University of Birjand

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

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 16, No. 3, pp. 693-709 (Fall 2023)

https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.4932.2089

Original article

Evaluation of yield and drought tolerance indices in pure and mixed cultivation systems of different cereals under hot and dry ecological conditions

M. Shafiei[1], A. Behpouri[2*], E. Bijanzadeh[3], M. Mirdoraghi[4]

1. Postgraduate student of Agroecology, Darab Faculty of Agriculture and Natural Resources, Shiraz University, Darab, Iran
2. Assistant Professor of Agroecology, Darab Faculty of Agriculture and Natural Resources, Shiraz University, Darab, Iran
3. Associate Professor of Agroecology,Darab Faculty of Agriculture and Natural Resources, Shiraz University, Darab, Iran
4. Former Postgraduate student of Agroecology Department, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, presently, PhD student in Agriculture, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

Received 9 December 2021; Accepted 14 February 2022

Extended abstract

Introduction

Due to the increase in world population and the need for food using traditional agricultural methods does not meet the needs of society. The Food and Agriculture Organization (FAO) predicts that by 2050, 60 percent more food production will be needed to feed the world's 9 billion population. This has concerned agroecologists to sustainable agriculture and encouraged them to do more research and design new sustainable agricultural systems. Therefore, the aim of this study was to examine different mixed cropping systems of cereals and evaluation of different drought tolerance indices using a mixture of winter cereals, wheat, barley and triticale and their response to end-of-season water stress in hot and dry ecological conditions.

Materials and methods

In order to investigate the grain yield and drought tolerance indices of mixed culture of different cereal genotypes to water stress in hot and dry ecological conditions, an experiment was conducted as split plot design based on a randomized complete block design with three replicates during 2017-2018 cropping year in College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University. In this experiment, the first factor was irrigation regime in two levels of normal irrigation and water stress and the second factor was ten cropping systems of genotypes (tall barley line EB-95-97, dwarf barley line EB-95-97, dwarf bread wheat line S-92-19, tall bread wheat cultivar Khalil and a cultivar of Triticale called Juanilo) which were grown as double and pure row culture. Double mixed crops included of: dwarf barley- tall barley (one row of dwarf barley + one row of tall barley), dwarf barley - triticale (one row of dwarf barley + one row of triticale), tall barley - triticale (one row of tall barley + one row of triticale), dwarf wheat - triticale (one row of dwarf wheat + one row of triticale) and tall wheat - triticale (one row of tall wheat + one row of triticale) in a 50:50 planting ratio and their pure cultivation.

Results and discussion

The results of this experiment showed that the highest grain yield was obtained in tall wheat-triticale mixed culture with 9472 kg ha^{-1} under normal irrigation and the lowest grain yield was achieved in pure

* Corresponding author: Ali Behpouri; E-Mail: behpoori@shirazu.ac.ir

© 2023, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

dwarf barley with 3934 kg ha^{-1} under water stress condition. The results of correlation analysis of drought indices showed that positive and significant correlations were observed between STI ($r=0.858^{**}$), GMP ($r=0.747^{*}$) and MP($r=0.801^{**}$) with grain yield under water stress conditions. Alos, positive correlation coefficients were observed between STI ($r=0.884^{**}$), GMP ($r=0.922^{*}$) and MP ($r=0.932^{**}$) with grain yield under normal irrigation conditions. The highest SIIG index in this investigation was observed for dwarf barley-tall barley cropping system which had the minimum yield difference in normal and water stress conditions. 3D-graph of cropping systems using SIIG index indicated that cropping systems of pure tall wheat, pure dwarf wheat and tall barley+triticale mixture demonestraed the highest grain yield both in normal and water stress conditions.

Conclusion

Tall wheat+Triticale mixed culture wheat cultivation system under normal irrigation conditions showed a 16% increase in yield compared to the tall wheat pure cultivation system, while it did not show a significant difference with the Triticale pure cultivation system. Some of the mixed cropping systems such as tall wheat + triticale mixed cropping systems produced higher yields that their pure cultivation systems. Alos, it was concluded that STI, GMP, MP and SIIG were the best drought stress indices to evaluate different cropping systems.

Keywords: Barley, Drought tolerance indices, Mixed cultivation, Triticale, Wheat

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد شانزدهم، شماره سوم، پائیز ۱۴۰۲

https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.4932.2089

مقاله پژوهشی

ارزیابی عملکرد و شاخص‌های تحمل به خشکی در کشت خالص و مخلوط غلات مختلف تحت تنش‌آبی و آبیاری نرمال

مینا شفیعی[۱]، علی بهپوری[۲*]، احسان بیژن‌زاده[۳]، مریم میردورقی[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد بخش اگرواکولوژی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز
۲. استادیار بخش اگرواکولوژی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز
۳. دانشیار بخش اگرواکولوژی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز
۴. دانشجوی سابق مقطع کارشناسی ارشد، گروه کشاورزی آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز و دانشجوی فعلی دکتری کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
تریتیکاله
جو
شاخص‌های تحمل به خشکی
کشت مخلوط
گندم

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۰۹/۱۸

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۱۱/۲۵

چکیده

به‌منظور ارزیابی شاخص‌های مقاومت به خشکی و عملکرد کشت مخلوط غلات مختلف تحت شرایط تنش آبی در شرایط اکولوژیکی گرم و خشک، آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۷-۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز انجام شد. در این آزمایش فاکتور اول رژیم آبیاری در دو سطح آبیاری نرمال و تنش‌آبی و فاکتور دوم ژنوتیپ‌های (لاین جو پابلند EB-95-97، لاین جو پاکوتاه EB-95-97 لاین گندم نان پاکوتاه S-92-19، رقم گندم نان پابلند خلیل و یک رقم تریتیکاله جوانیلو) بودند که به‌صورت سری جایگزینی کشت مخلوط ردیفی دوتایی و خالص کشت شدند. شاخص‌های کمی تحمل به خشکی شامل: شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص تحمل (TOL)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، شاخص عملکرد (YI) در شرایط تنش‌آبی و آبیاری نرمال محاسبه شد. نتایج این آزمایش نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در کشت مخلوط گندم پابلند – تریتیکاله با عملکرد ۹۴۷۲ کیلوگرم در هکتار در شرایط آبیاری نرمال و کمترین عملکرد دانه در کشت خالص جو پاکوتاه در شرایط تنش‌آبی با میانگین ۳۹۳۴ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. سیستم کشت مخلوط گندم پابلند- تریتیکاله تحت شرایط آبیاری نرمال نسبت به سیستم کشت خالص گندم پابلند ۱۶ درصد افزایش عملکرد نشان داد. به‌طورکلی سیستم کشت مخلوط جو پاکوتاه+ جو پابلند با بیشترین مقدار SIIG ۰/۷۳۴ ازنظر تنش خشکی مقاوم‌ترین سیستم کشت مخلوط بود.

مقدمه

ایران ازجمله کشورهای واقع در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان است و بیش از نیمی از سطح آن دارای بارندگی کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر است (Mahdavi-Khorami et al., 2018). کمبود منابع آب، محدودیت اصلی در تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود. هم‌زمانی رشد گیاهان مختلف، حداقل در بخشی از چرخه زندگی (Eskandari and Alizadeh-Amraie, 2017) محدودیت‌های طبیعی در فراهمی آب و محدودیت در ظرفیت ذخیره آب (Kenan et al., 2007) نمونه‌هایی هستند که ضرورت مدیریت منابع آب برای آبیاری گیاهان

* نگارنده پاسخگو: علی بهپوری. پست الکترونیک: behpoori@shirazu.ac.ir

زراعی را نشان می‌دهند. لذا بزرگ‌ترین چالش امروز و دهه‌های آینده، افزایش عملکرد در شرایط وجود تنش‌های محیطی است (Chowdhry et al., 2002).

پیش‌بینی‌ها حاکی از این است که تا دهه ۲۰۵۰ جمعیت روزافزون جهان به ۹ میلیارد نفر افزایش خواهد یافت و علاوه بر افزایش عملکرد گیاهان زراعی، همچنان نگرانی‌ها در مورد امنیت غذایی جهانی است (Rosegrant and Agcaoili, 2010). تقاضای جهانی برای گندم و سایر غلات در حال افزایش است، بنابراین ارائه راهکاری مناسب برای تداوم افزایش تولید گندم به‌منظور تأمین غذا و رفع نیاز جامعه دارای اهمیت زیادی است (Curtis and Halford, 2014). یکی از دلایل اصلی عدم امنیت غذایی در کشورهای درحال‌توسعه عدم پایداری تولید در سامانه‌های تک‌کشتی است، زیرا این سامانه‌های تولیدی، انعطاف‌پذیری پایینی در برابر اختلالات زیست‌محیطی و تنش‌های زیستی از خود نشان می‌دهند (Beddington et al., 2012)؛ بنابراین، دستیابی به راهبردهایی برای کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

کشت مخلوط، یکی از برنامه‌های مدیریت پایدار سیستم‌های کشاورزی است در کشت مخلوط دو یا تعداد بیشتری از گونه‌های گیاهی به‌طور هم‌زمان و در یک مکان رشد می‌کنند، به‌طوری‌که در بیشتر مراحل دوره رویش در مجاورت یکدیگر می‌باشند (Awal et al., 2006). در مناطقی که دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشند کشت مخلوط رایج است و اجرای کشت مخلوط در این مناطق باعث کاهش خطرات احتمالی، افزایش و بهبود حاصلخیزی خاک و حداکثر بهره‌برداری از منابع را به دنبال دارد (Pour Golestani et al., 2015).

با توجه به اینکه، سیستم‌های کشت مخلوط در شرایط اقلیمی خشک به دلیل تفاوت در مورفولوژی ریشه و همچنین عمق توسعه ریشه گیاهانی که در مجاورت یکدیگر قرار دارند و جذب رطوبت بیشتر از خاک باعث می‌شود تنش‌آبی مقدار محصول را به میزان کمتری کاهش دهد (Akunda, 2001). نتایج مطالعه‌ای نشان داد که در مخلوط‌های گندم، تریتیکاله متوسط عملکرد دانه نسبت به کشت خالص گندم بالاتر بود و کمترین عملکرد دانه به تیمار کشت خالص گندم و سطح کود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن از منبع کود اوره معمولی (۴۶ درصد) تعلق داشت. (Faramarzi et al., 2019).

در شرایط تنش کم‌آبی استفاده از کشت مخلوط تأخیری جو و نخود به دلیل دارا بودن کمترین رقابت بین‌گونه‌ای نسبت به رقابت درون‌گونه‌ای، بیشترین نسبت برابری زمین و استفاده بهینه از عوامل محیطی به تولید بالاترین عملکرد نخود منجر شد که می‌تواند برای ایجاد پایداری و ثبات تولید در افزایش بهره‌وری استفاده از زمین‌های کشاورزی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای مؤثر باشد (Mohavieh Asadi et al., 2019). سیستم کشت مخلوط ارقام سیروان، خلیل و لاین S-92-19به دلیل وجود سایه‌انداز موجی شکل و استفاده بهتر از فضا و منابع غذایی در شرایط متغیر محیطی، بیشترین پتانسیل گیاه برای جذب نور، آب و عناصر غذایی را به کار گرفته است که درنهایت باعث افزایش عملکرد کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می‌گردد. عملکرد دانه کشت مخلوط در هر دو شرایط تنش آبی و مطلوب نسبت به کشت خالص برتری نشان داد (Hosseini et al., 2020). میردورقی و همکاران (Mirdoraghi et al., 2020) برتر بودن عملکرد کشت‌های مخلوط دوتایی و چهارتایی را در شرایط آبیاری نرمال و تنش آبی نشان دادند.

مقادیر بالاتر از عدد واحد شاخص تحمل (TOL) نشان‌دهنده حساسیت بیشتر و تحمل کمتر ارقام به تنش خشکی است و هر چه مقدار این شاخص پایین‌تر باشد قابل‌قبول‌تر خواهد بود. فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978) اظهار داشتند معیار تحمل به خشکی، وضعیت عملکرد دانه در شرایط خشک است و شاخص حساسیت به تنش(SSI) را به این منظور پیشنهاد کردند، در مورد شاخص میانگین بهره‌وری (MP)، انتخاب بر اساس مقادیر بالای MP انجام می‌گیرد. شاخص‌های مقاومت به تنش (STI) و میانگین هندسی (GMP) توسط فرناندز (Fernandez, 1992) معرفی شد، مقادیر بالای شاخص STI نشان‌دهنده مقاومت بیشتر به شرایط تنش و عملکرد بالقوه بیشتر است و شاخص GMP در مقایسه با MP قدرت بالاتری در تفکیک ارقام با عملکرد بالا دارد (Abiri et al., 2012). شاخص‌های SSI و GMP برای شناسایی ارقام متحمل به تنش‌آبی در لوبیا مورداستفاده قرار گرفت و مؤثرترین روش برای اصلاح تحمل به تنش انتخاب بر اساس مقادیر بالای GMP و مقادیر پایین SSI است (Ramirez-Vallejo and Kelly, 1998). لین و همکاران (Lin et al.,1986) شاخص عملکرد (YI) ارقام را بر اساس عملکرد در شرایط تنش رتبه‌بندی کرد.

فرناندز (Fernandez, 1992)، در بررسی عملکرد ارقام تحت شرایط تنش‌آبی و بدون تنش‌آبی اظهار داشت که می‌توان پاسخ گیاهان نسبت به دو شرایط محیطی ذکرشده را به شرح زیر به چهار گروه تقسیم کرد: گروه A: ارقامی که در هر دو شرایط محیطی عملکرد زیادی را به خود اختصاص می‌دهند. گروه B: ارقامی که عملکرد آن‌ها فقط در محیط بدون تنش‌آبی افزایش می‌یابد. گروه C: ارقامی که در محیط تنش‌آبی از عملکرد نسبتاً زیادی از خود نشان می‌دهند. گروه D: ارقامی که در هر دو شرایط محیطی تنش‌آبی و عدم تنش‌آبی دارای عملکرد پایین‌تر می‌باشند. همچنین وی گزارش نمود مناسب‌ترین معیار برای تنش‌آبی معیاری است که قادر به تشخیص گروه A از سایر گروه‌های ذکرشده باشد.

عسکر و همکاران (Askar et al., 2011) به‌منظور ارزیابی تحمل ۱۸ ژنوتیپ گندم نان به تنش خشکی پس از مرحله گلدهی، از شاخص‌های STI، TOL، MP و GMP استفاده و لاین‌های C-83-6، C-83-7، C-83-8 را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و لاین C-84-14 را به‌عنوان ژنوتیپ حساس نسبت به تنش خشکی معرفی کردند. بر اساس نتایج محسنی و همکاران (Mohseni et al., 2015) شاخص MP، GMP و YI برای انتخاب ارقامی با پتانسیل عملکرد و پایداری بالا در شرایط تنش‌آبی، مناسب‌ترین شاخص‌ها می‌باشند.

در بیشتر تحقیقات قبلی در مورد ارتباط بین صفات با عملکرد و نهایتاً گروه‌بندی آن‌ها بحث شده است ولی در بسیاری از آن‌ها بحثی در مورد انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها نشده است؛ بنابراین نیاز به روش‌هایی است که بتواند انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب را با توجه به صفات موردبررسی به‌طور مناسبی انجام دهد و شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده آل (SIIG) یکی از این روش‌ها است که می‌تواند علاوه بر انتخاب ژنوتیپ‌های ایده‌آل، فاصله بین ژنوتیپ‌ها را هم مشخص کند (Zali et al., 2015; Zali et al., 2016). به‌طورکلی، شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده آل (SIIG) یک مدل انتخابی است و برای انتخاب ژنوتیپ در شرایط تنش و بدون تنش یا در محیط‌های مختلف استفاده می‌شود.

روش SIIG، برای اولین بار توسط زالی و همکاران (Zali et al., 2015) برای ادغام روش‌های مختلف تجزیه پایداری معرفی شد. شاخص SIIG برگرفته از مدل TOPSIS است و با رتبه‌بندی بر اساس شباهت صورت می‌گیرد که اولین بار به‌وسیله ونگ و یون (Hwang and Yoon, 1981) به‌عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمنظوره معرفی شد. از روش SIIG می‌توان برای اولویت‌بندی و مقایسه بهتر رقم‌های مختلف و انتخاب بهترین ارقام و تعیین فواصل بین ارقام و گروه‌بندی آن‌ها استفاده کرد. ازجمله مزایای این روش آن است که معیارها یا شاخص‌های به‌کاررفته برای مقایسه می‌توانند دارای واحدهای سنجشی مختلفی بوده و دارای پاسخ منفی و مثبت باشند (Zali et al., 2015; Zali et al., 2016). نجفی و همکاران (Najafi et al., 2017) به‌منظور دستیابی به ژنوتیپ‌های پر محصول و سازگار گندم دوروم برای مناطق گرم و خشک کشور، ۱۸ لاین امیدبخش گندم دوروم را به همراه دو رقم شاهد (رقم‌های بهرنگ و چمران) در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی داراب، اهواز، خرم‌آباد و دزفول به مدت دو سال ارزیابی کردند. عملکرد دانه و صفات زراعی لاین‌ها اندازه‌گیری شدند و با توجه به آماره شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده آل (SIIG) شش لاین با بیشترین مقدار این شاخص جزو پایدارترین لاین‌ها ازنظر عملکرد دانه بودند. همچنین، این لاین‌ها کمترین فاصله را از ژنوتیپ ایده آل مثبت (d^+) و بیشترین فاصله را از (d^-) داشتند.

لذا هدف از این آزمایش بررسی عملکرد و شاخص‌های مقاومت به خشکی در کشت خالص و مخلوط غلات مختلف و مقایسه آن‌ها در دو شرایط تنش آبی و آبیاری نرمال در منطقه اکولوژیکی گرم و خشک با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی بود. همچنین در این تحقیق از روش SIIG به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌ها و سیستم‌های کشت متحمل به خشکی استفاده شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب - دانشگاه شیراز واقع در طول جغرافیایی ۵۴/۱۷ و عرض جغرافیایی ۲۸/۴۷ دقیقه با ارتفاعی حدود ۱۱۸۰ متر از سطح دریا و میانگین دمای سالانه ۲۲/۵ درجه سانتی‌گراد و با متوسط بارندگی ۲۵۰ میلی‌متر در سال انجام شد. در این آزمایش فاکتور اول رژیم آبیاری در دو سطح آبیاری نرمال و تنش‌آبی و فاکتور دوم شامل ده سطح از ژنوتیپ‌های (لاین جو پابلند EB-95-97، لاین جو پاکوتاه EB-95-97 لاین گندم نان پاکوتاه S-92-19، رقم گندم نان پابلند خلیل و یک رقم تریتیکاله

جوانیلو) بودند که به‌صورت سری جایگزینی کشت مخلوط ردیفی دوتایی و خالص کشت شدند. کشت‌های مخلوط دوتایی به‌صورت یک‌درمیان ردیفی که شامل: جو پاکوتاه– جو پابلند (یک ردیف جو پاکوتاه+ یک ردیف جو پابلند)، جو پاکوتاه – تریتیکاله (یک ردیف جو پاکوتاه + یک ردیف تریتیکاله)، جو پابلند– تریتیکاله (یک ردیف جو پابلند+ یک ردیف تریتیکاله)، گندم پاکوتاه – تریتیکاله (یک ردیف گندم پاکوتاه+ یک ردیف تریتیکاله) و گندم پابلند – تریتیکاله (یک ردیف گندم پابلند + یک ردیف تریتیکاله) با نسبت کاشت ۵۰:۵۰ و کشت خالص شامل: جو پاکوتاه، جو پابلند، تریتیکاله، گندم پابلند و گندم پاکوتاه با نسبت کاشت ۱۰۰:۰ بود. همچنین خصوصیات بذرهای مورداستفاده بر اساس اطلاعات گرفته‌شده هر ژنوتیپ از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی داراب بوده و در (جدول ۱) ارائه شده است. معیار انتخاب این ژنوتیپ‌ها پتانسیل بالا، مناسب بودن آن‌ها برای کاشت در اراضی واقع در مناطق گرم کشور، عدم ریزش دانه، متحمل بودن به خوابیدگی بوته، متحمل به خشکی و دارا بودن تفاوت‌های فیزیومورفولوژیک بود.

ابعاد کرت‌های آزمایشی ۶ مترمربع (۳×۲) بود که برداشت پس از حذف ردیف‌های حاشیه و ۰/۵ متر ابتدا و انتهای هر کرت، از سطحی به مساحت ۳ مترمربع (۱/۵×۲) انجام شد. هر کرت شامل ۱۰ ردیف بافاصله ۲۰ سانتی‌متر بود. کاشت به‌صورت دستی در تاریخ ۸ آذرماه ۱۳۹۶ انجام شد. عمق کاشت ۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. با توجه به تراکم بوته (۴۰۰ بوته در مترمربع برای جو، ۴۵۰ بوته در مترمربع برای گندم و تریتیکاله)، بذرهای مربوط به هر پلات سری جایگزینی کشت مخلوط ردیفی یک‌درمیان با نسبت کاشت ۵۰:۵۰ و کشت خالص با نسبت کاشت ۱۰۰:۰ (به‌طور دقیق برای هر خط کاشت) قبل از کاشت با توجه به وزن هزار دانه محاسبه و اندازه‌گیری شد و در پاکت‌ها به‌صورت جداگانه قرار داده شدند و به هنگام کاشت بر روی هر پشته که (شامل دو خط کاشت) کشت شدند. عملیات کاشت به‌صورت دستی انجام شد.

اولین آبیاری بلافاصله پس از کشت و به‌صورت غرقابی انجام شد. آبیاری‌های بعدی تا زمان استقرار گیاهچه هر هفته و به مدت ۴ هفته به‌صورت نشتی انجام شد؛ و پس‌ازآن برحسب نیاز گیاه و همچنین پس از هر بار کوددهی انجام شد. میزان آب آبیاری در طول فصل برای ترکیب‌های مختلف جو پاکوتاه–جو پابلند (۳۹۷۸)، جو پاکوتاه – تریتیکاله (۴۳۱۱)، جو پابلند – تریتیکاله (۴۲۰۸)، گندم پاکوتاه– تریتیکاله (۴۴۱۵) و گندم پابلند– تریتیکاله (۴۷۸۳) جو پاکوتاه خالص (۳۹۶۴)، جو پابلند خالص (۴۰۲۶)، تریتیکاله (۴۱۲۷)، گندم پابلند (۴۰۹۴) و گندم پاکوتاه (۳۸۶۱) مترمکعب در تیمارهای تنش آبی و جو پاکوتاه– جو پابلند (۵۹۲۲)، جو پاکوتاه – تریتیکاله (۶۱۱۷)، جو پابلند – تریتیکاله (۶۷۷۱)، گندم پاکوتاه– تریتیکاله (۶۲۱۳) و گندم پابلند– تریتیکاله (۶۹۵۶) جو پاکوتاه خالص (۵۴۳۰)، جو پابلند خالص (۵۶۱۹)، تریتیکاله (۶۵۰۹)، گندم پابلند (۶۳۰۸) و گندم پاکوتاه (۶۳۰۴) مترمکعب برای تیمارهای بدون تنش آبی (نرمال) بود. حجم آب داده‌شده به تیمارها با استفاده از روش علیزاده (Alizadeh, 2006) محاسبه و با استفاده از کنتور انجام گرفت. به‌منظور ایجاد سطوح مختلف رژیم رطوبتی بعد از گلدهی در کرت‌های موردنظر، قطع آبیاری پس از مرحله گل‌دهی در تاریخ ۱۳۹۷/۱/۱۰ در کرت‌های تنش رطوبتی که شامل ژنوتیپ‌های غلات مختلف به‌صورت کشت خالص و مخلوط دوتایی بود اعمال شد و تا پایان فصل رشد آبیاری در کرت‌هایی که تنش رطوبتی اعمال شد، انجام نگرفت.

عملیات سم‌پاشی علیه آفت سن گندم در تاریخ ۲۰ فروردین ۱۳۹۷ (مرحله پس از گلدهی) به‌وسیله سم تیلت با غلظت ۰/۷ در هزار به‌صورت محلول در آب انجام گرفت. برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از شروع آزمایش به شکل تصادفی از چند نقطه مکانی از خاک مزرعه آزمایشی که دارای بافت سیلتی لومی است از دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متر نمونه‌برداری با استفاده از آگر (متر نمونه‌برداری) انجام گرفت و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مشخص شد (جدول ۲) (جدول ۳). با توجه به اطلاعاتی که از نمونه‌برداری خاک محل آزمایش به دست آمد عناصر پتاسیم و فسفر به مقدار کافی در خاک وجود داشت صرفاً کود اوره به میزان ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار به مقدار ۱۵ درصد در زمان کاشت، ۴۰ درصد در زمان پنجه دهی، ۳۰ درصد در زمان ساقه‌دهی، ۱۵ درصد در زمان گلدهی و در هر مرحله قبل از آبیاری به کرت‌های آزمایشی افزوده شد. به‌منظور تعیین عملکرد دانه (عملکرد اقتصادی)، برداشت نهایی گیاه زراعی بعد از حذف ردیف‌های حاشیه از سطحی به مساحت ۲ در ۱/۵ مترمربع (ابعاد کرت‌های آزمایشی ۶ (۳×۲) مترمربع) در تاریخ ۲۲ تا ۲۶ اردیبهشت ۱۳۹۷ به‌صورت دستی انجام شد.

برآورد شاخص‌های تحمل به تنش

به‌منظور ارزیابی ارقام و لاین‌ها و مقایسه شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی از روابط پیشنهادی (۱) تا (۶) استفاده شد.

$$SSI = [1 - (YS / YP)] / SI;\ SI = 1 - \frac{\overline{YS}}{\overline{YP}} \qquad [۱]$$

(Fischer and Maurer, 1978)

$$TOL = YP - YS \qquad [۲]$$

(Hossain *et al.*, 1990)

$$MP = (YP + YS) / 2 \qquad [۳]$$

(Hossain et al., 1990)

$$GMP = \sqrt{Yp \times Ys} \qquad [۴]$$

(Fernandez, 1992).

$$STI = (YS)(YP) / (YP)^2 \qquad [۵]$$

(Fernandez, 1992)

$$Yield\ index\ (YI) = YS/\overline{YS} \qquad [۶]$$

(Gavuzzi et al., 1997)

در روابط فوق شاخص‌های (STI)، (SSI)، (TOL)، (MP)، (GMP)، (YI)، در شرایط تنش آبی و عدم تنش آبی با استفاده از عملکرد دانه (YS) در شرایط تنش آبی، عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال (عدم تنش آبی) (YP) میانگین عملکرد همه ارقام موردمطالعه در شرایط تنش آبی ($\overline{YS}$) و میانگین عملکرد همه ارقام موردبررسی در شرایط آبیاری نرمال (عدم تنش آبی ($\overline{YP}$)) محاسبه شدند.

به‌منظور ادغام شاخص‌های تحمل به خشکی مختلف از روش SIIG استفاده شد که نحوه محاسبه این شاخص به شرح ذیل است:

تشکیل ماتریس داده‌ها

با توجه به تعداد ارقام و تعداد شاخص‌ها یا صفات مختلف موردمطالعه، داده‌ها به‌صورت زیر انجام می‌گیرد.

$$D = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nm} \end{bmatrix} \qquad [۷]$$

در این ماتریس xij مقدار شاخص (صفت) iام (i=1,2,…n) در رابطه با ژنوتیپ jام (j=1,2,...m) است.

تبدیل ماتریس داده‌ها به یک ماتریس نرمال

از رابطه ذیل برای نرمال کردن داده‌ها استفاده می‌شود:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} x_{ij}^2}} \qquad \begin{matrix} i = 1,\ldots, n \\ j = 1, \ldots, m \end{matrix} \qquad [۸]$$

ماتریس R به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdots & R_{1m} \\ R_{21} & R_{22} & \cdots & R_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{n1} & R_{n2} & \cdots & R_{nm} \end{bmatrix} \qquad [۹]$$

پیدا کردن ژنوتیپ ایده‌آل (قوی) و ژنوتیپ غیر ایده‌آل (ضعیف): در این مرحله برای هر شاخص یا صفت به‌طور جداگانه، قوی‌ترین و ضعیف‌ترین ژنوتیپ انتخاب می‌شود.

محاسبه فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ ضعیف

در این مرحله برای هر شاخص، فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل (di+) و ژنوتیپ ضعیف (di-) به ترتیب از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} (r_{ij} - r_j^+)^2} \qquad i = 1, \ldots n \qquad [۱۰]$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} (r_{ij} - r_j^-)^2} \qquad i = 1, \ldots n \qquad [۱۱]$$

در رابطه فوق rij مقدار مطلوب شاخص (صفت) iام (i=1, 2, …, n) در رابطه با ژنوتیپ jام (j=1, 2, ..., m) است. r_i^+ و r_i^- به ترتیب مقدار مطلوب شده ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ ضعیف برای هر شاخص iام (i=1, 2, …, n) است. di^- فاصله از ژنوتیپ ضعیف و di^+ فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل است.

محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)

در آخرین مرحله شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SIIG = (d_i\text{^-})/(d_i\text{^+} + d_i\text{^-}) \quad 0 \le SIIG \le 1 \qquad [۱۲]$$

$$i = 1, 2, \ldots, m$$

بازه مقدار شاخص SIIG بین صفر و یک است و هر چه تیمار موردنظر به ژنوتیپ ایده‌آل باشد مقدار شاخص SIIG آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود.

بر اساس این تکنیک، بهترین و ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها، به ترتیب نزدیک‌ترین و دورترین ژنوتیپ‌ها به ژنوتیپ‌های ایده‌آل است. لازم به توضیح است که در اینجا منظور از ژنوتیپ ایده‌ال هر یک از ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپی فرضی است که

ازنظر صفات موردبررسی در بهترین حالت باشد. درحالی‌که ژنوتیپ ضعیف، ژنوتیپی فرضی است که ازنظر صفات موردبررسی در شرایط مطلوب نباشد (Zali et al., 2015; Zali et al., 2016).

تجزیه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار SAS (ver 9.4) و تجزیه همبستگی صفات با SPSS (ver 23) انجام شد.

جدول ۱. ژنوتیپ‌ها و خصوصیات آن‌ها بر اساس گزارش مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان داراب

Table 1. Genotypes and their characteristics based on the report of Darab Agricultural Research Center

ارقام و لاین‌ها Cultivars and lines	سازگاری اقلیمی Climate adaptation	رسیدگی Maturity	ارتفاع Height	تعداد ردیف در سنبله No. of rows per spike
جو پابلند	گرم	زودرس	پابلند	دو ردیفه
Tall barley EB-95-97	Warm	Early	Tall	Two rows
جو پاکوتاه	گرم	زودرس	پاکوتاه	دو ردیفه
Dwarf barley EB-95-97	Warm	Early	Dwarf	Two rows
گندم نان پاکوتاه	گرم	زودرس	پاکوتاه	
Dwarf bread wheat S-92-19	Warm	Early	Dwarf	–
گندم نان پابلند خلیل	گرم	نسبتاً دیررس	پابلند	
Tall bread wheat Khalil	Warm	Relatively late	Tall	–
تریتیکاله جوانیلو	معتدل	متوسط رس	پابلند	
Triticale Juanilo	Moderate	Ripening	Tall	–

جدول ۲. برخی از خصوصیات شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2. Some chemical properties of the soil at the experimental site

عمق نمونه‌برداری Depth of sampling	اسیدیته Acidity	نیتروژن کل Total nitrogen	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	منگنز Manganese	روی Zinc	مس Copper	آهن Iron
cm		%	---------- mg kg^{-1} ----------					
0-15	7.25	0.14	134.5	27.5	3.85	1.36	1.50	4.15
15-30	7.35	0.15	135	28	1.85	1.66	1.90	6.19

جدول ۳. برخی از خصوصیات فیزیکی خاک محل اجرای آزمایش

Table 3. Some physical properties of the soil at the test site

عمق نمونه‌برداری Depth of sampling	ماده آلی Organic matter	قابلیت هدایت الکتریکی Electrical conductivity	رس Clay	شن Sand	سیلت Silt	رطوبت اشباع Saturated moisture
cm	%		---------- % ----------			
0-15	0.05	7.26	17.78	40.08	39.17	22
15-30	0.04	7.25	17.76	40.06	39.18	23

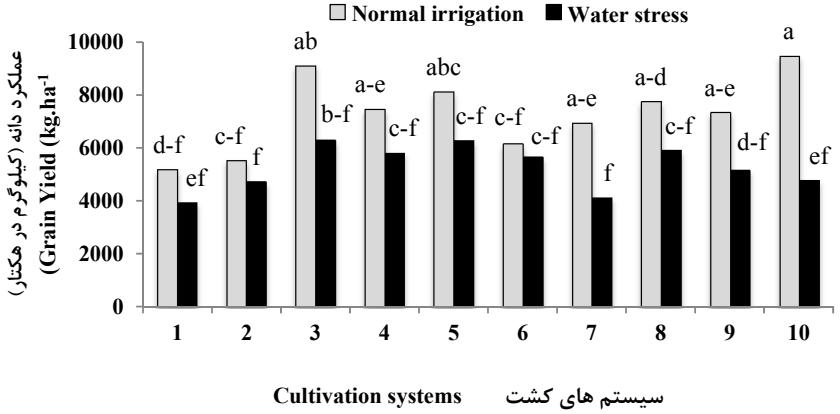
نتایج و بحث

عملکرد دانه

با توجه به مقایسه میانگین اثر متقابل تنش و سیستم‌های کشت بیشترین عملکرد دانه در کشت مخلوط گندم پابلند - تریتیکاله در شرایط آبیاری نرمال با میانگین ۹۴۷۲ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد، همچنین کشت خالص جو پاکوتاه در شرایط تنش آبی کمترین عملکرد دانه را با میانگین ۳۹۳۴ کیلوگرم در هکتار به خود اختصاص داد (شکل ۱). بر اساس نتایج این آزمایش سیستم کشت مخلوط گندم پابلند- تریتیکاله تحت شرایط آبیاری نرمال نسبت به سیستم کشت خالص گندم پابلند ۱۶ درصد افزایش عملکرد نشان داد درحالی‌که با سیستم کشت خالص تریتیکاله تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. مقادیر عملکرد دانه در شرایط (YP) و عملکرد دانه در شرایط (YS) و شاخص‌های ارزیابی مقاومت

به خشکی ژنوتیپ‌های موردمطالعه در (جدول ۵) آمده است. GMP توسط فرناندز (Fernandez, 1992)، معرفی شد. بر اساس این شاخص ژنوتیپ‌های مقاوم‌تر مقادیر بیشتری از این شاخص را دارند. با توجه به نتایج این تحقیق با اعمال تنش خشکی بعد از گلدهی سیستم کشت خالص تریتیکاله با مقدار GMP به میزان ۸ / ۷۵۷۲ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان ژنوتیپ مقاوم به خشکی و سیستم کشت خالص جو پاکوتاه با مقدار ۴۵۱۹/۴۹ کیلوگرم در هکتار از این شاخص به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). همچنین برای شاخص MP نتایج مشابهی بر اساس شاخص GMP حاصل شد. بیشترین شاخص MP در کشت خالص تریتیکاله با مقدار ۷۷۰۲/۵ و کمترین مقدار آن در کشت خالص جو پاکوتاه با مقدار ۴۵۶۳/۰۵ مشاهده شد (جدول ۵).

شاخص YI ارقام را فقط بر اساس عملکرد در شرایط تنش‌آبی اولویت‌بندی می‌کند (Lin et al.,1986). بر این اساس ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش‌آبی و عدم تنش‌آبی را مشخص نمی‌کند (Sio-se Mardeh et al., 2006). بر اساس شاخص YI در این آزمایش، سیستم کشت خالص تریتیکاله شاخص عملکرد بالاتری (۱/۱۹۵) در محیط تنش بود. کمترین مقدار شاخص YI نیز (۰/۷۴) در کشت خالص جو پاکوتاه مشاهده شد (جدول ۵).



شکل ۱. اثر متقابل عامل تنش با سیستم‌های کشت بر عملکرد دانه غلات مختلف. میانگین‌های دارای حروف مشترک دارای اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱٪ نمی‌باشند.

۱: جو پاکوتاه، ۲: جو پابلند، ۳: تریتیکاله، ۴:گندم پاکوتاه، ۵: گندم پا بلند، ۶: جوپاکوتاه+جوپابلند، ۷: جو پاکوتاه+تریتیکاله، ۸: جو پابلند+ترتیتیکاله، ۹: گندم پاکوتاه+ تریتیکاله، ۱۰: گندم پابلند+ تریتیکاله.

Fig. 1. Interaction of stress and cropping systems on grain yield of different cereals. means with the same letters have no significant differences based on LSD test at 1% probability level.
1: Dwarf barley, 2: Tall barley, 3: Triticale, 4: Dwarf wheat, 5: Tall wheat, 6: Dwarf barley+Tall barley, 7: Tall barley+ Triticale, 8: Tall barley+ Triticale, 9: Dwarf wheat+ Triticale, 10: Tall wheat+ Triticale.

بر اساس نتایج این مطالعه سیستم کشت خالص تریتیکاله با مقدار شاخص STI (۱/۰۷ کیلوگرم در هکتار) پایدارترین و سیستم کشت مخلوط جو پاکوتاه با مقدار ۰/۳۸۲ کیلوگرم در هکتار از این شاخص ناپایدارترین ژنوتیپ ازنظر تولید و عملکرد در شرایط تنش‌آبی از مرحله‌ی پس از گلدهی بود (جدول ۵). پژوهشگران دیگر نیز استفاده از شاخص STI را به‌عنوان مهم‌ترین شاخص‌ها معرفی کرده‌اند (Peighambri et al., 2017). گروهی از محققان معتقدند شاخص تحمل به تنش به دلیل همبستگی بالای آن با عملکرد دانه نسبت به سایر شاخص‌ها در گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی موفق‌تر عمل می‌کند (Beshagh et al., 2018).

کاربرد شاخص‌های GMP، MP،YI، STI در انتخاب ارقام متحمل به تنش خشکی در سایر تحقیقات نیز گزارش شده است (Talebi et al., 2009; Askar et al., 2011; Mohammadi et al., 2011). براساس شاخص‌های GMP، MP،YI، STI می‌توان سیستم کشت خالص تریتیکاله و سیستم کشت خالص جو پاکوتاه را به ترتیب به‌عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس به این مرحله از تنش (تنش

خشکی از مرحله پس از گلدهی) معرفی کرد (جدول ۴). سیستم کشت مخلوط گندم پابلند+تریتیکاله با مقدار ۱/۷۷ کمترین مقدار شاخص SSI را نشان می‌دهد همچنین سیستم کشت مخلوط گندم پابلند+تریتیکاله با مقدار ۴۶۹۵ کمترین مقدار شاخص TOL را نشان داد (جدول ۵). که به‌طورکلی نشان‌دهنده این است که این سیستم کشت مخلوط حساسیت کمتری به شرایط تنش آبی دارد.

جدول ۴. تجزیه واریانس تجزیه واریانس اثرعامل تنش و سیستم‌های کشت بر عملکرد و اجزای عملکرد غلات مختلف

Table 4. Analysis of variance Analysis of variance Effect of stress factor and Cultivation systems on yield and yield components of different cereals

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Df	عملکرد دانه در شرایط تنش YS	عملکرد دانه در شرایط نرمال YP	شاخص عملکرد YI	شاخص تحمل به تنش STI
تکرار Replication	2	1470173.37^{ns}	1526317.42^{ns}	0.0014^{ns}	0.0017^{ns}
تنش آبی Water Stress(WS)	1	35450159.23**	36721184.15**	0.0126**	0.0295**
خطای کرت اصلی Main plot error	2	235706.44	278213.19	0.0003	0.0007
سیستم کشت Cultivation systems(CS)	9	5932708.38**	6015714.76**	0.0075**	0.0381**
تنش آبی× سیستم کشت WS × CS	9	5117052.07**	5163150.67**	0.0014**	0.0031**
خطا Error	36	158216.92	162330.20	0.0002	0.0005
ضریب تغییرات CV(%)	-	*7.5*	*5.1*	*1.4*	*3.1*

Table 4. Continued **جدول ۴. ادامه**

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Df	شاخص تحمل TOL	شاخص بهره‌وری متوسط MP	شاخص میانگین هندسی بهره‌وری GMP	شاخص حساسیت به تنش SSI
تکرار Replication	2	1495013^{ns}	1475234^{ns}	1480390.57^{ns}	0.0011^{ns}
تنش آبی Water Stress (WS)	1	20427082**	36072538**	42036122.46**	0.0490**
خطای کرت اصلی Main plot error	2	166250	248900	265107.35	0.0015
سیستم کشت Cultivation systems (CS)	9	4105782**	6006267**	417562.61^{ns}	0.0186**
تنش آبی× سیستم کشت WS × CS	9	3813642*	5134060**	4156395.14**	0.0027*
خطا Error	36	137092	1612687	1830697.82	0.0003
ضریب تغییرات CV(%)	-	*18.2*	*20.2*	*21.89*	*1.82*

*، ** و n.s به ترتب معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

شاخص‌های TOL و SSI در مقایسه با GMP، MP، STI، YI دارای رتبه معکوس هستند. بر اساس شاخص‌های SSI و TOL ممکن است ژنوتیپ‌هایی گزینش می‌شوند که دارای عملکرد پایین در شرایط عدم تنش‌آبی و عملکرد بالا در شرایط تنش‌آبی هستند (Fernandez, 1992). درنهایت ممکن است این شاخص‌ها در تمایز ژنوتیپ‌هایی با عملکرد

بالا کارایی کمتری را نشان دهند (Guttieri et al., 2001). سی‌وسه مرده و همکاران (Sio-se mardeh et al., 2006) اظهار داشتند که شاخص SSI مناسب‌ترین شاخص برای گزینش ارقام مقاومت به خشکی در شرایط تنش شدید خشکی است. بااین‌حال گزارش شده است شاخص SSI نمی‌تواند ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و ژنوتیپ‌هایی را که پتانسیل عملکرد پایینی دارند از هم متمایز کند (Majidi et al., 2011). در یک بررسی رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس شاخص TOL نشان داد که توده کوسه با کمترین افت عملکرد در شرایط تنش به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ براساس شاخص TOL است و در رتبه ۱ قرار گرفت و Ac- stirling حساس‌ترین ژنوتیپ بود و با بالاترین کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش آبی، کمترین تحمل را به شرایط کم‌آبی نشان داد و رتبه ۵ را به خود اختصاص داد (Ghasemi et al., 2016).

جدول ۵. میانگین شاخص‌های اندازه گیری شده سیستم‌های کشت غلات مختلف در شرایط نرمال و تنش آبی و شاخص‌های تحمل به خشکی شده

Table 5. Mean of measured indices of different grain cultivation systems under normal and water stress conditions and drought tolerance indices

Treatment	تیمار	عملکرد دانه در شرایط تنش YS	عملکرد دانه در شرایط نرمال YP	شاخص عملکرد YI	شاخص تحمل به تنش STI
dwarf barley	جو پاکوتاه	3934	5192	0.747	0.382
tall barley	جو پابلند	4722	5533	0.897	0.489
Triticale	تریتیکاله	6295	9110	1.195	1.073
dwarf wheat	گندم پاکوتاه	5810	7473	1.103	0.812
tall wheat	گندم پابلند	6280	8128	1.193	0.955
dwarf barley+tall barley	جو پاکوتاه+جو پابلند	5656	6154	1.074	0.651
dwarf barley+ Triticale	جو پاکوتاه+تریتیکاله	4116	6948	0.782	0.535
tall barley+ Triticale	جو پابلند+ تریتیکاله	5916	7762	1.123	0.859
dwarf wheat+ Triticale	گندم پاکوتاه+ تریتیکاله	5153	7341	0.979	0.708
tall wheat+ Triticale	گندم پابلند+تریتیکاله	4777	9472	0.907	0.846

جدول ۵. ادامه

Table 5. Continued

Treatment	تیمار	شاخص تحمل TOL	شاخص بهره‌وری متوسط MP	شاخص میانگین هندسی بهره‌وری GMP	شاخص حساسیت به تنش SSI
dwarf barley	جو پاکوتاه	1258	4563	4519	0.866
tall barley	جو پابلند	811	5128	5111	0.524
Triticale	تریتیکاله	2815	7703	7573	1.105
dwarf wheat	گندم پاکوتاه	1663	6642	6589	0.795
tall wheat	گندم پابلند	1848	7204	7144	0.813
dwarf barley+tall barley	جو پاکوتاه+جو پابلند	498	5905	5348	0.289
dwarf barley+ Triticale	جو پاکوتاه+تریتیکاله	2832	5532	5900	1.457
tall barley+ Triticale	جو پابلند+ تریتیکاله	1846	6839	6776	0.850
dwarf wheat+ Triticale	گندم پاکوتاه+ تریتیکاله	2188	6247	6150	1.065
tall wheat+ Triticale	گندم پابلند+تریتیکاله	4695	7125	6727	1.772

ضریب همبستگی

تجزیه‌وتحلیل ضریب همبستگی نشان داد که شاخص STI، GMP و MP به ترتیب (r =۰/۸۵۸**)، (r=۰/۷۴۷*) و (r=۰/۸۰۱**) همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط YS نشان دادند. همچنین شاخص STI، شاخص GMP و شاخص MP به ترتیب (r=۰/۸۸۴**)، (r=۰/۹۲۲**) و (r=۰/۹۳۲**) دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط YP می‌باشند (جدول ۶). دانشیان و همکاران (Daneshian et al., 2006) نیز در بررسی ارقام جو همبستگی بالا و مثبتی را بین شاخص‌های STI و GMP را با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش‌آبی و بین چهار شاخص STI، GMP، TOL، MP با عملکرد در شرایط تنش‌آبی گزارش نمودند و نتیجه‌گیری کردند که این شاخص‌ها بهتر از سایر شاخص‌های مقاومت به خشکی می‌توانند عملکرد ژنوتیپ‌ها را در شرایط تنش آبی ارزیابی نمایند. بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین YI و YS (r=۰/۱**) مشاهده شد ($p\leq 0.01$). همچنین بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین MP و YP (r=۰/۹۳۲**) است ($p\leq 0.01$) (جدول ۶). بین شاخص GMP با شاخص‌های MP,STI, YI، شاخص MP با شاخص STI و YI، شاخص STI با شاخص YI، شاخص SSI با شاخص TOL همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۶). فرناندز (Fernandez, 1992) با توجه به نتایج همبستگی بین شاخص‌های TOL، SSI، MP، STI با YS و YP بیان کرد که STI شاخص مناسبی ازلحاظ عملکرد در شرایط تنش‌آبی و بدون تنش‌آبی است. نتایج پژوهشی حاکی از آن بود که شاخص‌های MP، GMP، STI به دلیل همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد در هر دو شرایط تنش‌آبی و بدون تنش‌آبی به‌عنوان بهترین شاخص‌ها برای انتخاب و تعیین ارقام مقاوم کلزا به تنش‌آبی انتهای فصل هستند (Naeemi et al., 2008).

جدول ۶. ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و میانگین عملکرد سیستم‌های کشت غلات مختلف در شرایط نرمال و تنش آبی

Table 6. Correlation coefficients between drought tolerance indices and average yield of different grain cultivation systems under normal and water stress conditions

	عملکرد دانه در شرایط تنش آبی YS	عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال YP	شاخص میانگین هندسی بهره‌وری GMP	شاخص بهره‌وری متوسط MP	شاخص تحمل به تنش STI	شاخص عملکرد YI	شاخص حساسیت به تنش SSI	شاخص تحمل TOL	شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده آل SIIG
YS	1	0.529^{ns}	0.747^{*}	0.801^{**}	0.858^{**}	1.0**	-0.316^{ns}	-0.091^{ns}	0.667^{*}
YP		1	0.922^{**}	0.932^{**}	0.884^{**}	0.529^{ns}	0.624^{ns}	0.797^{**}	-0.266^{ns}
GMP			1	0.970^{**}	0.963^{**}	0.747^{*}	0.380^{ns}	0.551^{ns}	0.035^{ns}
MP				1	0.990^{**}	0.801^{**}	0.305^{ns}	0.523^{ns}	0.098^{ns}
STI					1	0.857^{**}	0.208^{ns}	0.426^{ns}	0.202^{ns}
YI						1	-0.316^{ns}	-0.092^{ns}	0.668^{*}
SSI							1	0.957^{**}	-0.899^{**}
TOL								1	-0.787^{**}
SIIG									1

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود تفاوت معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and**:non-significant and significant at 5% and 1%, respectively

شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده آل (SIIG)

محققان از شاخص‌های تحمل مختلف برای شناسایی ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به خشکی استفاده کرده‌اند. شاخص ژنوتیپ انتخاب ایده آل (SIIG) شاخص دیگری است که می‌تواند با استفاده از همه شاخص‌های دیگر تحمل به خشکی بهترین ژنوتیپ را از نظر تحمل به خشکی شناسایی کند. این روش برای یافتن بهترین سیستم کشت در این مطالعه استفاده شد. محققان می‌توانند با استفاده از شاخص SIIG

مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها را با استفاده از دیگر شاخص‌های مقاوم به خشکی، پارامترهای ثبات یا خصوصیات متفاوت در سایر گیاهان انتخاب کنند. در این مورد، انتخاب ژنوتیپ‌های برتر می‌تواند قابل‌اطمینان‌تر و دقیق‌تر باشد (Zali et al., 2015 and Zali et al., 2016). مراحل محاسبه آن در جداول ۷ و ۸ نشان داده شده است. در جدول ۷، مقادیر نرمال شده شاخص‌های تحمل به ژنوتیپ‌ها و سیستم‌های کشت ارائه شده است. با توجه به اینکه مقدار این شاخص بین صفر تا یک است، سیستم‌های کشتی که مقادیر SIIG آن‌ها نزدیک به یک است به‌عنوان بالاترین (ایده آل) ژنوتیپ‌ها یا سیستم‌های کشت و ژنوتیپ‌ها که مقادیر SIIG آن‌ها نزدیک به صفر است. به‌عنوان یکی از ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها یا سیستم‌های کشت در نظر گرفته می‌شود. در جدول ۷، مقادیر نرمال شده شاخص‌های تحمل به خشکی مانند (GMP)، (TOL)، (MP)، (SSI)، (STI)، (YI)، (YP) و (YS) برای محاسبه شاخص SIIG ارائه شده است.

برای ارزیابی مقاومت به خشکی ژنوتیپ‌ها یا سیستم‌های کشت، از شاخص SIIG مطابق جدول ۸ استفاده شد. شاخص SIIG بر اساس شاخص‌های GMP، TOL، MP، SSI، STI، SSI و YI محاسبه شد. بر اساس نتایج جدول ۷ و ۸ سیستم کشت مخلوط جو پاکوتاه+ جو پابلند با بیشترین مقدار SIIG (۰/۷۳۴) از نظر تنش خشکی مقاوم‌ترین سیستم کشت مخلوط بود. سیستم کشت گندم پابلند+ تریتیکاله دارای کمترین مقدار شاخص SIIG با مقدار (۰/۳۰۳) بود که در مقایسه با سایر سیستم‌های کشت به‌عنوان حساس‌ترین سیستم کشت به تنش خشکی شناخته شد (جدول ۸).

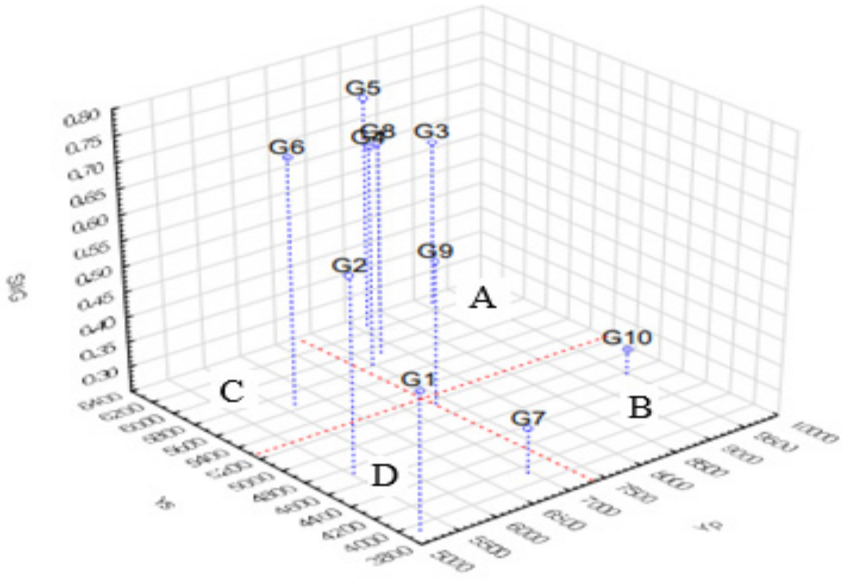
جدول ۷. مقادیر نرمال شده شاخص‌های تحمل به خشکی برای ژنوتیپ‌ها یا سیستم‌های کشت

Table 7. Normalized drought tolerance indices for genotypes or cropping systems

تیمار Treatment	عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال YP	عملکرد دانه در شرایط تنش آبی YS	شاخص عملکرد YI	شاخص تحمل به تنش STI	شاخص تحمل TOL	شاخص بهره‌وری متوسط MP	شاخص میانگین هندسی بهره‌وری GMP	شاخص حساسیت به تنش SS
جو پاکوتاه dwarf barley	0.233	0.220	0.233	0.159	0.169	0.226	0.228	0.264
جو پابلند tall barley	0.280	0.235	0.280	0.203	0.109	0.254	0.258	0.159
تریتیکاله Triticale	0.373	0.387	0.373	0.446	0.380	0.382	0.383	0.337
گندم پاکوتاه dwarf wheat	0.344	0.317	0.344	0.338	0.224	0.330	0.333	0.242
گندم پابلند tall wheat	0.372	0.345	0.372	0.397	0.249	0.358	0.361	0.247
جو پاکوتاه+جو پابلند dwarf barley+tall barley	0.335	0.261	0.335	0.271	0.067	0.293	0.270	0.088
جو پاکوتاه+تریتیکاله dwarf barley+ Triticale	0.244	0.295	0.244	0.222	0.382	0.275	0.298	0.444
جو پابلند+ تریتیکاله tall barley+ Triticale	0.351	0.330	0.351	0.357	0.249	0.340	0.342	0.259
گندم پاکوتاه+ تریتیکاله dwarf wheat+ Triticale	0.305	0.312	0.305	0.294	0.295	0.310	0.311	0.325
گندم پابلند+تریتیکاله tall wheat+ Triticale	0.283	0.402	0.283	0.352	0.633	0.354	0.340	0.540

فرناندز (Fernandez, 1992) توصیف کرد که ژنوتیپ‌ها را می‌توان با توجه به عملکرد آن‌ها در شرایط تنش‌آبی و بدون تنش‌آبی به چهار گروه تقسیم کرد: ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط محیط تنش‌آبی و بدون تنش‌آبی عملکرد بالایی دارند (گروه A)، ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بالایی فقط در شرایط بدون تنش دارند (گروه B)، ژنوتیپ‌هایی که در محیط‌های

دارای تنش فقط عملکرد بالایی دارند (گروه C) و ژنوتیپ‌هایی با عملکرد کم در شرایط تنش و بدون تنش (گروه D). بر این اساس عملکرد دانه سیستم‌های کشت در شرایط YP و شرایط YS و شاخص SIIG در نمودار سه‌بعدی در شکل ۴ نشان داده شده است. گندم پابلند، گندم پاکوتاه و جو پابلند+ تریتیکاله در گروه A نشان‌دهنده این است که در هر دو شرایط محیطی تنش‌آبی و بدون تنش‌آبی عملکرد بالایی را دارا می‌باشند. گندم پابلند+ تریتیکاله و گندم پاکوتاه+ تریتیکاله در گروه B نشان می‌دهد که عملکرد بالایی فقط در شرایط بدون تنش دارند. جو پاکوتاه+ جو پابلند در گروه C نشان می‌دهد که فقط در شرایط تنش‌آبی عملکرد بالایی دارند و جو پاکوتاه، جو پابلند و جو پاکوتاه+تریتیکاله در گروه D نشان می‌دهد که دارای عملکرد کم در شرایط تنش و بدون تنش می‌باشند (شکل ۲).



شکل ۲. نمودار سه‌بعدی سیستم‌های کشت تحمل به خشکی با استفاده از شاخص SIIG، عملکرد در شرایط بدون تنش (YP) و عملکرد در شرایط تنش آبی (YS)

Fig. 2. 3D graph of drought-tolerant cropping systems using SIIG index, yield under non-stress conditions (YP), and yield under water stress conditions (YS)

G1: جو پاکوتاه، G2: جو پابلند، G3: تریتیکاله، G4:گندم پاکوتاه، G5: گندم پا بلند، G6: جوپاکوتاه+جوپابلند، G7: جو پاکوتاه+تریتیکاله، G8: جو پابلند+ترتیتیکاله، G9: گندم پاکوتاه+ تریتیکاله، G10: گندم پابلند+ تریتیکاله.

G1: Dwarf barley, G2: Tall barley, G3: Triticale, G4: Dwarf wheat, G5: Tall wheat, G6: Dwarf barley+Tall barley, G7: Tall barley+ Triticale, G8: Tall barley+ Triticale, G9: Dwarf wheat+ Triticale, G10: Tall wheat+ Triticale.

نتایج این مطالعه نشان داد که شاخص SIIG دارای ضریب همبستگی مثبت با برخی از شاخص‌های مقاومت به خشکی مورداستفاده مانند عملکرد در شرایط (YS) (r=۰/۶۶۷*) و شاخص (YI) (r=۰/۶۶۸**) است (جدول ۶). همچنین با شاخص (TOL) (r=۰/۷۸۷**) و شاخص (SSI) (r=۰/۸۹۹**) همبستگی منفی و معنی‌داری را نشان می‌دهد (جدول ۶). نجفی میرک و همکاران (NajafiMirak et al., 2018) از شاخص SIIG برای ادغام پارامترهای مختلف پایداری در گندم دوروم استفاده کرد و اظهار داشت که شاخص SIIG یک روش مناسب برای ادغام صفات یا شاخص‌های مختلف برای تصمیم‌گیری در انتخاب بهترین ژنوتیپ است.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این مطالعه نشان داد که در منطقه گرم و خشک داراب-شیراز سیستم کشت مخلوط گندم پابلند -تریتیکاله در شرایط آبیاری نرمال باعث افزایش عملکرد کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می‌گردد. سیستم کشت خالص تریتیکاله بر اساس شاخص‌های GMP، MP و STI یک ژنوتیپ مقاوم به خشکی است. سیستم کشت مخلوط جو

پاکوتاه+ جو پابلند با بیشترین مقدار SIIG از نظر تنش خشکی مقاوم‌ترین سیستم کشت مخلوط بود. شاخص‌هایی که همبستگی بالایی با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش دارند به‌عنوان بهترین شاخص‌ها انتخاب شدند زیرا این شاخص‌ها قادر به جداسازی و شناسایی سیستم‌های کشت با عملکرد بالا در هر دو شرایط بودند. بر این اساس شاخص (STI)، شاخص (GMP) و شاخص (MP) به ترتیب (r=۰/۸۵۸**)، (r=۰/۷۴۷*) و (r=۰/۸۰۱**) همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط (YS) نشان دادند. همچنین شاخص (STI)، شاخص (GMP) و شاخص (MP) به (r=۰/۸۸۴**)، (r=۰/۹۲۲**) و (r=۰/۹۳۲**) دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط آبیاری نرمال (YP) می‌باشند. به‌طورکلی شاخص‌های GMP، TOL، MP، SSI، STI، SSI، YI و SIIG مورد ارزیابی قرار گرفتند و مشاهده شد که شاخص‌های GMP، MP، YI و STI و SIIG دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط تنش‌آبی هستند و شاخص‌های GMP، MP، STI و TOL دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد در شرایط بدون تنش می‌باشند که نشان‌دهنده توانایی این شاخص‌ها در انتخاب سیسم های کشت یا ژنوتیپ‌ها با بازده بالا در شرایط تنش و بدون تنش است.

جدول ۸. مقادیر SIIG و فاصله از ژنوتیپ ایده آل یا سیستم‌های کشت (d^+) و فاصله از ژنوتیپ غیر ایده آل (d^-) و رتبه بندی سیستم‌های کشت.

Table 8. SIIG values and distance from ideal genotype or cropping systems (d^+) and distance from non-ideal genotype (d^-) plus ranking of cropping systems.

Treatment	تیمار	d^+	d^-	SIIG	Rating
dwarf barley	جو پاکوتاه	0.494	0.540	0.522	8
tall barley	جو پابلند	0.378	0.654	0.633	5
Triticale	تریتیکاله	0.399	0.551	0.579	6
dwarf whea	گندم پاکوتاه	0.272	0.586	0.682	3
tall wheat	گندم پابلند	0.255	0.616	0.706	2
dwarf barley+tall barley	جو پاکوتاه+جو پابلند	0.272	0.753	0.734	1
dwarf barley+ Triticale	جو پاکوتاه+تریتیکاله	0.583	0.299	0.339	9
tall barley+ Triticale	جو پابلند+ تریتیکاله	0.283	0.576	0.671	4
dwarf wheat+ Triticale	گندم پاکوتاه+ تریتیکاله	0.398	0.460	0.536	7
tall wheat+ Triticale	گندم پابلند+تریتیکاله	0.743	0.322	0.303	10

منابع

Abiri, R., Zebarjadi, A.R., Ghobadi, M., Kafashi, A.K., Atabaki, N., 2012. Determination of advanced drought tolerant and breeder lines in *Hordeum vulgare* L. under Kermanshah conditions. Iranian Journal of Field Crop Science. 43, 175-188. [In Persian with English Summary].

Akunda, E.M., 2001. Intercropping and population density effects on yield component, seed quality and photosynthesis of sorghum and soybean. Journal of Food Technology in Africa. 6, 96 – 100.

Askar, M., Yazdansepas, A. Amini. A., 2011. Evaluation of winter and facultative bread wheat genotypes under irrigated and post-anthesis drought stress conditions. Seed and Plant Improvement Journal. 26, 313-329. [In Persian with English Summary].

Awal, M.A., Kothi, H., Ikeda, T., 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. Agricultural and Forest Meteorology. 139,73-84.

Beddington, J.R., Asaduzzaman, M., Clark, M. E., Bremauntz, A.F., Guillou, M.D., Howlett, J.B., Jahn, M. M., Lin, E., Mamo, T., Negra, C.,

Nobre, A., 2012. What next for agriculture after Durban? Science. 335, 289–290.

Beshagh, B., Sadat Esilan, K., Pezeshkpour, P., 2018. Evaluation of Faba bean genotypes using drought tolerance indices and multivariate statistical methods. Journal of Crop Breeding 10, 1-9. [In Persian with English Summary].

Chowdhry, M.A., Ambreen, A., Khaliq, I., 2002. Genetic control of some polygenic traits in aestivum species. Asian Journal of Plant Science. 1, 235-237.

Curtis, T., Halford, N.G., 2014. Food security: the challenge of increasing wheat yield and the importance of not compromising food safety. Journal of Annals of Applied Biology. 164, 354-372.

Daneshian, J., Ghalebi, S., Jonobi, P., 2006. Evaluation of yield response coefficient and susceptibility and drought tolerance indices in soybean cultivars, Proceedings of 9th Iranian Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding. 28 August. 2006. Abu Reihan Campus, University of Tehran, Iran.

Eskandari, H., Alizadeh-Amraie, A., 2017. Effect of drought stress on germination, growth and yield of Okra. Journal of Water Research in Agriculture. 3, 377-378. [In Persian with English Summary].

Faramarzi, F., Taghizadeh, M.S., Behpoori, A., Afzali Harsini, A., 2019. Effect of cereals intercropping systems and application of nitrogen fertilizer on nitrogen and micronutrients content of weeds shoot and grain yield. Journal of Agroecology.11,171-184. [In Persian with English Summary].

Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, pp: 257-270, 13-16 August, Taiwan.

Fischer, R.A., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Grain yield response. Australian Journal of Agricultural Research. 29, 897-912.

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R.G., Ricciardi, G.L., Borghi, B. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. Plant Science Journal 77, 523- 531.

Ghasemi, S., Sabzalian, M.R., Ehtemam, M.H., Saeidi, GH., 2016. Evaluation of drought tolerance in an interspecific hybrid and some genotypes of safflower using drought resistance indices. Journal of Applied Crop Breeding. 4, 167-181. [In Persian with English Summary].

Guttieri, M.J, Stark, J.C, Brien, K., Souza, E., 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. Crop Science. 41, 327-335.

Hossain, A.B.S., Sears, A.G, Cox, T.S. Paulsen, G.M. 1990. Desiccation tolerance and its relationship to assimilate partitioning in winter wheat. Journal Crop Science. 30, 622-627.

Hosseini, S., Behpouri, A., Bijanzadeh, E., Taghizadeh, M.S., Dastfal, M., 2020. Study of yield and drought tolerance indices in pure and mixed cultivation of bread wheat genotypes under the influence of different amounts of nitrogen. Environmental Stresses in Crop Sciences. 14, 293-307. [In Persian with English Summary].

Hwang, CL., Yoon, K., 1981. Methods for Multiple Attribute Decision Making. In: Multiple Attribute Decision Making. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, vol 186. Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 58–191. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3

Kenan, U., Kill, F., Gencoglan, C., Merdan, H., 2007. Effect of irrigation frequency and amount on water use efficiency and yield of sesame under field condition. Field Crops Research. 101, 249-254.

Lin, C.S., Binns, M.R., Lefkovitch, L.P., 1986. Stability analysis: where do we stand? Crop Sciences. 26, 894-900.

Mahdavi-Khorami, A., Masoud Sinaki, J., Amini Dehaghi, M., Rezvanbidokhti, S., Damavandi, A., 2018. Investigation of relationship between some quantitative and qualitative characteristics affecting sesame yield under nitrogen, potassium and drought stress. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 28, 15-34.

Majidi, M.M., Tavakoli, V., Mirlohi, A., Sabzalian, M.R., 2011. Wild safflower species ('Carthamus oxyacanthus' Bieb.): A possible source of drought tolerance for arid environments. Australian Journal of Crop Science. 5, 1055-1066.

Mirdoraghi, M., Behpoori, A., Taghizadeh, M. S., Bijanzadeh, E., Dastfal, M. 2020. The study of row mixed cropping in Durum wheat

(*Triticum durum*) genotypes underwater deficiency Conditions. Journal of Plant Production Research. 27, 179-196. [In Persian with English Summary].

Mohammadi, M., Karimizadeh, R., Abdipour, M., 2011. Evaluation of drought tolerance in bread wheat genotypes under dryland and supplemental irrigation conditions. Australian Journal of Crop Science. 5, 487-493.

Mohavieh Asadi, N., Bijanzadeh, E., Behpouri, A., 2019. Evaluation of seed yield and competitive indices in relay intercropping of barley (*Hordeum vulgare* L.) with chickpea (*Cicer arietinum* L.) under late season low water stress. Agroecology. 11, 1169-1182. [In Persian with English Summary].

Mohseni, M., Mortazavian, S.M.M., Ramshini, H.A. Foghi, B., 2015. Evaluation of drought tolerance in some wheat genotypes based on selection indices. Iranian Journal of Field Crops Research. 13, 524-542. [In Persian with English Summary].

Naeemi, M., Akbari, Gh.A., Shirani Rad, A.H., Modares Sanavi, S.A.M., Sadat Nouri, S.A., Jabari, H., 2008. Evaluation of drought tolerance in different Canola cultivars based on stress evaluation indices in terminal growth duration. Electronic Journal of Crop Production. 3, 83-98. [In Persian with English Summary].

Najafi, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M., Zali, H., 2017. Stability analysis of grain yield of durum heat romising lines in warm and dry areas using parametric and non-parametric methods. Journal of Crop Production and Processing. 8, 79-96. [In Persian with English Summary].

NajafiMirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M., Zali, H., 2018. Assessment of non-parametric methods in selection of stable genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). Iranian Journal of Crop Science. 19,126-138. [In Persian with English Summary].

Peghambi, S.A., Khani, M.T., Babaei, H.R., Alipour, H., 2018. Evaluation of tolerance to water deficit stress in diverse soybean genotypes. Iranian Journal of Field Crop Science, 48(4), 933-943. [In Persian with English Summary].

Pour Golestani, H., Esmaeili, M., Moghadam, A., Sattarian, A., 2015. Study of pasture species in intercropping and monoculture in semi-arid of gonbade- kavous. Journal of Desert Ecosystem. 8, 93-102. [In Persian with English Summary].

Ramirez-Vallejo, P., Kelly, J.D., 1998. Traits related to drought resistance in common bean. Euphytica. 99, 127-136.

Rosegrant, M.W., Agcaoili, M., 2010. Global food demand, supply, and price prospects to 2010. International Food Policy Research Institute, Washington, DC, USA.

Sio-se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, k., Mohammadi, v., 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Research. 98, 222-229.

Talebi, R., Fayaz, F., Naji, A.M., 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat. General and Applied Plant Physiology. 35, 64-74.

Zali, H., Hassanloo, T., Sofalian, O., Asghari, A., Zeinalabedini, M., 2017. Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in canola. Journal of Crop Breeding. 8, 90-77. [In Persian with English Abstract].

Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asgharii, A., Hoseini, S. M. 2015. Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. In Biological Forum. 1, 703-711.