شماره ۱۵، ۷، ۱۱ و ۱۲ که در رئوس این چند ضلعی قرار دارند، برای صفات هر گروه که در بین خطوط مربوطه قرار گرفته‌اند برتر می‌باشند. ژنوتیپ شماره ۱۵ به‌همراه ژنوتیپ‌های شماره ۱۰، ۱۷، ۱۳، ۲، ۶ و ۲۳ بیشترین میزان را برای صفات PL، PML، XL، PH، SOD، GY، WUE، SW، ETE، BY، SGW، STW، SDW، NPS، Prolin، APX، SL، WSD، MDA، CAT و TSW دارا بودند و تقریباً از لحاظ صفات بیوشیمیایی، عملکرد و صفات مرتبط با آن و صفات مربوط به ساقه و سنبله برتری داشتند؛ ژنوتیپ شماره ۷ به‌همراه ارقام پیشتاز و پیشگام و ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۱۸، ۲۱، ۲۵ و ۱۴ بیشترین مقدار را برای صفات IWC، POD، LWC، ELWR، RWP، NSPS، CHL A، CHL B و CAR دارا بودند و تقریباً از لحاظ صفات مربوط‌به کلروفیل و صفات فیزیولوژیک برتر بودند و ژنوتیپ شماره ۱۱ به‌همراه ژنوتیپ شماره ۴ برای صفات RWC، DAS و DPM بیشترین مقدار را داشتند؛ ژنوتیپ شماره ۱۲ به‌همراه ژنوتیپ‌های شماره ۲۴، ۳، ۱۶، ۲۲، ۵، ۹ و ۸ نیز بیشترین مقدار را برای صفات HW، NNPS، DF، DB، NSP، Protein، RWL، ELWL و LWL به خود اختصاص دادند. به‌عبارتی صفاتی که روی هم قرار گرفته‌اند ارتباط بالا یا روند واکنشی یکسانی با هم دارند که در مورد صفاتی همچون GY با WUE، BY با ETE و SGW، APX با Prolin، ELWR با RWP و NSPS اینگونه بود. همچنین هر چه به سمت مرکز نمودار حرکت کنیم، ژنوتیپ‌ها برای صفات تغییرات کمتری نشان می‌دهند و هر چه به سمت رأس چندضلعی‌ها حرکت کنیم ژنوتیپ‌ها برای آن صفات تغییرات بیشتری نشان می‌دهند که به‌عنوان مثال ژنوتیپ شماره ۱۵ و در ادامه ژنوتیپ شماره ۱۰ برای صفات بیوشیمیایی، عملکرد و صفات مرتبط با آن و صفات مربوط‌به ساقه و سنبله دارای بیشترین سهم در تنوع این صفات بودند و در ادامه ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۷، ۶، ۲ و ۲۳ دارای سهم متوسطی در تغییرات این صفات بودند.

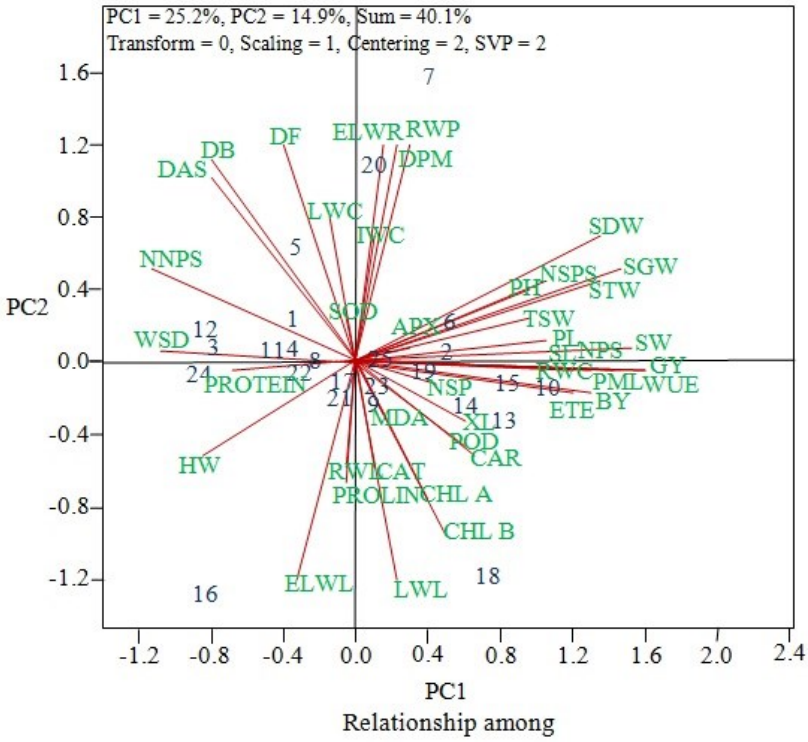


شکل ۱. چندضلعی GT بای‌پلات برای تعیین ژنوتیپ‌های برتر در شرایط آبیاری ۲۵ ژنوتیپ گندم نان.

۳-۵. نمایش برداری GT بای‌پلات

در شکل ۵، ژنوتیپ‌های شماره ۱۰، ۱۵، ۱۷، ۲، ۱۳، ۲۳ و ۸ برای صفات GY، WUE، PL، PH، PML، XL، SOD، WSD، TSW، MDA و CAT؛ ژنوتیپ‌های شماره ۶، ۱۸، ۲۱، ۲۵، ۱۴، ۷ و ارقام پیشتاز و پیشگام برای صفات SW، ETE، BY، SGW، STW، SDW، NPS، SL، APX، Prolin، LWC، ELWR، RWP و NSPS؛ ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۴ و ۱۱ برای صفات IWC، POD،

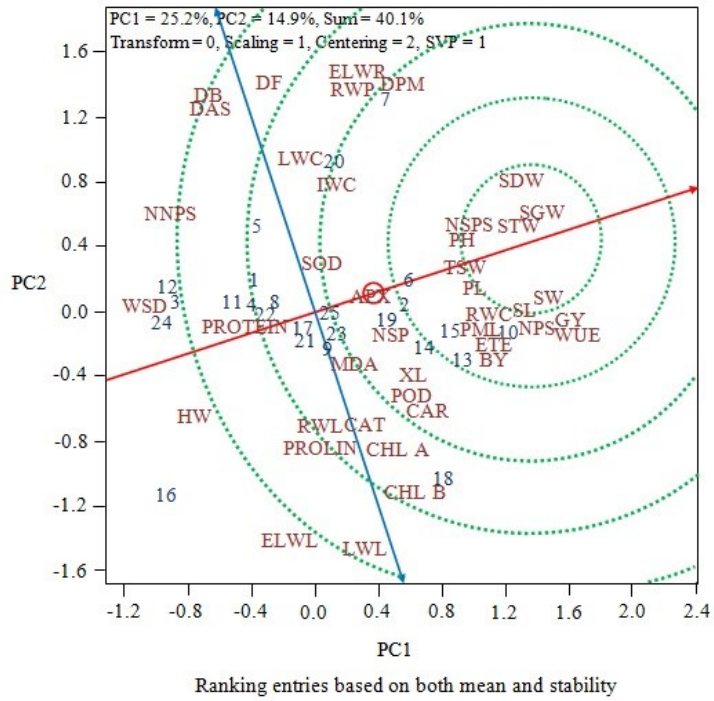
CHL B، CAR، CHL A، RWC، DPM و DAS و ژنوتیپ‌های شماره ۱۶، ۲۲، ۳، ۵، ۱۲، ۲۴ و ۹ برای صفات DF، Protein، DB، HW، NNPS، NSP، RWL، ELWL و LWL بیشترین مقدار را داشته و این ژنوتیپ‌ها دارای یک روند کلی برای این صفات بودند. در شرایط دیم، در مورد صفاتی همچون GY با WUE، PL، PH، PML و XL همبستگی بسیار بالا و مثبت و با صفاتی از جمله SOD، WSD، TSW، MDA و CAT همبستگی نسبتاً بالا و مثبتی مشاهده شد. به‌عبارتی این صفات دارای ارتباط مثبت و بالایی با عملکرد دانه بودند. از طرفی در مورد صفاتی همچون DAS، DPM، RWC، CHL B، CAR، CHL A، POD و IWC همبستگی منفی مشاهده شد که نشان‌دهنده ارتباط منفی و بالای این صفات با عملکرد دانه بود. بنابراین با این ارتباط بالای بین صفات با ژنوتیپ‌ها پیشنهاد می‌شود که یکی از این صفات می‌تواند به‌عنوان یک ملاک گزینشی برای ژنوتیپ‌های مربوطه در نظر گرفته شود.



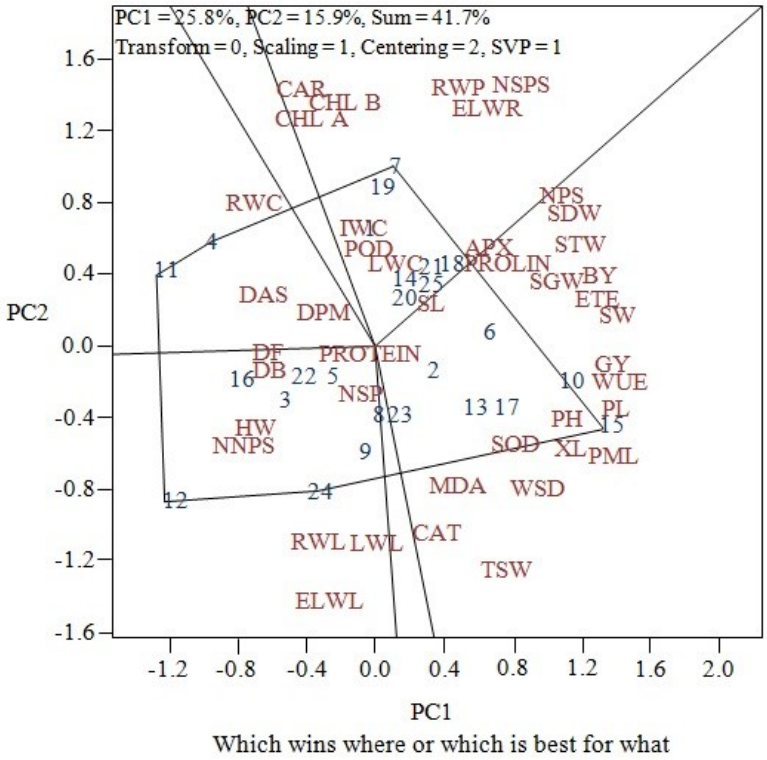
شکل ۲. بای‌پلات نقشه همبستگی صفات در ۲۵ ژنوتیپ گندم نان تحت شرایط آبیاری.

۳-۶. رتبه‌بندی ورودی‌ها براساس میانگین و تنوع برای گزینش ژنوتیپ‌ها در شرایط دیم

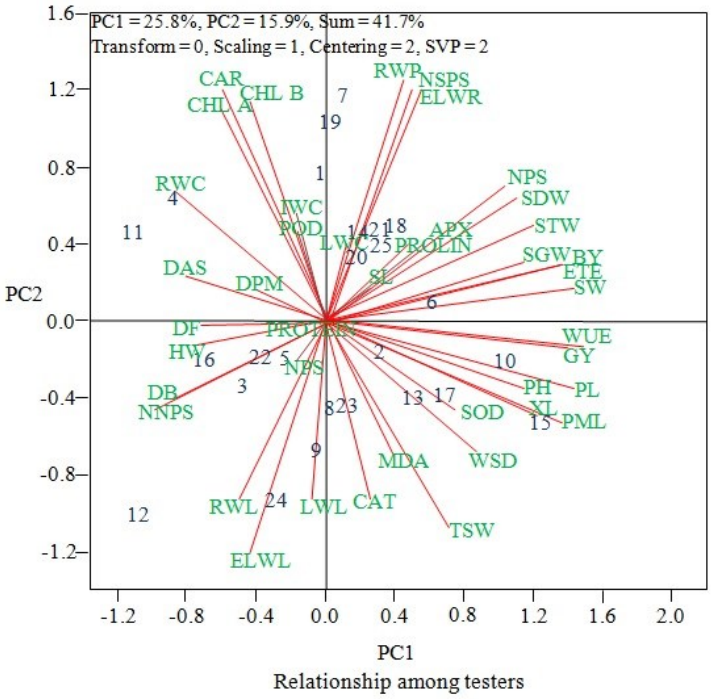
در شکل ۶، محور آبی‌رنگ (محور عمودی) نشان‌دهنده میزان تنوع و محور قرمزرنگ (محور افقی) میانگین ژنوتیپ‌ها را برای تمامی صفات نشان می‌دهد. بنابراین ژنوتیپ‌های شماره ۱۰، ۱۵، ۶، ۱۸ و ۱۷ بیشترین میانگین را برای تمامی صفات مورد بررسی از خود نشان دادند و در بین این گروه، ژنوتیپ شماره ۱۵ دارای تنوع بالایی برای صفات بود. ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۱۲، ۴ و ۱۶ کمترین میانگین برای صفات مورد بررسی را نشان دادند. همچنین ژنوتیپ‌های شماره ۱۵، ۴، ۲۴، ۷ و رقم پیشتاز بیشترین تنوع را برای این صفات دارند.



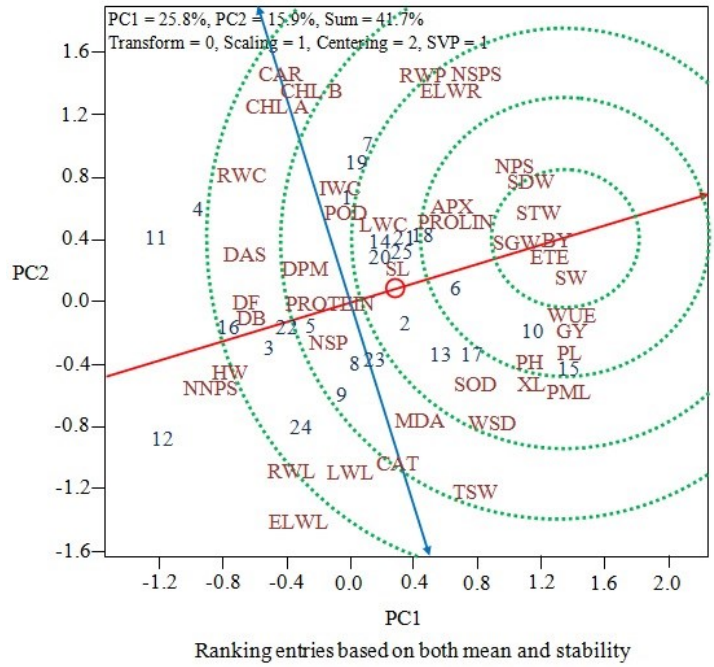
شکل ۳. بای‌پلات مختصات صفات برای گزینش همزمان تنوع و میانگین ۲۵ ژنوتیپ گندم نان در شرایط آبیاری.



شکل ٤. چندضلعی GT بای‌پلات برای تعیین ژنوتیپ‌های برتر در شرایط دیم ۲۵ ژنوتیپ گندم نان.



شکل ۵. بای‌پلات نقشه همبستگی صفات در ۲۵ ژنوتیپ گندم نان تحت شرایط دیم.



شکل ٦. بای‌پلات مختصات صفات برای گزینش همزمان تنوع و میانگین ۲۵ ژنوتیپ گندم نان در شرایط دیم.

۴. نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، تنوع بالایی در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی برای اکثر صفات وجود داشت. همچنین تفاوت دو شرایط مختلف آبیاری و دیم نیز برای حدوداً نیمی از صفات معنی‌دار بود. بررسی همبستگی صفات در دو شرایط محیطی با عملکرد هرچند تفاوت‌هایی در دو محیط داشت اما بیشترین رابطه با عملکرد به صفات مورفوفیزیولوژیکی خصوصاً اجزای عملکرد اختصاص داشت.

همچنین روابط مطلوب یا نامطلوب بین صفات مورد ارزیابی در نمودار GT بای‌پلات نقشه همبستگی صفات نشان داده شد. به‌طوری‌که در شرایط آبیاری، همبستگی مثبت و بالایی بین عملکرد دانه با راندمان مصرف آب، محتوی آب نسبی برگ، طول پنالتی‌میت، طول سنبله، عملکرد بیولوژیک، کارایی تبخیر و تعرق و تعداد سنبلچه زایا و همبستگی منفی با کمبود آب اشباع، تعداد سنبلچه نازا، روز تا سنبله‌دهی، روز تا بوتینگ، روز تا گلدهی، سرعت فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز و محتوی آب برگ مشاهده شد. همچنین در شرایط دیم بین عملکرد دانه با راندمان مصرف آب، طول پدانکل، ارتفاع گیاه، طول پنالتی‌میت و طول اکستراژن همبستگی بالا و مثبت و با روز تا سنبله‌دهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، محتوی آب نسبی برگ، محتوی کلروفیل a و b، کاروتنوئید، سرعت فعالیت آنزیم پراکسیداز و محتوی آب اولیه همبستگی منفی مشاهده شد که نشان‌دهنده نوع ارتباط این صفات با عملکرد دانه می‌باشد. نمودارهای تجزیه GT بای‌پلات برای صفات و شاخص‌های مورد ارزیابی نشان داد که در هر دو شرایط رطوبتی سهم اثر متقابل ژنوتیپ×صفت نسبت‌به سهم ژنوتیپ‌ها در تنوع بیشتر بوده و این بیانگر آن است که تنوع به‌دست‌آمده در بین صفات و ژنوتیپ‌ها برهمکنشی از اثر ژنتیکی ژنوتیپ و خصوصیات مرتبط با صفات است که هم تحت تأثیر محیط رشد و هم تحت تأثیر ساختار ژنتیکی گیاه است. ژنوتیپ‌های شماره ۱۰، ۱۵، ۶، ۱۳، ۲، ۱۴ و رقم پیشتاز از نظر صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای آن و صفات مربوطبه ساقه و سنبله در شرایط آبیاری، ژنوتیپ‌های برتر هستند که در این بین، ژنوتیپ‌های شماره ۲ و ۶ که دارای کمترین فاصله با خط ATC (Average Trait Coordination) بودند کمترین اثر متقابل ژنوتیپ×صفت را داشته و ایده‌آل بودند و ژنوتیپ‌های شماره ۱۰، ۱۵، ۶، ۱۸ و ۱۷ از نظر صفات بیوشیمیایی، عملکرد و اجزای آن و صفات مربوطبه ساقه و سنبله در شرایط دیم به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناخته شدند و ژنوتیپ شماره ۶ کمترین اثر متقابل ژنوتیپ×صفت را داشت و ایده‌آل بود. در نهایت ژنوتیپ‌های شماره ۱۰، ۱۵ و ۶ در هر دو شرایط محیطی برتر بودند که در بین ژنوتیپ‌های ایده‌آل، ژنوتیپ شماره ۶ دارای کمترین اثر متقابل ژنوتیپ×صفت در هر دو شرایط بود. بنابراین با این ارتباط بالای بین صفات و ژنوتیپ‌ها پیشنهاد می‌شود که یکی از این صفات می‌تواند به‌عنوان یک ملاک گزینشی برای ژنوتیپ‌های مربوطه در نظر گرفته شود. این خصوصیات GT بای‌پلات را به یک ابزار قدرتمند و جامع در ژنتیک کمی و اصلاح نباتات تبدیل کرده است. چنین اطلاعاتی در توسعه ژنوتیپ‌ها به رقم و معرفی به زارعین و نیز انتخاب والدین برای دورگ‌گیری بسیار مهم محسوب می‌شود.

۵. سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج جهت در اختیار قراردادن بذرهای این پژوهش تقدیر و تشکر می‌شود.

۶. منابع

Abu-Ellail, F.F.B., & Sasy, A.H. (2021). GT biplot analysis for yield and related traits in some sugar beet varieties as affected by compost under saline soil. *Egyptian Journal of Applied Science*, *36*(3), 66-83.

Ahmed, K., Shabbir, G., Ahmed, M., & Nawaz Shah, K. (2020). Phenotyping for drought resistance in bread wheat using physiological and biochemical traits. *Science of the Total Environment*, *729*, 1-14.

Akcura, M. (2011). The relationships of some traits in Turkish winter bread wheat landraces. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 35*, 115-125.

Al-Naggar, A.M.M., Shafik, M.M., & Musa, R.Y.M. (2020a). Genetic diversity based on morphological traits of 19 maize genotypes using principal component analysis and GT biplot. *Annual Research and Review in Biology*, *35*(2), 68-85.

Al-Naggar, A.M.M., El-Shafi, M.A.E.M.A., El-Shal, M.H., & Anany, A.H. (2020b). Evaluation of Egyptian wheat landraces (*Triticum aestivum* L.) for drought tolerance, agronomic, grain yield and quality traits. *Plant Archives*, *20*(1), 3487-3504.

Aminpanah, H., Sharifi, P., & Ebadi, A.A. (2018). Evaluation of rice genotypes based on yield and yield components under complete irrigation and drought stress conditions and drought tolerance indices using biplot analysis. *Cereal Research*, *8*(2), 169-183. (In Persian).

Amiri, R., Bahraminejad, S., & Jalali-Honarmand, S. (2013). Effect of terminal drought stress on grain yield and some morphological traits in 80 bread wheat genotypes. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, *5*(10), 1145.

Ashrafi Parchin, R., Najaphi, A., Farshadfar, E., & Hokmalipour, S. (2011). Evaluation of wheat genotypes under drought stress based on phenological traits. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 3*(1), 12-19.

Badu-Apraku, B., & Akinwale, R.O. (2011). Cultivar evaluation and trait analysis of tropical early maturing maize under striga-infested and striga-free environments. *Field Crops Research, 121*, 186-194.

Barrs, H.D. (1968). *Water Deficits and Plant Growth*. In: T.T. Kozolvski (Ed.), *Determination of water deficits in plant tissues. 1*, 235–368. Academic Press.

Bartlett, M.S. (1937). Proceedings of the royal society of London. Series a, mathematical and physical sciences. *Properties of sufficiency and statistical tests*. (Pp. 268-282).

Bates, L., Waldren, R., & Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207.

Beauchamp, C., & Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, *44*, 276-287.

Blum, A. (2011). Drought resistance-is it really complex trait? *Functional Plant Biology*, *38*, 753-757.

Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantites of protein utilizing the principles of protein dyebinding. *Analytical Biochemistry*, *72*, 248-254.

Chance, B., & Maehly, A.C. (1995). In: S.P. Culowic, and N.O. Kaplan (eds). Methods in enzymology. Volume. 2. Academic press. Inc. New York. *Assay of catalase and peroxidase*. (Pp. 764-765).

Clarke, C.M., & Mccaig, T.N. (1982). Evaluation of techniques for screening for drought resistance in wheat. *Crop Science*, *22*, 503-506.

Derogar, H., Fakheri, B., Mehdinezhad, N., & Mohammadi, R. (2019). Evaluation of some biochemical traits in cultivars and wild species of wheat under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *12*(3), 685-696. (In Persian).

Food and Agriculture Organization (FAO). (2019). FAOSTAT Database. Available online at: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC.

Farshadfar, E. (2018). *Genetic modification of environmental stresses*. Vosough publications. First edition (Pp. 844). (In Persian).

Farshadfar, E., Yaghotipoor, A., Jamshidi Nezhad, S., Bavandpori, F., & Farshadfar, M. (2020). Evaluation of genetic diversity of durum wheat genotypes based on physiological traits in drought conditions using GGE-Biplot analysis. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *22*(2), 125-139. (In Persian).

Gholizadeh, A., Dehghani, H., Amini A., & Akbarpour, O.A. (2018). Study of interrelationships between traits in wheat breeds using two-dimensional diagram method. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *49*(3), 121-136. (In Persian).

Guo, X.Y., Zhang, X.S., & Huang, Z.Y. (2010). Drought tolerance in three hybrid poplar clones submitted to different watering regimes. *Journal of Plant Ecology*, *3*(2), 79-87.

Hashemi Nasab, H. (2011). *Study of several biochemical criteria of drought resistance in wheat cultivars and their relationship with yield*. Master Thesis in Plant Breeding. Shiraz University. (In Persian).

Heath, R.L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, *125*, 189-198.

Heydari, B., Saeidi, G.A., & Seyed Tabatabaei, B.A.D.E. (2008). Factor analysis for quantitative traits and path analysis for grain yield in wheat. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, *11*(42), 135-143. (In Persian).

Levene, H. (1960). 1. Olkin: (Ed), *Robust tests for equality of variances in contribution to probability and statistics*. Stanford University Press, Palo Alto.

Lichtenthaler, H., & Wellburn, A.R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, *11*, 591-592.

Manette, A.S., Richard, C.J., Carver, B.F., & Mornhinweg, D.W. (1988). Water relations in winter wheat as drought reistance indicators. *Crop Science*, *28*, 526-531.

Mohammadi, R., & Amri, A. (2011). Graphic analysis of trait relations and genotype evalution in durum wheat. *Journal of Crop Improvement*, *25*, 680-696.

Mohammadkhani, N., & Sharifi, P. (2016). Anti-oxidative response of different wheat genotypes to drought during anthesis. *Iranian Journal of Plant Physiology*, *6*(4), 1845-1854.

Morovati, Z., Farshadsfar, E., & Romena, M.H. (2019). Genetic evaluation of physiological traits related to drought tolerance in some bread wheat genotypes under rain fed conditions. *Iranian Journal of Agriculture and Plant Breeding*, *15*(2), 35-50. (In Persian).

Naderi, F., Bavandpori, F., Farshadfar, E., & Farshadfar, M. (2020). Screening and identification of drought tolerant bread wheat landraces (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*, *14*(2), 275-292. (In Persian).

Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, *22*, 867-880.

Osuman, A.S., Badu-Apraku, B., Ifie, E.B., Tongoona, P., Obeng-Bio, E., & Garcia Oliveira, A.L. (2020). Genetic diversity, population structure and inter-trait relationships of combined heat and drought tolerant early-maturing maize inbred lines from west and central Africa. *Agronomy*, *10*(1324), 1-19.

Rahmati, M., Hosseinpour, T., & Ahmadi, A. (2020). Assessment of interrelationship between agronomic traits of wheat genotypes under rain-fed conditions using double and triple biplots of genotype, trait and yield. *Iranian Journal of Dryland Agriculture*, *9*(1), 1-21.

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

Safari Dolatabad, S., Choukan, R., Hervan, E.M., & Dehghani, H. (2010). Multienvironment analysis of traits relation and hybrids comparison of maize based on the genotype by trait biplot. *American Journal of Agricultural and Biological Science*, *5*(1), 107-113.

Samonte, S.O.P.B., Tabien, R.E., & Wilson, L.T. (2013). Parental selection in rice cultivar improvement. *Rice Science*, *20*(1), 45-51.

Sinha, A.K. (1972). Colorimetric assay of catalase. *Analytical Biochemistry*, *47*, 389-394.

Wright, P.R., Morgan, J., Jessop, R., & Cass, A. (1995). Comparative adaptation of canola (*Brassica napus*) and Indian mustard (*B. juncea*) to soil water deficits: Yield and yield components. *Field Crops Research*, *42*, 1-13.

Xing, H., Tan, L., An, L., Zhao, Z., Wang, S., & Zhang, C. (2004). Evidence for the involvement of nitric oxide and reactive oxygen species in osmotic stress tolerance of wheat seedlings: Inverse correlation between leaf abscisic acid accumulation and leaf water loss. *Plant Growth Regulation*, *42*, 61-68.

Yan, W., & Fregeau-Reid, J. (2008). Breeding line selection based on multiple traits. *Crop Science*, *48*, 417-423.

Yan, W., & Fregeau-Reid, J. (2018). Genotype by yield*trait (GYT) biplot: A novel approach for genotype selection based on multiple traits. *Scientific Reports*, *8*, 8242.

Yan, W., & Hunt, L. (2002). Biplot analysis of diallel data. *Crop Science*, *42*(1), 21-30.

Yan, W., & Kang, M.S. (2002). *GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists*. (Pp. 288). Chemical Rubber Company Press.

Yan, W., & Rajcan, I. (2002). Biplot evalution of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science, 42*(1), 11-20.

Yan, W., & Tinker, N. (2005). An intergraded analysis system for displaying, interpreting, and exploring genotype×environment interaction. *Crop Science*, *45*, 1004-1016.

Yan, W., Kang, M.S., Ma, B., Woods, S., & Cornelius, P.L. (2007). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype by environment data. *Crop Science*, *47*, 643-655.

Zabat, M., Khaksarnezha, E., Izanloo, A., & Sayar, M.H. (2019). Evaluation of salinity stress tolerance of some fennel ecotypes in greenhouse conditions using GT biplot and GGE biplot. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, *27*(2), 216-230. (In Persian).

Ziloee, N., Ahmadi, A., & Joudi, M. (2015). Evaluation of phenology relationship with yield potential and drought stress tolerance in some of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes and varieties in Iran. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *45*(4), 531-540. (In Persian).