Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 17, Issue 1, 2025 p: 104-116 OPEN ACCESS

**Research Paper**

# Genotypic and Phenotypic Association of Agronomic Features in Triticale Genotypes under Drought Stress Conditions

**Hassan Basiri[1], Omid Alizadeh[2], Forud Bazrafshan[3], Mehdi Zare[4] and Mohammad Yazdani[5]**

1- Ph.D. Student of Agronomy, Department of Agriculture, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Fars, Iran
2- Associate Professor, Department of Agriculture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Fars, Iran, (Corresponding author: Alizadehomid51@yahoo.com)
3- Assistant Professor, Department of Agriculture, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Fars, Iran
4- Associate Professor, Department of Agriculture, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Fars, Iran
5- Assistant Professor, Department of Agriculture, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Fars, Iran

Received:17 June, 2024 Revised: 10 October, 2024 Accepted: 3 November, 2024

## Extended Abstract

**Background:** Many efforts have been made to combine the diverse capabilities of different plant species into a unique plant to increase the quantity and quality of the food product. Accordingly, scientists succeeded in producing triticale as a new pathogen by using a cross between wheat (*Triticum* spp.) and rye (*Secale cereale*), which aims to increase the ability of wheat, as one of the most important food sources among grains in the world. It was to withstand harsh environmental conditions such as drought stress. Various studies show that this grain has a high potential to be used as a multipurpose product for direct human use or as a fodder product. Therefore, triticale can be considered a potential product with special genetic conditions, whose yield is still far from its potential. According to scientists of breeding science, creating diversity, whether natural or synthetic, in agricultural products and selecting genotypes with the highest yields and stability in different environments are among the main goals of studies in the field of breeding. It is also reported that the stress tolerance of triticale genotypes is usually higher than wheat genotypes, triticale is less affected by stress conditions, and its yield will be higher than wheat. Resistance to drought stress is a complex process that includes a network of plant responses at the physiological and molecular levels that have not yet been properly discovered and understood. However, creating diversity, selecting genotypes, and studying different traits will help scientists in this direction. In the current study, different triticale genotypes produced by domestic scientists were cultivated and tested under different irrigation conditions to consider the possibility of introducing new cultivars resistant to drought stress and changing environmental conditions. In addition, the relationship between morphological and agronomic traits related to seed yield was evaluated in this research using some advanced statistical methods to find possible traits suitable for indirect selection. The amount of different genetic, phenotypic, and environmental indicators was also investigated to examine the effect of the environment and genetics on the traits.

**Methods:** To reflect the effect of water deficit on triticale and the probability of screening some suitable genotypes tolerant to drought stress, a study was carried out on nine triticale genotypes under four irrigation regimes during two years. These genotypes included Senabad, Pag, Juanillo, ET-85-4, ET-92-15, ET-92-18, ET-83-20, ET-85-17, and ET-83-18. In each year, four different irrigation regimes were applied with interruption of irrigation in three stages, including the flowering stage, the seed milky stage, and the seed pulp stage, along with the control condition. In each year, a split-plot design based on a randomized complete block design with three blocks (replication) was used every two years of the experiment (the growing season 2018-2019) in the research station located in the research complex of the Zarghan Agriculture and Natural Resources Research and Training Center, Fars, Iran. Different traits, including plant height, leaf angle, leaf weight, total dry matter, spike length, spike weight, spike number, grain number, straw yield, harvest index, and grain yield, were measured for all applied genotypes in this study. The data obtained from this experiment were first subjected to the composite analysis of variance, and year variance, environmental variance, genotypic variance, phenotypic variance, and test error variance were estimated based on these calculations. The analysis was performed in SAS-9.4-M6 software using a programming code stored on the GitHub website.

**Results:** The results showed that a lower number of irrigation and earlier withholding of water from the triticale plants can lead to a high decrease in the productivity of triticale genotypes.

Consequently, irrigation treatments and water availability are significant factors in determining the type of breeding programs. Moreover, some genotypes showed a high potential for being considered for releasing cultivars. ET-83-20 and ET-85-04 showed better performance under normal and severe water deficit, respectively, than the other genotypes. Estimation of genotypic features, such as heritability and coefficient of variation, showed a high possibility and potential of producing cultivars with high productivity under either normal or stressed conditions.
**Conclusion:** Overall results indicated that high heritability and the significant association with grain yield for some traits, such as spike weight, spike number, and grain number, suggest that they are suitable traits for indirect screening and selection criteria. In addition, higher variation for triticale is required to find genotypes with the best quality and quantity traits to be released as a new and proper cultivar to be cultivated in environments with changing conditions.

**Keywords:** Biplot, Genotypic variation, Heritability, Indirect selection, Water deficit

**How to Cite This Article:** Basiri, H., Alizadeh, O., Bazrafshan, F., Zare, M. &, Yazdani, M. (2025). Genotypic and Phenotypic Association of Agronomic Features in Triticale Genotypes under Drought Stress Conditions. *J Crop Breed,* 17(1), 104-116. DOI: 10.61186/jcb.17.1.104

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

**مقاله پژوهشی**

# ارتباط ژنوتیپی و فنوتیپی صفت‌های زراعی در ژنوتیپ‌های تریتیکاله تحت شرایط تنش خشکی

**حسن بصیری[۱]، امید علی‌زاده[۲]، فرود بذرافشان[۳]، مهدی زارع[۴] و محمد یزدانی[۵]**

۱- دانشجوی دکتری زراعت،گروه علوم کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد، فارس، ایران
۲- دانشیار، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، فارس، ایران، (نویسنده مسوول: Alizadehomid51@yahoo.com)
۳- استادیار، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد، فارس، ایران
۴- دانشیار، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد، فارس، ایران
۵- استادیار، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد، فارس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۸ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۳
صفحه ۱۰۴ تا ۱۱۶

## چکیده مبسوط

**مقدمه و هدف:** تلاش‌های زیادی برای ترکیب قابلیت‌های متنوع گونه‌های مختلف گیاهی به یک گیاه منحصـــر به‌فرد برای افزایش کمیت و کیفیت محصول غذایی انجام شده است. است. بر این اساس، دانشمندان با استفاده تلاقی بین گندم (*Triticum spp*) و چاودار (*Secale cereale*) موفق به تولید تریتیکاله به‌عنوان یک غله جدید شـدند که هدفش افزایش توانایی گندم، به‌عنوان یکی از مهمترین منابع غذایی در میان غلات در جهان، برای مقاومت در برابر شـرایط سـخت محیطی مانند تنش خشـکی بود. مطالعات مختلف نشـان می‌دهد این غله دارای پتانسـیل بالایی برای اسـتفاده به‌عنوان یک محصـول چندمنظوره به‌صورت مصرف مستقیم توسط انسان یا به‌عنوان یک محصول علوفه‌ای است. بنابراین، تریتیکاله را می‌توان به‌عنوان یک محصول بالقوه با شرایط ژنتیکی ویژه دانست که عملکردش هنوز فاصله زیادی با پتانسیل آن دارد. ایجاد تنوع چه به‌صورت طبیعی و چه مصنوعی و سنتز شده در محصولات کشـــاورزی و انتخاب ژنوتیپ‌هایی با بالاترین عملکرد و ثبات در محیط های متفاوت جزء اهداف اصـــلی مطالعات در زمینه به‌نژادی اســـت. همچنین گفته می‌شود که قدرت تحمل تنش در ژنوتیپ‌های تریتیکاله نسبت به ژنوتیپ‌های گندم به‌طور معمول بالاتر است و تریتیکاله در شرایط تنش کمتر تحت تأثیر قرار گرفته و عملکرد آن به نسـبت گندم بالاتر خواهد بود. در مطالعه حاضـر ژنوتیپ‌های مختلف تریتیکاله تولید شـده توسـط دانشـمندان دخلی کشـور در شـرایط مختلف آبیاری کشـت و مورد آزمایش قرار گرفتند تا احتمال معرفی ارقام جدید مقاوم به تنش خشـکی و تغییر شـرایط محیطی در نظر گرفته شـود. به‌علاوه، در این پژوهش رابطه بین صفات مورفولوژیکی و صفات زراعی مرتبط با عملکرد دانه با استفاده از برخی روش‌های آماری پیشرفته به‌منظور یافتن صفات ممکن مناسب برای انتخاب غیرمستقیم ارزیابی شد. میزان شاخص‌های متفاوت ژنتیکی، فنوتیپی و محیطی نیز جهت بررسی اثر محیط و ژنوتیک بر این صفات به‌صورت پیشرفته‌ای مورد بررسی قرار گرفت.

**مواد و روش‌ها:** به‌منظور بازتاب اثر کمبود آب بر تریتیکاله و احتمال غربالگری برخی از ژنوتیپ‌های جدید تولید شـــده در کشـــور که دارای تحمل تنش مناسـبی نسـبت به شـرایط کمبود آب هسـتند، مطالعه‌ای بر روی نه (۹) ژنوتیپ تریتیکاله تحت چهار رژیم ابیاری در دو سـال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ انجام شـد. این ژنوتیپ‌ها شامل سناباد، پاژ، جوانیلو، ET-85-4، ET-92-15، ET-92-18، ET-83-20، ET-85-17 و ET-83-18 بود. در هر سال چهار رژیم آبیاری مختلف با قطع آبیاری در سه مرحله شامل مرحله گلدهی، مرحله شیری دانه و مرحله خمیر دانه به‌همراه شرایط شاهد بدون تنش اعمال شد. از طرح اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک کامل تصـادفی با سـه بلوک (تکرار) اسـتفاده شـد. آزمایش در ایسـتگاه پژوهشـی واقع در مجموعه تحقیقاتی مرتبط با مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی زرقان، فارس اجرا شد. صفات مختلفی شامل ارتفاع بوته، زاویه برگ، وزن برگ، وزن خشک کل گیاه، طول سنبله، وزن سنبله، تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد کاه، شاخص برداشت و عملکرد دانه برای تمام ژنوتیپ‌های مورد استفاده در این مطالعه اندازه‌گیری شد. داده‌های به‌دسـت آمده از این آزمایش ابتدا تحت تجزیه و تحلیل مرکب واریانس قرار گرفتند و بر اسـاس این محاسـبات در نهایت واریانس سـال، واریانس محیطی، واریانس ژنوتیپی، واریانس فنوتیپی و واریانس خطای آزمایش تخمین زده شـــد. تجزیه و تحلیل در نرم‌افزار SAS-9.4-M6با اســـتفاده از یک کد برنامه‌نویسی ذخیره شده در سایت اینترنتی GitHub انجام گردید.

**یافته‌ها:** نتایج کلی این مطالعه نشـان داد که کاهش تعداد آبیاری و قطع آبیاری در مراحل اولیه رشـد سـنبله در گیاه تریتیکاله می‌تواند منجر به کاهش شـدید بهره‌وری ژنوتیپ‌های تریتیکاله شـود. در نتیجه، نحوه و مقدار آبیاری به‌همراه میزان در دسـترس بودن آب عامل مهمی برای تعیین نوع برنامه‌های اصلاحی است که مجدداً تأییدی بر اختصاصی بودن برنامه‌های اصلاحی برای مکان‌های متفاوت با شرایط آب و هوایی غیر همسان است. همچنین برخی از ژنوتیپ‌های مورد استفاده در این پژوهش نشان دادند که دارای پتانسیل بالایی برای معرفی شدن به‌عنوان ارقام جدید هستند. تحت شرایط آبیاری نرمال، ژنوتیپ ET-83-20 و در شرایط کمبود شدید آب ژنوتیپ ET-85-04 عملکرد بهتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها نشان دادند. برآورد ویژگی‌های ژنوتیپی مانند وراثت‌پذیری و ضریب تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی نشان داد که امکان تولید ارقام با بهره‌وری و پتانسیل بالا در شرایط نرمال یا تنش‌زا وجود دارد.

**نتیجه‌گیری:** به‌صورت کلی نتایج این پژوهش نشان داد که وراثت بالا و ارتباط قابل توجهی با عملکرد دانه برای برخی از صفات مانند وزن سنبله، تعداد سنبله و تعداد دانه نشان می‌دهد که می‌توان از این صفات مناسب برای غربالگری غیرمستقیم و به‌عنوان معیارهای انتخاب غیرمستقیم سود جست. علاوه بر این، نتایج نشان داد که تنوع بالاتری برای تریتیکاله برای یافتن ژنوتیپ‌هایی با بهترین صفات کمی و کیفی لازم است تا به‌عنوان رقم جدید و مناسب در محیط‌هایی با شرایط متغیر کشت شود.

**واژه‌های کلیدی:** انتخاب غیرمستقیم، بای‌پلات، تنوع ژنوتیپی، تنش کمبود آب، وراثت‌پذیری

## مقدمه

تقاضـــای بالا برای محصـــولات کشـــاورزی و در نتیجه جمعیت رو به‌رشد باعث شده است محققان به اعمال و بررسی روش‌های تغییر یافته‌ای بپردازند تا بتوانند راهی برای افزایش تولید محصـــولات گیاهی در واحد را فراهم آوردند (Vahdati & Lotfi, 2013). تلاش‌های زیادی برای ترکیب قابلیت‌های متنوع گونه‌های مختلف گیاهی به یک گیاه منحصـــر به‌فرد برای افزایش کمیت و کیفیت محصـــول غذایی انجام شـــده

است. بر این اساس، بیش از ۱۰۰ سال پیش دانشمندان قادر به ساخت و انتشار یک گونه گیاهی جدید گیاهی با استفاده تلاقی بین گندم (*Triticum spp*) و چاودار (*Secale cereale* L.) شدند (Chen *et al.*, 2019). هدف از این کار افزایش توانایی گندم به‌عنوان یکی از مهمترین منابع غذایی در میان غلات در جهان برای مقاومت در برابر شرایط سخت محیطی مانند تنش خشکی بود (Riasat *et al.*, 2019; Saed-Moucheshi *et al.*, 2022b). تلاقی‌های متفاوت بین گندم و چاودار با تغییر سطوح پلی‌پلوئیدی منجر به ایجاد انواع مختلف گیاهان با خواص مختلف ژنتیکی و تعداد متفاوتی از مجموعه‌های ژنومی یا تعداد متفاوت کروموزوم شد (Stepochkin, 2019). تریتیکاله (*Triticosecale Wittmack*×) یک گونه هگزاپلویدی (AABBRR) ناشی از تلاقی بین گندم تتراپلوئید (*T. durum* Desf؛ ۲n=۲۸: AABB)، شناخته شده به‌عنوان گندم دوروم و چاودار دیپلوئید (RR: ۱۴ = ۲n) است (Saed-Moucheshi *et al.*, 2021b). معرفی نهایی تریتیکاله نشان داد که این محصول دارای ویژگی‌های مطلوبی از هر دو والد آن بوده و مقاومت بیشتر در برابر تنش خشکی و تولید بیوماس تعداد بوته در واحد سطح بیشتر در مقایسه با گیاهان گندم دارا ا ست (Mergoum *et al.*, 2019).

اگرچه تریتیکاله از زمان معرفی، به‌عنوان اولین محصول ساخته شده توسط انسان، چندین پیشرفت مهم را نشان داده است، اما هنوز هم پیشرفت مناسب و چشمگیری را نسبت به سایر غلات و محصولات زراعی نداشته است و بنابراین نیاز به توجه بیشتری مخصوصاً در برنامه‌های به‌نژادی و توسط به‌نژادگران دارد (Daskalova & Spetsov, 2020; Riasat *et al.*, 2019; Saed-Moucheshi & Safari, 2023). مطالعات مختلف نشان می‌دهد این غله دارای پتانسیل بالایی برای استفاده به‌عنوان یک محصول چندمنظوره به‌صورت مصرف مستقیم انسان یا به‌عنوان یک محصول علوفه‌ای است (McGoverin *et al.*, 2011; Saed-Moucheshi *et al.*, 2019a). بنابراین، تریتیکاله را می‌توان به‌عنوان یک محصول بالقوه با شرایط ژنتیکی ویژه دانست که عملکرد آن هنوز فاصله زیادی با پتانسیل آن دارد. طبق گفته گادس-پینتو (Guedes-Pinto *et al.*, 2012) افزایش میزان مصرف غلات توسط جمعیت رو به‌رشد حدود ۳/۵٪ در سال بوده است، در حالی‌که میزان افزایش عملکرد دانه در حال حاضر حدود ۲/۴٪ در سال تخمین زده می‌شود. بر این اساس، ما نیاز مبرم به بهبود و گسترش روش‌هایی داریم که قادر به تسریع کارایی برنامه‌های به‌نژادی باشند و منجر به رسیدن به عملکرد بالاتر و ارقام پایدار شوند.

مقاومت در برابر تنش خشکی یک فرایند پیچیده است که شامل شبکه‌ای از پاسخ گیاه در سطوح فیزیولوژیکی و مولکولی است که هنوز به درستی کشف و شناخته نشده است (Pirasteh-Anosheh *et al.*, 2016; Vahdati *et al.*, 2009). تنش خشکی، همانند بسیاری از تنش‌های محیطی دیگر، به‌طور غیرمستقیم باعث تنش اکسیداتیو در گیاهان و در نتیجه اختلال در تعادل بین تولید و سم‌زدایی رادیکال‌های اکسیژن می‌شود (Behera *et al.*, 2020; Cheniany *et al.*, 2010; Saed-Moucheshi *et al.*, 2014). در چنین شرایطی، سیستم‌های دفاعی و مکانیسم های مقاومت به تنش در گیاهان مجبور به استفاده از کلیه منابع در دسترس گیاه جهت مبارزه و سم‌زدایی بیشتر رادیکال‌های اکسیژن فعال می‌شوند (Jariteh *et al.*, 2011; Saed-Moucheshi *et al.*, 2022a; Tabarzad *et al.*, 2017) که باعث کاهش تولید و عملکرد نهایی محصول می‌گردد.

به‌نژادگران گیاهی روش‌های مختلفی را روی محصولات متنوع گیاهی برای بهبود عملکرد در شرایط تنش خشکی و افزایش تحمل تنش در آن‌ها مطالعات و آزمایش نموده‌اند (Aliakbari *et al.*, 2013; Riasat *et al.*, 2019; Riasat *et al.*, 2020; Saed-Moucheshi *et al.*, 2013; Saed-Moucheshi *et al.*, 2017; Sallam *et al.*, 2019; Tabarzad *et al.*, 2017) با این‌حال گفته می‌شود که هنوز می‌توان روش‌های جدید و کارآمدتری را به‌ویژه برای محصولات جدیدی مانند تریتیکاله ارائه داده و به‌طور عملی به‌کار برد (Saed-Moucheshi, 2018a). ایجاد تنوع چه به‌صورت طبیعی و چه مصنوعی و سنتز شده در محصولات کشاورزی و انتخاب ژنوتیپ‌هایی با بالاترین عملکرد و ثبات در محیط‌های متفاوت جزء اهداف اصلی مطالعات در زمینه به‌نژادی است (Barati *et al.*, 2024; Keshavarznia *et al.*, 2024). در مطالعه حاضر ژنوتیپ‌های مختلف تریتیکاله تولید شده توسط دانشمندان دخلی کشور در شرایط مختلف آبیاری کشت و مورد آزمایش قرار گرفتند تا احتمال معرفی ارقام جدید مقاوم به تنش خشکی و تغییر شرایط محیطی در نظر گرفته شود. به‌علاوه، در این پژوهش رابطه بین صفات مورفولوژیکی و صفات زراعی مرتبط با عملکرد دانه با استفاده از برخی روش‌های آماری پیشرفته به‌منظور یافتن صفات ممکن مناسب برای انتخاب غیرمستقیم ارزیابی شد. میزان شاخص‌های متفاوت ژنتیکی، فنوتیپی و محیطی نیز جهت بررسی اثر محیط و ژنوتیپ بر این صفات به‌صورت پیشرفته مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

### مواد آزمایشی و اعمال تیمارها

در این مطالعه نه (۹) ژنوتیپ تریتیکاله که به‌تازگی توسط پژوهشگران داخلی تولید شده در دو سال مختلف تحت رژیم‌های مختلف آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفتند. این ژنوتیپ‌ها شامل سناباد، پاژ، جوانیلو، ET-85-4، ET-92-15، ET-92-18، ET-83-20، ET-85-17 و ET-83-18 بود. در هر سال چهار رژیم آبیاری مختلف با قطع ابیاری در سه مرحله شامل مرحله گلدهی، مرحله شیری دانه و مرحله خمیر دانه همراه با شرایط شاهد بدون تنش اعمال شد. آزمایش (فصل رشد ۱۳۹۸ تا ۱۳۹۹) در ایستگاه پژوهشی واقع در مجموعه تحقیقاتی مرتبط با مرکز تحقیقات و اموزش کشاورزی و منابع طبیعی زرقان، فارس (N° ۵۲/۷۱۳۵، E° ۲۹/۷۶۴۲ و ارتفاع ۱۶۰۰ متر) اجرا شد.

نه (۹) ژنوتیپ پیشرفته تریتیکاله اشاره شده، به‌ترتیب در اوایل و اواسط مهر در سال اول و دوم بر اساس طرح کرت

خرد شده کاشته شدند. برنامه آبیاری (Patel *et al.*, 2019; Saed-Moucheshi *et al.*, 2021b) بر اساس دوره تخلیه ۴۰ درصد از آب موجود در خاک تنظیم شده است. ظرفیت خاک آب (SWC) بر اساس فرمول زیر محاسبه شد:

$$SWC\ (L) = FC\ (L) - WP\ (L)$$

SWC: ظرفیت آب خاک، FC: ظرفیت مزرعه، WP: نقطه پژمردگی.

از طرح اسپلیت پلات بر اساس طرح بلوک کامل تصادفی با سه بلوک (تکرار) استفاده شد. کرت‌های آزمایشی از چهار ردیف به‌طول ۲ متر با فاصله ۲۰ سانتی متر بین ردیف‌ها (۱ متر × ۲ متر مربع) تشکیل شده است. بذرهای تریتیکاله در هر چهار ردیف با فاصله ۵ سانتی‌متری یکدیگر و عمق ۵ سانتی‌متر کاشته شدند. دو ردیف مرکزی هر پلات برای اندازه‌گیری عملکرد دانه در زمان برداشت استفاده شد.

**اندازه‌گیری‌ها و تجزیه و تحلیل اماری**

در این مطالعه صفات مختلف مورفولوژیکی و عملکرد شامل وزن برگ، ارتفاع بوته، طول سنبله، زاویه برگ، وزن سنبله، تعداد سنبله، تعداد دانه، وزن ۱۰۰۰ دانه، ماده خشک کل، عملکرد کاه، عملکرد دانه و شاخص برداشت اندازه‌گیری شد.

داده جهت نرمال بودن و همچنین یکنواختی واریانس آزمون شدند و پس از اطمینان حاصل کردن از این دو مورد، داده‌های به‌دست امده از این آزمایش تحت تجزیه و تحلیل مرکب واریانس (Combined ANOVA) قرار گرفتند و آماره‌های توصیفی متفاوتی مانند میانگین و خطای استاندارد برای آنها محاسبه گردید. میانگین مربعات (MS) به‌دست آمده از تحلیل مرکب واریانس برای هریک از سطوح آبیاری جهت محاسبات مربوط به واریانس باقی‌مانده (res)، واریانس بلوک (blk) در سال (yr)، ژنوتیپ (gn) استفاده گردید (Saed-Moucheshi *et al.*, 2021b). بر اساس این محاسبات در نهایت واریانس سال، واریانس محیطی، واریانس ژنوتیپی، واریانس فنوتیپی و واریانس خطای آزمایش تخمین زده شد. جدول ۱ نشان دهنده فرمول‌های مورد استفاده جهت این تخمین‌ها است (Fan, 2018; Saed-Moucheshi, 2018b). تجزیه و تحلیل در نرم‌افزار SAS-9.4-M6 با استفاده از یک کد برنامه‌نویسی ذخیره شده در سایت اینترنتی GitHub به آدرس https://ithub.com/arminst/genofino_sauce/issues/۱ انجام گردید (Saed-Moucheshi *et al.*, 2023).

جدول ۱- فرمول‌ها و محاسبات مربوط به برآورد واریانس‌های ژنتیکی و فنوتیپی و تخمین وراثت‌پذیری صفات مورد مطالعه

Table 1. Formulas and calculations related to the evaluation of genetic and phenotypic variances and the estimated heritability of the studied traits

| پارامتر مورد محاسبه Parameter | نماد Index | فرمول Formula |
|---|---|---|
| واریانس خطا (Residual variance) | $\delta^2_{res}$ | $MS_{res}$ |
| واریانس بلوک داخل محیط (Block(Environment) variance) | $\delta^2_{blk(yr)}$ | $(MS_{blk(yr)} - MS_{res}) / (yr \times gn)$ |
| واریانس ژنوتیپ در محیط (Genotype by environment variance) | $\delta^2_{gn\times yr}$ | $(MS_{gn\times yr} - MS_{res}) / blk$ |
| واریانس ژنتیکی (Genotypic variance) | $\delta^2_{gn}$ | $(MS_{gn} - MS_{res}) / (blk \times yr)$ |
| واریانس محیطی (Environmental variance) | $\delta^2_{yr}$ | $(MS_{blk(yr)} - MS_{gn\times yr} + \delta^2_{res}) / (blk \times gn)$ |
| واریانس فنوتیپی (Phenotypic variance) | $\delta^2_{pn}$ | $\delta^2_{gn} + [\delta^2_{yr} / (blk \times yr)] + [\delta^2_{gn\times yr} / yr]$ |
| وراثت‌پذیری عمومی (General heritability) | $h^2$ | $\delta^2_{gn} / \delta^2_{pn}$ |
| ضریب تغییرات ژنوتیپی (Genotypic coefficient of variation) | GCV | $[(\sqrt{\delta^2_{gn}}) / Mean] \times 100$ |
| ضریب تغییرات فنوتیپی (Phenotypic coefficient of variation) | PCV | $[(\sqrt{\delta^2_{pn}}) / Mean] \times 100$ |

علاوه بر این، تحلیل وارایانس و مقایسه میانگین به‌ترتیب توسط proc GLM و proc MEANS در نرم‌افزار آماری SAS انجام شد. کتابخانه‌های "Nbclust"، "agricolae" و "factoextra" در نرم‌افزار آماری R نسخه 4.2 برای انجام تجزیه و تحلیل خوشه‌ای بر اساس روش Ward و محاسبه فاصله اقلیدسی و نمودار بای‌پلات بر اساس تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد.

## نتایج و بحث

نتایج تحلیل واریانس مرکب برای دو سال و چهار تیمار به‌همراه ۹ ژنوتیپ نشان داد که به‌جز ارتفاع بوته و شاخص برداشت، تمام تیمارهای اندازه‌گیری شده تحت تأثیر سال و آبیاری قرار گرفتند و همچنین مشخص گردید که برای کلیه صفات تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها وجود داشت. اثر متقابل سال در تیمار، سال در ژنوتیپ، تیمار در ژنوتیپ و تعامل سه طرفه منابع برای صفات اندازه‌گیری شده نیز معنی‌دار بود. بنابراین، مقایسه میانگین برای داده به‌صورت مرکب انجام نشد، بلکه برای داده‌های به‌دست آمده از سال‌های متفاوت به‌صورت جداگانه انجام گرفت که نتایج آنها در جدول ۲ آمده است. مقایسه میانگین وزن خشک برگ و طول سنبله تریتیکاله (جدول ۲) نشان داد که بیشترین میانگین وزن خشک برگ در هر دو سال متعلق به ژنوتیپ ET-۱۷-۸۵ در شرایط شاهد (ابیاری نرمال) بود. حداقل وزن برگ در هر دو سال در رقم جوانیلو تحت تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی ثبت شد. ژنوتیپ ET-۲۰-۸۳ در سال اول و سناباد در سال دوم حداکثر مقادیر طول سنبله را تحت تیمار شاهد نشان دادند، با این حال، حداقل مقدار این صفات برای ET-۱۷-۸۵ تحت قطع ابیاری مرحله گلدهی برای هر دو سال ثبت شد. زاویه برگ با ساقه در ژنوتیپ ET-۴-۸۵ کمترین بود در حال که بیشترین زاویه در ژنوتیپ ET-۱۵-۹۲ در هر دو سال متوالی تحت تیمار قطع ابیاری در مرحله گلدهی مشاهده گردید. بیشترین میانگین وزن سنبله و تعداد سنبله در گیاه در تیمار قطع ابیاری در مرحله گلدهی در رقم پاژ مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با رقم جوانیلو و ژنوتیپ ET-۱۸-۸۳ نشان نداد. در سال اول ژنوتیپ ET-۲۰-۸۳ رتبه اول را برای وزن سنبله و در هر دو سال این ژنوتیپ رتبه اول را برای تعداد

شـنبله در گیاه در میان ژنوتیپ های تریتیکاله به دسـت آورد. در سال دوم ژنوتیپ ET–۸۵–۴ کمترین وزن سنبله را نشان داد در حالی کـه جوانیلو کمترین تعداد سـنبلـه را بـه خود اختصاص داد (جدول ۲).

تنوع کمی در ژنوتیپ های تریتیکاله تحت تیمارهای مختلف آبیاری با توجه به وزن هزار دانه مشاهده شـد. نتایج مشـابهی برای تعداد دانه در سـنبله به دسـت آمد، با این حال، تعداد دانه نشان دهنده یک الگوی کاهشی معنی‌دار و قابل مدل‌سازی در پاسـخ به دوره های طولانی تر از قطع آبیاری بود (جدول ۲). وزن خشـک کل گیاه در ژنوتیپ ET–۸۵–۱۷ در هر دو سـال حداقل بود، اما رقم تریتیکاله سـناباد حداکثر وزن خشـک را در هر دو سال نشان داد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر سه طرفه سـال در ابیاری در ژنوتیپ برای عملکرد کاه، شـاخص برداشـت و عملکرد دانه نیز انجام گردید که نتایج آن در ادامه جدول ۲ آورده شـده اسـت. شـاخص برداشـت برای اکثر ژنوتیپ‌های تحت هر چهار تیمار تنش آبی اعمال شده مشابه بود و تنوع کمی برای این صـفت مشـاهده شـد. دوره‌های طولانی‌تر خودداری از ابیاری (در مراحل گلدهی و شیری دانه) عملکرد کاه تقریبا کمتری نسـبت به دو تیمار دیگر در هر دو سـال نشـان داد، اما تفاوت بین ژنوتیپ های تحت هر تیمار معنی دار نبود. عملکرد دلنه نیز نشـان دهنده تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌های تریتیکاله و کاهش بیشـتر آن در شـرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی نسـبت به مرحله شـیری دلنه و همچنین مرحله شـیری نسـبت به مرحله خمیری دلنه بود (جدول ۲). ارقام سـناباد و پاژ به همراه ژنوتیپ E-85-4 عملکرد بالاتری را با تفاوت کم در هر دو سال آزمایش نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها نشان دادند.

جدول ۲- مقایسه میانگین مربوط به اثر متقابل بین آبیاری در ژنوتیپ در سال برای داده‌های اندازه‌گیری شده در تریتیکاله

Table 2. Mean comparison of an interaction effect between irrigation and genotype in two years for measured features in triticale plants

| 1399 | 1398 | 1399 | 1398 | 1399 | 1398 | ژنوتیپ Genotype | رژیم آبیاری Irrigation withholds |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| طول سنبله (میلی‌متر) Spike length (mm) | | ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) Plant height (cm) | | وزن برگ (گرم) Leaf weight (g) | | | |
| 98.8a-c | 95a-e | 133.12a | 128a | 0.08i-k | 0.08h-j | Sanabad | |
| 85.28c-h | 82e-j | 126.88a | 122a | 0.09g-j | 0.09g-i | Pajh | |
| 82.99d-j | 79.8g-l | 128.96a | 124a | 0.05m-m | 0.05l-l | Javanilo | |
| 89.65b-e | 86.2c-i | 136.24a | 131a | 0.06l-m | 0.06k-l | ET-85-4 | قطع آبیاری در مرحله گلدهی Flowering |
| 83.41d-i | 80.2f-l | 134.16a | 129a | 0.07k-l | 0.07j-k | ET-92-15 | |
| 84.76c-h | 81.5e-k | 123.76a | 119a | 0.08i-k | 0.08h-j | ET-92-18 | |
| 76.13e-k | 73.2h-m | 122.72a | 118a | 0.07k-l | 0.07j-k | ET-83-20 | |
| 61.57l-l | 59.2n-n | 133.12a | 132a | 0.09g-j | 0.09g-i | ET-85-17 | |
| 61.88k-l | 59.5m-n | 131.84a | 128a | 0.07k-l | 0.07j-k | ET-83-18 | |
| 103.1a-b | 100.1a-c | 122.57a | 128a | 0.09h-j | 0.09g-i | Sanabad | |
| 91.67b-d | 89c-g | 126.69a | 119a | 0.1f-i | 0.1f-h | Pajh | |
| 89.61b-e | 87c-h | 135.96a | 123a | 0.06l-m | 0.06k-l | Javanilo | |
| 94.76a-d | 92b-g | 131.84a | 132a | 0.07k-l | 0.07j-k | ET-85-4 | قطع آبیاری در مرحله شیری دانه Milky |
| 91.67b-d | 89c-g | 130.81a | 128a | 0.08i-k | 0.08h-j | ET-92-15 | |
| 92.7b-d | 90c-g | 122.57a | 127a | 0.09h-j | 0.09g-i | ET-92-18 | |
| 83.43d-i | 81f-k | 133.9a | 119a | 0.08i-k | 0.08h-j | ET-83-20 | |
| 70.04i-l | 68k-n | 132.87a | 130a | 0.09h-j | 0.09g-i | ET-85-17 | |
| 69.01j-l | 67l-n | 131.58a | 129a | 0.08i-k | 0.08h-j | ET-83-18 | |
| 107.1a-a | 105a-b | 122.4a | 129a | 0.11c-f | 0.11c-f | Sanabad | |
| 94.86a-d | 93a-g | 125.46a | 120a | 0.12b-e | 0.12b-e | Pajh | |
| 91.8b-d | 90c-g | 133.62a | 123a | 0.08j-k | 0.08i-j | Javanilo | |
| 96.9a-d | 95a-e | 131.58a | 131a | 0.09h-j | 0.09g-i | ET-85-4 | قطع آبیاری در مرحله خمیری دانه Doughy |
| 94.86a-d | 93a-g | 130.56a | 129a | 0.1e-h | 0.1e-g | ET-92-15 | |
| 95.88a-d | 94a-f | 121.38a | 128a | 0.12b-d | 0.12b-d | ET-92-18 | |
| 87.72c-g | 86d-i | 135.66a | 119a | 0.11c-f | 0.11c-f | ET-83-20 | |
| 73.44g-l | 72j-n | 131.58a | 129a | 0.13a-b | 0.13a-b | ET-85-17 | |
| 71.4h-l | 70j-n | 129.66a | 128a | 0.11c-f | 0.11c-f | ET-83-18 | |
| 107.38a-a | 93a-g | 124.6a | 123a | 0.12b-d | 0.12b-d | Sanabad | |
| 94.21a-d | 91c-g | 125.61a | 124a | 0.12b-c | 0.12b-c | Pajh | |
| 92.18b-d | 96a-d | 131.69a | 130a | 0.08i-k | 0.08h-j | Javanilo | |
| 97.25a-d | 93a-g | 130.68a | 129a | 0.1f-i | 0.1f-h | ET-85-4 | شاهد Control |
| 94.21a-d | 94a-f | 129.66a | 128a | 0.11d-g | 0.11d-f | ET-92-15 | |
| 95.22a-d | 87c-h | 121.56a | 120a | 0.13a-b | 0.13a-b | ET-92-18 | |
| 88.13c-f | 106a-a | 137.28a | 133a | 0.12b-d | 0.12b-d | ET-83-20 | |
| 73.95f-l | 73i-n | 134.73a | 133a | 0.14a-a | 0.14a-a | ET-85-17 | |
| 72.94h-l | 72j-n | 130.68a | 129a | 0.12b-d | 0.12b-d | ET-83-18 | |

میانگین‌های دارای حرف یا حرف‌های مشترک تفاوت معنی‌دار آماری ندارند (روش دانکن در سطح ۵ درصد)

Mean with the same letter(s) are not significantly different (Duncan 5%)

ادامه جدول ۲- مقایسه میانگین مربوط به اثر متقابل بین آبیاری در ژنوتیپ در سال برای داده‌های اندازه‌گیری شده در تریتیکاله

Table 2 continue. Mean comparison of an interaction effect between irrigation and genotype in two years for the measured feature in triticale plants

| ۱۳۹۹ | ۱۳۹۸ | ۱۳۹۹ | ۱۳۹۸ | ۱۳۹۹ | ۱۳۹۸ | ژنوتیپ | رژیم آبیاری |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تعداد سنبله Spike number | | وزن سنبله (گرم) Spike weight (g) | | زاویه برگ (درجه) Leaf angle (radian) | | Genotype | Irrigation withholds |
| 401.7c-h | 390c-h | 2.13i-j | 1.94j-l | 36.05a-c | 35a-b | Sanabad | |
| 391.4d-h | 380d-h | 1.91j-j | 1.74l-l | 38.11a-c | 37a-b | Pajh | |
| 381.1e-h | 370e-h | 1.91j-j | 1.74l-l | 35.02b-c | 34a-b | Javanilo | |
| 360.5f-i | 350f-i | 2.19h-j | 1.99i-l | 33.99c-c | 33b-b | ET-85-4 | قطع آبیاری در مرحله گلدهی Flowering |
| 350.2g-j | 340g-j | 2.1i-j | 1.91j-l | 37.08a-c | 36a-b | ET-92-15 | |
| 339.9h-k | 330h-k | 2.19h-j | 1.99i-l | 38.11a-c | 37a-b | ET-92-18 | |
| 288.4j-l | 280j-l | 2.34g-i | 2.13g-k | 35.02b-c | 34a-b | ET-83-20 | |
| 267.8l-l | 260l-l | 2.08i-j | 1.89k-l | 35.02b-c | 34a-b | ET-85-17 | |
| 257.5l-l | 250l-l | 2.18h-j | 1.98j-l | 36.05a-c | 35a-b | ET-83-18 | |
| 463.5c-c | 450c-c | 2.39f-i | 2.22e-k | 37.08a-c | 36a-b | Sanabad | |
| 406.85c-g | 395c-g | 2.12i-j | 1.96j-l | 40.56a-b | 39a-b | Pajh | |
| 401.7c-h | 390c-h | 2.17h-j | 2.01h-l | 36.4a-c | 35a-b | Javanilo | |
| 391.4d-h | 380d-h | 2.45e-i | 2.26c-k | 35.36b-c | 34a-b | ET-85-4 | قطع آبیاری در مرحله شیری دانه Milky |
| 386.25e-h | 375e-h | 2.35g-i | 2.18e-k | 39.52a-c | 38a-b | ET-92-15 | |
| 339.9h-k | 330h-k | 2.4e-i | 2.22d-k | 38.48a-c | 37a-b | ET-92-18 | |
| 309i-l | 300i-l | 2.55d-h | 2.36b-i | 38.48a-c | 37a-b | ET-83-20 | |
| 298.7i-l | 290i-l | 2.35g-i | 2.17f-k | 37.44a-c | 36a-b | ET-85-17 | |
| 278.1k-l | 270k-l | 2.39f-i | 2.22e-k | 37.44a-c | 36a-b | ET-83-18 | |
| 561.6a-b | 540a-b | 2.43e-i | 2.27c-j | 39.71a-c | 38a-b | Sanabad | |
| 540.8b-b | 520b-b | 2.42e-i | 2.26c-k | 41.8a-a | 37a-b | Pajh | |
| 426.4c-f | 410c-f | 2.42e-i | 2.26c-k | 38.67a-c | 36a-b | Javanilo | |
| 426.4c-f | 410c-f | 2.78a-f | 2.6a-c | 37.62a-c | 40a-a | ET-85-4 | قطع آبیاری در مرحله خمیری دانه Doughy |
| 416c-g | 400c-g | 2.57c-h | 2.4b-g | 41.8a-a | 40a-a | ET-92-15 | |
| 416c-g | 400c-g | 2.62b-g | 2.45a-g | 41.8a-a | 37a-b | ET-92-18 | |
| 405.6c-h | 390c-h | 2.78a-f | 2.6a-d | 38.67a-c | 37a-b | ET-83-20 | |
| 395.2d-h | 380d-h | 2.69a-g | 2.51a-f | 38.67a-c | 38a-b | ET-85-17 | |
| 364f-i | 350f-i | 2.73a-g | 2.55a-e | 39.71a-c | 38a-b | ET-83-18 | |
| 615.83a-a | 580a-b | 2.61b-g | 2.37b-h | 39.98a-c | 40a-a | Sanabad | |
| 600.3a-b | 440c-d | 2.65b-g | 2.41b-g | 42.08a-a | 38a-b | Pajh | |
| 455.4c-d | 430c-e | 2.71a-g | 2.46a-g | 39.98a-c | 36a-b | Javanilo | |
| 445.05c-e | 420c-e | 3.08a-a | 2.6a-c | 37.87a-c | 40a-a | ET-85-4 | شاهد Control |
| 434.7c-e | 410c-f | 2.86a-d | 2.55a-e | 42.08a-a | 40a-a | ET-92-15 | |
| 424.35c-f | 410c-f | 2.81a-e | 2.7a-b | 42.08a-a | 38a-b | ET-92-18 | |
| 424.35c-f | 595a-a | 2.97a-c | 2.8a-a | 39.98a-c | 40a-a | ET-83-20 | |
| 414c-g | 400c-g | 2.93a-d | 2.67a-b | 39.98a-c | 38a-b | ET-85-17 | |
| 414c-g | 400c-g | 2.98a-b | 2.71a-b | 39.98a-c | 38a-b | ET-83-18 | |

میانگین‌های دارای حرف یا حرف‌های مشترک تفاوت معنی‌دار آماری ندارند (روش دانکن در سطح ۵ درصد)

Mean with the same letter(s) are not significantly different (Duncan 5%)

ادامه جدول ۲- مقایسه میانگین مربوط به اثر متقابل بین آبیاری در ژنوتیپ در سال برای داده‌های اندازه‌گیری شده در تریتیکاله

Table 2 continue. Mean comparison of an interaction effect between irrigation and genotype in two years for the measured feature in triticale plants

| 1399 | 1398 | 1399 | 1398 | 1399 | 1398 | ژنوتیپ | رژیم آبیاری |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ماده خشک (کیلوگرم در هکتار) Total dry matter (kg/ha) | | وزن ۱۰۰۰دانه (گرم) 1000-seed weight (g) | | تعداد دانه Seed number | | Genotype | Irrigation withholds |
| 9812.88j-n | 8920.8j-o | 46.92a-e | 46a-d | 40.4g-g | 40g-g | Sanabad | |
| 9345.6l-o | 8496k-p | 40.8d-e | 40c-d | 41.41f-g | 41f-g | Pajh | |
| 8632.8m-p | 7848m-q | 40.8d-e | 40c-d | 41.41f-g | 41f-g | Javanilo | |
| 8949.6l-p | 8136l-q | 45.9a-e | 45a-d | 42.42e-g | 42e-g | ET-85-4 | قطع آبیاری در مرحله گلدهی Flowering |
| 9028.8l-p | 8208k-q | 42.84c-e | 42b-d | 43.43d-g | 43d-g | ET-92-15 | |
| 8717.87m-p | 7925.33m-q | 43.86b-e | 43b-d | 44.44c-g | 44c-g | ET-92-18 | |
| 8157.6n-p | 7416o-q | 45.9a-e | 45a-d | 45.45c-g | 45c-g | ET-83-20 | |
| 6890.4p-p | 6264q-q | 39.78e-e | 39d-d | 46.46c-g | 46c-g | ET-85-17 | |
| 7444.8o-p | 6768p-q | 40.8d-e | 40c-d | 47.47c-g | 47c-g | ET-83-18 | |
| 13041c-h | 12075b-g | 47.38a-d | 46a-d | 42.63e-g | 42e-g | Sanabad | |
| 10583.62i-m | 9799.65h-m | 44.29b-e | 43b-d | 42.63e-g | 42e-g | Pajh | |
| 10407.85i-n | 9636.9i-n | 44.29b-e | 43b-d | 43.65d-g | 43d-g | Javanilo | |
| 11113.2h-l | 10290g-k | 50.47a-b | 49a-b | 43.65d-g | 43d-g | ET-85-4 | قطع آبیاری در مرحله شیری دانه Milky |
| 11090.52h-l | 10269g-l | 45.32b-e | 44a-d | 45.68c-g | 45c-g | ET-92-15 | |
| 9525.6k-o | 8820k-p | 46.35a-e | 45a-d | 46.69c-g | 46c-g | ET-92-18 | |
| 9468.9l-o | 8767.5k-p | 48.41a-c | 47a-c | 47.71c-g | 47c-g | ET-83-20 | |
| 8505m-p | 7875m-q | 43.26b-e | 42b-d | 47.71c-g | 47c-g | ET-85-17 | |
| 8164.8n-p | 7560n-q | 43.26b-e | 42b-d | 48.72b-f | 48b-f | ET-83-18 | |
| 14808.8b-c | 13840b-c | 49.92a-c | 48a-b | 45.72c-g | 45c-g | Sanabad | |
| 14723.2b-c | 13760b-c | 43.68b-e | 42b-d | 48.77b-f | 48b-f | Pajh | |
| 11805.38g-k | 11033.07f-j | 43.68b-e | 42b-d | 48.77b-f | 48b-f | Javanilo | |
| 12733c-i | 11900b-h | 49.92a-c | 48a-b | 49.78a-e | 49a-e | ET-85-4 | قطع آبیاری در مرحله خمیری دانه Doughy |
| 11930.5f-j | 11150d-i | 45.76a-e | 44a-d | 50.8a-d | 50a-d | ET-92-15 | |
| 12201.57e-i | 11403.33d-i | 45.76a-e | 44a-d | 50.8a-d | 50a-d | ET-92-18 | |
| 12519c-i | 11700c-i | 47.84a-d | 46a-d | 51.82a-c | 51a-c | ET-83-20 | |
| 11877f-j | 11100e-i | 43.68b-e | 42b-d | 55.88a-b | 55a-b | ET-85-17 | |
| 12305d-i | 11500d-i | 43.68b-e | 42b-d | 56.9a-a | 45c-g | ET-83-18 | |
| 18161a-a | 16510a-a | 47.84a-d | 46a-d | 45.81c-g | 48b-f | Sanabad | |
| 18667a-a | 12900b-f | 45.76a-e | 44a-d | 48.86b-f | 48b-f | Pajh | |
| 14190b-f | 14040b-b | 46.8a-e | 45a-d | 48.86b-f | 49a-e | Javanilo | |
| 15444b-b | 13200b-e | 53.04a-a | 46a-d | 49.88a-e | 50a-d | ET-85-4 | شاهد Control |
| 14520b-e | 12300b-g | 47.84a-d | 45a-d | 50.9a-d | 50a-d | ET-92-15 | |
| 13530b-g | 13300b-d | 46.8a-e | 47a-c | 50.9a-d | 51a-c | ET-92-18 | |
| 14630b-d | 16970a-a | 48.88a-c | 51a-a | 51.92a-c | 56a-a | ET-83-20 | |
| 14410b-e | 13100b-f | 44.72b-e | 43b-d | 55.99a-b | 55a-b | ET-85-17 | |
| 14630b-d | 13300b-d | 44.72b-e | 43b-d | 57.01a-a | 56a-a | ET-83-18 | |

میانگین‌های دارای حرف یا حرف‌های مشترک تفاوت معنی‌دار آماری ندارند (روش دانکن در سطح ۵ درصد)

Mean with the same letter(s) are not significantly different (Duncan 5%)

ادامه جدول ۲- مقایسه میانگین مربوط به اثر متقابل بین آبیاری در ژنوتیپ در سال برای داده‌های اندازه‌گیری شده در تریتیکاله

Table 2 continue. Mean comparison of an interaction effect between irrigation and genotype in two years for the measured feature in triticale plants

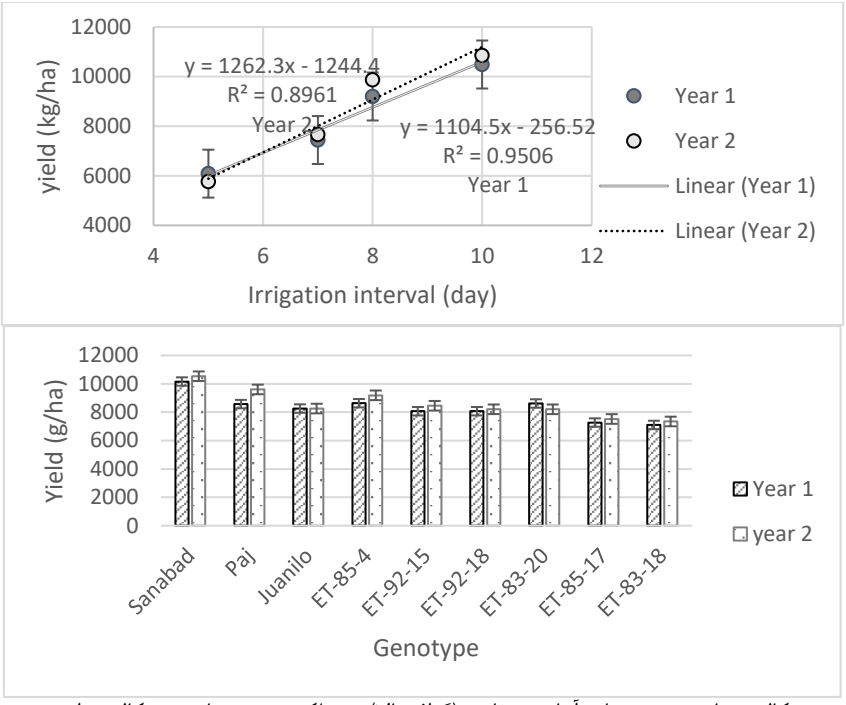
| 1399 | 1398 | 1399 | 1398 | 1399 | 1398 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg/ha) | | شاخص برداشت (٪) Harvest index (%) | | عملکرد کاه (کیلوگرم در هکتار) Straw yield (kg.ha) | | ژنوتیپ Genotype | رژیم آبیاری Irrigation withholds |
| 7560.75m-p | 7340.53k-m | 78.03a | 83.34a | 2252.13c-d | 1580.27b-c | Sanabad | قطع آبیاری در مرحله گلدهی Flowering |
| 6607.41p-s | 6414.96m-p | 71.61a | 76.48a | 2738.19b-d | 2081.04b-c | Paj | |
| 6433.53q-s | 6246.15n-p | 75.39a | 80.51a | 2199.27c-d | 1601.85b-c | Juanilo | |
| 6960.17o-r | 6757.44l-o | 78.48a | 76.88a | 1989.43d-d | 1378.56c-c | ET-85-4 | |
| 6475.9q-s | 6287.28n-p | 71.99a | 80.49a | 2552.9c-d | 1920.72b-c | ET-92-15 | |
| 6569.04q-s | 6377.71n-p | 75.36a | 78.39a | 2148.83c-d | 1547.63c-c | ET-92-18 | |
| 5945.87s-s | 5772.69p-p | 73.4a | 77.35a | 2211.73c-d | 1643.31b-c | ET-83-20 | |
| 4920.98t-t | 4777.65q-q | 72.42a | 71.33a | 1969.42d-d | 1486.35c-c | ET-85-17 | |
| 4946.57t-t | 4802.49q-q | 66.8a | 80.3a | 2498.24c-d | 1965.51b-c | ET-83-18 | |
| 9963.03e-g | 9672.84d-f | 76.58a | 76.75a | 3077.98b-d | 2402.16a-c | Sanabad | قطع آبیاری در مرحله شیری دانه Milky |
| 7750.82l-o | 7525.07j-l | 73.2a | 79.29a | 2832.8b-d | 2274.58a-c | Paj | |
| 7816.36l-o | 7588.7j-l | 75.61a | 81.3a | 2591.49b-d | 2048.2b-c | Juanilo | |
| 8595.46i-l | 8345.1h-j | 77.54a | 77.22a | 2517.74c-d | 1944.9b-c | ET-85-4 | |
| 8167.64k-n | 7929.75i-k | 73.65a | 80.74a | 2922.88b-d | 2339.25a-c | ET-92-15 | |
| 7332.6n-q | 7119.02k-n | 77a | 78.49a | 2193.01c-d | 1700.98b-c | ET-92-18 | |
| 7079.62o-r | 6873.42l-o | 74.85a | 77.76a | 2389.28c-d | 1894.08b-c | ET-83-20 | |
| 6298.93r-s | 6115.46o-p | 74.16a | 77.29a | 2206.07c-d | 1759.54b-c | ET-85-17 | |
| 5977.82s-s | 5803.7p-p | 73.71a | 80.12a | 2186.99c-d | 1756.3b-c | ET-83-18 | |
| 11473.49b-b | 11032.2b-b | 77.87a | 77.4a | 3335.31a-d | 2807.8a-c | Sanabad | قطع آبیاری در مرحله خمیری دانه Doughy |
| 11019.34b-d | 10595.52b-d | 75.23a | 78.18a | 3703.86a-d | 3164.48a-c | Paj | |
| 8688.33i-l | 8354.16h-j | 75.99a | 82.5a | 3117.06b-d | 2678.91a-c | Juanilo | |
| 9981.6e-f | 9597.69e-f | 80.19a | 77.61a | 2751.4b-d | 2302.31a-c | ET-85-4 | |
| 8985.6g-k | 8640g-i | 75.44a | 79.49a | 2944.9b-d | 2510a-c | ET-92-15 | |
| 9172.8f-j | 8820f-i | 77.26a | 79.55a | 3028.77b-d | 2583.33a-c | ET-92-18 | |
| 9480.09e-i | 9115.47e-h | 77.32a | 77.71a | 3038.91b-d | 2584.53a-c | ET-83-20 | |
| 8927.57h-k | 8584.2g-i | 75.53a | 70.19a | 2949.43b-d | 2515.8a-c | ET-85-17 | |
| 8360.35j-m | 8038.8i-k | 68.22a | 77.69a | 3944.65a-d | 3461.2a-c | ET-83-18 | |
| 13135.55a | 12590.64a | 73.1a | 75.86a | 5025.45a-b | 3818.65a-b | Sanabad | شاهد Control |
| 13031.31a | 9741.6d-f | 71.38a | 76a | 5635.69a | 3158.4a-c | Paj | |
| 10082.56d-f | 10832.13b-c | 71.51a | 77.45a | 4107.44a-d | 3207.87a-c | Juanilo | |
| 11211.26b-c | 9828d-e | 72.87a | 74.87a | 4232.75a-d | 3372a-c | ET-85-4 | |
| 10171.98d-e | 9409.5e-g | 70.44a | 76.86a | 4348.02a-d | 2890.5a-c | ET-92-15 | |
| 9738.83e-h | 9951.93c-e | 72.31a | 75.41a | 3791.17a-d | 3348.07a-c | ET-92-18 | |
| 10300.25c-e | 12691.35a | 70.95a | 83.82a | 4329.75a-d | 4379.36a | ET-83-20 | |
| 9929.79e-g | 9594e-f | 69.32a | 73.68a | 4480.21a-c | 3506a-c | ET-85-17 | |
| 10090.01d-f | 9748.8d-f | 69.5a | 73.87a | 4539.99a-c | 3551.2a-c | ET-83-18 | |

میانگین‌ها دارای حرف یا حرف‌ها مشترک تفاوت معنی‌دار آماری ندارند (روش دانکن در سطح ۵ درصد)

Mean with the same letter(s) are not significantly different (Duncan 5%)

به‌منظور مدل‌سازی رابطه بین عملکرد دانه تریتیکاله و تیمارهای آبیاری، این تیمارها به تعداد ابیاری در کل دوره رشدی تبدیل شدند. سپس تعداد دور آبیاری به‌عنوان متغیر مستقل و عملکرد دانه تریتیکاله به‌عنوان متغیر وابسته مشابه شکل ۱ در نظر گرفته شد و رابطه بین آنها مورد بررسی قرار گرفت. رابطه بین تعداد آبیاری ژنوتیپ‌های تریتیکاله و عملکرد دانه نشان داد که برای هر دو سال، یک رابطه خطی با ضریب تعیین ($R^2$) بیش از ۰/۸۹ برای مدل برآورد شد. این نمودار به‌وضوح نشان می‌دهد که تعداد بیشتری دور آبیاری منجر به عملکرد دانه بالاتر می‌شود. با این‌حال، خودداری از آبیاری در مراحل آخر یعنی مرحله خمیر باعث کاهش کمتر عملکرد دلنه در مقایسه با دو مراحل قبلی شد. بر این اساس مقایسه میانگین بین شرایط شاهد و تیمار آبیاری در مرحله خمیری نیز تفاوت کم و غیرمعنی‌داری در اکثر ژنوتیپ های مورد استفاده نشان داد (جدول ۲). بیشترین میانگین عملکرد دانه در سال اول و دوم به‌ترتیب در شرایط کنترل در ET-۸۳-۲۰ و سناباد به‌دست آمد (شکل ۱ و جدول ۲). ژنوتیپ‌های ET-۸۵-۱۷ و ET-۸۳-۱۸ کمترین میانگین عملکرد دانه تحت تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی در هر دو سال را نشان دادند. علاوه بر این، مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نسبت به تیمارهای مختلف نشان داد که به‌طور میانگین در هر دو سال ژنوتیپ‌های ET-۸۵-۱۷ و ET-۸۳-۱۸ کمترین عملکرد دانه را به‌دست آوردند، در حالی‌که سناباد و پاژ با اختلاف کم بیشترین عملکرد تریتیکاله را به‌دست آوردند (جدول ۲).

خشکی و کمبود آب باعث ایجاد یک سری واکنش‌های در داخل گیاه می‌شود که در نهایت بر بهره‌وری گیاه تأثیر می‌گذارد. در این مطالعه پاسخ ژنوتیپ‌های اعمال شده به تنش خشکی و تغییر محیط متفاوت بود. با این‌حال، در اکثر صفات اندازه‌گیری شده، ژنوتیپ‌های تریتیکاله مقادیر بیشتری نسبت به ارقام تریتیکاله که در آزمایش اجرا شد، نشان دادند. این نتیجه نشان می‌دهد که احتمال معرفی یک رقم جدید در میان این ژنوتیپ‌ها با ادامه برنامه اصلاحی بر روی آنها وجود دارد. همچنین نتایج نشان داد که تفاوت بین شرایط شاهد (رژیم آبیاری کامل) و خودداری از آبیاری در مرحله خمیری بذر کم بود و در اکثر موارد معنی‌دار نبود. از سوی دیگر، خودداری از آبیاری در مراحل ابتدایی‌تر یعنی مرحله گلدهی و شیری، مقادیر صفات مرتبط با عملکرد اندازه‌گیری شده را به‌طور قابل‌توجهی پایین‌تر از تیمار شاهد و آبیاری در مرحله خمیری نشان داد. برخی از مطالعات (Pakniyat *et al.*, 2013; Riasat *et al.*, 2020; Saed-Moucheshi *et al.*, 2021b; Sallam *et al.*, 2019) نتایج مشابهی را در مورد غلات در ارتباط با قطع آبیاری و روش آبیاری دوره‌ای به اشتراک می‌گذارند. با این‌حال، برخی از مطالعات (Bano *et al.*, 2021; Gundaraniya *et al.*, 2020; You *et al.*, 2019) نشان داده‌اند که حتی تنش کم در گیاه حساس می‌تواند منجر به تأثیر منفی بالا بر بهره‌وری آن شود. بنابراین، این نتایج نشان می‌دهد که تریتیکاله یک گیاه متحمل به شرایط تنش خشکی است.




شکل ۱- عملکرد تریتیکاله در پاسخ به دوره‌های آبیاری متفاوت (گراف بالا) و عملکرد ژنوتیپ‌های تریتیکاله در این دوره‌ها در هر دو سال (گراف پایین)

Figure 1. Triticale yield in response to irrigation interval (above plot) and the yield of triticale genotypes under irrigation treatments in two years of experiment (below plot)

پارامترهای ژنتیکی با در نظر گرفتن سال، به‌عنوان محیط و ژنوتیپ به‌عنوان اثرات تصادفی و محاسبه مقادیر مورد انتظار برای هر منبع تنوع در مدل تحلیل واریانس مرکب تخمین زده شد. بر این اساس، واریانس محیطی، ژنوتیپی و فنوتیپی از داده‌ها استخراج و به شاخص‌های استاندارد یعنی وراثت‌پذیری، ضریب فنوتیپی تنوع (PCV) و ضریب تنوع ژنوتیپی (GCV) در جدول ۳ تبدیل شدند. بیشترین وراثت‌پذیری در طول سنبله (۹۸ درصد) مشاهده شد و اختلاف معنی‌داری با وزن برگ و تعداد دانه (۹۶ درصد) نشان نداد. عملکرد کاه و شاخص برداشت کمترین درصد وراثت‌پذیری را (کمتر از ۲۰ درصد) نشان دادند. وراثت‌پذیری عملکرد دانه نیز بالا و معنی‌دار (۷۴٪) بود. از طرف دیگر، تعداد سنبله و وزن برگ بیشترین PCV (بالاتر از ۱۴ درصد) و GCV (بالاتر از ۱۵ درصد) را نشان دادند. ارتفاع بوته و زاویه برگ نیز دارای کمترین درصد PCV (کمتر از ۴ درصد) بودند. کمترین درصد GCV بین ارتفاع بوته، زاویه برگ و شاخص برداشت تقسیم شد (جدول ۳).

در این مطالعه عملکرد دلنه تریتیکاله و سایر ویژگی‌های مورفولوژیکی و مرتبط با عملکرد به‌طور قابل‌توجهی به اثرات محیط، تیمار و ژنوتیپ به‌عنوان منابع اصلی تغییرات در تحلیل مرکب واریانس پاسخ دادند. این نتیجه نشان دهنده تفاوت بین ژنوتیپ‌های تریتیکاله در پاسخ به محیط‌های تغییر یافته است که به‌نژادگیر در برنامه‌های غربالگری می‌تواند برای معرفی ژنوتیپ‌های بالقوه با عملکرد بالا از آن سود بجوید. بنابراین، برآورد پارامترهای ژنتیکی به به‌نژادگرها کمک می‌کند تا ژنوتیپ‌های برتر را به‌صورت دقیق‌تر بررسی و شناسایی کنند. وراثت‌پذیری تقریباً تمام ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، به استثنای عملکرد کاه و شاخص برداشت، در این مطالعه معنی‌دار بود. همچنین بالا بودن مقدار تغییرات ژنوتیپی (GCV) و فنوتیپی (PCV) در برخی از صفات و ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در این مطالعه نشان دهنده توانایی برنامه‌های غربالگری در ارتباط با غربال کردن ژنوتیپ‌های مناسب و برتر است. یکی از اهداف پژوهش حاضر نیز یافتن روش‌های مناسب برای دستیابی به ژنوتیپ با پتانسیل بالا برای تحمل شرایط تنش خشکی بود. بر این اساس، ارزیابی ژنوتیپ‌ها با توانایی و پتانسیل بالاتر با توجه به شرایط ژنتیکی و پاسخ آنها به تغییرات محیطی با استفاده از صفات اندازه‌گیری شده در تریتیکاله نیز مانند سایر غلات اهمیت بالایی دارد. با توجه به گفته پژوهشگران علم به‌نژادی (Ghasemi Soloklui *et al.*, 2018)، غربالگری ژنوتیپ‌ها تنها بر اساس عملکرد دانه آنها ممکن است برای نسل بعدی در برنامه‌های به‌نژادی به‌دلیل کم بودن یا کاهش وراثت‌پذیری آن بسیار رضایت‌بخش نباشد. بنابراین، ویژگی‌هایی که دارای تنوع و وراثت‌پذیری بالا و همچنین ارتباط مناسب با عملکرد دانه هستند، می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های انتخاب مناسب برای افزایش کارایی انتخاب در برنامه‌های اصلاحی مورد استفاده قرار گیرند. موچشی و همکاران (Moucheshi *et al*., 2011)، گرزسیاک و همکاران (Grzesiak *et al.*, 2003) و سلوکلوی و همکاران (Soloklui *et al.*, 2019) نشان دادند که صفاتی مانند پتانسیل آب برگ و در نتیجه وزن و اندازه برگ و همچنین زاویه برگ نسبت به ساقه به‌عنوان شاخص‌های مناسب برای انتخاب ژنوتیپ‌های تریتیکاله با عملکرد بالا در شرایط تنش مورد استفاده قرار گیرند. مطالعه ما کارایی استفاده از

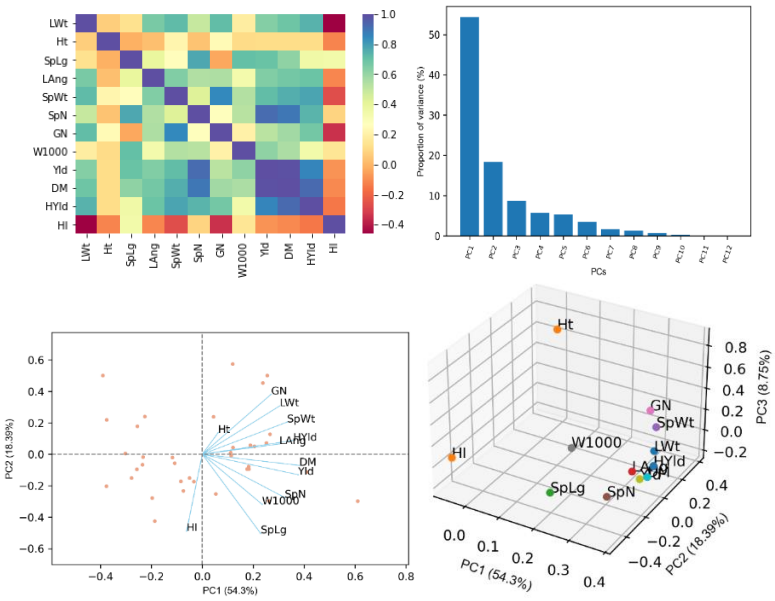
شاخص‌های انتخاب و همچنین بررسی ترکیبی روابط فنوتیپی و ژنوتیپی بین صفات به‌همراه بررسی اثرات متقابل بین این صفات ویژگی‌های ژنوتیپی را در برنامه‌های غربالگری و اصلاحی در تریتیکاله تأیید می‌کند.

جدول ۳- برآوردهای مربوط به خصوصیات ژنوتیپی و فنوتیپی بر اساس داده‌های به‌دست آمده از دو سال کاشت گیاه تریتیکاله

Table 3. Genotypic and phenotypic estimated features based on the data from the both years of study

| صفت (Feature) | واریانس ژنوتیپی Genotypic Variance | واریانس محیطی Environmental variance | واریانس فنوتیپی Phenotypic Variance | وراثت‌پذیری Heritability | ضریب تغییرات فنوتیپی Phenotypic Coefficient of Variation | ضریب تغییرات ژنوتیپی Genotypic Coefficient of Variation | پاسخ به انتخاب Response to Selection |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| وزن برگ (Leaf weight) | 0.000201 | 0.000007 | 0.000209 | 96.53 | 15.21 | 14.94 | 0.0287 |
| ارتفاع گیاه (Plant height) | 20.22 | 1.05 | 21.28 | 95.05 | 3.6 | 3.51 | 9.03 |
| طول سنبله (Spike length) | 128.63 | 1.36 | 129.99 | 98.96 | 13.23 | 13.17 | 23.24 |
| زاویه برگ (Leaf angle) | 2 | 0.09 | 2.08 | 95.8 | 3.82 | 3.74 | 2.85 |
| وزن سنبله (Spike weight) | 0.02 | 0 | 0.02 | 91.99 | 5.54 | 5.32 | 0.25 |
| تعداد سنبله (Spike number) | 3574.76 | 247.82 | 3822.58 | 93.52 | 15.61 | 15.1 | 119.11 |
| تعداد دانه (Seed number) | 8.24 | 0.32 | 8.56 | 96.28 | 6.16 | 6.05 | 5.8 |
| وزن ۱۰۰۰دانه (1000 weight) | 5.84 | 0.28 | 6.12 | 95.43 | 5.51 | 5.39 | 4.86 |
| عملکرد دانه (Grain yield) | 969061.8 | 344330.9 | 1313393 | 73.78 | 13.57 | 11.66 | 1741.89 |
| ماده خشک (Total dry matter) | 1270549 | 382579.4 | 1653128 | 76.86 | 11.43 | 10.02 | 2035.66 |
| عملکرد کاه (Straw yield) | 70712.26 | 420563.6 | 491275.9 | 14.39 | 24.99 | 9.48 | 207.83 |
| شاخص برداشت (Harvest index) | 5.35 | 17.93 | 23.28 | 22.99 | 6.35 | 3.05 | 2.28 |

ارتباط بین صفات اندازه گیری شده در این مطالعه با استفاده از نمودار همبستگی، نمودار بای‌پلات و نمودار تری‌دی‌پلات برگرفته از نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) مورد بررسی قرار گرفت و این نمودارها به‌خاطر خلاصه شدن همه در شکل ۲ به‌صورت مجتمع آورده شده است. این تحلیل‌ها نشان دهنده وجود بیشترین همبستگی عملکرد دانه با وزن کل ماده خشک گیاه بود. تعداد سنبله در گیاه و عملکرد کاه نیز همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دلنه تریتیکاله نشان دادند. همبستگی شاخص برداشت با طول سنبله، تعداد سنبله و وزن ۱۰۰ دانه مثبت و همبستگی آن با سایر صفات منفی بود. بای‌پلات و نمودار تری‌دی‌پلات نتایج تقریباً مشابهی را با نمودار همبستگی نشان دادند، با این‌حال، از آنجاکه سه مؤلفه‌ی اول (PC) در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار بودند و تقریباً بیش از ۸۰ درصد از تنوع بین داده‌ها را تشکیل می‌دهند، می‌توان عنوان نمود که نمودار تری‌دی‌پلات برای تعیین رابطه بین صفات مناسب‌تر است. نمودار تری‌دی‌پلات به‌وضوح نشان می‌دهد که ارتفاع گیاه و شاخص برداشت در جایی دور از صفات دیگر و در نزدیک همدیگر قرار گرفته‌اند که نشان دهنده وجود ارتباط قوی بین این دو صفت است. وزن برگ و زاویه برگ همراه با وزن سنبله و تعداد دانه، نزدیک‌ترین صفات به عملکرد دانه در این نمودار بودند (شکل ۲).




شکل ۲- همبستگی بین صفات‌های اندازه‌گیری شده (گراف A)، اسکری‌پلات مربوط به مؤلفه‌های تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (گراف B)، بای‌پلات حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (گراف C) و تری‌دی‌پلات حاصل از استفاده از سه مؤلفه اول در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (گراف D)

Figure 2. Correlation between the measured features (A), scree plot of principal component analysis (B), 2D-biplot (C) and 3D-biplot of measured features in triticale under different irrigation interval in two years.

*اطلاعات شکل:

وزن برگ (LWT)، ارتفاع بوته (H)، طول سنبله (SpL)، زاویه برگ (LA)، وزن سنبله (SpW)، تعداد سنبله (SpN)، تعداد دانه (SN)، وزن ۱۰۰۰ دانه (۱۰۰۰SW)، ماده خشک کل (DM)، عملکرد کاه (HYld)، عملکرد دانه (Yld) و شاخص برداشت (HI)

نتایج این پژوهش نشان داد که رابطه منفی بین ارتفاع بوته و شاخص برداشت با عملکرد دانه وجود داشت. علاوه بر این، این دو صفت دارای GCV و PCV پایینی بودند که نشان می‌دهد آنها برای استفاده به‌عنوان معیار انتخاب در برنامه‌های اصلاحی تریتیکاله مناسب نیستند. از سوی دیگر، زاویه برگ ارتباط مثبت بالایی با عملکرد دانه نشان داد و همچنین دارای وراثت کافی بود که آن را به یک نامزد مناسب برای استفاده به‌عنوان معیار انتخاب تبدیل می‌کند. در مطالعات مختلفی تأیید شده است که گیاهان از زوایای پایین برگ‌های خود برای محدود کردن تبخیر آب در برگ‌های خود استفاده می‌کنند (Saed-Moucheshi *et al.*, 2021a).

ویژگی‌های مربوط به سنبله گیاه تریتیکاله یعنی وزن سنبله و تعداد سنبله به اضافه تعداد دانه در سنبله، رابطه معنی‌دار و مثبتی با عملکرد دانه نشان دادند. این صفات همچنین وراثت‌پذیری بالایی را در میان تمام ویژگی‌های اندازه‌گیری شده نشان دادند. بنابراین، صفات مرتبط با سنبله گیاهان تریتیکاله از جمله صفات مهم و مناسب برای استفاده به‌عنوان معیار انتخاب در برنامه‌های اصلاحی تریتیکاله در شرایط خشکی و شرایط نرمال هستند. رایسات و همکاران (Riasat *et al.*, 2019؛ سعید موچشی و همکاران (Saed-Moucheshi et al., 2019b) نیز نتایج مشابهی را در ارتباط با صفات مرتبط با سنبله را در گیاه تریتیکاله و انتخاب غیرمستقیم به‌دست آوردند. علاوه بر اهمیت استفاده از صفات اجزای عملکرد برای غربالگری ژنوتیپ‌های مناسب، می‌توان از سایر صفات مربوط به ویژگی‌های بیوشیمیایی و مولکولی برای افزایش عملکرد در نسل‌های بعدی در برنامه‌های اصلاحی سود جست. برای مثال سعید موچشی (Saed-Moucheshi, 2018b) با برآورد وراثت‌پذیری و سایر پارامترهای ژنوتیپی و نشان داد که MDH، محتوای پرولین و SOD ویژگی‌های مهمی هستند که تأثیر معنی‌داری بر عملکرد تریتیکاله دارند. علاوه بر این، مطالعات متعددی در مورد محصولات مختلف وجود دارد که مطابق با نتایج ما در مورد اهمیت انتخاب غیرمستقیم و معیارهای انتخاب بود Ahmad *et al.*, 2010; Lotfi *et al.*, 2010; Riasat *et al.*, 2020; Tabarzad *et al.*, 2017; Vosough *et al.*, 2019; Zahedi *et al.*, 2016). مطالعه زاهدی و همکاران (Zahedi *et al.*, 2016) نشان داد که وزن برگ به‌همراه ارتفاع و همچنین صفت بیوشیمیایی محتوای پرولین، از جمله صفات مؤثر بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم بودند و این صفات را به‌عنوان ویژگی‌های کلندیدی به‌عنوان شاخص انتخاب غیرمستقیم معرفی کردند. در مطالعه وثوق و همکاران (Vosough *et al.*, 2019) صفات مرتبط با سنبله به‌همراه تعدادی صفات بیوشیمیایی به‌عنوان ویژگی‌های مهم تأثیرگذار بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم انتخاب شدند.

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج کلی این مطالعه نشان داد که کاهش تعداد آبیاری و قطع آبیاری در مراحل اولیه رشد سنبله در گیاه تریتیکاله می‌تواند منجر به کاهش شدید بهره‌وری ژنوتیپ‌های تریتیکاله شود. در نتیجه، نحوه و مقدار آبیاری به‌همراه میزان در دسترس بودن آب عامل مهمی برای تعیین نوع برنامه‌های اصلاحی است که مجدداً تأییدی بر اختصاصی بودن برنامه‌های اصلاحی برای مکان‌های متفاوت با شرایط آب و هوایی غیرهمسان است. همچنین برخی از ژنوتیپ‌های مورد استفاده در این پژوهش نشان دادند که دارای پتانسیل بالایی برای معرفی شدن به‌عنوان ارقام جدید دارند. تحت شرایط آبیاری نرمال، ژنوتیپ ET–۸۳–۲۰ و در شرایط کمبود شدید آب ژنوتیپ ET–۸۵–۰۴ عملکرد بهتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها نشان دادند. برآورد ویژگی‌های ژنوتیپی مانند وراثت‌پذیری و ضریب تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی نشان داد که امکان تولید ارقام با بهره‌وری و پتانسیل بالا در شرایط نرمال یا تنش‌زا وجود دارد. علاوه بر این، وراثت بالا و ارتباط قابل‌توجهی با عملکرد دانه برای برخی از صفات مانند وزن سنبله، تعداد سنبله و تعداد دانه نشان داد که می‌توان از این صفات برای غربالگری غیر مستقیم و به‌عنوان معیارهای انتخاب غیرمستقیم سود جست.

## References

Ahmad, P., Jaleel, C. A., Salem, M. A., Nabi, G., & Sharma, S. (2010). Roles of enzymatic and nonenzymatic antioxidants in plants during abiotic stress. *Critical Reviews in Biotechnology*, 30, 161-175.

Aliakbari, M., Saed-Moucheshi, A., Hasheminasab, H., Pirasteh-Anosheh, H., Asad, M. T., & Emam, Y. (2013). Suitable stress indices for screening resistant wheat genotypes under water deficit conditions. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4, 2665-2672.

Bano, H., Athar, H. u. R., Zafar, Z. U., Kalaji, H. M., & Ashraf, M. (2021). Linking changes in chlorophyll a fluorescence with drought stress susceptibility in mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. *Physiologia Plantarum*, 172, 1244-1254.

Barati, A., Arazmjoo, E., Tabatabaei, S. A., & Ghazvini, H. A. (2024). Selection of Barley Genotypes (Hordeum vulgare L.) with High and Stable Grain Yield in Drought Stress Conditions. *Journal of Crop Breeding*, 16, 148-159. [In Persian]

Behera, L., Sharma, S. S., & Samal, K. C. (2020). Role of reactive oxygen species in plant development and its detection assays. *Biotica Research Today*, 2, 789-791.

Chen, Y., Gong, B., Xi, L., Tang, L., Zhu, W., Xu, L., Zeng, J., Wang, Y., Fan, X., and Sha, L. (2019). Effective introgression of wheat D-genome chromosomes into hexaploid triticale (× *Triticosecale Wittm*.) using trigeneric hybrids. *Molecular Breeding*, 39, 83.

Cheniany, M., Ebrahimzadeh, H., Masoudi-nejad, A., Vahdati, K., & Leslie, C. (2010). Effect of endogenous phenols and some antioxidant enzyme activities on rooting of Persian walnut (*Juglans regia* L.). *African Journal of Plant Science*, 4, 479-487.

Daskalova, N., & Spetsov, P. (2020). Taxonomic relationships and genetic variability of wild Secale L. species as a source for valued traits in rye, wheat and triticale breeding. *Cytology and Genetics*, 54, 71-81.

Fan, Z. (2018). Eigenvalues in Multivariate Random Effects Models.

Ghasemi Soloklui, A. A., Gharaghani, A., Oraguzie, N., & Saed-Moucheshi, A. (2018). Heritability and combining ability for cold hardiness from partial dialleles in Iranian pomegranate cultivars. *HortScience*, 53, 427-431.

Grzesiak, S., Grzesiak, M. T., Filek, W., and Stabryła, J. (2003). Evaluation of physiological screening tests for breeding drought resistant triticale (*Triticosecale Wittmack* x). *Acta Physiologiae Plantarum*, 25, 29-37.

Guedes-Pinto, H., Darvey, N., & Carnide, V. P. (2012). "Triticale: today and tomorrow," Springer Science & Business Media, UK, London.

Gundaraniya, S. A., Ambalam, P. S., & Tomar, R. S. (2020). Metabolomic Profiling of Drought-Tolerant and Susceptible Peanut (*Arachis hypogaea* L.) Genotypes in Response to Drought Stress. *ACS omega* 5, 31209-31219.

Jariteh, M., Ebrahimzadeh, H., Niknam, V., Vahdati, K., & Amiri, R. (2011). Antioxidant enzymes activities during secondary somatic embryogenesis in Persian walnut (*Juglans regia* L.). *African Journal of Biotechnology* 10, 4093-4099.

Keshavarznia, R., Farzadi, H., and Aghaee Sarbarzeh, M. (2024). Selection of Superior Durum Wheat Lines in the Warm and Dry Northern Region of Khuzestan Province. *Journal of Crop Breeding*, 16, 93-103. [In Persian]

Lotfi, N., Vahdati, K., Amiri, R., & Kholdebarin, B. (2010). Drought-induced accumulation of sugars and proline in radicle and plumule of tolerant walnut varieties during germination phase. *Acta Horticulturae*, 289-296.

McGoverin, C. M., Snyders, F., Muller, N., Botes, W., Fox, G., & Manley, M. (2011). A review of triticale uses and the effect of growth environment on grain quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91, 1155-1165.

Mergoum, M., Sapkota, S., ElDoliefy, A. E. A., Naraghi, S. M., Pirseyedi, S., Alamri, M. S., & AbuHammad, W. (2019). Triticale (x Triticosecale Wittmack) Breeding. *In* "Advances in Plant Breeding Strategies: Cereals", pp. 405-451. Springer.

Moucheshi, A. S., Heidari, B., & Dadkhodaie, A. (2011). Genetic variation and agronomic evaluation of chickpea cultivars for grain yield and its components under irrigated and rainfed growing conditions. *Iran Agricultural Research*, 29, 39-50.

Pakniyat, H., Saed-Moucheshi, A., & Haddadi, M. H. (2013). Modeling and determination of relationship between kernel yield and its related traits in maize inbred lines and their hybrids using multiple regression and path coefficient analysis. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5, 522.

Patel, A. R., Patel, M. L., Patel, R. K., & Mote, B. M. (2019). Effect of different sowing date on phenology, growth and yield of rice–a review. *Plant Archives*, 19, 12-16.

Pirasteh-Anosheh, H., Saed-Moucheshi, A., Pakniyat, H., & Pessarakli, M. (2016). Stomatal responses to drought stress. *Water Stress and Crop Plants*, 24-40.

Riasat, M., Kiani, S., Saed-Mouchehsi, A., & Pessarakli, M. (2019). Oxidant related biochemical traits are significant indices in triticale grain yield under drought stress condition. *Journal of Plant Nutrition* 42, 111-126.

Riasat, M., Saed-Mouchehsi, A., & Jafari, A. A. (2020). Effect of Drought Stress Levels on Seedling Morpho-physiological Traits of Alfalfa (*Medicago sativa*) Populations grown in Glasshouse. *Journal of Rangeland Science* 10, 86-97.

Saed-Moucheshi, A. (2018a). Evaluation of morphological, physiological, and moleculare characteristics of triticale genotypes under drought stress condition, Shiraz Univarsity, Shiraz.

Saed-Moucheshi, A. (2018b). Evaluation of morphological, physiological, and moleculare characteristics of triticale genotypes under drought stress condition, Shiraz Univarsity, Shiraz.

Saed-Moucheshi, A., Mozafari, A. A., Pessarakli, M., Rezaei Mirghaed, E., Sohrabi, F., Zaheri, S., Barzegar Marvasti, F., & Baniasadi, F. (2022a). Improved strategy of screening tolerant genotypes in drought stress based on a new program in R-language: a practical triticale breeding program. *Journal of Plant Nutrition*, 2023, 1-18.

Saed-Moucheshi, A., Mozafari, A. A., Pessarakli, M., Rezaei Mirghaed, E., Sohrabi, F., Zaheri, S., Barzegar Marvasti, F., & Baniasadi, F. (2023). Improved strategy of screening tolerant genotypes in drought stress based on a new program in R-language: a practical triticale breeding program. *Journal of Plant Nutrition*, 46, 495-512.

Saed-Moucheshi, A., Pessarakli, M., & Heidari, B. (2013). Comparing relationships among yield and its related traits in mycorrhizal and nonmycorrhizal inoculated wheat cultivars under different water regimes using multivariate statistics. *International Journal of Agronomy*, 13, 345-355.

Saed-Moucheshi, A., Pessarakli, M., Mikhak, A., Ostovar, P., & Ahamadi-Niaz, A. (2017). Investigative approaches associated with plausible chemical and biochemical markers for screening wheat genotypes under salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, 40, 2768-2784.

Saed-Moucheshi, A., Pessarakli, M., Mozafari, A. A., Sohrabi, F., Moradi, M., & Marvasti, F. B. (2021a). Screening barley varieties tolerant to drought stress based on tolerant indices. *Journal of Plant Nutrition*, 1-12.

Saed-Moucheshi, A., Pessarakli, M., Mozafari, A. A., Sohrabi, F., Moradi, M., & Marvasti, F. B. (2022b). Screening barley varieties tolerant to drought stress based on tolerant indices. *Journal of Plant Nutrition*, 45, 739-750.

Saed-Moucheshi, A., Razi, H., Dadkhodaie, A., Ghodsi, M., & Dastfal, M. (2019a). Association of biochemical traits with grain yield in triticale genotypes under normal irrigation and drought stress conditions. *Australian Journal of Crop Science*, 13, 272.

Saed-Moucheshi, A., Razi, H., Dadkhodaie, A., Ghodsi, M., & Dastfal, M. (2019b). Association of biochemical traits with grain yield in triticale genotypes under normal irrigation and drought stress conditions. *Australian Journal of Crop Science*, 13, 272-281.

Saed-Moucheshi, A., & Safari, H. (2023). Superoxide Dismutase Enzyme Expression in Root and Shoot of Triticale Seedlings under Drought Stress Conditions. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, 1, 581-595.

Saed-Moucheshi, A., Shekoofa, A., & Pessarakli, M. (2014). Reactive oxygen species (ROS) generation and detoxifying in plants. *Journal of Plant Nutrition*, 37, 1573-1585.

Saed-Moucheshi, A., Sohrabi, F., Fasihfar, E., Baniasadi, F., Riasat, M., & Mozafari, A. A. (2021b). Superoxide dismutase (SOD) as a selection criterion for triticale grain yield under drought stress: a comprehensive study on genomics and expression profiling, bioinformatics, heritability, and phenotypic variability. *BMC Plant Biology*, 21, 1-19.

Sallam, A., Alqudah, A. M., Dawood, M. F. A., Baenziger, P. S., & Börner, A. (2019). Drought stress tolerance in wheat and barley: advances in physiology, breeding and genetics research. *International Journal of Molecular Sciences*, 20, 3137.

Soloklui, A. A. G., Gharaghani, A., Oraguzie, N., Saed-Moucheshi, A., & Vazifeshenas, M. (2019). Genetic diversity, heritability and inter-relationships of fruit quality and taste attributes among Iranian pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars using multivariate statistical analysis. *Fruits, The International Journal of Tropical and Subtropical Horticulture*, 74, 303-318.

Stepochkin, P. I. (2019). Study of 8x and 6x triticale with dominant Vrn genes. *Current Challenges in Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology*, 24, 211.

Tabarzad, A., Ayoubi, B., Riasat, M., Saed-Moucheshi, A., & Pessarakli, M. (2017). Perusing biochemical antioxidant enzymes as selection criteria under drought stress in wheat varieties. *Journal of Plant Nutrition*, 40, 2413-2420.

Vahdati, K., & Lotfi, N. (2013). Abiotic stress tolerance in plants with emphasizing on drought and salinity stresses in walnut. *Abiotic Stress–Plant Responses and Applications in Agriculture* 10, 307-365.

Vahdati, K., Lotfi, N., Kholdebarin, B., Hassani, D., Amiri, R., Mozaffari, M. R., & Leslie, C. (2009). Screening for drought-tolerant genotypes of Persian walnuts (*Juglans regia* L.) during seed germination. *HortScience*, 44, 1815-1819.

Vosough, A., Ghouchani, R., & Saed-Moucheshi, A. (2019). Genotypic variation and heritability of antioxidant related traits in wheat landraces of Iran. *Journal of Crop Breeding and Agronomy*, 7, 43-55.

You, J., Zhang, Y., Liu, A., Li, D., Wang, X., Dossa, K., Zhou, R., Yu, J., Zhang, Y., & Wang, L. (2019). Transcriptomic and metabolomic profiling of drought-tolerant and susceptible sesame genotypes in response to drought stress. *BMC Plant Biology*,19, 1-16.

Zahedi, M. B., Hooman, R., & Saed-Moucheshi, A. (2016). Evaluation of antioxidant enzymes, lipid peroxidation and proline content as selection criteria for grain yield under water deficit stress in barley. *Journal of Applied Biological Sciences*, 8, 71-78.