Cereal Biotechnology and Biochemistry
Online ISSN: 2783-5170
Homepage: https://cbb.razi.ac.ir

Evaluation of the physiological characteristics of recombinant inbred lines of durum wheat under rainfed conditions

Roghayeh Naseri[1] ✉, Kianoosh Cheghamirza[1,2], Reza Mohammadi[3], Leila Zarei[1,2] & Ali Beheshti Aleagha[4]

[1] Department of Plant Production and Genetics, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.

[2] Cereal Research Center, Razi University, Kermanshah, Iran.

[3] Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Sararood Campus, AREEO, Kermanshah, Iran.

[4] Department of Soil Science, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.

✉ Corresponding author. E-mail: r.naseriiii@gmail.com

ABSTRACT

Introduction: Durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) is the second most important species of wheat and the tenth most important agricultural crop in the world. Pasta made from this type of wheat is utilized as a staple food in many countries worldwide. Additionally, durum wheat is more compatible with dry conditions in Mediterranean regions than bread wheat. On the other hand, performance alone is not a suitable indicator for adaptability and drought tolerance due to its low heritability. Therefore, attention to other aspects of drought tolerance, such as physiological characteristics, is important due to their cost-effectiveness and ability to select genetic materials in the early stages of plant growth.

Materials and methods: In this study, the grain yield and some physiological traits in 154 recombinant inbred lines (RILs) obtained from the cross between the local cultivar of Zardak with Kermanshah origin and the G1252 variety with Turkish origin along with their parents were evaluated using alpha lattice design in two replications under rainfed conditions during 2020-2021. Also, Genetic parameters were calculated for the studied traits.

Results: The results of this study showed a significant difference among the RILs for all studied traits, except for water saturation deficit. Lines ZG-110, ZG-090 and ZG-060, exhibited the highest flag leaf width, flag leaf length and flag leaf area, respectively. Overall, ZG-150 and ZG-126 lines were the superior lines in terms of leaf relative water content among the studied RILs. The highest grain yield belonged to ZG-118 and ZG-102 lines. The highest broad-sense heritability values were observed for flag leaf width and relative water loss (85%), grain yield (63%) and excised leaf water retention (41%), respectively. The grain yield exhibited a positive and significant correlation with excised leaf water retention and a negative and significant correlation with excised leaf water loss. Cluster analysis grouped the RILs into three different groups, and the third group included the RILs with the highest desirable traits in terms of leaf water content. The analysis of the principal components showed that the first two components explained 59.96% of the total variance. Also, the RILs with low first component and high second component values had more water retention power in the leaf.

Conclusion: The results of this study demonstrated genetic differences among the RILs for traits related to flag leaf, physiological traits related to leaf water content and grain yield under rainfed conditions. The existing differences indicate the presence of genetic diversity and also provide the opportunity to select superior RILs. On the other hand, high heritability and genetic advance were observed for traits such as flag leaf width, flag leaf area, the percentage of lost water in the leaf and grain yield, indicating the potential impact of additive genes.

Keywords: Drought stress, Flag leaf, Genetic parameters, Heritability, *Triticum turgidum*.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 14 Sep 2024, **Revised:** 13 Oct 2024, **Accepted:** 19 Nov 2024, **Published online:** 27 Dec 2024

Cite this article: Naseri, R., Cheghamirza, K., Mohammadi, R., Zarei, L. & Beheshti Aleagha, A. (2024). Evaluation of the physiological characteristics of recombinant inbred lines of durum wheat under rainfed conditions. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, *3*(4), 545-562. DOI: 10.22126/cbb.2025.10334.1066

© The Author(s).
10.22126/cbb.2025.10334.1066

Publisher: Razi University

بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات
شاپا الکترونیکی: ۵۱۷۰-۲۷۸۳
Homepage: https://cbb.razi.ac.ir

ارزیابی خصوصیات فیزیولوژیک رگه‌های درون‌زاد نوترکیب گندم دوروم در شرایط دیم

رقیه ناصری[۱]✉، کیانوش چقامیرزا[۱و۲]، رضا محمدی[۳]، لیلا زارعی[۱و۲] و علی بهشتی آل‌آقا[۴]

[۱] گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
[۲] مرکز تحقیقات غلات، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
[۳] موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، معاونت سرارود، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.
[۴] گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه ، ایران.
✉نویسنده مسئول. رایانامه: r.naseriiii@gmail.com

چکیده

مقدمه: گندم دوروم با نام علمی (*Triticum turgidum* L. var. durum) دومین گونه مهم گندم و دهمین محصول زراعی مهم دنیا می‌باشد، زیرا ماکارونی حاصل از این نوع گندم در بسیاری از کشورهای دنیا به‌عنوان غذای اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین، گندم دوروم بهتر از گندم نان با شرایط دیم در مناطق مدیترانه‌ای سازگار است. از سوی دیگر، عملکرد به‌دلیل وراثت‌پذیری پایین به تنهایی شاخص مناسبی در جهت به‌نژادی و تحمل به خشکی نیست. بنابراین توجه به جنبه‌های دیگری از تحمل به خشکی نظیر خصوصیات فیزیولوژیکی به‌دلیل کم‌هزینه بودن و قابلیت آن‌ها در گزینش مواد ژنتیکی در مراحل اولیه رشد گیاه اهمیت دارد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک در ۱۵۴ رگه درون‌زاد نوترکیب گندم دوروم حاصل از تلاقی بین رقم بومی زردک با منشاء کرمانشاه و رقم G1252 با منشاء ترکیه تحت شرایط دیم در قالب طرح آلفا لاتیس با دو تکرار در پنج بلوک ناقص به همراه والدین در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ ارزیابی شدند و پارامترهای ژنتیکی برای صفات مورد مطالعه برآورد گردید.

یافته‌ها: نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین رگه‌های درون‌زاد نوترکیب گندم دوروم مورد ارزیابی از نظر همه صفات مورد مطالعه به‌غیر از کمبود آب اشباع در شرایط دیم وجود داشت. رگه‌های ZG-110، ZG-090 و ZG-060 به‌ترتیب بیشترین عرض برگ پرچم، طول برگ پرچم، سطح برگ پرچم را به خود اختصاص دادند. در مجموع، رگه‌های ZG-150 و ZG-126 برترین رگه‌ها از نظر محتوای نسبی آب برگ، در میان دیگر رگه‌های درون‌زاد نوترکیب مورد مطالعه بودند. بالاترین میزان عملکرد دانه نیز در رگه‌های ZG-118 و ZG-102 مشاهده شد. بیشترین مقادیر وراثت‌پذیری عمومی به‌ترتیب برای صفات عرض برگ پرچم و میزان نسبی آب از دست رفته (۸۵ درصد)، عملکرد دانه (۶۳ درصد) و آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده (۴۱درصد) مشخص شد. عملکرد دانه با صفت آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفت میزان آب از دست رفته در برگ‌های بریده شده همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد. تجزیه خوشه‌ای، رگه‌های درون‌زاد نوترکیب گندم دوروم را در سه گروه متفاوت قرار داد و گروه سوم شامل رگه‌های دارای بالاترین میزان صفات مطلوب از نظر محتوای آب برگ بودند. نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که دو مؤلفه اول ۵۹/۹۶ درصد از واریانس کل را توجیه نمودند. همچنین، رگه‌های دارای مؤلفه اول پایین و مؤلفه دوم بالا دارای قدرت حفظ و نگهداری آب بیشتری در برگ بودند.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این مطالعه برای صفات مربوط به برگ پرچم، صفات فیزیولوژیک مربوط به محتوای آب برگ و عملکرد دانه در بین رگه‌های درون‌زاد نوترکیب گندم دوروم در شرایط دیم تفاوت ژنتیکی نشان داد. تفاوت موجود بیانگر وجود تنوع ژنتیکی و همچنین امکان انتخاب رگه‌های درون‌زاد نوترکیب برتر را فراهم می‌کند. از سوی دیگر، وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی بالا برای صفات عرض برگ پرچم، سطح برگ پرچم، میزان نسبی آب از دست رفته برگ و عملکرد دانه مشاهده شد که می‌تواند حاکی از عمل افزایشی ژن‌ها باشد.

واژه‌های کلیدی: برگ پرچم، پارامترهای ژنتیکی، تنش خشکی، وراثت پذیری، *Triticum turgidum*.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

نوع مقاله: دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۳ **اصلاح:** ۱۴۰۳/۰۷/۲۱ **پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۸/۲۹، **انتشار آنلاین:** ۱۴۰۳/۱۰/۰۷

استناد: ناصری، ر.، چقامیرزا، ک.، محمدی، ر.، زارعی، ل. و بهشتی آل‌آقا، ع. (۱۴۰۳). ارزیابی خصوصیات فیزیولوژیک رگه‌های درون‌زاد نوترکیب گندم دوروم در شرایط دیم. *بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات*، ۳(۴)، ۵۴۵-۵۶۲. DOI: 10.22126/cbb.2025.10334.1066

ناشر: دانشگاه رازی

© نویسندگان.

مقدمه

گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) در سطحی حدود ۱۶ میلیون هکتار در سراسر جهان کشت می‌شود و تولید آن در سال‌های اخیر به حدود ۴۰ میلیون تن رسیده است. به طور معمول، تولید گندم دوروم پنج درصد از کل تولید گندم را در سطح جهان تشکیل می-دهد، بطوریکه دهمین غله مهم و متداول کشت شده در سراسر جهان است (IGC, 2020). گندم دوروم یکی از محصولات زراعی در حوضه مدیترانه است که تقریباً ۷۵ درصد از سطح گندم دوروم جهان هنوز در آن منطقه کشت می‌شود و ۵۰ درصد از تولید جهانی را تشکیل می‌دهد. در حوضه مدیترانه که با محیط‌های بسیار متغیر مشخص می‌شود، گندم عمدتاً تحت شرایط دیم کشت می‌شود و عملکرد اغلب توسط تنش‌های آب و گرمایی که در طول دوره پر شدن دانه رایج است، محدود می‌شود. گندم دوروم برای تنش‌های خشکی و گرمایی با انتخاب مستقیم یا غیرمستقیم برای عملکرد قابل دستیابی است (Ranieri, 2015). انتخاب مستقیم شامل انتخاب برای عملکرد است، در حالی که انتخاب غیر مستقیم، یعنی اصلاح فیزیولوژیکی، شامل انتخاب اجزای عملکرد یا سایر صفات مرتبط است. اطلاعات در مورد میزان تنوع و ارتباط خصوصیات برای اهداف انتخاب برای بهبود عملکرد دانه گندم دوروم مفید است. ارزیابی جمعیت‌های اصلاحی برای تعیین تنوع، ارتباط خصوصیات، وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی انجام می‌شود که برای اندازه‌گیری سود ژنتیکی مورد انتظار از طریق انتخاب برای یک صفت خاص مورد نیاز است (Graziani *et al.*, 2014). بهبود عملکرد دانه گندم از طریق انتخاب صفات نزدیک به عملکرد قابل حصول است. قدرت همبستگی این صفات با یکدیگر و با عملکرد دانه، به نوع ماده گیاهی ارزیابی شده و آزمایش محیطی بستگی دارد. بنابراین، هدف قرار دادن صفاتی که بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه دارند، برای به حداکثر رساندن سود ژنتیکی عملکرد مفید است. در میان صفات فنولوژیکی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مواردی با وراثت‌پذیری بالا گزارش شده و در برنامه‌های اصلاحی استفاده شده‌اند. برگ پرچم نیز به‌عنوان یک عامل مهم و مؤثر برای فتوسنتز و عملکرد دانه گندم معرفی شده است که بررسی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی آن، می‌تواند در اصلاح ارقام پرمحصول مفید و مؤثر باشد (Huang *et al.*, 2018; Crossa *et al.*, 2016). همچنین، صفات فیزیولوژیکی دارای اهمیت به‌سزایی در بقاء و سازگاری گیاه به تنش‌های محیطی هستند. از این رو، توجه به این صفات یکی از جنبه‌های مهم در مطالعات مربوط به تحمل خشکی در گیاهان محسوب می‌شود، زیرا تنش خشکی اثر بارز و اغلب کاهنده بر بیشتر صفات فیزیولوژیکی دارد. همچنین، شناسایی و گزینش صفات فیزیولوژیکی مرتبط با آب گیاه روش قابل اعتماد اصلاح برای عملکرد بالاتر است و می‌تواند یک راهبرد ارزشمند برای استفاده در روش‌های طبیعی اصلاح گیاه باشد (Blum, 2005). بنابراین ضروری است که مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و صفاتی که بیشترین ارتباط را با فرآیند تحمل به خشکی در گیاه و در محیط‌های هدف دارند،

شناخته شوند (Inoue *et al.*, 2014). محتوای نسبی آب برگ (RWC[1])، معرف بسیار خوبی از وضعیت آبی گیاه است که به عنوان یک شاخص انتخاب جهت تحمل به خشکی، پیشنهاد شده است (Lonbani & Arzani, 2011). دسوکای و همکاران (Desoky *et al.*, 2017) کاهش مقدار محتوای نسبی آب برگ (RWC) در گندم را در شرایط دیم مشاهده کردند و بالاترین مقدار آن را در ژنوتیپ‌های متحمل گزارش کردند و این صفت فیزیولوژیک را شاخص قابل اطمینانی برای نشان دادن وضعیت گیاه تحت شرایط تنش خشکی معرفی نمودند. صفت میزان نسبی آب از دست رفته (RWL[2]) به عنوان مهم‌ترین صفت فیزیولوژیکی مؤثر در عملکرد دانه در شرایط دیم، معرفی شده است، زیرا امکان شناسایی ارقام مقاوم در شرایط تنش خشکی را فراهم می‌کند. کاهش در میزان RWL ممکن است نشان دهنده استفاده کارآمدتر از آب توسط ژنوتیپ‌ها باشد (Lonbani & Arzani, 2011). یکی از مکانسیم‌های اصلی مقاومت به خشکی در گیاهان، کاهش میزان تعرق از طریق بستن روزنه‌هاست که منجر به افزایش دمای کانوپی و میزان آب حفظ شده در برگ می‌شود. ارقام مقاوم دارای کنترل بیشتری بر باز و بسته کردن روزنه‌ها می‌باشند. بنابراین میزان تعرق در این ارقام کمتر و میزان آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده (ELWR[3]) و آب از دست رفته در برگ‌های بریده شده (ELWL[4]) به‌ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد (Bijanzadeh & Emam, 2011). فلاحی و همکاران (Fellahi *et al.*, 2013) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیکی، محتوای نسبی آب برگ و سطح برگ پرچم در گندم نان گزارش نمودند. کندل و همکاران (Kandel *et al.*, 2017) نتایج مشابهی را برای این صفات گزارش کردند. نتایج چندین تحقیق نشان می‌دهد که می‌توان پیشرفت مؤثری برای افزایش پتانسیل عملکرد دانه از طریق انتخاب صفات مورفو-فیزیولوژیکی ، داشت (Fellahi *et al.*, 2013; Zakizadeh *et al.*, 2010; Nigro *et al.*, 2020). سلمی و همکاران (Salmi *et al.*, 2015) تنوع قابل‌توجهی را برای چندین صفت گندم دوروم مانند روز تا گلدهی، محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ پرچم، عملکرد دانه و اجزای عملکرد یافتند. وراثت‌پذیری عمومی برای محتوای نسبی آب برگ، بالا و برای عملکرد دانه، پایین بود. از سوی دیگر، گرازیانی و همکاران (Graziani *et al.*, 2014) برخلاف گونزالس-ریبوت و همکاران (Gonzalez-Ribot *et al.*, 2017)، وراثت‌پذیری بالایی را برای عملکرد دانه گندم مشاهده نمودند. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2018) و آریا و همکاران (Arya *et al.*, 2019) وراثت‌پذیری بالایی را برای عملکرد دانه و صفات فیزیولوژیکی شامل محتوای نسبی آب برگ و محتوای کلروفیل یافتند. انتخاب بر اساس صفات فیزیولوژیک آسان و دقیق بوده و وراثت-پذیری این صفات نسبتاً بالاست. اثرات تنش خشکی در درازمدت به واکنش‌های متابولیکی مرحله رشد، ظرفیت

[1] Relative Water Content
[2] Relative Water Loss
[3] Excised Leaf Water Retention
[4] Excised Leaf Water Loss

ذخیره‌سازی آب خاک و جنبه‌های فیزیولوژیک گیاه بستگی دارد. همچنین، تنش‌های محیطی مهمترین عوامل کاهش پایداری عملکرد و در نتیجه آن کاهش عملکرد در بسیاری از مناطق دنیا از جمله مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شوند. برای بالا بردن کارایی برنامه‌های اصلاحی در شرایط دیم باید گیاهان متحمل به تنش و دارای عملکرد بیشتر را بر اساس شاخص‌های مطمئن انتخاب کرد (Ahmadizadeh, 2014). بنابراین، هدف از این مطالعه، برآورد تنوع و پارامترهای ژنتیکی و تجزیه و تحلیل روابط موجود بین عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی در ۱۵۴ رگه درون‌زاد نوترکیب[5] گندم دوروم به همراه والدین بود که می‌تواند به عنوان معیار انتخاب در برنامه اصلاحی گندم دوروم مورد استفاده قرار گیرند.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و طرح آزمایشی

ارزیابی ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیک در ۱۵۴ رگه درون‌زاد نوترکیب (جمعیت F_6) گندم حاصل از تلاقی زردک × G1252 (به‌ترتیب رقم بومی کرمانشاه و رقمی با منشأ ترکیه) همراه دو والد با استفاده از طرح آلفا لاتیس (۵×۳۲) در دو تکرار در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی تحت شرایط دیم انجام شد. هر واحد آزمایشی در مزرعه شامل سه ردیف کاشت به طول دو متر و فاصله هر ردیف کشت ۲۵ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع بود.

آزمایشات مزرعه‌ای و فیزیولوژیکی

اندازه‌گیری صفات زراعی و فیزیولوژیکی روی نمونه‌های ده تایی از هر واحد آزمایشی انجام شد. در مرحله پر شدن دانه، ساقه اصلی گیاهان انتخاب شده به‌طور تصادفی برای ارزیابی صفات مربوط به برگ پرچم و برخی صفات فیزیویوژیک استفاده شد. صفات طول برگ پرچم (FLL[6]) از یقه برگ تا نوک برگ بر اساس سانتی‌متر اندازه‌گیری شد و عرض برگ پرچم (FLW[7]) با اندازه‌گیری پهن‌ترین قسمت برگ بر حسب سانتی‌متر به دست آمد. سطح برگ پرچم (FLA[8]) به‌صورت FLA=FLL×FLW×0.83 بر حسب سانتی‌متر مربع محاسبه شد (Fan *et al.*, 2015).

محتوای نسبی آب برگ (RWC): مقدار ۰/۵ گرم از برگ پرچم توسعه یافته هر گیاه (WF) جدا شده و سپس نمونه‌ها به مدت چهار ساعت در آب مقطر شناور شدند. بعد از طی مدت زمان آب‌گیری، با کاغذ صافی به آرامی خشک گردیدند و بلافاصله توزین شدند تا وزن در هنگام تورژسانس (WT) به دست آید. سپس قطعات برگ در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردیدند تا وزن خشک (WD) به دست آید. در نهایت از طریق رابطه زیر RWC براساس روش بارس (Barrs, 1968) محاسبه گردید:

$$RWC = \frac{WF-WD}{WT-WD}$$

[5] Recombinant Inbred Line

[6] Flag Leaf Length
[7] Flag Leaf Width
[8] Flag Leaf Area

میزان آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده (ELWR): براساس روش کلارک و مک‌کایگ (Clarck & Mac-Caig, 1982) و با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$ELWR = 1 - \left(\frac{WF-W3}{WF}\right)$$

میزان آب نسبی از دست رفته (RWL): براساس روش (Barrs, 1968) و با استفاده از رابطه زیر بدست آمد:

$$RWL = \frac{(WF-W1)+(W1-W2)+(W2-W3)}{3WD\ (T2-T1)}$$

میزان آب از دست رفته در برگ‌های بریده شده (ELWL): براساس روش اکسینگ و همکاران (Xing *et al.*, 2004) و با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$ELWL = \frac{WF-W3}{WF-WD}$$

کمبود آب اشباع (WSD[9]): براساس روش بارس (Barrs, 1968) و با استفاده از رابطه زیر بدست آمد:

$$WSD = \frac{WT-WF}{WT-WD}$$

WF، WD، WT، W1، W2 و W3 به‌ترتیب عبارتند از وزن تازه برگ، وزن خشک (با قرار دادن برگ‌ها در آون دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت)، وزن تورژسانس (با قرار دادن برگ‌ها در آب مقطر به مدت چهار ساعت)، وزن برگ جدا شده از گیاه بعد از دو ساعت (در دمای ۲۵ درجه و در داخل آنکوباتور)، بعد از چهار ساعت و بعد از شش ساعت.

همچنین، عملکرد دانه (GY[10]) نیز در واحد سطح بر حسب گرم بر مترمربع اندازه‌گیری شد. قبل از اجرای آزمایش، به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک، از نقاط مختلف مزرعه تحقیقاتی، نمونه برداری به‌صورت مرکب از سطح مورد نظر به عمل آمد (جدول ۱).

[9] Water Saturation Deficit

[10] Grain Yield

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر.

Table 1- Physicochemical characteristics of research field soil at a depth of 0-30 cm.

رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	منیزیم Mg (mg/kg)	پتاسیم K (mg/kg)	فسفر P (mg/kg)	کلسیم Ca (%)	کربنات کلسیم CaCO3 (%)	کربن آلی خاک OC (%)	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity (dS/m)	pH	ظرفیت تبادل کاتیونی Cation Exchange Capacity (meg/100g)	نقطه پژمردگی دائم Permanent Wilting Point (%)	ظرفیت زراعی خاک Field Capacity (%)
27.6	39.0	34.6	29.92	19.83	14.7	79.46	31.41	1.44	0.53	7.49	18	15	28

تجزیه و تحلیل داده‌ها

پس از جمع‌آوری داده‌ها و بررسی وجود توزیع نرمال، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین با استفاده از آزمونحداقل تفاوت معنی‌دار (LSD)، تجزیه همبستگی به‌روش پیرسون، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای به‌روش Ward با استفاده از نرم افزار R 4.3.2 و محیط RStudio 4.3.2 انجام شد. پارامترهای ژنتیکی شامل ضریب تغییرات فنوتیپی (PCV[11])، ضریب تنوع ژنوتیپی (GCV[12])، وراثت پذیری عمومی (H^2b[13]) و پیشرفت ژنتیکی (GA[14]) بر اساس روش برتون و دوین (Burton & DeVane, 1953) و جانسون و همکاران (Johnson *et al.*, 1955) برای عملکرد دانه و خصوصیات فیزیولوژیک مورد مطالعه در محیط Excel و براساس فرمول‌های زیر برآورد شدند:

$$PCV\% = \frac{\sqrt{\sigma_p^2}}{\bar{X}}$$

$$GCV\% = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{X}}$$

$$H^2_b = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_p^2}$$

$$GA = \sigma_p \times h_b^2 \times k$$

نتایج و بحث

تجزیه واریانس و بررسی پارامترهای ژنتیکی

نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در جدول ۲ آمده است. طبق نتایج بدست آمده، بین رگه‌های درون‌زاد نوترکیب جمعیت F_6 برای تمامی صفات به‌جز کمبود آب اشباع، تفاوت معنی‌دار مشاهده شد. اختلاف موجود بیانگر وجود تنوع ژنتیکی و همچنین امکـان انتخاب رگه‌های درون‌زاد نوترکیب برتر از لحاظ صفات مورد بررسی را فراهم می‌کند.

[11] Phenotypic Coefficient of Variation
[12] Genotypic Coefficient of Variation
[13] Broad-sense Heritability
[14] Genetic Advance

جدول ۲-تجزیه واریانس ژنوتیپ‌های مورد مطالعه براساس طرح آلفا لاتیس در ۱۵۴ رگه درون‌زاد $F_۶$ گندم دوروم حاصل از تلاقی زردک × G1252

Table 2- Variance analysis of studied genotypes with alpha lattice design in 154 RILs from F_6 population of durum wheat obtained from Zardak × G1252 crossing

		میانگین مربعات Mean Squares								
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عرض برگ پرچم (FLW)	طول برگ پرچم (FLL)	سطح برگ پرچم (FLA)	محتوای آب نسبی برگ (RWC)	آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده (ELWR)	آب نسبی از دست رفته (RWL)	آب از دست رفته در برگ‌های بریده شده (ELWL)	کمبود آب اشباع (WSD)	عملکرد دانه (GY)
تکرار Replication	1	0.06^{*}	1.32^{ns}	19.16^{*}	55.31^{ns}	13.36^{ns}	0.06^{*}	0.11^{*}	0.011^{ns}	326.19^{**}
بلوک ناقص Block	8	0.03^{*}	2.31^{*}	22.03^{*}	41.76^{ns}	25.34^{**}	0.03^{*}	0.004	0.005^{ns}	612.34^{**}
رگه درون‌زاد نوترکیب RIL	155	0.12^{**}	4.41^{**}	31.11^{**}	122.12^{**}	38.11^{**}	0.12^{**}	0.007^{**}	0.005^{ns}	871.52^{**}
خطا Error	147	0.01	2.82	13.22	59.73	16.07	0.01	0.003	0.004	196.12
ضریب تغییرات CV%		7.11	6.16	2.55	10.67	6.67	7.11	6.06	3.25	10.98
LSD 5%		3.31	0.2	7.19	12.61	7.06	9.24	0.12	0.12	191.35

FLW: عرض برگ پرچم، FLL: طول برگ پرچم، FLA: سطح برگ پرچم، RWC: محتوای آب نسبی برگ، ELWR: آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده، RWL: آب نسبی از دست رفته، ELWL: آب از دست رفته در برگ‌های بریده شده، WSD: کمبود آب اشباع، و GY: عملکرد دانه.

^{ns}، ** و * به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

^{ns}, * and ** not significant, significant at the 0.05 and 0.01 level of probability, respectively

FLW: Flag Leaf Width, FLL: Flag Leaf Length, FLA: Flag Leaf Area, RWC: Relative Water Content, ELWR: Excised Leaf Water Retention, RWL: Relative Water Loss, ELWL: Excised Leaf Water Loss, WSD: Water Saturation Deficit and GY: Grain Yield.

براساس نتایج مقایسه میانگین (اطلاعات نشان داده نشده است)، در بین رگه‌های درون‌زاد نوترکیب مورد بررسی رگه‌های ZG-110، ZG-090 و ZG-060 به‌ترتیب بیشترین عرض برگ پرچم، طول برگ پرچم، سطح برگ پرچم را به خود اختصاص دادند. رگه‌های ZG-150 و ZG-126 به‌ترتیب بیشترین محتوای نسبی آب برگ و آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده را دارا بودند که این رگه‌های درون‌زاد نوترکیب، قوی‌ترین رگه‌ها از نظر محتوای آب برگ، در میان دیگر رگه‌های درون‌زاد نوترکیب مورد مطالعه بودند. ناروی‌راد و همکاران (Naroui Rad *et al.*, 2013) گزارش نمودند که ارقام متحمل به تنش خشکی، محتوای نسبی آب برگ بیشتری را در شرایط تنش دارند. بنابراین، انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی، براساس این دسته از صفات می-

تواند بسیار مؤثر باشد. همچنین، رگه‌های ZG-140، ZG-108 و ZG-149 نیز به‌ترتیب بالاترین میزان آب نسبی از دست رفته، آب از دست رفته در برگ‌های بریده شده و کمبود آب اشباع را به خود اختصاص دادند. بنابراین در مجموع، رگه‌های ZG-140، ZG-108 و ZG-149 ضعیف‌ترین رگه‌ها در میان دیگر رگه‌های درون‌زاد نوترکیب مورد مطالعه بودند. یکی از مکانیسم‌های اصلی مقاومت به خشکی در گیاهان کاهش تعرق از طریق بستن روزنه‌ها است که موجب می‌شود میزان آب حفظ شده در برگ افزایش یابد. در نتیجه ارقامی که آب نگهداری شده در برگ‌های بریده‌شده بالاتری داشته باشند، نسبت به تنش خشکی مقاوم‌تر هستند (Yaghotipoor & Farshadsfar, 2018). نتایج آمار توصیفی صفات مورد بررسی در جدول ۳ آمده است. مقادیر GCV از ۰/۰۴ درصد (کمبود آب اشباع) تا ۱۱/۷۳ درصد (عرض برگ پرچم)، و مقادیر PCV از ۰/۱۱ درصد (کمبود آب اشباع) تا ۱۵/۹۳ درصد (محتوای آب نسبی برگ) متغیر بود. ضرایب تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی بالا برای صفات محتوای نسبی آب برگ، عرض برگ پرچم و سطح برگ پرچم پیش‌نیازی مؤثر برای برنامه‌های اصلاحی است. وراثت-پذیری و پیشرفت ژنتیکی از پارامترهای مهم انتخاب روش اصلاحی هستند که اگر باهم به‌کاربرده شوند کارایی بسیار بالایی در توسعه و بهبود ارقام دارند. علاوه بر آن، برآورد پیشرفت ژنتیکی در درک فعالیت ژن‌های درگیر در بیان صفات پلی ژنتیک مؤثر است و مقادیر بالای آن نشان‌دهنده اثرات افزایشی ژن‌ها و مقادیر پایین آن، بیانگر فعالیت غیر افزایشی ژن‌ها است (Khalili & Naghavi, 2018). بیشترین مقادیر وراثت‌پذیری عمومی به‌ترتیب برای صفات عرض برگ پرچم و میزان نسبی آب از دست رفته (۸۵ درصد)، عملکرد دانه (۶۳ درصد) و آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده (۴۱ درصد) بود. پیشرفت ژنتیکی از ۰/۰۲ درصد برای کمبود آب اشباع تا ۳۰/۱۱ درصد برای عملکرد دانه متغیر بود. میزان وراثت‌پذیری متوسط به بالا در صفات میزان نسبی آب از دست رفته و عملکرد دانه با نتایج یاقوتی پور و فرشادفر (Yaghotipoor & Farshadsfar, 2018) در بررسی ۲۰ رقم گندم دوروم و همینطور با نتایج مطالعه مروتی و همکاران (Morovati *et al.*, 2020) روی گندم نان مطابقت داشت. ضریب تنوع ژنتیکی و ارزش وراثت‌پذیری متوسط به بالا می‌تواند نشان‌دهنده نقش عمده ژن افزایشی در وراثت صفات باشد که می‌توان انتخاب در نسل‌های اولیه روی صفات مذکور را از طریق پروژه‌های به‌نژادی پیشنهاد داد (Basu *et al.*, 2016).

جدول ۳- میانگین، انحراف معیار، دامنه تغییرات و پارامترهای ژنتیکی برای صفات مورد مطالعه

Table 3- Mean, standard deviation, range of changes and genetic parameters for studied traits

صفات Traits	میانگین Mean	انحراف معیار SD	دامنه Range	شماره رگه‌ها No. RILs		درصد ضریب تغییرات ژنوتیپی GCV (%)	درصد ضریب تغییرات فنوتیپی PCV (%)	وراثت پذیری عمومی (H^2b)	پیشرفت ژنتیکی (GA)
				پایین‌ترین Min	بالاترین Max				
عرض برگ پرچم FLW (cm)	2.00	0.13	1.64-2.39	ZG-7	ZG-110	11.73	12.75	0.85	0.44
طول برگ پرچم FLL (cm)	26.74	1.55	22.92-30.38	ZG-128	ZG-90	3.33	7.11	0.22	0.86
سطح برگ پرچم FLA (cm^2)	37.45	3.30	29.68-47.59	ZG-150	ZG-60	7.99	12.57	0.40	3.91
محتوای نسبی آب برگ RWC (%)	59.82	4.9	45.15-72.73	ZG-065	ZG-150	9.33	15.93	0.34	6.74
آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده ELWR (%)	55.56	2.8	45.87-64.84	ZG-024	ZG-126	5.98	9.37	0.41	4.36
آب نسبی از دست رفته RWL (%)	40.41	4.7	27.60-56.16	ZG-139	ZG-140	0.58	0.63	0.85	0.44
آب از دست رفته در برگ‌های بریده شده ELWL (%)	0.77	0.05	0.58-0.89	ZG-058	ZG-108	0.11	0.18	0.40	0.06
کمبود آب اشباع WSD (%)	0.50	0.05	0.40-0.62	ZG-042	ZG-149	0.04	0.11	0.11	0.02
عملکرد دانه GY (g/m^2)	417.53	66.19	186.67-630.45	ZG-151	ZG-102	4.40	5.53	0.63	30.11

FLW: عرض برگ پرچم، FLL: طول برگ پرچم، FLA: سطح برگ پرچم، RWC: محتوای نسبی آب برگ، ELWR: آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده، RWL: آب نسبی از دست رفته، ELWL: آب از دست رفته در برگ‌های بریده شده، WSD: کمبود آب اشباع و GY: عملکرد دانه.

FLW: Flag Leaf Width, FLL: Flag Leaf Length, FLA: Flag Leaf Area, RWC: Relative Water Content, ELWR: Excised Leaf Water Retention, RWL: Relative Water Loss, ELWL: Excised Leaf Water Loss, WSD: Water Saturation Deficit and GY: Grain Yield.

تجزیه همبستگی

نتایج تجزیه همبستگی به‌روش پیرسون برای صفات مورد مطالعه در جدول ۴ آمده است. براساس نتایج حاصل، بین صفات عرض برگ پرچم، طول برگ پرچم، سطح برگ پرچم، میزان آب از دست رفته در برگ‌های بریده شده و آب نسبی از دست رفته همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت. بین صفات عرض برگ پرچم و میزان آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده همبستگی منفی و معنی‌دار مشاهده شد. بین صفات محتوای نسبی آب برگ با صفات سطح برگ پرچم، میزان آب از دست رفته در برگ‌های بریده شده و کمبود آب اشباع همبستگی منفی و معنی‌دار مشاهده شد. بین میزان آب حفظ شده در برگ‌های بریده

شده نیز با صفات آب نسبی از دست رفته و آب از دست رفته در برگ‌های بریده شده همبستگی منفی و معنی‌دار وجود داشت. همچنین، بین عملکرد دانه با آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفت میزان آب از دست رفته در برگ‌های بریده شده همبستگی منفی و معنی‌دار مشاهده شد.

جدول ۴- تجزیه همبستگی پیرسون بین صفات مورد مطالعه

Table 4- Pearson correlation analysis between studied traits

	طول برگ پرچم (FLL)	عرض برگ پرچم (FLW)	سطح برگ پرچم (FLA)	محتوای نسبی آب برگ (RWC)	آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده (ELWR)	آب نسبی از دست رفته (RWL)	کمبود آب اشباع (WSD)	آب از دست رفته در برگ‌های بریده شده (ELWL)	عملکرد دانه (GY)
طول برگ پرچم (FLL)	1								
عرض برگ پرچم (FLW)	0.24**	1							
سطح برگ پرچم (FLA)	0.72**	0.76**	1						
محتوای نسبی آب برگ (RWC)	-0.12	-0.14	-0.19*	1					
آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده (ELWR)	-0.1	-0.19*	-0.16	-0.04	1				
آب نسبی از دست رفته (RWL)	0.12	0.16*	0.15	-0.08	-0.69**	1			
کمبود آب اشباع (WSD)	0.12	0.14	0.19*	-1.00**	0.04	0.08	1		
آب از دست رفته در برگ‌های بریده شده (ELWL)	0.21**	0.18*	0.21**	-0.23**	-0.81**	0.73**	0.23**	1	
عملکرد دانه (GY)	-0.05	-0.06	-0.02	0.05	0.24**	-0.10	-0.05	-0.16*	1

** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵.

** and * Significant at the 0.01 and 0.05 level of probability, respectively.

FLL: طول برگ پرچم، FLW : عرض برگ پرچم، FLA: سطح برگ پرچم، RWC: محتوای آب نسبی برگ، ELWR: آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده، RWL: آب نسبی از دست رفته، ELWL: آب از دست رفته در برگ‌های بریده شده، WSD: کمبود آب اشباع و GY: عملکرد دانه.

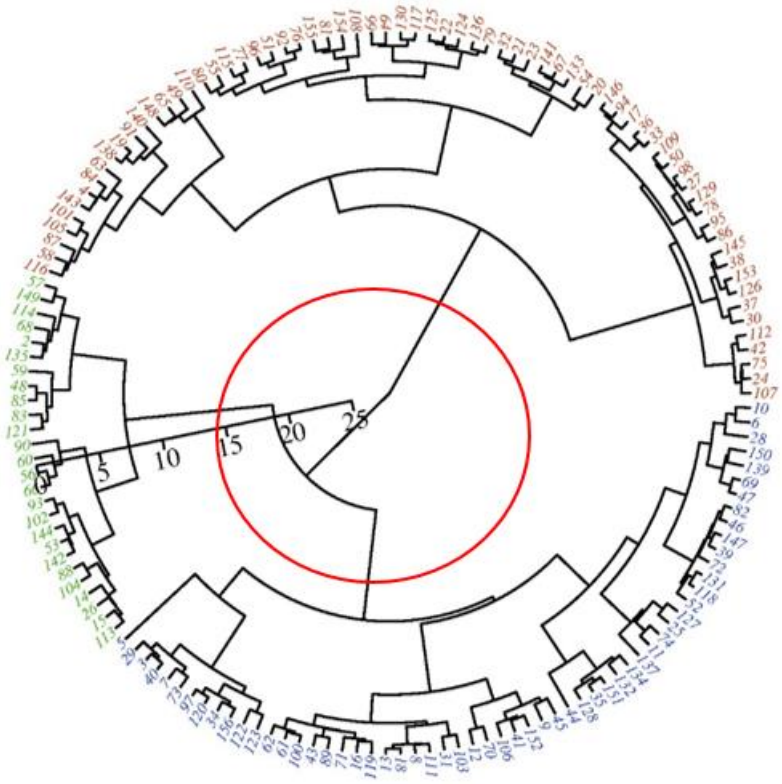
FLL: Flag Leaf Length, FLW: Flag Leaf Width, FLA: Flag Leaf Area, RWC: Relative Water Content, ELWR: Excised Leaf Water Retention, RWL: Relative Water Loss, ELWL: Excised Leaf Water Loss, WSD: Water Saturation Deficit and GY: Grain Yield.

در مطالعه‌ای وجود همبستگی بین این صفات فیزیولوژیکی با صفات عملکرد دانه و اجزا آن گزارش شد که تأثیر مهمی بر عملکرد دانه داشتند (Lonbani & Arzani, 2011). نتایج مطالعه حاضر با مطالعه مروتی و همکاران (Morovati *et al.*, 2020) که وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه و محتوای نسبی آب برگ و آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده را در گندم گزارش کردند، مطابقت داشت. در واقع وجود این

همبستگی مثبت بین عملکرد دانه و صفات فیزیولوژیکی از جمله میزان نسبی آب از دست رفته، آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده، محتوای نسبی آب برگ و کارایی تبخیر و تعرق می‌تواند در انتخاب هر یک از صفات به طور همزمان استفاده نمود. همچنین این صفات در غربالگری ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی نیز مؤثر هستند که ارتباط قابل توجهی بین توانایی حفظ محتوای برگ و تحمل به خشکی گزارش شده است (Hasheminasab *al et.*, 2012).

تجزیه خوشه‌ای

تجزیه خوشه‌ای با استفاده از روش Ward و با استفاده از معیار فاصله اقلیدسی، ژنوتیپ‌ها را در سه گروه متفاوت قرار داد (شکل ۱). تأیید گروه‌بندی با استفاده از تجزیه تابع تشخیص صورت گرفت که صحت گروه‌بندی ۹۸/۱٪ به دست آمد. تعداد ۲۶ رگه درون‌زاد نوترکیب در گروه اول قرار گرفت. در این گروه رگه‌هایی با مقادیر متوسط از صفات مورد مطالعه قرار گرفتند (جدول ۵). گروه دوم شامل ۵۹ رگه درون‌زاد نوترکیب به‌همراه والد زردک بود که این گروه رگه‌های درون‌زاد نوترکیب با میزان عملکرد دانه بالا از جمله رگه ZG-118 را شامل شد. در گروه سوم نیز ۷۰ رگه درون‌زاد نوترکیب و والد G1252 را در بر گرفت که از نظر صفاتی مانند محتوای نسبی آب برگ، آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده، عرض برگ پرچم، طول برگ پرچم و سطح برگ پرچم بالاترین مقادیر را به خود اختصاص دادند. فیزیولوژیست‌های گیاهی نشان دادند که خصوصیات مربوط به عرض، طول و سطح برگ پرچم اثر بسیار مهمی در تولید فرآورده‌های فتوسنتزی دارد و داشتن مقادیر بالاتری از صفات مذکور می‌تواند گیاه را از نظر فتوسنتزی تقویت کند. بنابراین، می‌توان از این ژنوتیپ‌ها برای افزایش پتانسیل فتوسنتز در برنامه‌های به‌نژادی استفاده نمود (Puangbut *et al.*, 2017). لازم به ذکر است که رگه درون‌زاد نوترکیب ZG-151 با کمترین میزان عملکرد دانه در گروه سوم قرار داشت.



شکل ۱-تجزیه خوشه ای با استفاده از روش Ward و بر اساس ماتریس فاصله اقلیدسی مربع برای صفات مورد مطالعه

Figure 1. Cluster analysis using Ward method and based on square Euclidean distance matrix for the studied traits

جدول ۵- میانگین صفات اندازه‌گیری شده در ۱۵۴ رگه درون‌زاد گندم دوروم حاصل از تلاقی زردک× G1252 در گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای

Table 5- Average of measured traits in 154 RILs of durum wheat obtained from Zardak × G1252 crossing in groups resulting from cluster analysis

گروه سوم Third group	گروه دوم Second group	گروه اول First group	صفات Traits
2.03	2.00	1.89	عرض برگ پرچم FLW (cm)
27.40	25.94	25.57	طول برگ پرچم FLL (cm)
38.99	36.78	35.12	سطح برگ پرچم FLA (cm^2)
60.59	57.90	56.27	محتوای نسبی آب برگ RWC (%)
56.05	55.09	55.41	آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده ELWR (%)
40.81	40.22	40.24	آب نسبی از دست رفته RWL (%)
39.73	41.10	39.41	آب از دست رفته در برگ‌های بریده شده ELWL (%)
78.37	77.01	76.46	کمبود آب اشباع WSD (%)
408.82	443.83	370.52	عملکرد دانه GY (g/m^2)

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد تعداد دو مؤلفه اول دارای مقدار ویژه بالاتر از یک بودند و بیشترین میزان واریانس را به خود اختصاص دادند (جدول ۶). بطوریکه دو مؤلفه اول ۵۹/۹۶ درصد از واریانس کل را دارا بودند. علاوه بر این مؤلفه‌های اول و دوم به‌ترتیب ۳۶/۹۱ و ۲۳/۰۴ درصد از واریانس کل را به خود اختصاص دادند. در مؤلفه اول بیشترین میزان بار عامل در جهت مثبت مربوط به صفات میزان آب از دست رفته در برگ‌های بریده شده، آب نسبی از دست رفته و سطح برگ پرچم و در جهت منفی مربوط به صفت آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده بود. درصورتی که در مؤلفه دوم صفات سطح برگ پرچم، طول برگ پرچم و عرض برگ پرچم بیشترین بار عامل مثبت را به خود اختصاص دادند. نتایج در شکل ۲ نشان می‌دهد که ۳۶ رگه درون‌زاد نوترکیب (ZG-014، ZG-019، ZG-021، ZG-023، ZG027، ZG-030، ZG-053، ZG-055، ZG-057، ZG-063، ZG-064، ZG-068، ZG-078، ZG-080، ZG-81، ZG-087، ZG-088، ZG-093، ZG-098، ZG-099، ZG-101، ZG-104، ZG-105، ZG-113، ZG-116، ZG-117، ZG-127، ZG-130، ZG-133، ZG-138، ZG-142، ZG-144، ZG-151، ZG-153، ZG-154 و ZG-155) دارای مؤلفه اول پایین و مؤلفه دوم بالا، قدرت حفظ و نگهداری آب بیشتری در برگ داشتند. از سویی دیگر، بر اساس مؤلفه اول حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مشاهده شد که صفات آب نسبی از دست رفته و آب از دست رفته در برگ‌های بریده شده نیز همبستگی بالایی داشتند. محققان زیادی از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای تعیین مؤلفه‌های با واریانس بالا بر اساس صفات مورد مطالعه استفاده نمودند (Mwadzingeni *et al.*, 2016; Qaseem *et al.*, 2017).

نتیجه‌گیری

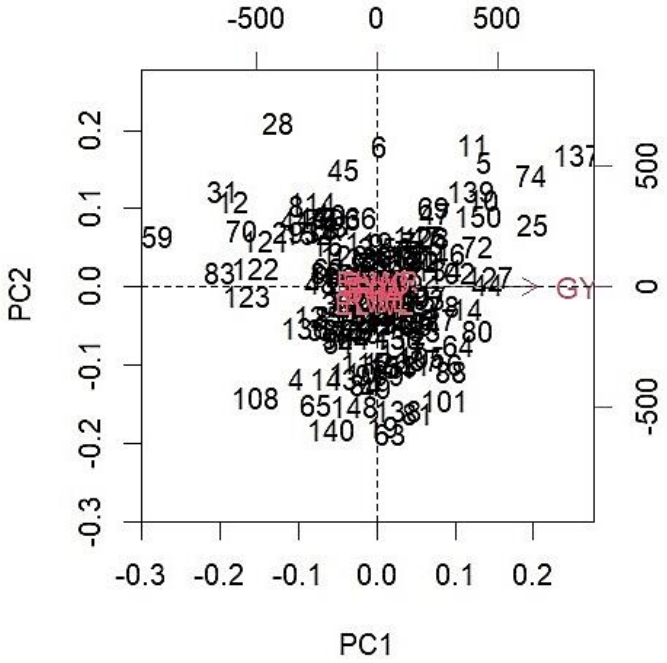
در این مطالعه تنوع قابل ملاحظه‌ای در بین رگه‌های درون‌زاد نوترکیب مورد بررسی از نظر اکثر صفات فیزیولوژیک وجود داشت. رگه‌های ZG-110، ZG-090 و ZG-060 به‌ترتیب بیشترین عرض برگ پرچم، طول برگ پرچم، سطح برگ پرچم را دارا بودند. از طرفی، رگه‌های ZG-150 و ZG-126 برترین رگه‌ها از نظر محتوای آب نسبی برگ، در میان دیگر رگه‌های درون‌زاد نوترکیب مورد مطالعه بودند. در رگه‌های ZG-118 و ZG-102 نیز بالاترین میزان عملکرد دانه مشاهده شد. همچنین بین صفت عملکرد دانه با برخی از صفات فیزیولوژیکی مورد ارزیابی در تنش خشکی ارتباط بالایی دیده شد. از آنجا که تحمل به خشکی و عملکرد جزء صفات پیچیده با وراثت‌پذیری پایین می‌باشند و نیز انتخاب بر اساس صفات فیزیولوژیکی به منظور افزایش عملکرد آسان و دقیق می‌باشد، در نتیجه مطالعه صفات فیزیولوژیک می‌تواند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد و انتخاب رگه‌های درون‌زاد نوترکیب متحمل در شرایط دیم، براساس این صفات می‌تواند بسیار مؤثر باشد. همچنین با توجه به سهم بالای

اثرات افزایشی در تعیین صفات مرتبط با برگ پرچم، محتوای آب از دست رفته برگ و عملکرد دانه، در پروژه‌های به‌نژادی می‌توان انتخاب در نسل‌های اولیه را پیشنهاد نمود.

جدول ۶- نتایج مربوط به تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر مبنای صفات مورد مطالعه

Table 6- The results of principal component analysis based on the studied traits

صفات Traits	مؤلفه Component	
	اول First	دوم Second
عرض برگ پرچم FLW (cm)	**0.56**	**0.55**
طول برگ پرچم FLL (cm)	**0.51**	**0.56**
سطح برگ پرچم FLA (cm)	**0.65**	**0.72**
محتوای نسبی آب برگ RWC (%)	-0.26	-0.19
آب حفظ شده در برگ‌های بریده شده ELWR (%)	**-0.77**	**0.50**
آب نسبی از دست رفته RWL (%)	**0.74**	-0.46
آب از دست رفته در برگ‌های بریده شده ELWL (%)	**0.83**	-0.41
عملکرد دانه GY (g/m^2)	-0.26	0.17
مقدار ویژه Eigenvalue	2.96	1.84
درصد واریانس % of Variance	36.91	23.04
درصد واریانس تجمعی % of Cumulative Variance	36.91	59.96



شکل ۲- نمودار بای پلات حاصل از مؤلفه‌های اول و دوم بر اساس صفات مورد مطالعه

Figure 2. The biplot chart derived from the first and second components based on all studied traits in different wheat genotypes

References

Ahmadizadeh, M., Valizadeh, M., Shahbazi, H., & Nori. A. 2014. Behavior of durum wheat genotypes under normal irrigation and drought stress conditions in the greenhouse. African Journal of Biotechnology, 11 (8), 1912-1923. https://doi.org/10.5897/AJB11.2370

Arya, V.K., Singh, J., Kumar, L., Kumar, A., Kumar, A., Kumar, P., & Chand, P. 2019. Character association and path coefficient analysis in wheat (*Triticum aestivum* L.). Indian Journal of Agricultural Research, 51 (3), 245–251. https://doi.org/10.18805/ijare.v51i03.7913

Barrs, H.D. 1968. Determinations of water deficits in plant tissues. In Water Deficits and Plant Growth (ed. T.T. Kozlowski), Academic Press, New York, 1, 235–368. ID: 130000945

Basu, S., Ramegowda, V., Kumar, A., & Pereira, A. 2016. Plant adaptation to drought stress. F1000Research, 5, F1000 Faculty Rev–1554. https://doi.org/10.12688/f1000research.7678.1

Bijanzadeh, E., & Emam, Y. 2011. Evaluation of assimilate remobilization and yield of wheat cultivars under different irrigation regimes in an arid climate. Agronomy and Soil Science, 1243-1259. https://doi.org/10.1080/03650340.2011.584215

Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential – are they compatible, dissonant, or mutually exclusive. Australian Journal Agriculture, 56, 1159–1168. https://doi.org/10.1071/AR05069

Burton, G.W., & DeVane, E.H. 1953. Estimating heritability in tall fescue (*Festuca arundinacea* L.) from replicated clonal material. Agronomy Journal, 45, 478–481. https://doi.org/10.2134/agronj1953.00021962004500100005x

Clarck, J.M., & Mac-Caig, T.N. 1982. Excised Leaf Water Relation Capability as an Indicator of Drought Resistance of *Triticum* Genotypes. Canadian Journal of Plant Science, 62, 571-576. https://doi.org/10.4141/cjps82-086

Crossa, G., Campos, D., Maccaferri, M., Tuberosa, R., Burgueño, J., & P´erez-Rodr´ıguez, P. 2016. Extending the marker × environment interaction model for genomic-enabled prediction and genome-wide association analysis in durum wheat. Crop Science, 56 (5), 2193–2209. https://doi.org/10.2135/cropsci2015.04.0260

Desoky, E.M., El-Sarkassy, N.M., & Ibrahim, S.A. 2017. Integrated application of proline or potassium in alleviating the adverse effects of irrigation intervals on wheat plants. Journal of Plant Production Mansoura University, 8 (10), 1045 – 1055. https://doi.org/10.21608/jpp.2017.41089

Fan, X., Liu, X., Cui, F, Zhao, C.H., Zhao, C. Tong, Y., & Li, J. 2015. QTLs for fag leaf size and their infuence on yield-related traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). Molecular Breeding, 35, 1-24. https://doi.org/10.1007/s11032-015-0205-9

Fellahi, Z., Hannachi, A. Bouzerzour, H., & Boutekrabt, A. 2013. Line × tester mating design analysis for grain yield and yield related traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). International Journal of Agronomy, Article ID 2018519.

Gonzalez-Ribot, G., Opazo, M., Silva, P., & Acevedo, E. 2017. Traits explaining durum wheat (*Triticum turgidum* L. spp. Durum) yield in dry Chilean Mediterranean environments. Frontiers in Plant Science, 8, 1781- 1785. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01781

Graziani, M., Maccaferri, M., Royo, C., Salvatorelli, F., & Tuberosa, R. 2014. QTL dissection of yield components and morpho-physiological traits in a durum wheat elite population tested in contrasting thermo-pluviometric conditions. Crop and Pasture Science, 65 (1), 80–95. https://doi.org/10.1071/CP13349

Hasheminasab, H., Assad, M.T., Aliakbari, A., & Sahhafi, S.R. 2012. Evaluation of some physiological traits associated with improved drought tolerance in Iranian wheat. Annals of Biological Research, 3 (4), 1719-1725.

Huang, S., Sun, L., Hu, X., Wang, Y., Zhang, Y., Nevo, E., Peng, J., & Sen, D. 2018. Associations of canopy leaf traits with SNP markers in durum wheat (*Triticum turgidum* L. durum (Desf.)). PLoS ONE, 13 (10), 1- 14. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206226

Inoue, T., Inanaga, S., Sugimoto, Y., An, P., & Eneji, A.E. 2014. Effect of drought on ear and flag leaf photosynthesis of two wheat cultivars differing in drought resistance. Photosynthetica, 42, 559–565. https://doi.org/10.1007/S11099-005-0013-2

International Grains Council (Igc). 2020. World Grain Statistics 2016 [Online]. Available: 1051 https://www.igc.int/en/subscriptions/subscription.aspx [Accessed 05/21/2020].

Johnson, H.W., Robinson, H.F., & Comstock, R.E. 1955. Estimates of genetic and environmental variability in soybean. Agronomy Journal, 47, 314–318. https://doi.org/10.2134/agronj1955.00021962004700070009x

Kandel, M., Bastola, A., Sapkota, P., Chaudhary, O., Dhakal, P., & Chalise, P. 2017. Association and path coefficient analysis of grain yield and its attributing traits in different

genotypes of wheat (*Triticum aestivum* L.). International Journal of Applied Sciences and Biotechnology, 5 (4), 449–453. https://doi.org/10.3126/ijasbt.v5i4.18769

Khalili, M., & Naghavi, M.R., 2018. Evaluation of genetic diversity of spring wheat cultivars for physiological and agronomic traits under drought stress. Journal of Crop Breeding, 10 (25), 138- 151. https://doi.org/10.29252/jcb.10.25.138

Lonbani, M., & Arzani, A. 2011. Morpho-physiological traits associated with terminal drought stress tolerance in triticale and wheat. Agronomy Research, 9 (1–2), 315–329.

Mohammadi, R., Etminan, A., & Shoshtari, L. 2018. Agro-physiological characterization of durum wheat genotypes under drought conditions. Experimental Agriculture, 55(3), 484-499. https://doi.org/10.1017/S0014479718000133

Morovati, Z., Farshadsfar, E., & Romena, M.H. 2020. Genetic evaluation of physiological Traits related to drought tolerance in some bread wheat genotypes under rain-fed conditions. Journal of Agronomy and Plant Breeding, 15(2), 35-50. (In Persian)

Mwadzingeni, L., Shimelis, H., Tesfay, S., & Tsilo, T.J. 2016. Screening of bread wheat genotypes for drought tolerance using phenotypic and proline analyses. Frontiers in Plant Science, 7, 1276-1287. https:\\doi.org\10.3389\fpls.2016.01276

Naroui Rad, M.R., Abdul Kadir, M., Rafii, H.Z., Jaafa, E., & Danaee, M. 2013. Gene action for physiological parameters and use of relative water content (RWC) for selection of tolerant and high yield genotypes in F2 population of wheat. Australian Journal of Crop Science, 7 (3), 407-413. https://doi.org/10.4238/2012.November.12.5

Nigro, D., Fortunato, S., Giove, S.L., Mazzucotelli, E., & Gadaleta A. 2020. Functional validation of glutamine syntheses and glutamate synthase genes in durum wheat near isogenic lines with QTL for high GP. International Journal of Molecular Science, 21 (9253), 1-17. https://doi.org/10.3390/ijms21239253

Puangbut, D., Jogloy, S., & Vorasoot, N. 2017. Association of photosynthetic traits with water use efficiency and SPAD chlorophyll meter reading of Jerusalem artichoke under drought conditions. Agricultural Water Management, 188, 29-35.

Qaseem, M.F., Qureshi, R., Illyas, N., & Jalal-Ud-Din, S.G. 2017. Multivariate statistical analysis for yield and yield components in bread wheat planted under rainfed conditions. Pakistan Journal of Botany, 49(6), 2445-2450.

Ranieri, R. 2015. Geography of the durum wheat crop. Pastaria International, 6, 24– 36.

Salmi, M., Haddad, L., Oulmi, A., Benmahammed, A., & Benbelkacem, A. 2015. Variabilit´e ph´enotypique et s´election des caracteres agronomiques du ble dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. European Scientific Journal, 11 (2), 99–111. https://doi.org/ojs.pkp.sfu.ca:article/5986

Xing, P., Robertson, G.P., Guiver, M.D., Mikhailenko, S.D., Wang, K., & Kaliaguine, S. 2004. Synthesis and characterization of sulfonated poly (ether ether ketone) for proton exchange membranes. Journal of Membrane Science, 229, 95–106. https://doi.org/10.1016/j.memsci.2003.09.019

Yaghotipoor, A., & Farshadsfar, E. 2018. Evaluation of genetic diversity of durum wheat (*Triticum durum* L.) genotypes based on physiological and biochemical traits in non-tension conditions. Crop Physiology Journal, 10(37), 35-48. (In Persian)

Zakizadeh, M., Esmaeilzadeh, M., & Kahrizi, D. 2010. Study on genetic variation and relationship between plant characteristics and yield in long spike bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes using multivariate analysis. Iranian Journal of Crop Sciences, 12 (2), 18 –30. (In Persian)