University of Birjand

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

https://doi.org/10.22077/escs.2024.6667.2235

Original article

Identification of the most important traits affecting the yield of *Aegilops tauschii* ecotypes under drought stress conditions

F. Hosseini[1], S.S. Moosavi[2*], M.R. Abdollahi[2], A. Sepehri[2]

1. *M.Sc. Graduate of Genetics and Plant Breeding, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran*
2. *Associate Professors, Department of Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran*

Received 11 August 2023; Accepted 23 September 2023

نسخه پیش از انتشار

Extended abstract

Introduction

Wheat is the most important crop that occupies the most area under rainfed cultivation. Drought stress is the most important factor in wheat yield reduction. The scope of this stress is expanding day by day in the world. Drought resistance is a quantitative trait with a complex phenotype that is affected by plant growth stages. Breeding requirements for resistance to drought stress in wheat are two factors: high genetic diversity among cultivated and wild genotypes of wheat and selection based on traits related to this resistance. One of the important strategies to deal with moisture stress is using wild relatives of wheat, especially the genus Aegilops, as one of the important gene sources containing genes for resistance to environmental stresses. Based on this limitation, the use of wild wheat relatives is one of the important goals of wheat breeding programs. This research aimed to evaluate the relationship between grain yield and 32 different phenological and agro-physiological traits in ten ecotypes of *Aegilops tauschii* which was carried out under moisture-stress conditions and for two period.

Materials and methods

This study was conducted for two consecutive periods in the research greenhouse of the Faculty of Agriculture of Bu-Ali Sina University in Hamedan. In this study, 33 phenological, morphophysiological, and root traits were evaluated in ten ecotypes of diploid wheat *Aegilops tauschii* (2n=2x=14, DD) under drought stress conditions. These ten different ecotypes of *Aegilops tauschii* were collected from different geographical regions of Iran.The mentioned ecotypes were evaluated in a randomized complete block design with three replications. At first, the seeds of the plant samples were grown in seedling trays containing equal proportions of perlite and cocopeat. Then, for the vernalization of the plants, after the initial germination of the seeds, in the two-leaf stage of the seedlings, the culture trays were moved to a cold room with a temperature of 4 degrees Celsius for about 35 days. After this stage, the vernalized seedlings were transferred to 10 kg pots, containing a combination of agricultural soil, sand, and rotted animal manure at a ratio of 50, 25, and 25%. After transplanting, the pots were irrigated at 100 percent of the soil's field or pot capacity for about two weeks. Then, in order to apply drought stress treatment, the humidity of the pots was kept at 45% of the field or pot capacity until the plants were harvested, by weighted moisture method.

* Corresponding author: Sayyed Saeed Moosavi; E-Mail: s.moosavi@basu.ac.ir

© 2025, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Results and discussion

Economic yield has a positive and significant correlation ($p \leq 0.01$) with the traits of grain water use efficiency, peduncle length, plant harvest index, main spike weight, grain weight in main spike, number of fertile spikes per plant, thousand-grain weight, plant height, excited leaf water retention, number of grains per plant, peduncle weight and leaf surface index. This was despite the fact that most of the phenological and root traits had a significant negative correlation with grain yield. According to the stepwise regression results, the traits of grain water use efficiency and the number of fertile spikes per plant with a positive coefficient and the traits of root diameter and days to heading, with a negative coefficient, as the most important traits affecting grain yield, were entered into the regression model respectively. The results of the path analysis indicated that the trait of grain water use efficiency had the most direct and positive effect on increasing grain yield. Also, the trait of water use efficiency, through the trait of day to heading, had the most negative indirect effect on grain yield.

Conclusion

According to our findings, the selection based on higher values of grain water use efficiency and the number of fertile spikes per plant and lower values of phenological and root traits may lead to improvement of wheat grain yield under drought stress conditions.

Keywords: Causality analysis, Correlation analysis, Drought stress, Regression analysis, Wild wheat

نسخه پیش از انتشار

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences

https://doi.org/10.22077/escs.2024.6667.2235

مقاله پژوهشی

شناسایی مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد دانه اکوتیپ‌های آژیلوپس تائوشی (*Aegilops tauschii*) تحت شرایط تنش خشکی

فاطمه حسینی[1]، سید سعید موسوی[2*]، محمدرضا عبداللهی[2]، علی سپهری[2]

۱. دانش‌آموخته گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
تنش خشکی
گندم وحشی
تجزیه همبستگی
تجزیه رگرسیون
تجزیه علیت

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۵/۲۰

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۷/۰۱

چکیده

در بین گیاهان زراعی، گندم بیش‌ترین سطح زیر کشت دیم را به خود اختصاص داده است و تنش خشکی مهم‌ترین عامل افت عملکرد این گیاه راهبردی است. یکی از راهکارهای مقابله با این تنش، استفاده از گونه‌های مختلف جنس آژیلوپس در برنامه‌های به‌نژادی گندم است. هدف این تحقیق ارزیابی ارتباط بین عملکرد دانه با ۳۲ صفت مختلف فنولوژیک و اگرومورفوفیزیولوژیک در ده اکوتیپ مختلف آژیلوپس تائوشی بود که در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در طی دو دوره آزمایش و تحت شرایط تنش خشکی ارزیابی شدند. عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار ($p\leq0.01$) با صفات کارایی مصرف آب، طول پدانکل، شاخص برداشت بوته، وزن سنبله اصلی، وزن دانه در سنبله اصلی، تعداد سنبله بارور در بوته، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، قدرت حفظ آب در برگ قطع‌شده، تعداد دانه در بوته، وزن پدانکل و شاخص سطح برگ نشان داد. اغلب صفات فنولوژیک و ریشه‌ای دارای همبستگی منفی و معنی‌دار ($p\leq0.05$) با عملکرد دانه بودند. طبق نتایج رگرسیون گام‌به‌گام صفات کارایی مصرف آب و تعداد سنبله بارور در بوته، با ضریب رگرسیونی مثبت و صفات قطر ریشه و روز تا سنبله‌دهی با ضریب رگرسیونی منفی، به‌عنوان مهم‌ترین صفات مؤثر بر تغییرات عملکرد دانه به ترتیب وارد مدل رگرسیونی شدند. صفت کارایی مصرف آب بیش‌ترین اثر مستقیم و مثبت را بر افزایش عملکرد دانه داشت. صفت کارایی مصرف آب، از طریق افزایش روز تا سنبله‌دهی، بیش‌ترین اثر غیرمستقیم منفی را بر عملکرد دانه داشت. به‌طورکلی با توجه به قرابت ژنتیکی بین گندم زراعی و گونه آژیلوپس تائوشی، به‌عنوان جد دهنده ژنوم D به گندم زراعی، گزینش بر اساس مقادیر بیش‌تر دو صفت کارایی مصرف آب و تعداد سنبله بارور در بوته، که دارای توارث‌پذیری ساده‌تری نسبت به عملکرد دانه هستند، همچنین انتخاب برای مقادیر کم‌تر صفات فنولوژیک و ریشه‌ای ممکن است منجر به بهبود عملکرد گندم در شرایط تنش خشکی شود.

مقدمه

گندم نان، به‌عنوان یک گیاه راهبردی، نقش قابل‌توجهی در تأمین غذا و تغذیه جوامع بشری دارد (Fazelinasab et al., 2015). بر اساس روند رو به رشد جمعیت که تا سال ۲۰۵۰ به بیش از ۹/۵ میلیارد نفر خواهد رسید، اهمیت و تقاضا برای این محصول مهم زراعی روزبه‌روز در حال افزایش است (Weigand, 2011).

علی‌رغم اهمیت توسعه کشت و تولید گندم به‌عنوان یک محصول مهم راهبردی، ولی متأسفانه به دلیل گسترش رو به رشد تنش خشکی، این تنش غیرزیستی به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید گندم در جهان و در ایران است که هرساله سطح زیرکشت و عملکرد گندم را به مقدار قابل‌توجهی کاهش می‌دهد (Moosavi et al., 2020; Fleury et al., 2010). این تنش از طریق تأثیر منفی بر

* نگارنده پاسخگو: سید سعید موسوی. پست الکترونیک: s.moosavi@basu.ac.ir

سازوکارهای مختلف بیوشیمیایی و مرفوفیزیولوژیک در بخش‌های مختلف یک گیاه، پتانسیل و عملکرد نهایی گیاهان را کاهش می‌دهد (Nazari et al., 2018).

در ایران نیز، به‌عنوان یک کشور خشک و نیمه‌خشک، بخش عمده‌ای از اراضی تحت کشت گندم در مناطق خشک و نیمه‌خشک با محدودیت بارش‌های سالانه قرار دارد (Mollasadeghi,2010). به‌طورکلی با توجه به افزایش شدت خشکی در سراسر جهان، یکی از مهم‌ترین اهداف سیستم‌های کشاورزی خشک، افزایش عملکرد گندم به‌عنوان یک محصول راهبردی در این مناطق است (Moosavi et al., 2020; Budak et al., 2013). ازاین‌رو، از دیدگاه به‌نژادی گیاهی، توجه به صفاتی که با مقاومت به خشکی در گندم مرتبط می‌باشند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر این اساس، جهت حفظ بهره‌وری پایدار گندم در شرایط کمبود آب، بهبود مقاومت به خشکی در گندم مهم و ضروری است (Itam et al., 2020). البته در به‌نژادی برای مقاومت به خشکی باید توجه داشت که این صفت یک صفت کمی با قابلیت توارث‌پذیری پیچیده است که تحت تأثیر مراحل رشد گیاه و عوامل محیطی مختلفی قرار می‌گیرد (Budak et al., 2013).

در مسیر به‌نژادی برای مقاومت به خشکی، لازمه موفقیت در این به‌نژادی، وجود تنوع ژنتیکی بالا در بین ژنوتیپ‌های زراعی و وحشی گندم و گزینش بر اساس صفات مرتبط با مقاومت است (Ashraf, 2010). با توجه به این‌که تنوع ژنتیکی محدودی در ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان در به‌نژادی برای مقاومت به تنش خشکی وجود دارد (Moosavi et al., 2016)، لذا استفاده از خویشاوندان وحشی گندم در برنامه‌های به‌نژادی، یکی از راه‌کارهای مهم در برنامه‌های به‌نژادی گندم است (Nazari et al., 2018). درواقع در تحقیقات قبلی، گونه *آژیلوپس تائوشی* به‌عنوان یک منبع ژنی غنی و ایده‌آل برای اهداف به‌نژادی گندم شناسایی شده است (Khodadadi et al., 2023; Pour-Aboughadareh et al., 2017). به‌طوری‌که در این راستا، گونه وحشی *آژیلوپس تائوشی* یکی از ارزشمندترین منابع ژنی مقاومت در برابر تنش‌های غیرزیستی است (Pour-Aboughadareh et al., 2021; Nazari et al., 2018). گونه آژیلوپس تائوشی (*Aegilops tauschii*) یا آژیلوپس اسکواروزا (*Aegilops squarrosa*)، گونه‌ای دیپلوئید و خودگرده‌افشان است که ژنوم D را به گندم نان بخشیده است (Sohail et al., 2011; Masoomi-Aladizgeh et al., 2015). طبق تحقیقات گذشته، ژن‌های متعدد مرتبط با بهبود کیفیت، افزایش عملکرد دانه، مقاومت به آفات و بیماری‌های گیاهی و تحمل به تنش‌های محیطی در ژنوم D شناسایی شده است (Sing, 2017; Ki-Hyun et al., 2010). بر این اساس، داشتن اطلاعات در مورد ساختار ژنتیکی *آژیلوپس تائوشی* می‌تواند به تولید واریته‌های گندم مقاوم به خشکی کمک کند (Pour-Aboughadareh et al., 2017). مرکز تنوع گونه *آژیلوپس تائوشی* در مناطق جنوبی دریای خزر است، این‌گونه در نواحی شمال غربی، شمال، شمال شرقی و هم‌چنین در مرکز ایران پراکنش دارد (Saeidi et al., 2005).

خویشاوندان گندم وحشی گونه‌های متنوع با دامنه ژنتیکی گسترده‌ای هستند. استفاده از تنوع ژنتیکی موجود در گونه *Aegilops tauschii* برای بهبود و تولید ارقام گندم متحمل به تنش‌های محیطی مهم و مفید خواهد بود تا به کمک این ارقام جدید، امنیت غذایی را برای جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ بتوان تضمین کرد (Sing, 2017).

در مطالعه‌ای که به‌منظور بررسی و مقایسه پاسخ به تنش خشکی در ارقام گندم‌های مصنوعی[1] (ساختگی یا سینتتیک) و مجموعه‌ای از جمعیت‌های وحشی *آژیلوپس تائوشی* انجام شد، اظهار شد که برخی از توده‌های این گونه نسبت به ارقام زراعی تظاهر بهتری در پاسخ به تنش خشکی دارند و تحت شرایط تنش خشکی میانگین صفات در توده‌های وحشی نسبت به ارقام زراعی از کاهش کمتری برخوردار بودند (Aghaee-Sarbarze et al., 2013).

عملکرد دانه یک صفت کمی است که توسط ژن‌های متعددی کنترل می‌شود که به دلیل وجود اثر متقابل بین ژنوتیپ و محیط برای این صفت، وراثت‌پذیری آن به نسبت پایین و وراثت‌پذیری آن تا حدودی پیچیده است. بر این اساس، به‌طورمعمول در برنامه‌های به‌نژادی، به دلیل وراثت‌پذیری پایین عملکرد، گزینش مستقیم برای این صفت صورت نمی‌گیرد ولی در عوض از صفات مرتبط با عملکرد دانه که دارای وراثت‌پذیری بالاتر و پیچیدگی ژنتیکی کمتری هستند، استفاده می‌شود.

[1]- Synthetic

نسخه پیش از انتشار

جهت ارزیابی و تفسیر روابط بین صفات مختلف، از روش‌های آماری مختلف ازجمله تجزیه همبستگی، تجزیه رگرسیون و تجزیه مسیر استفاده می‌شود (Janmohammadi et al., 2014). با استفاده از این روش ها می‌توان روابط بین صفات مختلف با عملکرد دانه را ارزیابی کرد تا صفات مؤثر بر عملکرد دانه شناسایی و سپس ژنوتیپ های مطلوب را بر اساس مجموعه‌ای از این صفات از طریق روش‌های آماری چند متغیره شناسایی کرد. با شناسایی و گزینش برای بهبود صفات مرتبط با عملکرد، می‌توان عملکرد را به‌طور غیرمستقیم بهبود بخشید (Blum, 2011). صفات مرتبط با عملکرد با وراثت‌پذیری بالا برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی با عملکرد بالا پیشنهاد شده است (Mc-Intyre et al., 2010). یکی از روش‌های آماری جهت ارزیابی رابطه بین عملکرد دانه با سایر صفات، استفاده از ضریب همبستگی است. این ضریب روابط خطی بین صفات را نشان می‌دهد، اما برآورد ضریب همبستگی بین عملکرد و اجزای آن برای دستیابی به تأثیر و اهمیت این اجزا بر عملکرد دانه، گاهی اوقات کافی نیست و نیاز به روش‌های تکمیلی، ازجمله تجزیه مسیر است (Moosavi et al., 2013; Ali et al., 2012).

هدف از این تحقیق ارزیابی ارتباط بین ۳۲ صفت فنولوژیک و مرفوفیزیولوژیک مختلف با عملکرد دانه جهت شناسایی مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد دانه در ده اکوتیپ گونه آژیلوپس تائوشی جهت ارزیابی امکان استفاده از این اطلاعات در برنامه‌های به‌نژادی آتی در گندم بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در طی دو دوره متوالی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، واقع در همدان، انجام شد. در این پژوهش، تعداد ده اکوتیپ مختلف گندم وحشی آژیلوپس تائوشی (*Aegilops tauschii*; 2n=2x=14, DD)، تحت شرایط تنش خشکی (۴۵ درصد ظرفیت زراعی خاک) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار ارزیابی شدند.

مواد گیاهی و نحوه اعمال تنش خشکی

در این مطالعه، تعداد ۳۳ صفت فنولوژیک، مورفوفیزیولوژیک و ریشه‌ای در ده اکوتیپ فوق ارزیابی شدند. این ده اکوتیپ مختلف آژیلوپس تائوشی از نواحی مختلف ایران که ازنظر ارتفاع و عرض جغرافیایی باهم تفاوت داشتند، جمع‌آوری شدند (جدول ۱). در این پژوهش هر اکوتیپ در یک گلدان بزرگ حاوی ۵ بوته (پس از تنک کردن) و در سه تکرار مجزا بررسی و ارزیابی شد. در ابتدا بذور نمونه‌های گیاهی در سینی‌های نشاء حاوی نسبت مساوی از پرلیت و کوکوپیت کشت شدند، سپس به‌منظور بهاره‌سازی گیاهچه‌ها، بعد از جوانه‌زنی اولیه بذور، در مرحله دوبرگی گیاهچه‌ها، کلیه سینی‌های کشت به اتاق سرد با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت حدود ۳۵ روز منتقل شدند. سپس نشاءهای بهاره‌سازی شده در گلدان‌های ۱۰ کیلوگرمی، حاوی ترکیب خاک زراعی، ماسه‌بادی و کود پوسیده دامی با نسبت ۲، ۱ و ۱ انتقال داده شدند. در این مطالعه چون هدف شناسایی مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد دانه اکوتیپ‌های مختلف آژیلوپس تائوشی تحت شرایط تنش خشکی بود، لذا ارزیابی تغییرات صفات فوق فقط تحت شرایط تنش خشکی انجام شد. به‌طوری‌که شرایط تنش خشکی به‌صورت ۴۵ درصد ظرفیت زراعی (۴۵ درصد ظرفیت گلدانی) اعمال گردید. جهت اعمال تنش خشکی، پس از نشاکاری گیاهچه‌های بهاره سازی شده در گلدان‌ها، جهت کمک به استقرار اولیه گیاهچه‌ها، عمل آبیاری گلدان‌ها حدود دو هفته پس از نشاکاری به‌صورت ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک انجام شد. سپس جهت اعمال تیمار تنش خشکی، در ادامه تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک، رطوبت گلدان‌ها در حد ۴۵ درصد ظرفیت زراعی نگهداری شد.

صفات اندازه‌گیری شده

در این مطالعه تعداد ۳۳ صفت شامل عملکرد دانه به همراه ۳۲ صفت مختلف فنولوژیک، مورفوفیزیولوژیک و ریشه‌ای برای شناسایی مطلوب‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد دانه مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۲). صفت دوره پر شدن از تفاضل بین صفت روز تا گرده‌افشانی و صفت روز تا رسیدگی فیزیولوژیک به دست آمد. در طول آزمایش برای هر گلدان در هر مرحله آبیاری، میزان آب مصرفی ثبت شد و بر اساس آن، میزان آب مصرفی در هر گلدان به‌عنوان کل آب مصرفی در طول دوره رشد گیاه به دست آمد

نسخه پیش از انتشار

جدول ۱. اطلاعات اکوتیپ‌های آژیلوپس تائوشی مطالعه شده

Table 1. Information of the studied *Aegilops tauschii* ecotypes

کد اکوتیپ Ecotype code	محل جمع‌آوری Site of origin	ارتفاع از سطح دریا Elevation (m)	طول جغرافیایی Altitude	عرض جغرافیایی Latitude
A11	آمل، مازندران، ایران Amol, Mazandaran, Iran	761	۵۲ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی 52° 21′ E	۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی 36° 25′ N
A12	آهار، آذربایجان شرقی، ایران Ahar, Easternern Azerbaijan, Iran	1360	۴۷ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی 47° 4′ E	۳۸ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی 38° 28′ N
A13	کرج، البرز، ایران. Karaj, Alborz, Iran	1297	۵۱ درجه و ۰ دقیقه طول شرقی 51° 0′ E	۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی 35° 48′ N
A14	آستارا، گیلان، ایران Astara, Gilan, Iran	20	۵۳ درجه و ۴۸ دقیقه طول شرقی 53° 48′ E	۲۵ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی 25° 30′ N
A15	مغان، اردبیل، ایران Moghan, Ardabil, Iran	45	۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی 47° 30′ E	۳۹ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی 39° 20′ N
A16	چالوس، مازندران، ایران Chalous, Mazandaran, Iran	19	۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی 50° 55′ E	۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی 36° 41′ N
A17	حیران، اردبیل، ایران Heyran, Ardabil, Iran	1500	۵۲ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی 52° 58′ E	۳۰ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی 30° 46′ N
A18	کوچ اصفهان، گیلان، ایران Koochesfahan, Gilan, Iran	10	۵۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی 51° 16′ E	۴۹ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی 49° 46′ N
A19	گیلان، گیلان، ایران Gilan, Gilan, Iran	20	۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی 48° 52′ E	۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه عرض شمالی 36° 34′ N
A20	درود، لرستان، ایران Doroud, Lorestan, Iran	1460	۴۹ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی 49° 4′ E	۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی 33° 29′ N

کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف آزمایشی با محاسبه نسبت عملکرد دانه به مقدار آب خالص مصرفی برای بوته در گلدان تعیین شد (Vafabakhsh et al., 2009). برای محاسبه میزان آب مصرفی، قبل از هر آبیاری گلدان‌ها وزن و از طریق تفاضل با وزن اولیه میزان آب مصرفی در هر گلدان اندازه‌گیری شد. درنهایت کل آب مصرفی (WU) به‌عنوان مجموع مصرف آب در طول رشد گیاه محاسبه شد. متغیرهای اندازه‌گیری شده حاصل میانگین‌گیری پنج بوته در هر گلدان بودند. صفات عملکرد دانه و اجزای عملکرد در هنگام برداشت اندازه‌گیری شدند و برای اندازه‌گیری طول و وزن صفات موردمطالعه از خط‌کش و از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. سپس سطح تقریبی برگ (LA) با استفاده از رابطه زیر و به‌طور تقریب برآورد شد که در آن L و W به ترتیب بیانگر طول و عرض هر برگ است (Moll and Kamparth, 1977).

$$LA = L \times W \times 0.75 \quad [۱]$$

محتوای کلروفیل، با استفاده از میانگین ۱۰ عدد قرائت‌شده متوالی در پهنک‌برگ دوم هر بوته در اوایل مرحله سنبله‌دهی توسط دستگاه قرائت سبزینگی به دست آمد. برای اندازه‌گیری صفات ریشه، ابتدا گیاهان از سطح خاک گلدان خارج شدند، پس از شستشوی ریشه، صفات مربوط به ریشه اندازه‌گیری شدند؛ به‌طوری‌که حجم ریشه با استفاده از تفاوت حجم آب استوانه مدرج قبل و بعد از غوطه‌ور کردن ریشه اندازه‌گیری شد. سطح ریشه و قطر ریشه با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه گردید (Alizadeh, 2006).

$$RD = ((4\times FRW)/(\pi\times MRL))0.5 \quad [۲]$$

$$RA = 2(MRL\times RV\times\pi)0.5 \quad [۳]$$

که در آن MRL: طول ریشه اصلی، RV: حجم ریشه، FRW: وزن تر ریشه و π =۳/۱۴ است.

محتوای آب نسبی برگ (RWC) و قدرت حفظ آب در برگ قطع‌شده (ELWR) طبق فرمول‌های زیر و با شروع سنبله‌دهی محاسبه شدند (Mguis et al., 2013).

$$RWC = (FW-DW)/(TW-FW) \quad [۴]$$

$$ELWR = (1-(FW-ADM))/(FW)\times 100 \quad [۵]$$

که در آن FW: وزن تر برگ، DW: وزن خشک برگ، TW: وزن تورژسانس برگ، ADM: وزن پژمردگی برگ است.

از میانگین داده‌های دو دوره آزمایش برای ارزیابی روابط بین صفات برای تجزیه همبستگی، تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه مسیر توسط نرم‌افزار Minitab Ver.16 استفاده شد.

جدول ۲. صفات مطالعه شده در این تحقیق

Table 2. The studied traits in this research

اختصار صفت Trait abbreviation	صفت (واحد) Traits (Unit)	اختصار صفت Trait abbreviation	صفت (واحد) Traits (Unit)
BWUE	کارایی مصرف آب زیست توده (گرم در لیتر) Biological water use efficency	DTH	روز تا سنبله‌دهی Days to heading
TKW	وزن هزار دانه (گرم) 1000-grain weight (g)	DTA	روز تا گرده‌افشانی Days to anthesis
EYPP	عملکرد دانه (اقتصادی) در بوته (گرم) Economical yield per plant (g)	DTM	روز تا رسیدگی Days to maturity
BYPP	عملکرد بیولوژیک در بوته (گرم) Biological yield per plant (g)	GFP	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period
PHI	شاخص برداشت بوته (٪) Plant harvest index (%)	SPAD	محتوای کلروفیل (٪) Chlorophyll content (%)
LA	سطح برگ (سانتی‌متر مربع) Leaf area (cm^2)	PH	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)
RWC	محتوای آب نسبی (٪) Relative water content (%)	PEL	طول پدانکل (سانتی‌متر) Peduncle length (cm)
ELWR	توانایی حفظ آب در برگ قطع‌شده (٪) Excised leaf water retention (%)	LN	تعداد برگ Leaf number
WU	(میزان) مصرف آب (لیتر) Water use (l)	TN	تعداد پنجه در بوته Tillers number per plant
GWUE	راندمان مصرف آب دانه (گرم در لیتر) Water use efficiency (g l^{-1})	NFS	تعداد سنبله بارور در بوته Fertile spikes number per plant
MRL	طول ریشه اصلی Main root length (cm)	SNPS	تعداد سنبلچه در سنبله Spikelet number per spike
RV	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب) Root volume (cm^3)	SNPMS	تعداد دانه در سنبله اصلی Seed number per the main spike
RDW	وزن خشک ریشه (گرم) Root dry weight (g)	SNPP	تعداد دانه در بوته Seed number per plant
RA	سطح ریشه (سانتی‌متر مربع) Root area (cm^2)	MSPW	وزن سنبله اصلی Main spike weight (g)
RD	قطر ریشه (سانتی‌متر) Root dimeter	SWPMS	وزن دانه در سنبله اصلی Seed weight per the main spike(g)
RDW/SDW	نسبت وزن خشک ریشه به ساقه Root-to-shoot dry weight ratio	PEW	وزن پدانکل Peduncle weight (g)
---	---	MSTW	وزن ساقه اصلی (گرم) Main stem weight (g)

نتایج و بحث

تجزیه همبستگی

شناخت رابطه بین عملکرد و سایر صفات در اجرای برنامه‌های گزینشی در به‌نژادی گیاهی اهمیت زیادی دارد. نتایج تجزیه همبستگی نشان داد که عملکرد دانه دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری ($p\leq0.01$) به ترتیب با صفات کارایی مصرف آب، طول پدانکل، شاخص برداشت بوته، وزن سنبله اصلی، وزن در سنبله اصلی، تعداد سنبله بارور در بوته، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، قدرت حفظ آب در برگ قطع‌شده، تعداد در بوته، وزن پدانکل و سطح برگ نشان داد. این در حالی بود که اغلب صفات فنولوژیک و صفات ریشه‌ای دارای همبستگی منفی و معنی‌دار با عملکرد دانه بودند (جدول ۳).

بین ژنوتیپ‌های وحشی، اکوتیپ A19 دارای بیش‌ترین عملکرد دانه بود که این عملکرد بالا می‌تواند به دلیل مقادیر بالای صفات مرتبط با عملکرد دانه ازجمله راندمان مصرف آب، وزن سنبله اصلی، وزن در سنبله اصلی و وزن هزار دانه و مقادیر کم‌تر صفات فنولوژیک و صفات ریشه‌ای در این اکوتیپ است (جدول ۴). این در حالی بود که اکوتیپ‌های A16 و A17 که کم‌ترین عملکرد دانه را داشتند، برخلاف اکوتیپ A19 دارای مقادیر کم‌تری از صفات گروه اول و مقادیر بیش‌تری از صفات فنولوژیک و ریشه‌ای بودند (جدول ۴). درواقع نتایج مقایسه میانگین اکوتیپ‌ها برای صفات مختلف تأییدکننده نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه همبستگی (جدول ۳) بود و ارتباط بین عملکرد دانه و صفات مرتبط به‌نوعی مجدد تأیید شد.

نسخه پیش از انتشار

محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2007)، ارتفاع و طول پدانکل بلندتر را یکی از دلایل عملکرد بالای برخی از ارقام گندم تحت شرایط تنش خشکی دانستند. در شرایط تنش خشکی وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین ارتفاع گیاه و طول پدانکل با عملکرد نشان‌دهنده انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره‌شده در این اندام‌ها و انتقال مجدد آن‌ها قبل از گلدهی به که بیش‌تر در ساقه ذخیره‌شده‌اند و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی که به‌صورت موقت بعد از گلدهی در ساقه ذخیره‌شده‌اند، است (Mohammadi et al., 2007). طبق نتایج (جدول ۳) عملکرد دانه دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با صفت تعداد در سنبله اصلی، وزن در سنبله و وزن سنبله بود. لذا شاید بتوان این‌طور بیان کرد که با افزایش تعداد در سنبله، وزن سنبله افزایش‌یافته و به دلیل همبستگی مثبت و معنی-دار بین وزن سنبله با عملکرد دانه، درنهایت عملکرد دانه افزایش می‌یابد. صفاریان و عبدالشاهی (Safarian and Abdolshahi, 2013) گزارش کردند که کارایی مصرف آب با داشتن همبستگی بالا با عملکرد صفت مناسبی است و بهنژادی برای افزایش این صفت منجر به بهبود عملکرد در شرایط تنش خشکی خواهد شد. در مطالعه صبا و همکاران (Saba et al., 2018) در ژنوتیپ‌های مختلف گندم تحت تنش رطوبتی، اظهار شد که عملکرد دانه در بوته با صفات عملکرد بیولوژیک در بوته، تعداد سنبله بارور در بوته، وزن هزار و مدت‌زمان پر شدن، همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. در تحقیقات قبلی (Saba et al., 2018; Mguis et al., 2013)، صفات ارتفاع بوته، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، طول ریشه، وزن خشک ریشه و دمای کانوپی با عملکرد دانه همبستگی منفی و معنی‌دار نشان دادند. در تحقیقی دیگر در ارقام گندم (Hooshmandi and Rashidi, 2016) گزارش شد که عملکرد دانه با صفات تعداد در سنبله، تراکم سنبله، تعداد پنجه بارور، وزن هزار، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان دادند. درواقع نتایج فوق با نتایج به‌دست‌آمده تطابق داشتند. به‌طوری‌که در تحقیق حاضر هم صفاتی چون طول پدانکل، وزن سنبله اصلی، وزن در سنبله اصلی، تعداد سنبله بارور در بوته، وزن هزار، ارتفاع بوته، تعداد در بوته، وزن پدانکل که از اجزاء مهم عملکرد دانه می‌باشند باعث بهبود راندمان مصرف آب و شاخص برداشت و درنهایت افزایش عملکرد دانه شده‌اند. از طرفی دیگر، افزایش سطح برگ نیز منجر به فتوسنتز بیشتر و افزایش اجزاء مهم عملکرد گردیده است. این در حالی بود که اغلب صفات فنولوژیک و صفات ریشه‌ای، نیز مطابق نتایج تحقیقات قبلی، همبستگی منفی و معنی‌داری را با عملکرد دانه نشان دادند (جدول ۳).

تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام

به‌منظور پیش‌بینی و شناسایی مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد دانه در ۱۰ اکوتیپ آژیلوپس تائوشی و همچنین جهت تعیین سهم هریک از این صفات در واریانس عملکرد دانه، از روش پیش‌رونده تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام استفاده شد. نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام نشان داد که مهم‌ترین صفات تأثیرگذار بر عملکرد اقتصادی اکوتیپ‌های آژیلوپس تائوشی تحت شرایط تنش خشکی، به ترتیب شامل صفات کارایی مصرف آب، تعداد سنبله بارور در بوته، قطر ریشه (با ضریب رگرسیونی منفی) و روز تا سنبله‌دهی (با ضریب رگرسیونی منفی) بودند که درمجموع ۷۹/۶۶ درصد از تغییرات عملکرد اقتصادی را توجیه کردند (جدول ۵)؛ بنابراین تنوع در این صفات منجر به تفاوت بین اکوتیپ‌ها ازنظر عملکرد دانه خواهد شد. بر اساس نتایج جدول همبستگی صفت کارایی مصرف آب دارای بالاترین همبستگی با عملکرد دانه (r=۰/۹۷**) بود. در تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام، این صفت اولین صفتی بود که وارد مدل رگرسیونی شد و به‌تنهایی ۷۰/۶۰ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کرد.

بر اساس نتایج رگرسیون گام‌به‌گام در یک تحقیق (Zakizadeh et al., 2010)، عملکرد بیولوژیک، وزن در سنبله و تعداد سنبله در بوته، از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد دانه بودند که سهم مؤثرتری در توجیه عملکرد داشتند. در مطالعه‌ای دیگر (Sayyah et al., 2010)، صفات شاخص برداشت، وزن هزار، تراکم سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، طول سنبله، طول ریشک و دوره پر شدن، به‌عنوان مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد دانه گندم نان، شناسایی شدند. در تحقیقی دیگر (Moosavi et al., 2013)، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و محتوای نسبی آب برگ، به‌عنوان مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد دانه، پیشنهاد شدند که درمجموع ۹۴ درصد واریانس عملکرد را تبیین کردند. هرب و همکاران (Harb et al., 2012) بیان کرد که صفات عملکرد بیولوژیک، تعداد در سنبله، تعداد سنبله و وزن در سنبله بیش‌ترین تأثیر مثبت را بر عملکرد توده‌های بومی گندم داشتند.

نسخه پیش از انتشار

تجزیه علیت

به‌منظور تفسیر بهتر نتایج به‌دست‌آمده از رگرسیون گام‌به‌گام و تفکیک ضرایب همبستگی به اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات و جهت اطلاع از روابط بین این صفات، از تجزیه علیت (مسیر) استفاده گردید. درواقع بررسی روابط بین صفات کمی و قابل توارث، اثر مستقیم و غیرمستقیم آن‌ها بر روی عملکرد دانه از مهم‌ترین عوامل موفقیت برای گزینش صفات در یک برنامه به‌نژادی هستند (Khan et al., 2010). نتایج تجزیه علیت با نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام در شناسایی صفات با بیش‌ترین تأثیر بر عملکرد دانه، مطابقت داشت. نتایج تجزیه علیت برای جمعیت‌های آژیلوپس تائوشی نشان داد که صفت کارایی مصرف آب و صفت تعداد سنبله بارور در بوته دارای بیش‌ترین اثرات مستقیم و مثبت بر عملکرد دانه بودند (جدول ۶). هم‌چنین افزایش صفت روز تا سنبله‌دهی بواسطه کاهش کارایی مصرف آب، دارای بیش‌ترین اثر غیرمستقیم منفی بر عملکرد دانه بود (جدول ۶). گزارش‌های متعددی در مورد ارتباط مثبت عملکرد دانه در گندم و کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی وجود دارد (Varga et al., 2015; Ratajczak and Gorny., 2012). بر این اساس، شاید بتوان اظهار کرد که شناسایی صفات مهم و مؤثر بر عملکرد دانه در خویشاوندان وحشی گندم، معیار مطلوبی برای انتخاب و بهبود عملکرد دانه در ارقام گندم زراعی است، هرچند که این نتیجه‌گیری، نیازمند تکرار پژوهش و تحقیقات بیش‌تری دارد.

جدول ۳. همبستگی بین صفات مختلف اکوتیپ‌های آژیلوپس تائوشی تحت شرایط ۴۵ درصد ظرفیت گلدانی و در طی دو دوره رشدی

Table 3. Correlation between different traits of *Aegilops tauschii* ecotypes under the condition of 45% pot capacity and during two growth periods

Traits	DTH	DTA	DTM	GFP	SPAD	PH	PEL	LN
DTH	1							
DTA	0.989**	1						
DTM	0.842**	0.885**	1					
GFP	-0.492*	-0.435*	0.033	1				
SPAD	-0.303	-0320	-0.246	0.222	1			
PH	-0.802**	-0.800**	-0.724**	0.306	0.219	1		
PEL	-0.770**	-0.739**	-0.727**	0.177	0.251	0.645**	1	
LN	-0.263	-0.326	-0.392	-0.059	-0.332	0.116	-0.044	1
TN	-0.269	-0.352	-0.427*	-0.069	-0.378	0.142	-0.021	0.992**
FSNPP	-0.570**	-0.612**	-0.619**	0.121	-0.146	0.366	-0.277	0.576**
SNPS	-0.366	-0.346	-0.297	0.169	-0.183	0.062	-0.030	0.772**
PEW	-0.482*	-0.394	-0.251	0.330	0.159	0.425*	0.576**	-0.148
SNPMS	-0.210	-0.218	-0.173	0.135	-0.309	-0.021	-0.085	0.792**
SNPP	-0.461	-0.504*	-0.508*	0.107	-0.194	0.157	0.055	0.719**
MSW	-0.690**	-0.635**	-0.550**	0.277	0.218	0.639**	0.791**	0.006
SWPMS	-0.676**	-0.615**	-0.528**	0.277	0.204	0.611**	0.785**	-0.010
MSTW	-0.532**	-0.478*	-0.369	0.299	0.313	0.658**	0.610**	-0.195
TGW	-0.557**	-0.501**	-0.452*	0.187	0.535**	0.496*	0.788**	-0.367
EYPP	-0.810**	-0.799**	-0.812**	0.123	0.197	0.609**	0.786**	-0.276
BYPP	0.118	0.163	0.246	0.123	-0.677**	-0.226	-0.177	0.562**
PHI	-0.657**	-0.657**	-0.713**	0.026	0.512**	0.522**	0.696**	-0.067
LA	-0.425	-0.490*	-0.591**	-0.086	-0.310	0.280	0.366	0.666**
RWC	0.200	0.270	0.404*	0.213	0.062	-0.278	-0.049	-0.514**
ELWR	-0.564**	-0.651**	-0.826**	-0.196	0.053	0.521**	0.386	0.568**
WU	0.561**	0.481*	0.365	-0.323	-0.170	-0.415*	-0.838**	0.229
GWUE	-0.785**	-0.761**	-0.767**	0.140	0.265	0.558**	0.868**	0.145
BWUE	0.008	0.063	0.170	0.189	-0.611**	-0.166	-0.049	0.549**
MRL	0.706**	0.744**	0.806**	-0.032	-0.373	-0.608**	-0.425*	-0.355
RV	0.402*	0.411*	0.364	-0.175	-0.485*	-0.523**	-0.354	0.478*
RDW	0.774**	0.810**	0.787**	-0.207	-0.328	-0.792**	-0.592**	-0.169
RA	0.661**	0.684**	0.651**	-0.204	-0.599**	-0.678**	-0.507**	0.141
RD	0.674**	0.723**	0.724**	-0.153	-0.297	-0.706**	-0.509**	-0.094
RDW/SDW	-0.325	-0.398	-0.486*	-0.085	-0.279	0.140	0.001	0.966**

نسخه پیش از انتشار

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

Traits	TN	FSNPP	SNPS	PEW	SNPMS	SNPP	MSW	SWPMS
TN	1							
FSNPP	0.566**	1						
SNPS	0.794**	0.311	1					
PEW	-0.107	-0.067	0.018	1				
SNPMS	0.817**	0.219	0.958**	-0.058	1			
SNPP	0.707**	0.912**	0.586**	-0.185	0.507*	1		
MSW	0.062	0.047	0.188	0.819**	0.097	-0.068	1	
SWPMS	0.049	0.021	0.188	0.827**	0.101	-0.084	0.997**	1
MSTW	-0.154	-0.071	-0.160	0.703**	-0.184	-0.284	0.587**	0.583**
TGW	-0.326	-0.126	-0.167	0.773**	-0.272	-0.298	0.854**	0.859**
EYPP	0.302	0.652**	0.229	0.505**	0.099	0.509**	0.720**	0.706**
BYPP	0.581**	0.170	0.510**	-0.060	0.627**	0.300	-0.091	-0.079
PHI	-0.044	0.221	0.109	0.432*	-0.065	0.133	0.724**	0.715**
LA	0.708**	0.499*	0.439*	-0.097	0.482*	0.497*	0.199	0.178
RWC	-0.495*	-0.193	-0.261	-0.058	-0.268	-0.123	-0.229	-0.219
ELWR	0.580**	0.559**	0.407*	-0.002	0.304	0.528**	0.335	0.305
WU	0.158	0.001	0.006	-0.529**	-0.003	0.126	-0.716**	-0.724**
GWUE	0.186	0.502**	0.184	0.575**	0.064	0.361	0.786**	0.776**
BWUE	0.575**	0.197	0.522**	0.142	0.640**	0.313	0.006	0.021
MRL	-0.380	-0.384	-0.453*	-0.212	-0.330	-0.422*	-0.474*	-0.470*
RV	0.486*	-0.063	0.384	-0.231	0.531**	0.106	-0.342	-0.321
RDW	-0.181	-0.423*	-0.125	-0.304	0.010	-0.277	-0.595**	-0.569**
RA	0.133	-0.180	-0.007	-0.290	0.147	-0.097	-0.551**	-0.532**
RD	-0.097	-0.443*	-0.050	-0.195	0.110	-0.291	-0.480*	-0.441*
RDW/SDW	0.950**	0.679**	0.682**	-0.160	0.674**	0.786**	-0.006	-0.023

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

Traits	MSTW	TGW	EYPP	BYPP	PHI	LAI	RWC	ELWR
MSTW	1							
TGW	0.633**	1						
EYPP	0.317	0.615**	1					
BYPP	-0.095	-0.419*	-0.093	1				
PHI	0.266	0.766**	0.783**	-0.533**	1			
LA	0.033	-0.067	0.393*	0.192	0.193	1		
RWC	-0.092	-0.015	-0.223	0.069	-0.199	-0.391	1	
ELWR	0.005	0.156	0.584**	-0.212	0.597**	0.715**	-0.643**	1
WU	-0.521**	-0.689**	-0.538**	0.012	-0.502**	-0.127	-0.188	0.02
GWUE	0.380	0.736**	0.970**	-0.130	0.826**	0.347	-0.188	0.501**
BWUE	-0.002	-0.309	0.007	0.985**	-0.454*	0.227	0.093	-0.210
MRL	-0.294	-0.399	-0.605**	0.335	-0.661**	-0.399	0.457*	-0.694**
RV	-0.221	-0.503**	-0.345	0.782**	-0.656**	0.135	0.082	-0.338
RDW	-0.358	-0.495*	-0.698**	0.458*	-0.761**	-0.440*	0.333	-0.740**
RA	-0.288	-0.609**	-0.559**	0.698**	0.834**	-0.139	0.302	-0.599**
RD	-0.195	-0.380	-0.611**	0.504**	-0.740**	-0.402*	0.338	-0.783**
RDW/SDW	-0.217	-0.333	0.363	0.424*	0.014	0.711**	-0.543**	0.643**

نسخه پیش از انتشار

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

Traits	WU	GWUE	BWUE	MRL	RV	RDW	RA	RD	RDW/SDW
WU	1								
GWUE	-0.673**	1							
BWUE	-0.124	-0.014	1						
MRL	0.174	-0.561**	0.267	1					
RV	0.189	-0.358	0.770**	0.331	1				
RDW	0.257	-0.645**	0.407*	0.706**	0.677**	1			
RA	0.288	-0.566**	0.649**	0.719**	0.865**	0.850**	1		
RD	0.179	-0.571**	0.490*	0.553**	0.791**	0.912**	0.859**	1	
RDW/SDW	0.266	0.209	0.418*	-0.400*	0.365	-0.275	0.055	-0.201	1

*و** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵ و ۱ درصد هستند.

DTH: روز تا سنبله دهی، DTA: روز تا گرده افشانی، DTM: روز تا رسیدگی، GFP: طول دوره پر شدن دانه، SPAD: محتوای کلروفیل برگ، PH: ارتفاع بوته، PL: طول پدانکل، LN: تعداد برگ، TN: تعداد پنجه در بوته، FSNPP: تعداد سنبله بارور در بوته، SNPPS: تعداد سنبلچه در سنبله، SNPMS: تعداد دانه در سنبله اصلی، MSTW: وزن ساقه اصلی، SNPP: تعداد دانه در بوته، MSW: وزن سنبله اصلی، SWPMS: وزن دانه در سنبله اصلی ، PEW: وزن پدانکل، TGW: وزن هزار دانه، EYPP: عملکرد اقتصادی (دانه) در بوته، BYPP: عملکرد بیولوژیک (زیست توده) در بوته، PHI: شاخص برداشت بوته، LA: سطح برگ، RWC: محتوای آب نسبی، ELWR: توانایی حفظ آب در برگ قطع شده، WU: مصرف آب، GWUE: کارایی مصرف آب دانه، BWUE: کارایی مصرف آب زیست توده، MRL: طول ریشه اصلی، RA: سطح ریشه، RD: قطر ریشه و RDW/SDW: نسبت وزن خشک به وزن تر ریشه.

* and ** indicate significance at the 5% and 1% levels, respectively.

DTH: Days to heading, DTA: Days to anthesis, DTM: Days to maturity, GFP: Grain filling period, SPAD: Chlorophyll content, PH: Plant height, PL: Peduncle length, LN: Leaves number, TN: Tillers number per plant, FSNPP: Fertile spikes number per plant, SNPPS: Spikelet number per spike, SNPMS: Seed number per the main spike, MSTW: Main stem weight, SNPP: Seed number per plant, MSW: Main spike weight, SWPMS: Seed weight per the main spike, PEW: Peduncle weight, TGW:1000-grain weight, EYPP: Economical (grain) yield per plant, BYPP: Biological yield per plant, PHI: Plant harvest index, LA: Leaf area, RWC: Relative water content, ELWR: Excied leaf water retention, WU: Water use, GWUE: Grain water use efficency, BWUE: Biological water use efficency, MRLMain root lenght, RA:Root area, RD: Root diameter and RDW/SDW: Root to shoot dry weight ratio.

جدول ۴. مقایسه میانگین عملکرد دانه در بوته و برخی از صفات مرتبط با عملکرد در ده اکوتیپ آژیلوپس تائوشی تحت شرایط ۴۵ درصد ظرفیت گلدانی و در طی دو دوره رشدی

Table 4. Mean compression of economic yield per plant and some yield-related traits in 10 *Aegilops tauschii* ecotypes under the condition of 45% pot capacity and during two growth periods

اکوتیپ Ecotype	وزن سنبله اصلی MSW	وزن دانه در سنبله اصلی SWPMS	وزن هزاردانه TGW	روز تا رسیدگی DTM	طول ریشه اصلی MRL	راندمان مصرف آب دانه GWUE	عملکرد دانه در بوته EYPP
	---------- g ----------			day	cm	g ml^{-1}	g
A11	0.098 ^{cde}	0.096 ^{cde}	15.093^{c}	223.0^{d}	33.5 ^{bcd}	0.011 ^{bc}	0.343 ^{c}
A12	0.143 ^{bc}	0.143 ^{bc}	23.362^{b}	218.8^{d}	27.3 ^{cd}	0.018^{bc}	0.465 ^{bc}
A13	0.132 ^{bcd}	0.120 ^{cd}	18.086^{bc}	232.0 ^{c}	39.0 ^{b}	0.015^{bc}	0.492 ^{bc}
A14	0.095 ^{cde}	0.093 ^{cde}	19.694^{bc}	231.8^{c}	34.3 ^{bcd}	0.011 ^{bc}	0.311 ^{c}
A15	0.110 ^{cde}	0.110 ^{cde}	7.487^{d}	241.8 ^{b}	30.4 ^{bcd}	0.018^{bc}	0.418 ^{bc}
A16	0.085 ^{de}	0.082 ^{de}	15.8^{c}	266.5 ^{a}	36.2 ^{bc}	0.010 ^{c}	0.228 ^{c}
A17	0.068 ^{e}	0.068 ^{e}	12.78^{cd}	243.1^{b}	31.1 ^{bcd}	0.015 ^{bc}	0.506 ^{bc}
A18	0.123 ^{bcd}	0.123 ^{cd}	17.708^{bc}	265.0 ^{a}	49.3 ^{a}	0.020 ^{bc}	0.456 ^{bc}
A19	0.225 ^{a}	0.225 ^{a}	41.907^{a}	185.0^{e}	26.1 ^{d}	0.040 ^{a}	0.801 ^{a}
A20	0.172 ^{b}	0.172 ^{b}	24.946^{b}	228.2 ^{c}	32.6 ^{bcd}	0.024 ^{b}	0.608 ^{ab}

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطوح تیماری می‌باشد.

EYPP: عملکرد اقتصادی (دانه) در بوته، GWUE: کارایی مصرف آب دانه، MRL: طول ریشه اصلی، DTM: روز تا رسیدگی، TGW: وزن هزار دانه، SWPMS: وزن دانه در سنبله اصلی و MSW: وزن سنبله اصلی.

Similar letters in each column indicate no significant difference in treatment levels.

EYPP: Economical yield per plant, GWUE: Grain water use efficiency, MRL: Main root length, DTM: Days to maturity, TGW:1000-grain weight, SWPMS: Seed weight per the main spike, MSW: Main spike weight

جدول ۵. تجزیه رگرسیون اکوتیپ‌های آژیلوپس تائوشی تحت شرایط ۴۵ درصد ظرفیت گلدانی در طی دو دوره رشدی

Table 4. Stepwise regression results of *Aegilops tauschii* ecotypes under the condition of 45% pot capacity and during two growth periods

مراحل رگرسیون Regression steps	صفات وارد شده به مدل Entered traits in model	عرض از مبدأ Constant	ضرایب رگرسیونی Regression coefficients				ضریب تبیین تجمعی Cumulative determined coefficient
			X1	X2	X3	X4	
1	کارایی مصرف آب دانه GWUE:X_1	0.141	17.38	-	-	-	70.60**
2	تعداد سنبله بارور در بوته FSNPP:X_2	0.015	17.56	0.023	-	-	77.87**
3	قطر ریشه RD:X_3	0.072	17.41	0.038	-0.300	-	78.81*
4	روز تا سنبله‌دهی DTH:X_4	-0.036	18.96	0.044	-0.475	-0.200	79.66*

GWUE: Grain water use efficiency, FSNPP: Fertile spikes number per plant, RD: Root diameter, DTH: Day to heading

جدول ۶. نتایج تجزیه علیت اکوتیپ‌های آژیلوپس تائوشی تحت شرایط ۴۵ درصد ظرفیت گلدانی و در طی دو دوره رشدی

Table 6.The results of path analysis *Aegilops tauschii* ecotypes under the condition of 45% pot capacity and during two growth periods

Traits	صفات	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیرمستقیم از طریق ... Indirect effect by…				ضریب همبستگی با عملکرد دانه Correlation with grain yield
			X1	X2	X3	X4	
(GWUE:X1)	کارایی مصرف آب دانه	0.819	---	0.411	-0.468	-0.644	0.97**
(FSNPP:X2)	تعداد سنبله بارور	0.204	0.102	---	-0.091	-0.117	0.652**
(RD:X3)	قطر ریشه	-0.044	0.024	0.019	---	-0. 021	-0.616**
(DTH:X4)	روز تا سنبله‌دهی	-0.030	0.023	0.017	-0.015	---	-0.811**

Residual effect=0.145 اثر باقیمانده= ۰/۱۴۵

GWUE: Grain water use efficiency, FSNPP: Fertile spikes number per plant, RD: Root diameter, DTH: Day to heading

در مطالعات قبلی بر روی گندم (Solomon and Labuschagne, 2004; Dencic et al., 2000) اظهار شد که صفت تعداد سنبله بارور در بوته تأثیر قابل‌توجهی بر افزایش عملکرد داشت؛ بنابراین می‌توان بیان کرد که شناسایی صفات مهم و مؤثر بر عملکرد در گندم وحشی، معیار مطلوبی برای انتخاب در گندم زراعی است، همچنین، افزایش کارایی مصرف آب درشرایط تنش خشکی باعث افزایش عملکرد می‌شود (Rahimi, 2019). در مطالعه دیگری بر روی لاین‌های امیدبخش گندم (Moosavi et al., 2016)، صفات شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک در بوته (با ضریب منفی)، بیش‌ترین تأثیر مستقیم را بر عملکرد دانه نشان دادند. همچنین صفت زیست‌توده گیاهی دارای بیش-ترین اثر غیرمستقیم منفی بر عملکرد دانه بود. این نتیجه نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌هایی که بخش زیادی از قسمت هوایی خود را به تشکیل و پر شدن اختصاص می‌دهند، عملکرد بالایی خواهند داشت. به‌طورکلی تلاش گیاه برای افزایش شاخص برداشت و افزایش راندمان مصرف آب دو معیار برای موفقیت یک ژنوتیپ در شرایط تنش خشکی است که می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی به‌نژادی در شرایط تنش خشکی استفاده شود.

نتیجه‌گیری نهایی

طبق نتایج این تحقیق و در شرایط مشابه این تحقیق، اکوتیپ A19 آژیلوپس تائوشی با داشتن مقادیر بیش‌تری از صفات عملکرد دانه، وزن سنبله اصلی، وزن دانه در سنبله اصلی، وزن هزار دانه و راندمان مصرف آب، به‌عنوان مطلوب‌ترین ژنوتیپ شناسایی شد درحالی‌که اکوتیپ A16 با داشتن مقادیر بیش‌تری از صفات فنولوژیک مثل صفت روز تا سنبله‌دهی و

نسخه پیش از انتشار

صفت طول ریشه اصلی، به‌عنوان نامطلوب‌ترین ژنوتیپ، تحت شرایط تنش خشکی در این پژوهش شناسایی شدند. با تکرار آزمایش در شرایط رطوبتی دیگر، شاید بتوان از تنوع این جمعیت در برنامه‌های به‌نژادی آتی استفاده کرد. از بین صفات بررسی‌شده، دو صفت کارایی مصرف آب و تعداد سنبله بارور در بوته، بیش‌ترین اثر مثبت مستقیم و صفات فنولوژیک و ریشه‌ای بیش‌ترین اثر منفی مستقیم را بر تغییرات عملکرد دانه در اکوتیپ‌های مطالعه شده در این تحقیق داشتند. بنابراین، بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق شاید بتوان استفاده از مقادیر بالاتر دو صفت راندمان مصرف آب و تعداد سنبله بارور در بوته و مقادیر کم‌تر صفت روز تا سنبله‌دهی و قطر ریشه، به‌عنوان صفاتی به نسبت ساده و مطلوب برای شناسایی اکوتیپ‌های شاخص برای برنامه‌های آتی به‌نژادی گندم تحت شرایط تنش خشکی را پیشنهاد داد.

منابع

Aghaee-Sarbarze, M., Amini, A., 2013. Evaluation of agronomic characteristics of synthetic wheat genotypes. Seed and Plant Journal, 1(29), 25-44. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/spij.2017.111141

Ali, I.H., 2012. Heritability, variability, genetic correlation, and path analysis for quantitative traits in durum and bread wheat under dry farming conditions. Mesopotamia Journal of Agriculture, 40, 27-39. https://doi.org/10.33899/magrj.2012.59640

Alizadeh, A., 2006. Soil, water-plant relationship. Astane of Ghodse of Razavi Publication. 472p.

Ashraf, M., 2010. Inducing drought tolerance in plants: Recent advances. Biotechnology Advances. 28, 169-183. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.11.005

Blum, A., Chen, Y., 2011. Plant Breeding for Water-Limited Environments. New York, Springer Press. https://doi.org/10/1007978-1-4419-7491-4

Budak, H., Akpinar, B.A., Unver, T., Turktas, M., 2013. Proteome changes in wild and modern wheat leaves upon drought stress by two-dimensional electrophoresis and nano LC-ESI–MS/MS. Plant Molecular and Biology, 83, 89-103. https://doi.org/10.1007/s11103-013-0024-5

Dencic, S., Kastori, R., Kobiljski, B., Duggan, B., 2000. Evaluation of grains yield and its components in wheat cultivars and landraces under near-optimal and drought conditions. Euphytica, 113, 43-52. https://doi.org/10.1023/A:1003997700865

Fazelinasab, B., Sobhanizadeh, A., Ramshinini, A.H. 2015. Study of wheat status in Iran from years 1995-2010". International Conference on Economics Management and Agricultural Sciences. Bandar Anzali, Iran. [In Persian].

Fleury, D., Jefferies, S., Kuchel, H., Langridge, P., 2010. Genetic and genomic tools to improve drought tolerance in wheat. Journal of Experimental Botany. 61(12), 3211-3222. https://doi.org/10.1093/jxb/erq152

Harb, S., Khodarahmiand, M., Sorkhi, B., 2012. Evaluation of genetic diversity for morphological and phenological traits in Iranian landrace wheat. Proceeding of 12th Iranian Genetics Congress. Tehran, Iran. [In Persian].

Hooshmandi, B., Rashidi, V., 2016. Evaluation of the effects of some morphophysiological traits on seed yield of winter wheat genotypes. Journal of Crop Ecophysiology. 10, 15-26. [In Persian].

Itam, M.O. Mega, R., Tadano, S., Abdelrahman, M., Matsunaga, S., Yamasaki, Y., Akashi, K., Tsujimoto, H., 2020. Metabolic and physiological responses to progressive drought stress in bread wheat. Scientifics. Reports. 10, 17189. https://doi.org/10.1038/s41598-020-74303-6

Janmohammadi, M., Movahedi, Z., Sabaghnia, N., 2014. Multivariate statistical analysis of some traits of bread wheat for breeding under rainfed conditions. Journal of Agricultural Sciences. 59, 1-14. https://doi.org/10.2298/JAS1401001

Khan, A.J., Azam, F., Ali, A., 2010. Relationship of morphological traits and grain yield in recombinant inbred wheat lines grown under drought conditions. Pakistan Journal of Botany, 42, 259-267.

Khodadadi, Z., Omidi, M., Etminan, A., Ebrahimi, A., Pour-Aboughadareh, A. 2023. Molecular and physiological variability in bread wheat and its wild relative (*Aegilops tauschii* Coss.) species under water-deficit stress conditions. Biotechnology. 12, 3. https://doi.org/10.3390/biotech12010003

Ki-Hyun, K., Abuhena, M.K., Kwang-Hyun, S., Jong-Soon, C., Hwa-Young, H., Sun-Hee, W., 2010. Large-scale proteome investigation in wild relatives (A, B, and genomes) of wheat. Acta Biochimica et Biophysica Sinica. 10, 1-8. https://doi.org/10.1093/abbs/gmq079

Masoomi-Aladizgeh, F., Aalami, A., Esfahani, M., Aghaei, M.J., Mozaffari, K., 2015. Identification

of CBF14 and NAC2 genes in *Aegilops tauschii* associated with resistance to freezing stress. Applied Biochemistry and Biotechnology, 176, 1059-1070. https://doi.org/10.1007/s12010-015-1629-8

Mc-Intyre, C.L., Mathews, K.L., Rattey, A., Chapman, S.C., Drenth, J., Ghaderi, M., Reynolds, M., Shorter, R., 2010. Molecular detection of genomic regions associated with grain yield and yield-related components in an elite bread wheat cross evaluated under irrigated and rainfed conditions. Theoretical and Applied Genetics, 120, 527-541. https://doi.org/10.1007/s00122-009-1173-4

Mguis, Kh., Albouchi, A.M., Abassi, A., Khadhri, M., Ykoubi-Tej, A., Mahjoub, N., Ben Brahim, Z., Ouerghi, A., 2013. Responses of leaf growth and gas exchanges to salt stress during a reproductive stage in wild wheat relative *Aegilops geniculata* Roth and wheat (*Triticum durum*). Acta Physiologiae Plantarum. 35, 1453-1461. https://doi.org/10.1007/s11738-012-1185-6

Mohammadi, A., Majidi, A., Bihamta, M.R., Heydari, Sh., 2007. Evaluation of drought stress on agronomic-morphologic trials in some wheat varieties. Journal of Agriculture and Horticulture Research (Pajouhesh and Sazandegi), 73, 184-192. [In Persian]. https://doi.org/10.3390/agronomy11061252

Moll, R.H., Kamparth, E.J., 1977. Effect of population density on agronomic traits associated with genetic increases in yield of *Zea mays* L. Agronomy Journal, 69, 81-84. https://doi.org/10.2134/agronj1977.00021962006900010021x

Mollasadeghi, V., 2010. Effect of potassium humate on yield and yield components of wheat genotypes under end seasonal drought stress condition. Thesis of M.Sc in plant breeding. Islamic Azad University, Ardabil Branch. [In Persian].

Moosavi, S.S., Kianersi, F., Abdollahi, M.R. 2013. Application of multivariate statistical methods in the detection of effective traits on bread wheat (*Triticum aestivum* L.) yields under moisture stress conditions. Cereal Researches. 3, 119-130. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.22520163.1392.3.2.3.2

Moosavi, S.S., Kianersi, F., Abdollahi, M.R., Afioni, D., 2016. Evaluation of grain yield of bread wheat promising lines and identification of agro-morphological traits associated with yield under terminal moisture stress conditions. Journal of Crop Production and Processing, 18, 91-103. [In Persian]. https://doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.5.18.91

Moosavi, S.S., Abdi, F., Abdollahi, M.R., Thmasebi Enferadi., S. Maleki, M., 2020. Phenological, morpho-physiological, and proteomic responses of *Triticum boeoticum* to drought stress. Plant Physiology and Biochemistry. 156, 95-104. https://doi.org/10.22059/jdesert.2022.90835

Nazari, M., Moosavi, S.S., Maleki, M., 2018 Morpho-physiological and proteomic responses of *Aegilops tauschii* to imposed moisture stress. Plant Physiology and Biochemistry, https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.09.031

Pour-Aboughadareh, A, Mahmoudi M, Moghaddam M, Ahmadi J, Mehrabi A.A., Alavikia S.S. 2017. Agro-morphological and molecular variability in Triticum boeoticum accessions from Zagros Mountains, Iran. Acta Physiologiae Plantarum, 64, 545-556. https://doi.org/10.1007/s11738-017-2403-z

Pour-Aboughadareh, A., Kianersi, F., Poczai, P.; Moradkhani, H., 2021. The potential of wild relatives of wheat: Ideal genetic resources for future breeding programs. Agronomy, 11, 1656. https://doi.org/10.3390/agronomy11081656

Ratajczak, D., and Gorny, A.G., 2012. Water and nitrogen dependent alterations in the inheritance mode of transpiration efficiency in winter wheat at the leaf and whole-plant level. Journal of Applied Genetics, 53, 377-388. https://doi.org/10.1007/s13353-012-0107-z

Rahimi, Z., Hosseinpanahi, F., Siosemardeh, A. 2019. Evaluation of yield, radiation and water use efficiency of drought resistant and susceptible wheat cultivars under different irrigation levels. Journal of Cereal Research, 21, 15-28. [In Persian].

Safarian, A and Abdolshahi, R.2013. Study the inheritance of water use efficiency in bread wheat under drought stress condition. Agricultural plant production journal. The seventh volume, first issue, spring 3.181-199. https://doi.org/ 20.1001.1.2008739.1393.7.1.10.3

Saba, J., Tavana, Sh., Qorbanian, Z., Shadan, E., Shekari, F., Jabbari, F., 2018. Canonical correlation analysis to determine the best traits for indirect improvement of wheat grain yields under terminal drought stress. Journal of Agricultural Science and Technology, 20, 1037-1048. https://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2018.20.5.10.0

Saeidi, H., Rahiminejad, M.R., Vallian, S., Heslop Harison, J.S., 2005. Biodiversity of diploid D-genome Aegilops tauschii Coss. In Iran measured

using microsatellites. Genetic Resources and Crop. https://doi.org/10.1007/s10722-005-7110-8

Sayyah, S.S., Ghobadi, M., Mansoorifar, S., Zebarjadi, R., 2010. Studying terminal drought stress effect on grains yield, yield components, and some morpho-physiological traits in irrigated wheat genotypes. M.Sc. Thesis, Kermanshah Razi University, Kermanshah, Iran. [In Persian]. https://doi.org/10.52763/PJSIR.BIOL.SCI.59.3.2016.117.125

Sing, N., 2017. Genetic diversity of wheat wild relative, *Aegilops tauschii*, for wheat improvement. Interdepartmental Genetics College of Agriculture, Poland. College of Agriculture. 136p. https://doi.org/10.1017/S1479262123000424

Sohail, Q., Inoue, T., Tanaka, H., Eltayeb, A.E., Matsuoka, Y., Tsujimouka, H., 2011. Applicability of *Aegilops tauschii* drought tolerance traits to breeding of hexaploid wheat. Breeding Science, 61:347-357. https://doi.org/10.1270/jsbbs.61.347

Solomon, K.F., Labuschagne, M.T., 2004. Inheritance of evapotranspiration and transpiration efficiencies in diallel F hybrids of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). Euphytica, 136,69-79. https://doi.org/10.1023/B:EUPH.0000019522.80626.48

Varga, B., Vida, G., Varga-Laszlo, E., Bencze, S., Veisz, O. 2015. Effect of simulating drought in various phenophases on the water use efficiency of winter wheat. Journal of Agronomy and Crop Science, 201, 1-9. https://doi.org/10.1111/jac.12087

Vafabakhsh, J., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Azizi, M., 2009. Effects of water deficit on water use efficiency and yield of Canola cultivars (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 7, 280-292. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/jag.v2i3.7662

Weigand, C., 2011. Wheat import projections towards 2050 US Wheat Associates, US Wheat Associates, USA.

Zakizadeh. M., Esmaeilzadeh, M., Kahrizi., D., 2010. Study on genetic variation and the relationship between plant characteristics and grain yield in long spike bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes using multivariate analysis. Iranian Journal of Crop Sciences, 12 , 18-30. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1389.12.1.2.9

نسخه پیش از انتشار