

Research Paper

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

Hassan Basiri¹, Omid Alizadeh², Forud Bazrafshan³, Mehdi Zare⁴ and
Mohammad Yazdani⁵

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



مقاله پژوهشی

ارتباط ژنوتیپی و فنوتیپی صفات‌های 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 پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۳

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۸

صفحه ۱۰۴ تا ۱۱۶

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: تلاش‌های زیادی برای ترکیب قابلیت‌های متنوع گونه‌های مختلف گیاهی به یک گیاه منحصر به فرد برای افزایش کمیت و کیفیت محصول غذایی انجام شده است. بر این اساس، دانشمندان با استفاده تاقی بین گندم (*Triticum spp*) و چاودار (*Secale cereale*) موفق به تولید تریتیکاله به عنوان یک غله جدید شدند که هدفش افزایش توانایی گندم، به عنوان یکی از مهمترین منابع غذایی در میان غلات در جهان، برای مقاومت در برابر شرایط سخت محیطی مانند تنش خشکی بود. مطالعات مختلف نشان می‌دهد این غله دارای پتانسیل بالایی برای استفاده به عنوان یک محصول چندمنظوره به صورت مصرف مستقیم توسط انسان یا به عنوان یک محصول علفه‌ای است. بنابراین، تریتیکاله را می‌توان به عنوان یک محصول بالقوه با شرایط ژنتیکی ویژه دانست که عملکردش هنوز فاصله زیادی با پتانسیل آن دارد. ایجاد تنوع چه به صورت 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. همچنین گفته می‌شود که قدرت تحمل تنش در ژنوتیپ‌های تریتیکاله نسبت به ژنوتیپ‌های گندم به طور معمول بالاتر است و تریتیکاله در شرایط تنش کمتر تحت تأثیر قرار گرفته و عملکرد آن به نسبت گندم بالاتر خواهد بود. در مطالعه حاضر ژنوتیپ‌های مختلف تریتیکاله تولید شده توسط دانشمندان دخی 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. به علاوه، در این پژوهش رابطه بین صفات مورفولوژیکی و صفات زراعی مرتبط با عملکرد دانه با استفاده از برخی روش‌های آماری پیشرفته به منظور 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 به صورت پیشرفته‌ای مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: به منظور بازتاب اثر کمبود آب بر تریتیکاله و احتمال غربالگری برخی از ژنوتیپ‌های جدید تولید شده در کشور که دارای تحمل تنش مناسبی نسبت به شرایط کمبود آب هستند، مطالعه‌ای بر روی نه (۹) ژنوتیپ تریتیکاله تحت چهار رژیم آبیاری در دو سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ انجام شد. 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 شیر دانه و مرحله خمیر دانه به همراه شرایط شاهد بدون تنش اعمال شد. از طرح اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه بلوک (تکرار) استفاده شد. آزمایش در ایستگاه پژوهشی واقع در مجموعه تحقیقاتی مرتبط با مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی زرکان، 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 به‌دست آمده از این آزمایش ابتدا تحت تجزیه و تحلیل مرکب واریانس قرار گرفتند و بر اساس این محاسبات در نهایت واریانس سال، واریانس محیطی، واریانس ژنوتیپی، واریانس فنوتیپی و واریانس خطای آزمایش تخمین زده شد. تجزیه و تحلیل در نرم‌افزار SAS-9.4-M6 با استفاده از یک کد برنامه‌نویسی ذخیره شده در سایت اینترنتی GitHub انجام گردید.

یافته‌ها: 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 به همراه 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 غیر همسان است. همچنین برخی از ژنوتیپ‌های مورد استفاده در این پژوهش نشان دادند که دارای پتانسیل بالایی برای معرفی شدن به عنوان 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: به صورت 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 به عنوان 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 به عنوان رقم جدید و مناسب در محیط‌هایی با شرایط متغیر کشت شود.

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

مقدمه

تولید محصولات گیاهی در واحد را فراهم آوردند (Vahdati & Lotfi, 2013). تلاش‌های زیادی برای ترکیب قابلیت‌های متنوع گونه‌های مختلف گیاهی به یک گیاه منحصر به فرد برای افزایش کمیت و کیفیت محصول غذایی انجام شده

تقاضای بالا برای محصولات کشاورزی و در نتیجه جمعیت رو به رشد باعث شده است محققان به اعمال و بررسی روش‌های تغییر یافته‌ای بپردازند تا بتوانند راهی برای افزایش

اکسیژن می‌شود (Behera et al., 2020; Cheniany et al., 2010; Saed-Moucheshi et al., 2014). در چنین شرایطی، سیستم‌های دفاعی و مکانیسم‌های 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., 2017; Tabar zad et al., 2022a) 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 آزمایش‌ها 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; Tabar zad et al., 2017) با این حال 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 دخی 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 آبیاری 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 آموزش کشاورزی و منابع طبیعی زرقان، فارس (۵۲°۷۱'۳۵" N، ۲۹°۷۶'۴۲" E 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

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*) یک گونه هگزپلوئیدی (AABBRR) ناشی از تلاقی بین گندم تترپلوئید (T. durum Desf) و چاودار دیپلوئید (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 است (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 گاداس-پینتو (Guedes-Pinto et al., 2012) افزایش میزان مصرف غلات توسط جمعیت رو به‌رشد حدود ۳/۵٪ در سال بوده است، در حالی که 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

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 آمده 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, 2018b; 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/ انجام گردید (Saed-Moucheshi et al., 2023).

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 به طول ۲ متر با فاصله ۲۰ سانتی متر بین ردیف‌ها (۱ متر $\times$ ۲ متر مربع) تشکیل شده است. بذرها در 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 آماری

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

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

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

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 ۱۷-۸۵-ET در شرایط شاهد (آبیاری نرمال) بود. حداقل وزن برگ در هر دو سال در رقم جوانیلو تحت تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی ثبت شد. ژنوتیپ ۲۰-۸۳-ET 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 ۱۷-۸۵-ET تحت قطع آبیاری مرحله گلدهی برای هر دو سال ثبت شد. زاویه برگ با ساقه در ژنوتیپ ۴-۸۵-ET کمترین بود در حال که بیشترین زاویه در ژنوتیپ ۱۵-۹۲-ET در هر دو سال متوالی تحت تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی مشاهده گردید. بیشترین میانگین وزن سنبله و تعداد سنبله در گیاه در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی در رقم پاژ مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با رقم جوانیلو و ژنوتیپ ۱۸-۸۳-ET نشان نداد. در سال اول ژنوتیپ ۲۰-۸۳-ET رتبه اول را برای وزن سنبله و در هر دو سال این ژنوتیپ رتبه اول را برای تعداد

علاوه بر این، تحلیل واریانس و مقایسه میانگین به‌ترتیب توسط proc MEANS و proc GLM 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

جدول ۲ آورده شده است. شاخص برداشت برای اکثر ژنوتیپ‌های تحت هر چهار تیمار تنش آبی اعمال شده مشابه بود و تنوع کمی برای این صفت مشاهده شد. دوره‌های طولانی‌تر خودداری از آبیاری (در مراحل گلدهی و شیرگی دانه) عملکرد کاه تقریباً کمتری نسبت به دو تیمار دیگر در هر دو سال نشان داد، اما تفاوت بین ژنوتیپ‌های تحت هر تیمار معنی‌دار نبود. عملکرد دانه نیز نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌های تریتیکاله و کاهش بیشتر آن در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی نسبت به مرحله شیرگی دانه و همچنین مرحله شیرگی نسبت به مرحله خمیری دانه بود (جدول ۲). ارقام سناباد 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.

سنبله در گیاه در میان ژنوتیپ‌های تریتیکاله به دست آورد. در سال دوم ژنوتیپ ET-۸۵-۴ کمترین وزن سنبله را نشان داد در حالی که جوانیلو کمترین تعداد سنبله را به خود اختصاص داد (جدول ۲). تنوع کمی در ژنوتیپ‌های تریتیکاله تحت تیمارهای مختلف آبیاری با توجه به وزن هزار دانه مشاهده شد. نتایج مشابهی برای تعداد دانه در سنبله به دست آمد، با این حال، تعداد دانه نشان‌دهنده یک الگوی کاهشی معنی‌دار و قابل‌مدل‌سازی در پاسخ به دوره‌های طولانی‌تر از قطع آبیاری بود (جدول ۲). وزن خشک کل گیاه در ژنوتیپ ET-۸۵-۱۷ در هر دو سال حداقل بود، اما رقم تریتیکاله سناباد حداکثر وزن خشک را در هر دو سال نشان داد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر سه طرفه سال در آبیاری در ژنوتیپ برای عملکرد کاه، شاخص برداشت و عملکرد دانه نیز انجام گردید که نتایج آن در ادامه

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	قطع آبیاری در مرحله گلدهی Flowering
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	
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	قطع آبیاری در مرحله شیرگی دانه Milky
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	
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	قطع آبیاری در مرحله خمیری دانه Doughy
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	
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	شاهد Control
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	
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 تربتیکاله
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 Genotype	رژیم آبیاری Irrigation withholds
تعداد سنبله Spike number	وزن سنبله (گرم) Spike weight (g)	زاویه برگ (درجه) Leaf angle (radian)					
401.7c-h	390c-h	2.13i-j	1.94j-l	36.05a-c	35a-b	Sanabad	قطع آبیاری در مرحله گلدهی Flowering
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	
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	قطع آبیاری در مرحله شیری دانه Milky
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-l	2.26c-k	35.36b-c	34a-b	ET-85-4	
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-l	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	قطع آبیاری در مرحله خمیری دانه Doughy
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	
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	شاهد Control
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	
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 تربتیکاله
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 Genotype	رژیم آبیاری Irrigation withholds
ماده خشک (کیلوگرم در هکتار) Total dry matter (kg/ha)	وزن ۱۰۰۰ دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	تعداد دانه Seed number					
9812.88j-n	8920.8j-o	46.92a-e	46a-d	40.4g-g	40g-g	Sanabad	قطع آبیاری در مرحله گلدهی Flowering
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	
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	قطع آبیاری در مرحله شیری دانه Milky
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	
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	قطع آبیاری در مرحله خمیری دانه Doughy
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	
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	شاهد Control
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	
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

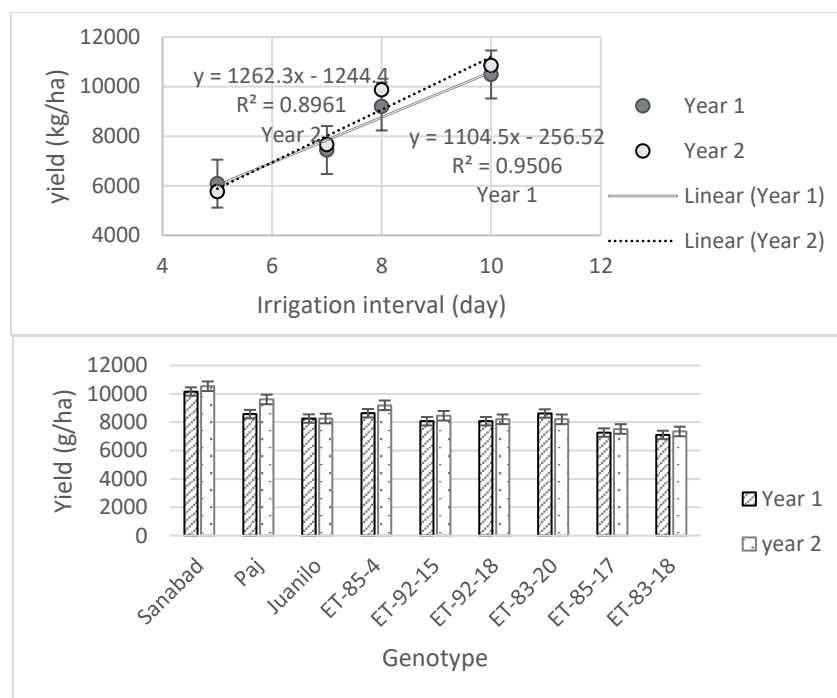
1399	1398	1399	1398	1399	1398	ژنوتیپ	رژیم آبیاری
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (%)	شاخص برداشت (%)	عملکرد کاه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد کاه (کیلوگرم در هکتار)	Genotype	Irrigation withholds
Grain yield (kg/ha)	Grain yield (kg/ha)	Harvest index (%)	Harvest index (%)	Straw yield (kg/ha)	Straw yield (kg/ha)		
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	
6960.17r	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	4777.65q-q	72.42a	71.33a	1969.42d-d	1486.35c-c	ET-85-17	
4946.57t	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 شیرین دانه Milky
7750.82l-o	7525.07l-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	
8595.46l-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	77.29a	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	79.55a	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%)

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 این حال، 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 شیرین، مقادیر صفات مرتبط با عملکرد اندازه‌گیری شده را به‌طور قابل توجهی 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 این حال، 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.

به‌منظور مدل‌سازی رابطه بین عملکرد دانه تریتیکاله و تیمارهای آبیاری، این تیمارها به تعداد آبیاری 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 این حال، خودداری از آبیاری در مراحل آخر یعنی مرحله خمیر باعث کاهش کمتر عملکرد دانه 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 ژنوتیپ‌های 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).



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)

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 به دلیل 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 به عنوان شاخص‌های انتخاب مناسب برای افزایش کارایی انتخاب در برنامه‌های اصلاحی مورد استفاده قرار گیرند. موشچی و همکاران (Moucheshi et al., 2011)، گزسیاک و همکاران (Grzesiak et al., 2003) و سلوکلی 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 به عنوان شاخص‌های مناسب برای انتخاب ژنوتیپ‌های تریتیکاله با عملکرد بالا در شرایط تنش مورد استفاده قرار گیرند. مطالعه ما کارایی استفاده از

پارامترهای ژنتیکی با در نظر گرفتن سال، به عنوان محیط و ژنوتیپ به عنوان 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 دانه تریتیکاله و سایر ویژگی‌های مورفولوژیکی و مرتبط با عملکرد به طور قابل توجهی به اثرات محیط، تیمار و ژنوتیپ به عنوان 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 به صورت دقیق‌تر بررسی و شناسایی کنند. وراثت‌پذیری تقریباً تمام ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، به

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.

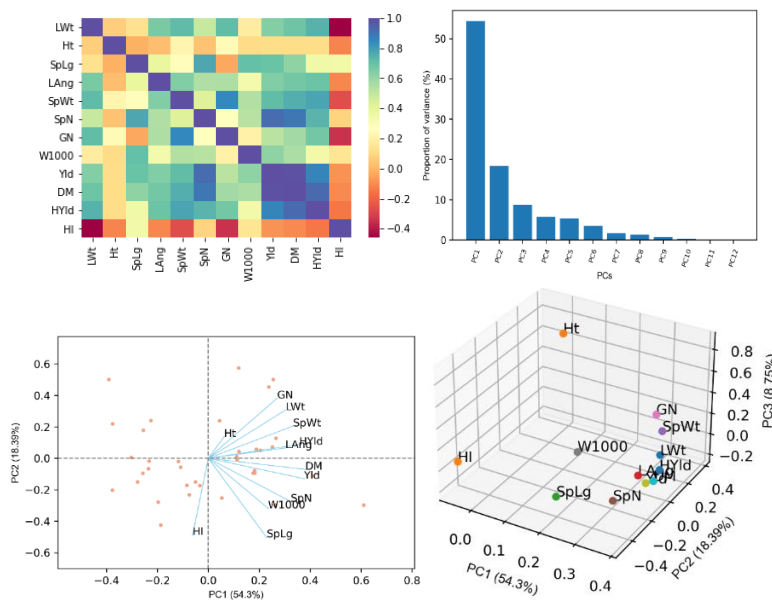
جدول ۳- برآوردهای مربوط به خصوصیات ژنوتیپی و فنوتیپی بر اساس داده‌های به‌دست آمده از دو سال کاشت گیاه تریتیکاله

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

Table 1: Genotypic and phenotypic estimated features based on the data from the both years of study							
پاسخ به انتخاب	ضریب تغییرات ژنوتیپی	ضریب تغییرات فنوتیپی	وراثت‌پذیری	واریانس فنوتیپی	واریانس محیطی	واریانس ژنوتیپی	صفت (Feature)
Response to Selection	Genotypic Coefficient of Variation	Phenotypic Coefficient of Variation	Heritability	Phenotypic Variance	Environmental variance	Genotypic Variance	
0.0287	14.94	15.21	96.53	0.000209	0.000007	0.000201	وزن برگ (Leaf weight)
9.03	3.51	3.6	95.05	21.28	1.05	20.22	ارتفاع گیاه (Plant height)
23.24	13.17	13.23	98.96	129.99	1.36	128.63	طول سنبله (Spike length)
2.85	3.74	3.82	95.8	2.08	0.09	2	زاویه برگ (Leaf angle)
0.25	5.32	5.54	91.99	0.02	0	0.02	وزن سنبله (Spike weight)
119.11	15.1	15.61	93.52	3822.58	247.82	3574.76	تعداد سنبله (Spike number)
5.8	6.05	6.16	96.28	8.56	0.32	8.24	تعداد دانه (Seed number)
4.86	5.39	5.51	95.43	6.12	0.28	5.84	۱۰۰۰ دانه (1000 weight)
1741.89	11.66	13.57	73.78	1313393	344330.9	969061.8	عملکرد دانه (Grain yield)
2035.66	10.02	11.43	76.86	1653128	382579.4	1270549	ماده خشک (Total dry matter)
207.83	9.48	24.99	14.39	491275.9	420563.6	70712.26	عملکرد کاه (Straw yield)
2.28	3.05	6.35	22.99	23.28	17.93	5.35	شاخص برداشت (Harvest index)

مشابهی را با نمودار همبستگی نشان دادند، با این حال، 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).

ارتباط بین صفات اندازه‌گیری 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 دانه 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



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 (SW1000)، ماده خشک کل (DM)، عملکرد کاه (HYld)، عملکرد دانه (Yld) و شاخص برداشت (HI)

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 کلنیدی 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 قلیل‌توجهی 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.

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

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 ($\times$ *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-Moucheshi, 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-Moucheshi, 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 molecular characteristics of triticale genotypes under drought stress condition, Shiraz University, Shiraz.
- Saed-Moucheshi, A. (2018b). Evaluation of morphological, physiological, and molecular characteristics of triticale genotypes under drought stress condition, Shiraz University, 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.
- Tabar zad, 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.