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

Evaluation of grain yield among wheat cultivars based on drought stress tolerance indices

Hamidreza Nooryazdan[1]

[1] Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture Engineering, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.
Corresponding author. E-mail: hrnooryazdan@pgu.ac.ir

ABSTRACT

Introduction: Drought stress is one of the most significant limiting factors in agricultural production. Numerous quantitative indices have been proposed to assess plant drought tolerance. These indices, which compare plant performance under both stress and non-stress conditions, are valuable tools for evaluating drought-resistant plant varieties.

Materials and methods: Eight wheat cultivars were evaluated in the Dashtestan region of Bushehr Province to assess the impact of drought stress on yield using drought stress indices. The trial was conducted on two adjacent fields, utilizing two irrigation regimes and implementing a 50% drought stress. The experiment was arranged in a randomized complete block design with three replicates during the 2023-2024 growing season. The grain yield per plant was measured using the standard method. After confirming the normality of the data distribution with the Kolmogorov-Smirnov test, an analysis of variance was conducted using SAS software (version 9.4). R software was employed to conduct correlation analysis, principal component analysis, and create scatter plots of the data. Furthermore, a biplot analysis was performed based on the results of the principal component analysis.

Results: The analysis of variance indicated that the imposition of drought stress significantly decreased the grain yield per plant across all cultivars. Under irrigated conditions, Chamran (18.29 g/plant) and Mehrgan (17.96 g/plant) demonstrated the highest grain yields. Conversely, Koohdasht (11.90 g/plant) and Aftab (8.70 g/plant) yielded the most significant amounts under drought stress. Various drought tolerance indices, including TOL, MP, HM, STI, YI, GMP, SSI, YSI, and RSI, were utilized to evaluate the drought tolerance of the cultivars. Correlation analysis revealed a negative relationship between grain yield and the indices TOL, MP, GMP, HM, and STI under well-watered conditions. Furthermore, a negative correlation was also observed between yield and both TOL and SSI. The 3D plot analysis utilizing the studied indices indicated that the cultivars Karim, Dehdasht, and Savarez are not well-suited for cultivation in the Dashtestan region of Bushehr. The Koohdasht cultivar was situated in Region C, adjacent to Region A, as illustrated in the diagram. This positioning suggests that it can endure stress while also thriving under irrigated conditions. Factor analysis of the stress indices revealed the identification of two components that collectively accounted for 99.8% of the total variation. These components were designated as 'yield adaptation to stress' and 'yield adaptation to irrigation'. The biplot of drought tolerance indices indicated that the Karim cultivar was situated in close proximity to the SSI vector, further confirming the cultivar's sensitivity to drought stress. Additionally, the correlation between yield under drought stress and the harmonic mean (HM), relative stress index (RSI), and yield index (YI) suggests that these indices can be considered for cultivar selection in stress conditions.

Conclusion: The results indicated that drought stress significantly reduced grain yield across all wheat cultivars. Chamran and Mehrgan cultivars exhibited the highest yields under well-watered conditions, whereas Koohdasht and Aftab cultivars demonstrated superior performance under various levels of drought stress compared to other cultivars. There was a negative correlation between grain yield and the indices TOL, MP, GMP, HM, and STI under well-watered conditions. Furthermore, a negative correlation was also observed between yield and both TOL and SSI under stress conditions. Due to their sensitivity to drought stress, the cultivars Karim, Dehdasht, and Savarez are unsuitable for cultivation in the Dashtestan region of Bushehr. Performance, harmonic, and relative stress indices are recommended for the selection of drought-tolerant cultivars.

Keywords: Biplot, Drought Stress, Drought Tolerance Indices, Wheat.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 04 Apr 2024, **Revised:** 24 Apr 2024, **Accepted:** 13 Jun 2024, **Published online:** 21 Jun 2024

Cite this article: Nooryazdan, H. (2024). Evaluation of grain yield among wheat cultivars based on drought stress tolerance indices. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, *3*(2), 325-345. DOI: 10.22126/cbb.2024.11052.1081

© The Author(s).
10.22126/cbb.2024.11052.1081

Publisher: Razi University

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

ارزیابی عملکرد دانه برخی ارقام گندم با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی

حمیدرضا نوریزدان[۱]

[۱] گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران.
نویسنده مسئول. رایانامه: hrnooryazdan@pgu.ac.ir

چکیده

مقدمه: تنش خشکی، یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی است. شاخص‌های کمّی متعددی برای ارزیابی تحمل گیاهان به خشکی ارائه شده است. این شاخص‌ها که عملکرد گیاه را در شرایط تنش و بدون تنش مقایسه می‌کنند، ابزاری ارزشمند برای انتخاب گیاهان متحمل به تنش خشکی هستند. با توجه به شرایط اقلیمی منطقه دشتستان، استان بوشهر و وقوع خشکسالی‌های مکرر، این پژوهش به منظور ارزیابی عملکرد ارقام گندم از نظر تحمل به خشکی در این منطقه انجام شد.

مواد و روش‌ها: هشت رقم گندم در منطقه دشتستان استان بوشهر با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی مطالعه شدند. آزمایش در دو زمین مجاور یکدیگر، تحت دو شرایط آبیاری و اعمال تنش ۵۰ درصد، هر کدام در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ اجرا شد. صفت عملکرد دانه در بوته، مطابق روش استاندارد اندازه‌گیری شد. پس از تأیید نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، تحلیل واریانس به کمک نرم‌افزار(9.4) SAS انجام شد. برای انجام تجزیه همبستگی، تجزیه به عامل‌ها و رسم نمودار پراکنش ارقام، از نرم‌افزار R استفاده شد. تحلیل بای‌پلات نیز بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که وقوع تنش خشکی موجب کاهش عملکرد دانه در بوته همه ارقام شد. ارقام چمران (۱۸/۲۹ گرم در بوته) و مهرگان (۱۷/۹۶ گرم در بوته) در شرایط آبیاری کامل و کوهدشت (۱۱/۹۰ گرم در بوته) و آفتاب (۸/۷۰ گرم در بوته) در شرایط تنش خشکی بیشترین عملکرد را داشتند. شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی TOL، MP، HM، STI، YI، GMP، SSI، YSIو RSI برای ارزیابی تحمل ارقام استفاده شدند. ضرائب همبستگی بین YP و شاخص‌های TOL، MP، GMP، HM، STI از نظر آماری معنی‌دار بود. همچنین بین YS و TOL و SSI همبستگی منفی مشاهده شد. نمودار سه بُعدی بر اساس شاخص‌های مورد مطالعه نشان داد که ارقام کریم، دهدشت و ساورز برای کشت در منطقه دشتستان بوشهر مناسب نیستند. رقم کوهدشت در ناحیه C و مجاور ناحیه A نمودار قرار گرفت، بنابراین متحمل به تنش و در شرایط آبی نیز عملکرد مناسبی دارد. با تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های تنش، دو مؤلفه توانستند در مجموع ۹۹/۸۰ درصد تغییرات را تبیین کنند. این دو مؤلفه سازگاری عملکردی به شرایط تنش و آبیاری نامگذاری شدند. نمودار بای‌پلات شاخص‌های تحمل به تنش، نشان داد که رقم کریم در مجاورت بردار SSI قرار گرفت و یکبار دیگر حساسیت این رقم به تنش خشکی را تأیید کرد. همچنین همبستگی بین عملکرد در محیط دارای تنش خشکی و شاخص‌های HM, RSI و YI نشان می‌دهد که شاخص‌های عملکردی، هارمونیک و تنش نسبی را می‌توان برای انتخاب ارقام در شرایط تنش در نظر گرفت.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که تنش خشکی عملکرد همه ارقام گندم را کاهش داد. ارقام چمران و مهرگان در شرایط کشت آبی و کوهدشت و آفتاب در شرایط تنش خشکی مختلف بهترین عملکرد را در مقایسه با بقیه داشتند. شاخص‌های TOL، MP، GMP، HM، STI با عملکرد در شرایط آبیاری همبستگی داشتند. شاخص‌های TOL و SSI با عملکرد در شرایط تنش همبستگی منفی داشتند. بدلیل حساسیت به تنش خشکی، ارقام کریم، دهدشت و ساورز برای کشت در دشتستان بوشهر مناسب نیستند. شاخص‌های عملکردی، هارمونیک و تنش نسبی برای انتخاب ارقام متحمل به تنش خشکی توصیه شدند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، تنش خشکی، شاخص‌های تحمل به تنش، گندم.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

نوع مقاله: دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۶ **اصلاح:** ۱۴۰۳/۰۲/۰۵ **پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۳/۲۴، **انتشار آنلاین:** ۱۴۰۳/۰۴/۰۱

استناد: نوریزدان، ح. (۱۴۰۳). ارزیابی عملکرد دانه برخی ارقام گندم با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی. *بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات*، ۳(۲)، ۳۲۵-۳۴۵. DOI: 10.22126/cbb.2024.11052.1081

ناشر: دانشگاه رازی

© نویسندگان.

مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) به عنوان یکی از مهم‌ترین غلات جهان، نقش اساسی در تأمین امنیت غذایی و تغذیه انسان ایفا می‌کند. این گیاه منبع غنی از کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، مواد معدنی و ویتامین های گروه Bبوده و به عنوان پایه اصلی رژیم غذایی بسیاری از جوامع محسوب می‌شود (Roohi *et al*., 2022). بر اساس گزارش پایگاه اطلاعاتی فائو (Faostat, 2022)، گندم با تولید سالانه ۷۶۰ میلیون تن در سطح ۲۱۹ میلیون هکتار زمین کشت شده و حدود یک پنجم کالری و پروتئین مورد نیاز حدود ۴/۵ میلیارد نفر جمعیت جهان را تامین می‌کند. از طرف دیگر، آب نقش اساسی در تمام فعالیت‌های زیستی از جمله فتوسنتز، تبخیر و تعرق و حفظ ساختار سلولی گیاه ایفا می‌کند. کمبود آب یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده در تولید محصولات کشاورزی است. پدیده افزایش دمای کره زمین، موجب بروز خشکسالی‌های طولانی‌تر و شدیدتری شده و پیامدهای جبران‌ناپذیری برای محیط زیست و انسان به همراه دارد (Yadav *et al*, 2022). بروز تنش خشکی، طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ باعث خسارت ۳۰ میلیارد دلاری به محصولات کشاورزی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه شد (Tihana *et al*., 2019). تنش خشکی منجر به تغییرات مورفولوژیکی قابل توجهی از جمله کاهش ارتفاع بوته، کاهش سطح برگ، کاهش تعداد سنبله و تعداد دانه در هر سنبله در گندم می‌شود. این تغییرات مورفولوژیکی در نتیجه کاهش رشد رویشی و اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه رخ می‌دهند (Ali, 2019). استان بوشهر از جمله استان‌های کم بارش در کشور محسوب می‌شود. این استان با متوسط بارندگی ۲۴۶ میلیمتر از جمله استان‌های با تنش آبی بالا تقسیم‌بندی شده است. بر اساس آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰، سطح زیر کشت گندم آبی و دیم در ایران به ترتیب ۲/۳۷ و ۴/۵۴ میلیون هکتار بوده است. سطح زیر کشت گندم در استان بوشهر در همین سال برابر با ۲۲۰/۶ هکتار گزارش شده است (Ministry of Agricultural Jihad, 2022).

استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش، گامی مؤثر در جهت شناسایی و انتخاب ارقام گندم به شمار می‌رود. این شاخص‌ها با ارائه یک ارزیابی جامع از عملکرد گیاه در شرایط تنش، امکان انتخاب دقیق‌تر ارقام مقاوم به خشکی را فراهم می‌کنند (Anwaar *et al*., 2020). پیش‌بینی دقیق واکنش ارقام مختلف به تنش خشکی، کلید موفقیت در مدیریت تولید محصولات زراعی در شرایط کم‌آبی است. شاخص‌های متعددی در این رابطه معرفی شده است. در مدل پیشنهادی رزایل و هامبلین[1] (۱۹۸۱)، تحمل تنش (TOL)[2]به عنوان پارامتری برای اندازه‌گیری تفاوت در مقدار متغیر وابسته در دو سطح مختلف از متغیر مستقل

[1] Rosielle and Hamblin
[2] Tolerance Index (TOL)

(یعنی شرایط با و بدون تنش) تعریف شد. همچنین میانگین بهره‌وری (MP) [1] به عنوان میانگین مقدار متغیر وابسته در کل مدل در نظر گرفته می‌شود (Nouri *et al*., 2011). فیشر و ماور[2] در سال ۱۹۷۸، شاخص حساسیت تنش ژنوتیپی(SSI)[3] را معرفی کردند. از این شاخص برای ارزیابی ثبات عملکرد استفاده می‌شود. ارقامی که دارای SSI بالاتر از یک هستند، به طور معمول نسبت به خشکی حساس‌تر می‌باشند (Arab *et al*., 2021). فرناندز [4] (۱۹۹۳)، با فرض وجود رابطه مستقیم بین عملکرد بالای رقم در شرایط تنش با مقاوم‌تر بودن آن، شاخص STI [5] را ارائه داد (Fernandez, 1992). به‌طور معمول ترجیح داده می‌شود که در یک مطالعه از شاخص‌های مختلفی استفاده شود (Khodarahmpour *et al*.,2011). در پژوهشی از شاخص‌های تحمل به تنش برای ارزیابی ۳۶ ژنوتیپ گندم استفاده شد (Moghadam *et al*., 2024). در این آزمایش شاخص TOL توانست دو ژنوتیپ حساس به تنش را شناسایی کند. همچنین شاخص‌های MP، GMP [6] و HM [7] برای شناسایی ارقام مقاوم به تنش خشکی استفاده شدند. شاخص‌های MP، GMP، HM و STI [8] مناسب‌ترین شاخص برای شناسایی ژنوتیپ های متحمل به تنش خشکی در ارزیابی ۳۵ لاین خالص گندم نان معرفی شدند (Khojamli *et al*., 2021).

مطالعه فرناندز (۱۹۹۲) نشان داد که ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش، واکنش‌های متفاوتی دارند و به همین دلیل آن‌ها را به چهار گروه تقسیم کرد (Fernandez, 1992). ژنوتیپ‌های گروه A به طور قابل توجهی در هر دو محیط، عملکرد برتری دارند. ژنوتیپ‌هایی که در گروه B قرار می‌گیرند، در محیط عادی عملکرد بالا و در محیط تنش عملکرد پایینی دارند. ژنوتیپ‌های واقع در گروه C در محیط تنش عملکرد خوبی دارند اما در محیط عادی عملکرد مناسبی ندارند. به عبارت دیگر، این ژنوتیپ‌ها به طور خاص برای مقاومت در برابر تنش‌ها سازگار شده‌اند. ژنوتیپ‌هایی که در همه محیط‌ها، عملکرد مناسبی ندارند در گروه D قرار می‌گیرند. در مطالعه یار احمدی و همکاران (۱۳۹۹)، بر روی ۱۳۲ ژنوتیپ گندم نان در دو محیط تنش خشکی و شرایط آبیاری، شاخص‌های TOL و SSI با عملکرد بالا در گروه B ارتباط داشتند (Yarahmadi *et al*., 2020). در مطالعه تنش خشکی بر روی ۱۶ ژنوتیپ گندم دوروم در ایستگاه تحقیقاتی سرارود کرمانشاه شاخص‌های STI, GMP, MP و HM با عملکرد دانه در هر دو محیط دارای تنش خشکی و آبیاری ارتباط مثبت و معنی‌داری داشتند (Pour-Aboughadareh *et al*., 2020).

[1] Mean Productivity (MP)
[2] Fischer and Maurer
[3] Stress Susceptibility Index (SSI)
[4] Fernandez
[5] Stress Tolerance Index (STI)
[6] Geometric Mean Productivity (GMP)
[7] Harmonic Mean (HM)
[8] Stress Tolerance Index (STI)

با توجه به وقوع خشکسالی‌های اخیر، وجود تنش خشکی دائمی در منطقه و تغییرات تدریجی شرایط آب و هوایی در دشتستان استان بوشهر از نظر ناترازی منابع آبی، هدف از این مطالعه، بررسی هشت رقم کشت شده گندم در این منطقه از نظر تحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش در این رابطه بود.

مواد و روش‌ها

هشت رقم گندم شامل چمران، کوهدشت، دهد شت، کریم، قابوس، ساورز، مهرگان و آفتاب از سازمان ج هاد ک شاورزی استان بوشهر تهیه شدند. آز مایش در سال زرا عی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در مزر عه تحقیـ قاتی دان شکده مهند سی ک شاورزی دانشگاه خلیج فارس، واقع در هشت کیلومتری جنوب شرقی مرکز دشتستان بوشهر انجام شد. با فت خاک مزر عه دارای ۱۰/۵ درصد شن، ۴۷ در صد سیلت و ۴۲ در صد رس بود. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح ز مین در اوا یل مهر ماه ان جام شد. کود شیمیایی به م یزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم، ۱۵۰ کیلوگرم در هک تار اوره و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم محاسبه و به زمین داده شد. بخشی از کود از ته به صورت سرک و در مراحل پنجه‌زنی و ساقه‌دهی به ز مین ا ضافه شد. اق لیم کشاورزی منطقه دارای تاب ستان‌های ب سیار گرم و خ شک است. کشت‌ها در ۲۲ آذر ماه انجام شدند. آزمایش در هر دو زمین جداگانه اجرا شد. در هر ز مین ار قام در قا لب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه ت کرار ک شت شدند. فا صله ردیف‌های کاشت ۲۵ سانتی‌متر، عمق کشت پنج سانتی‌متر و تراکم ۳۰۰ دانه در متر مربع در نظر گرفته شد. هر وا حد آزمایشی شامل ۱۴ خط کاشت چهار م تری بود. آزمای شدر یک مزرعه، در مجاورت یکدیگر، هر کدام در قا لب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در زمین اول آبیاری با سیستم قطره‌ای انجام شد. از روش پنمن-مونتیث[1] برای محاسبه میزان آب استفاده شد (Allen *et al.*,1998) . در زمین دوم ارقام پس از استقرار کامل بوته‌ها، تحت تنش ۵۰ درصد خشکی قرار گرفتند. این سطح از تنش آ بی به عنوان نماینده شرایط تنش خشکی در نظر گرفته شد. ا ین سطح از تنش امکان بررسی تأثیرات تنش کم‌آبی بر صفات مورد مطالعه را بدون به خطر انداختن ارقام برای رسیدگی را فراهم کرد. برای ایجاد تنش خشکی، هر ۲۴ ساعت، پس از آب یاری، سه نمو نه خاک از ع مق منط قه ری شه (تا ۲۰ سانتی‌متر) در مکان‌های مختلف در زمین تهیه شد. نمو نه‌ها وزن شده و سپس در آون با د مای ۱۰۰ در جه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا وزن و رطو بت آن ها ا ندازه‌گیری شود. سپس، مقدار رطوبت خاک در ظرفیت مزر عه تع یین شد و مقدار رطوبت اولیه خاک قبل از اعمال تیمارهای با سطوح تنش متفاوت ارزیابی گردید. صفت عملکرد دانه در بو ته، بر اساس روش ا ندازه‌گیری در تو صیف گر گ ندم (IBPGR, 1985) و از میانگین ده بوته تصادفی از هر وا حد آزمای شی

[1] Penman-Monteith

اندازه‌گیری شد. در تجزیه‌های آماری از عملکرد دانه در بوته استفاده و از تبدیل آن به عملکرد در هک تار خودداری شد. کاهش خطای اندازه‌گیری در تبدیل وا حد و ام کان مقای سه دقیق‌تر ارقام بدلیل کوچک‌تر بودن وا حدهای مقای سه‌ای از دلایل این امر بود. انت ظار می‌رود با کن ترل بهت ر عوا مل محیطی در سطوح کوچک‌تر، توا نایی ت شخیص تفاوت های ژنتیکی بین ارقام افزایش یابد. برای کنترل علف‌های هرز در اواخر مرحله پنجه‌زنی از ع لف‌کش تو فوردی ا ستفاده شد. پس از آزمون نر مال بودن داده ها با آز مون کل موگروف- اسمیرنوف، تجزیه واریانس داده ها با نرما فزار (9.4) SAS انجام شد. از نرم‌افزار R برای انجام تجزیه همبستگی، تجزیه بای‌پلات بر مبنای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ر سم ن مودار پراکنش ارقام استفاده شد.

جدول ۱ شاخص‌های کمی استفاده شده در ا ین آز مایش را ن شان می‌د هد. در ا ین جدول Y_S و Y_P به ترت یب نشان‌دهنده عملکرد رقم در شرایط تنش و شرایط مط لوب است. $\bar{Y}_S$ و $\bar{Y}_P$ نیز به‌ترتیب میانگین عمل کرد ه مه ار قام در شرایط تنش و مطلوب است.

جدول ۱ – شاخص‌های کمّی تحمل به تنش استفاده شده در مطالعه

Table 1- Quantitative indices of stress tolerance used in the study

منبع Reference	معادله Equation	شاخص Indices
Ficher &Murer (1978)	$1-\frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P}$	شدت تنش (SI)
Ficher &Murer (1978)	$\frac{1-\frac{Y_S}{Y_P}}{1-\frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P}}$	شاخص حساسیت به تنش (SSI)
Rosielle &Hamblin (1981)	YP-YS	شاخص تحمل (TOL)
Fernandez (1992)	$\frac{(Y_P)(Y_S)}{(\bar{Y}_P)^2}$	شاخص تحمل به تنش (STI)
Rosielle &Hamblin (1981)	$\frac{Y_P+Y_S}{2}$	شاخص بهره‌وری متوسط (MP)
Fernandez (1992)	$\sqrt{Y_P Y_S}$	شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)
Fernandez (1992)	$\frac{(2)(Y_P)(Y_S)}{Y_P+Y_S}$	میانگین هارمونیک (HM)
Gavuzzi (1997)	$\frac{(Y_S)}{\bar{Y}_S}$	شاخص عملکرد (YI)
Bouslama &Schapaugh (1984)	$\frac{(Y_S)}{Y_P}$	شاخص پایداری عملکرد (YSI)
Fischer & Wood (1979)	$\frac{YSI}{\frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P}}$	شاخص تنش نسبی (RSI)

.

جدول ۲- تجزیه مرکب واریانس صفت مورد بررسی در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی ۵۰ درصد

Table 2: Combined Analysis of variance for the studied trait under full irrigation and drought 50% stress conditions

میانگین مربعات Mean squares	درجه آزادی df	منابع تغییرات Sources of Variation
727.27**	1	محیط Condition
0.83	4	خطای ۱ Error 1
28.40**	7	رقم Cultivar
9.63**	7	رقم x محیط Cultivar x Condition
1.08	28	خطای ۲ Error2

** معنی‌دار در سطح آماری یک درصد

** significant at 1% probability levels, respectively

جدول ۳- تجزیه برشی برای مقایسه میانگین صفت مورد بررسی ارقام در دو شرایط مختلف کشت

Table 3- Interaction slicing analysis for comparing cultivars across studied trait within each condition

اسم رقم Cultivar name	محیط اول (آبیاری) First condition (irrigation)	محیط دوم (تنش خشکی ۵۰ درصد) Second condition (drought 50% stress)
آفتاب Aftab	16.64b	8.70b
کریم Karim	14.32c	4.43e
دهدشت Dehdasht	10.93e	3.62e
چمران Chamran	18.29a	7.13d
مهرگان Mehregan	17.96a	8.23bc
ساورز Saverz	12.80d	7.40cd
قابوس GHabous	16.22b	7.14d
کوهدشت Koohdasht	14.95c	11.90a

در هر ستون و هر محیط، میانگین‌های با حروف مشترک در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون **LSmeans** از نظر آماری معنی دار نیستند

In each column and condition, the means with the same letter are not statistically significant,(LSmeans, $P < 0.05$).

نتایج و بحث

به‌طور معمول برای ارزیابی ارقام با استفاده از شاخص‌های تنش فقط از یک صفت استفاده می‌شود. چون اندازه‌گیری صفت در دو زمین جداگانه انجام شده بود پس از اطمینان از همگنی واریانس‌های خطای آزمایش‌های جداگانه (آزمون بارتلت) تجزیه مرکب انجام شد (جدول ۲). بر اساس نتایج

جدول ۲، اثر محیط کشت، رقم و برهمکنش رقم و محیط معنی‌دار شد. برای مقایسه ارقام در هر محیط، تجزیه برشی انجام شد (جدول۳). در شرایط آبیاری کامل ارقام چمران (۱۸/۲۹ گرم در بوته)، مهرگان (۱۷/۹۶ گرم در بوته) و آفتاب (۱۶/۶۴ گرم در بوته) و در شرایط تنش خشکی کوهدشت (۱۱/۹۰ گرم در بوته) و آفتاب (۸/۷۰ گرم گرم در بوته) بیشترین عملکرد دانه در بوته را نشان دادند. تنش خشکی موجب کاهش عملکرد دانه در همه ارقام مورد مطالعه شد (جدول ۳). تنش خشکی به عنوان یک عامل محدودکننده، با تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه، به طور قابل توجهی عملکرد را کاهش می‌دهد (Tabassam *et al.*, 2014).

شاخص‌های تحمل به تنش

از نظر شاخص TOL بیشترین مقادیر متعلق به ارقام چمران (۱۰/۸۳)، کریم (۹/۶) و مهرگان (۹/۴) بود (جدول ۴). در شرایط آبیاری دو رقم چمران و مهرگان بهترین عملکرد را نسبت به بقیه داشتند. اما در شرایط تنش هیچکدام وضعیت مناسبی نداشتند. کمترین مقدار شاخص TOL متعلق به ارقام کوهدشت (۳/۰۵)، ساورز (۵/۴۰) و دهدشت (۷/۳۱) بود (جدول ۴). پایین بودن شاخص TOL نشان دهنده تحمل بالای آن‌ها به خشکی است (Dehghani & Khodadadi, 2018). بنابراین بر اساس این شاخص، کوهدشت متحمل‌ترین رقم گندم در شرایط تنش خشکی بود. باید توجه داشت که وجود مقادیر پایین شاخص TOL تضمینی بر عملکرد برتر رقم در شرایط بدون تنش نیست (Eid & Sabry, 2019). کمااینکه در این آزمایش نیز رقم کوهدشت، رتبه برتری در محیط با آبیاری نداشت (جدول ۳). بر اساس شاخص‌های MP، HM، STI ،YI و GMP، مقادیر بالا نشان دهنده تحمل به تنش است. ارقام کوهدشت، مهرگان و آفتاب متحمل‌ترین ارقام بر اساس این شاخص‌ها بودند (جدول ۴). مقادیر بیشتر و کمتر SSI به ترتیب، نشان‌دهنده حساسیت و تحمل به تنش هستند. بر همین اساس ارقام کوهدشت (۰/۳۹)، ساورز (۰/۸۱) و آفتاب (۰/۹۲) متحمل‌ترین ارقام به شرایط تنش خشکی بودند (جدول ۴). اساس کار شاخص SSI همانند TOL، ارزیابی تغییرات فیزیولوژیکی گیاهان در پاسخ به تنش است (Schneider *et al.*, 1997). در حالیکه عملکرد زراعی تحت تأثیر عوامل متعدد دیگری نیز قرار دارد. دستیابی به مقادیر مطلوب در این شاخص‌ها، همیشه به معنای عملکرد برتر در شرایط مزرعه نیست.

با توجه به نحوه محاسبه شاخص عملکرد (YI) (جدول ۱)، این شاخص به عنوان یک ابزار نسبی برای مقایسه درون‌گروهی ارقام در یک محیط خاص، در تعیین سطوح تحمل به تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاخص پایداری عملکرد (YSI) بیانگر توانایی یک رقم در حفظ عملکرد نسبی خود در مقایسه با سایر ارقام در شرایط مختلف محیطی است. مقادیر نزدیک به عدد یک در YSI نشان

می‌دهد که رقم مذکور کمتر تحت تأثیر تغییرات محیطی قرار گرفته و عملکرد ثابتی از خود نشان داده است. بر این اساس ارقام کوهدشت (۰/۸۰)، ساورز (۰/۵۸) و آفتاب (۰/۵۲) در مقایسه با بقیه وضعیت بهتری داشتند (جدول ۴). با توجه به پایداری عملکرد بالا، رقم کوهدشت می‌تواند گزینه مناسبی برای کشت در مناطقی باشد که تنش‌های محیطی مانند خشکی وجود دارد. شاخص تنش نسبی (RSI) بزرگ‌تر از یک، نشان دهنده تحمل بیشتر رقم به شرایط تنش است. بر این اساس نیز کوهدشت (۱/۶۶)، ساورز (۱/۲۱) و آفتاب (۱/۰۹) تحمل بیشتری به تنش در مقایسه با بقیه ارقام داشتند (جدول ۴). در این آزمایش بر اساس بیشتر شاخص‌های تنش ارقام کوهدشت و آفتاب متحمل‌ترین ارقام نسبت به تنش بودند. این نتایج با رتبه‌بندی ارقام بر اساس آزمون دانکن برای صفت عملکرد، مطابقت داشت (جدول ۳). تطابق بیشتر شاخص‌ها با یکدیگر، نشان از پایداری و انعطاف‌پذیری بالای رقم کوهدشت در برابر تنش خشکی دارد. تطبیق رقم کوهدشت به شرایط محیطی نامساعد و پایداری عملکرد، می‌تواند ناشی از توانایی رقم برای فعال‌سازی هم‌زمان چندین مسیر متابولیکی و فیزیولوژیکی باشد. این مسیرها ممکن است شامل تغییرات هورمونی، تنظیم اسمزی، تغییر الگوی رشد و ساختار ریشه برای جذب آب خاک باشد (Cavatte *et al*., 2012). رقم دهدشت نیز بر اساس شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI حساسیت به شرایط تنش داشت (جدول ۴). در مطالعه تحمل به تنش خشکی رقم گندم در دانشگاه اسماعیله مصر، نیز همچون یافته‌های تحقیق حاضر شاخص‌های GMP, MP و HM به عنوان شاخص‌های مفید برای غربالگری ارقام متحمل به تنش معرفی شدند (Eid & Sabry, 2019). این شاخص‌ها با Y_P وY_S همبستگی داشتند. در مطالعه ۱۲۰ ژنوتیپ گندم از نظر تحمل به تنش خشکی در پنج ایستگاه تحقیقاتی در اتیوپی، شاخص‌های GMP، MP، HM، STI و YI به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای پیش‌بینی تحمل خشکی شناخته شدند زیرا با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند (Semahegn *et al*., 2020).

شاخص‌هایی که در آزمایش‌های مختلف به صورت مشترک مشاهده می‌شوند قابلیت ارزیابی تحمل به تنش خشکی را دارند.

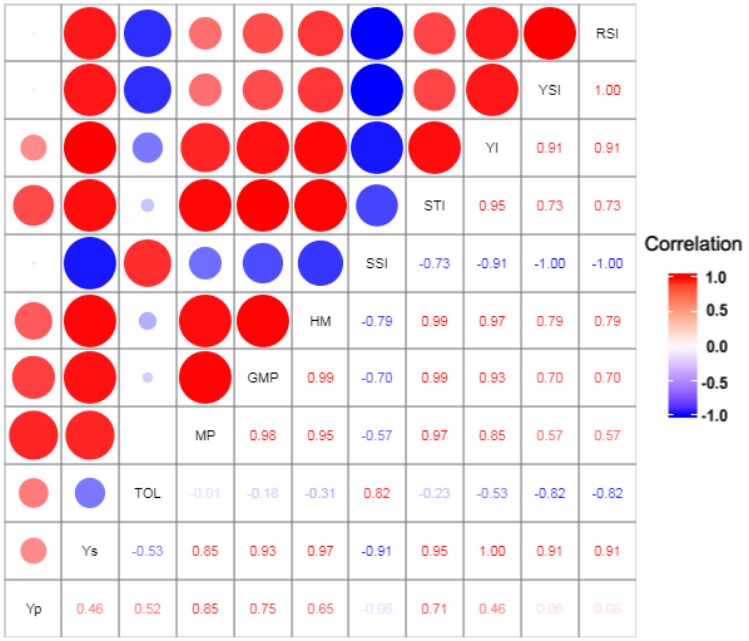
جدول ۴- شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی ارقام گندم در دو محیط مختلف کشت

Table 4- Indices of drought tolerance and susceptibility in wheat cultivars under two contrasting growing conditions.

ارقام Cultivats	عملکرد در شرایط آبیاری(Yp)	عملکرد در شرایط تنش (Ys)	شاخص تحمل (TOL)	شاخص بهره‌وری متوسط (MP)	شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)	میانگین هارمونیک (HM)	شاخص حساسیت به تنش (SSI)	شاخص تحمل به تنش (STI)	شاخص عملکرد (YI)	شاخص پایداری عملکرد (YSI)	شاخص تنش نسبی (RSI)
Aftab	16.64	8.70	7.94	12.67	12.03	11.43	0.92	0.62	1.19	0.52	1.09
Karim	14.32	4.43	9.89	9.38	7.96	6.77	1.33	0.27	0.61	0.31	0.65
Dehdasht	10.93	3.62	7.31	7.28	6.29	5.44	1.28	0.17	0.49	0.33	0.69
Chamran	18.29	7.13	11.16	12.71	11.42	10.26	1.17	0.56	0.97	0.39	0.81
Mehregan	17.96	8.23	9.73	13.10	12.16	11.29	1.04	0.63	1.12	0.46	0.96
Saverz	12.80	7.40	5.40	10.10	9.73	9.38	0.81	0.41	1.01	0.58	1.21
Ghabous	16.22	7.14	9.08	11.68	10.76	9.92	1.08	0.50	0.98	0.44	0.92
Koohdasht	14.95	11.90	3.05	13.43	13.34	13.25	0.39	0.76	1.63	0.80	1.66
	Yield under full irrigation	Yield under drought stress	Tolerance Index (TOL)	Mean Productivity (MP)	Geometric Mean Productivity (GMP)	Harmonic Mean (HM)	Stress Susceptibility Index (SSI)	Stress Tolerance Index (STI)	Yield Index (YI)	Yield Stability Index (YSI)	Relative Strength Index (RSI)

ضرایب همبستگی

به منظور بررسی شاخص‌ها، همبستگی بین صفت اندازه‌گیری شده در دو شرایط مختلف کشت با شاخص‌های مورد مطالعه، انجام شد (شکل ۱). نقشه دمایی بین عملکرد در شرایط آبیاری و تنش با شاخص‌های TOL،MP، GMP، HM، STI نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌دار از نظر آماری بین آن‌ها وجود داشت (شکل ۱). همچنین بین عملکرد در شرایط تنش با شاخص‌های TOL و SSI همبستگی منفی و با شاخص‌هایMP، GMP، HM، STI، YSI و RSI همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (شکل ۱). وجود اشتراک همبستگی معنی‌دار در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش با شاخص‌های TOL،MP، GMP، HM، STI نشان داد که رابطه بین این شاخص‌ها و عملکرد، یک رابطه پایدار و قابل اعتماد است. همبستگی این پنج شاخص با صفت مورد مطالعه در دو محیط، بیانگر توانایی شاخص‌ها در ارزیابی تحمل به تنش هستند. نتایج مشابهی در آزمایش بر روی ژنوتیپ‌های گندم نان در شرایط مختلف رطوبتی بدست آمده است (Khojmeli *et al*., 2021, Akbarabadi *et al*., 2015). همچنین همانند نتایج این تحقیق، آزمایش انجام شده بر روی ارقام گندم نشان داد که شاخص‌هایی که در هر دو شرایط کشت آبی و تنش دارای همبستگی با عملکرد باشند، برای ارزیابی ارقام مناسب هستند (Naghavi *et al*., 2016).

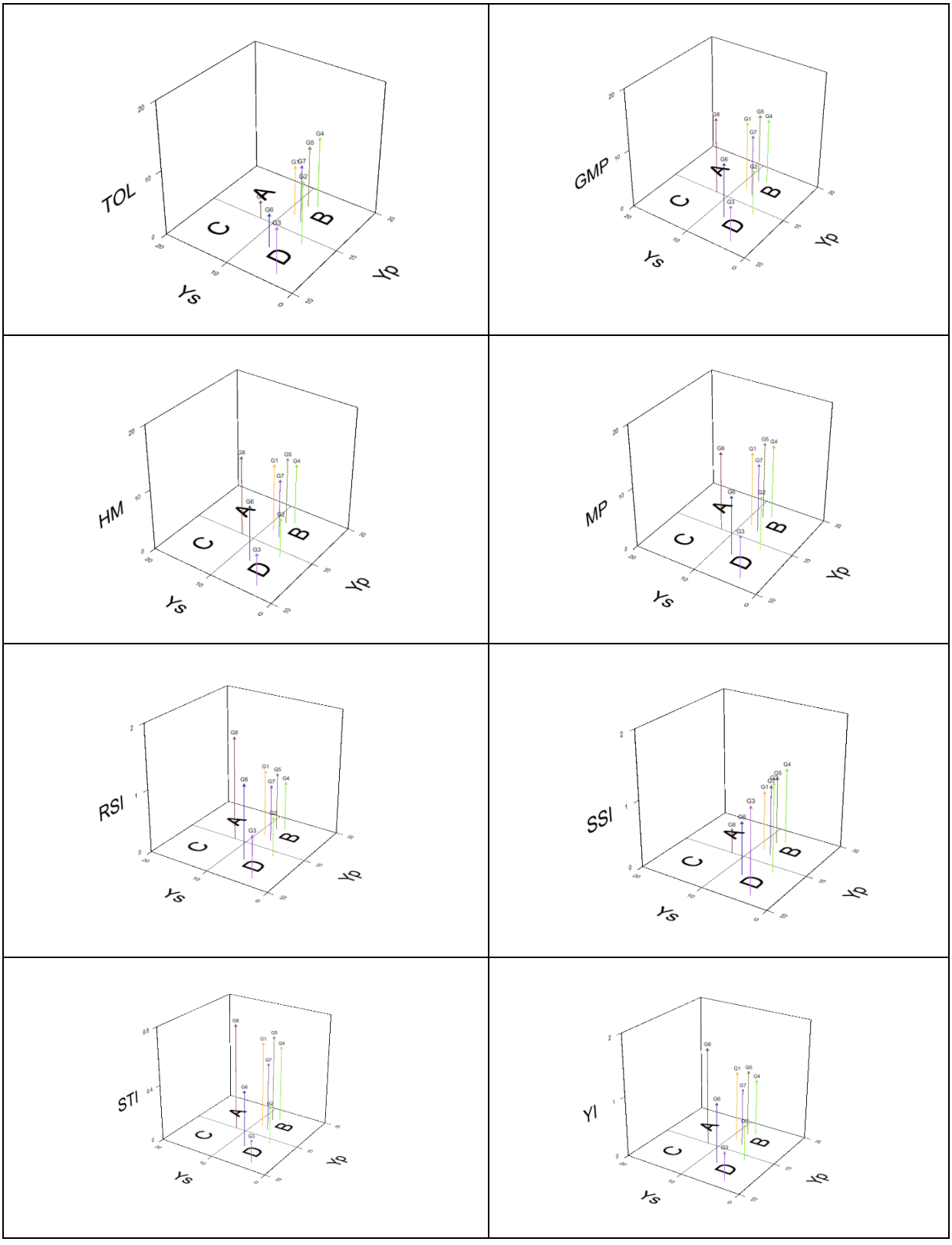


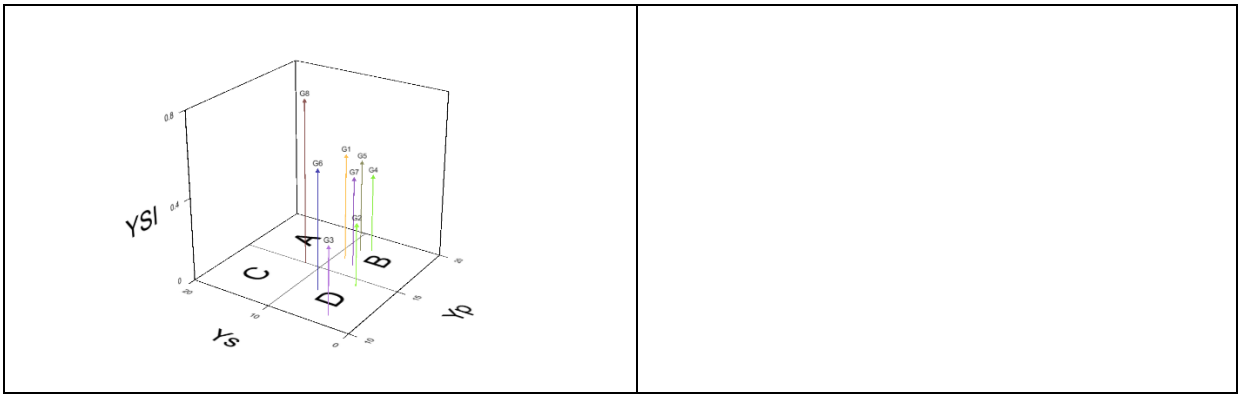
شکل ۱-نقشه دمایی همبستگی بین شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی و عملکرد دانه در دو محیط

Figure 1- A heatmap visualizing the correlations between drought tolerance and sensitivity indices and grain yield under two environmental conditions

نمودار سه بُعدی بر اساس شاخص‌های مورد مطالعه

با استفاده از نمودار سه بُعدی، ارقام در چهار گروه قرار گرفتند (شکل ۲). گروه A شامل ارقام دارای عملکرد بالا در هر دو محیط هستند. در گروه B ارقام دارای عملکرد بالا فقط در محیط نرمال، در گروه C ارقام دارای عملکرد بالا فقط در محیط تنش و در گروه D ارقامی قرار می‌گیرند که در هر دو محیط وضعیت مناسبی ندارند (Fernandez, 1992). بر این اساس رقم کوهدشت در ناحیه C و ارقام کریم، دهدشت و ساورز در ناحیه D قرار گرفتند. بقیه ارقام در ناحیه B گروه‌بندی شدند. هیچیک از ارقام در ناحیه A قرار نگرفتند (شکل ۲). بنابراین با توجه به شرایط کم‌آبی در منطقه دشتستان بوشهر و مناطق مشابه، کشت ارقام کریم، دهدشت و ساورز که در هر دو محیط در مقایسه با بقیه ارقام عملکرد مناسبی نداشتند، توصیه نمی‌شود. رقم کوهدشت در ناحیه C اما مجاور ناحیه A قرار گرفت (شکل ۲). این امر می‌تواند ناشی از اشتراک رقم کوهدشت با ویژگی‌های هر دو ناحیه باشد. به عبارت دیگر رقم کوهدشت، در شرایط آبیاری کامل هر چند در مقایسه با سایر ارقام بالاترین عملکرد را نداشته اما عملکرد متوسطی را می‌تواند ارائه دهد (جدول ۳). بنابراین رقم ارزشمندی برای شرایط محیطی دارای تنش خشکی است. همچنین این رقم با توجه به ویژگی ارائه شده، می‌تواند به عنوان والد در برنامه‌های تلاقی به‌نژادی وارد شود.


TOL
GMP
HM
MP
RSI
SSI
STI
YI
Ys
Yp
A
B
C
D



شکل ۲- نمودار سه بُعدی پراکنش ارقام بر اساس عملکرد در شرایط آبیاری و تنش خشکی و شاخص‌های تحمل به تنش

Figure 1: Three-dimensional scatter plot of cultivars based on yield under irrigated and drought stress conditions and stress tolerance indices.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در ارقام گندم مورد مطالعه را می‌توان در دو مؤلفه اصلی خلاصه کرد. این مؤلفه‌ها بخش قابل توجهی از تنوع موجود در این شاخص‌ها را تبیین می‌کنند (جدول ۵). هدف اصلی از این تجزیه، شناسایی مؤلفه‌ها و بررسی نقش آن‌ها در تحمل ارقام مختلف به تنش خشکی است (Farshadfer & Farshadfer, 2018). با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و با در نظر گرفتن مقدار ویژه بزرگ‌تر از یک به عنوان معیار استخراج مؤلفه‌ها، دو مؤلفه اصلی از داده‌ها استخراج شد (جدول ۵). عامل اول و دوم به ترتیب ۷۶/۵۱ و ۲۳/۲۹ درصد تغییرات را توجیه کردند. ضرایب عاملی بزرگ‌تر از ۰/۵ یا منفی‌تر از آن معنی‌دار در نظر گرفته شدند (Moghadam *et al*, 2024). صرف‌نظر از علامت در مؤلفه اول بیشترین ضرایب مربوط به عملکرد در شرایط تنش و شاخص‌های MP, GMP, HM, STI, YI, RSI (با مقادیر مثبت) و شاخص SSI (با مقادیر منفی) بود. این مؤلفه سازگاری عملکردی به شرایط تنش نامیده شد. این نامگذاری اشاره به توصیف توانایی رقم در حفظ یا بهبود عملکرد خود در شرایط نامطلوب محیطی دارد. به عبارت دیگر ارقامی که مقادیر بالای شاخص‌های بهره‌وری و مقدار کمتر شاخص SSI داشته باشند، در شرایط تنش عملکرد بهتری خواهند داشت. در مؤلفه دوم عملکرد در شرایط آبیاری و شاخص TOL ضرایب عاملی بالایی دارند. این مؤلفه سازگاری عملکردی به شرایط آبیاری نامگذاری شد. به عبارت دیگر، ارقام با بارگذاری بالا در مؤلفه دوم، عملکرد بیشتری در شرایط آبیاری دارند. این تحلیل نشان

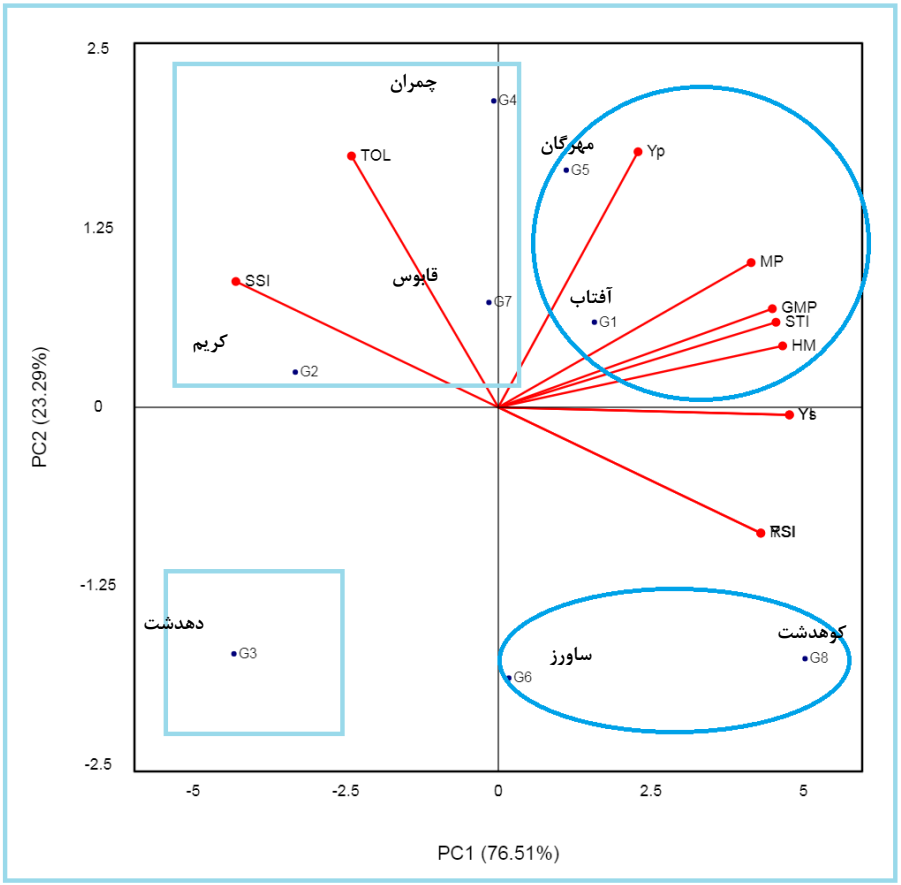
داد ارقامی که بر اساس این دو مؤلفه ضرایب بارگذاری داده‌اند. بالاتری داشتند، به طور کلی عملکرد بهتری از خود نشان

جدول ۵- مقادیر ویژه شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در ارقام مورد مطالعه

Table 5- Eigenvalues from principal component analysis of drought tolerance indices in studied

مؤلفه دوم Second component	مؤلفه اول First component	شاخص‌ها indices
0.877	0.480	Yp
-0.026	0.999	Ys
0.862	-0.504	TOL
0.496	0.868	MP
0.338	0.941	GMP
0.211	0.976	HM
0.432	-0.901	SSI
0.292	0.953	STI
-0.026	0.999	YI
-0.432	0.901	YSI
-0.432	0.901	RSI
2.56	8.42	مقدار ویژه Eigen value
23.29	76.51	درصد واریانس Variance percentage
99.80	76.51	واریانس تجمعی Cumulative variance

با توجه به اینکه مؤلفه اول و دوم اطلاعات متمایزی از داده‌ها را استخراج می‌کنند، می‌توان آن‌ها را به عنوان دو محور مستقل در یک نمودار پراکندگی نمایش داد (شکل ۳). هر رقم در این نمودار به عنوان یک نقطه مشخص می‌شود که موقعیت آن بر اساس مقدار این دو مؤلفه تعیین می‌شود.



شکل ۳- نمایش بای‌پلات شاخص‌های مورد مطالعه برای ارقام مورد مطالعه گندم براساس مؤلفه های اصلی اول و دوم

Figure 3- Biplot visualization of the studied traits for wheat cultivars based on the first and second principal components

با وجود محدود بودن ارقام بررسی شده، توزیع ارقام در بای‌پلات نشان دهنده واکنش ارقام به شاخص‌های تحمل به تنش است (شکل ۳). شاخص‌های MP، GMP، STI و HM دارای زوایای تند نسبت به یکدیگر بود (شکل ۳). این امر بیانگر همبستگی این شاخص‌ها با یکدیگر است (Zebarjadi *et al.*, 2016). قرارگیری رقم G2 (کریم) در نزدیکی بردار SSI و خلاف جهت بردار Ys نشان داد که این رقم به شدت به تنش خشکی حساسیت دارد (شکل ۳). رقم G1 (آفتاب) در مجاورت شاخص‌های MP، GMP، STI و HM قرار گرفت. این رقم از نظر این

شاخص‌ها اعداد بالایی دارد. با توجه به مجاورت YP با MP و GMP همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد در شرایط آبیاری و شاخص‌های بهره‌وری و میانگین هندسی بهره‌وری وجود دارد. از این شاخص‌ها می‌توان برای انتخاب ارقام در شرایط آبیاری استفاده کرد. به عبارت بهتر بالا بودن مقادیر این شاخص‌ها، می‌تواند معیاری برای پیش‌بینی عملکرد بیشتر رقم در شرایط آبیاری باشد (Moghadam *et al.*, 2024). همچنین همبستگی بین عملکرد در محیط دارای تنش خشکی و شاخص HM, RSI و YI نشان می‌دهد که شاخص‌های عملکرد، هارمونیک و تنش نسبی را می‌توان برای انتخاب ارقام در شرایط تنش در نظر گرفت. نتایج مشابهی در مورد معیار بودن شاخص YI در شرایط تنش خشکی برای انتخاب ارقام گندم بهاره متحمل به تنش نیز گزارش شده است (Noghavi *et al.*, 2016). ارقام مورد مطالعه در نمودار بای‌پلات در چهار منطقه قرار گرفتند (شکل ۳. ارقام موجود در منطقه از نظر شاخص‌هایی که بردار آن‌ها در مناطق مختلف شکل ۳ قرار داشتند، وضعیت مطلوبی نشان دادند.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف ارزیابی واکنش ارقام مختلف گندم به تنش خشکی و شناسایی ارقام متحمل به تنش انجام شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تمامی ارقام مورد بررسی تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفته و عملکرد دانه آن‌ها کاهش یافت. ارقام چمران و مهرگان در شرایط آبیاری کامل و ارقام کوهدشت و آفتاب در تنش خشکی، عملکرد بهتری نسبت به سایر ارقام از خود نشان دادند. شاخص‌های TOL، MP، GMP، HM، STI با عملکرد در شرایط آبیاری و TOL و SSI با عملکرد در شرایط تنش همبستگی منفی داشتند. نتایج این پژوهش نشان داد که ارقام کریم، دهدشت و ساورز به دلیل حساسیت بالای آن‌ها به تنش خشکی، برای کشت در منطقه دشتستان بوشهر مناسب نیستند. علاوه بر این، همبستگی مثبت بین عملکرد در شرایط تنش و شاخص‌هایHM ، RSI و YI نشان می‌دهد که این شاخص‌ها می‌توانند معیارهای مناسبی برای انتخاب ارقام گندم با عملکرد بهتر در شرایط تنش خشکی باشند. بر اساس نمایش بای‌پلات شاخص‌های مورد مطالعه ارقام کوهدشت و آفتاب در شرایط تنش خشکی عملکرد قابل قبولی داشتند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از سازمان جهاد کشاورزی استان بوشهر بخاطر در اختیار قرار دادن ارقام گندم و از کارشناسان دانشکده کشاورزی دانشگاه خلیج فارس برای مدیریت مزرعه و اندازه‌گیری صفات تشکر می‌گردد.

References

Akbarabadi, A., Kahrizi, D., Rezaizad, A., Ahmadi, G., Ghobadi, M. & Molsaghi, M. (2015). Study of variability of bread wheat lines based on drought resistance indices. *Biharean Biologist*, 9(2), 88-92. http://biozoojournals.ro/bihbiol/index.html

Ali, O. A. (2019). Wheat responses and tolerance to drought stress. *Wheat Production in Changing Environments: Responses, Adaptation and Tolerance*, 129-138.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), p.D05109.

Anwaar, H. A., Perveen, R., Mansha, M. Z., Abid, M., Sarwar, Z. M., Aatif, H. M. & Khan, K. A. (2020). Assessment of grain yield indices in response to drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Saudi journal of biological sciences*, *27*(7), 1818-1823. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.12.009

Arab, S. A., Mohamed, M. M. & El-Shal, M. H. (2021). Identifying wheat stress tolerant genotypes among some bread wheat accessions using different drought tolerance indices. *Journal of Plant Production*, *12*(7), 813-818. DOI: 10.21608/jpp.2021.84334.1043

Bouslama, M. and W.T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science, 24: 933-937. https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x

Cavatte, P. C., Martins, S. C., Morais, L. E., Silva, P. E. & DaMatta, F. M. (2012). The physiology of abiotic stresses. *Plant breeding for abiotic stress tolerance*, 21-51. DOI: 10.1007/978-3-642-30553-5_3.

Dehghani, H. & Khodadadi, M. (2018). Crop breeding for drought and salinity tolerance. Tehran: University Publishing Center. 164 p.

Eid, M. H. & Sabry, S. (2019). Assessment of variability for drought tolerance indices in some wheat (Triticum *aestivum* L.) genotypes. *Egyptian Journal of Agronomy*, *41*(2), 79-91.

Faostat.fao.org. (2022). accessed on 27 February 2022.

Farshadfer, E. & Farshadfer, M. (2018). *Methods of Multivariate Statistical Analysis (Master's in Agricultural Sciences)*. Payame Noor University. 324 pages.

Fernandez, G. C. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, Aug. 13-16, Shanhua, Taiwan, 1992.

Fischer, R. & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research, 29(5) , 897 -912.

Fischer, R. & Wood, J. (1979). Drought resistance in spring wheat cultivars. III.* Yield associations with morpho -physiological traits. *Australian Journal of Agricultural Research*, 30(6) , 1001 -1020. https://doi.org/10.1071/AR9791001

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campanile, R., Ricciardi, G. & Borghi, B .(1997). Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of plant science*, 77(4) , 523 -531.

IBPGR (International Board of Plant Genetic Resources) .(1985). Descriptors for wheat. Programme committee on disease resistance breeding and use of gene banks. Rom (Italy).

- Kamrani, M., Hoseini, Y., & Ebadollahi, A. (2018). Evaluation for heat stress tolerance in durum wheat genotypes using stress tolerance indices. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *64*(1), 38-45. https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1326104

Khodarahmpour, Z., Choukan, R., Bihamta, M. R. & Majidi Hervan, E. (2011). Determination of the best heat stress tolerance indices in maize (Zea mays L.) inbred lines and hybrids under Khuzestan province conditions. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *13*(1), 111-121.

Khojamli, R., Zaynali Nezhad, K., Nasrollahnejad Ghomi, A. A. & Bagherikia, S. (2021). Evaluation of bread wheat genotypes under drought stress conditions in seedling stage

using drought indices. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *14*(4), 887-899. https://doi.org/10.22077/escs.2020.3202.1820

Moghadam, H., Saeideh Maleki Farahani, S. & Fazeli, A. (2024). Evaluation of some Dorum Wheat Genotypes under Normal and Drought Stress Conditions in Ilam province. *Journal of Crop Breeding*, *16*(49), 1-16. 10.61186/jcb.16.49.1

Ministry of Agricultural Jihad. 2022. Agricultural statistics. Vice President of Statistics, Statistics Center, Information Technology. Ministry of Agricultural Jihad of Iran.

Noghavi, M., Moghaddam, M., Tourchi, M. & Shakiba, M. (2016). Evaluation of spring wheat cultivars based on drought stress resistance indices. *Journal of Crop Improvement*, 8(17), 207-192.

Nouri, A., Etminan, A., Teixeira da Silva, J. A. & Mohammadi, R. (2011). Assessment of yield, yield-related traits and drought tolerance of durum wheat genotypes (*Triticum turjidum* var. *durum* Desf.). *Australian journal of crop science*, *5*(1), 8-16.

Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Etminan, A., Shooshtari, L., Maleki-Tabrizi, N. & Poczai, P. (2020). Effects of drought stress on some agronomic and morpho-physiological traits in durum wheat genotypes. *Sustainability*, *12*(14), 5610.

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

Roohi, E., Mohammadi, R., Niane, A. A., Niazian, M. & Niedbała, G. (2022). Agronomic performance of rainfed barley genotypes under different tillage systems in highland areas of dryland conditions. *Agronomy*, 12(5), 1070. https://doi.org/10.3390/agronomy12051070

Rosielle, A.T. & J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21: 943-949. https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x

Semahegn, Y., Shimelis, H., Laing, M. & Mathew, I. (2020). Evaluation of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for yield and related traits. *B—Soil & Plant Science*, *70*(6), 474-484.

Tabassam, M., Hussain, M., Sami, A., Shabbir, I., Bhutta, A. N., Mubusher, M. & Ahmad, S. (2014). Impact of drought on the growth and yield of wheat. *Scientia Agriculturae* , *7*(1), 11-18. DOI: 10.15192/PSCP.SA.2014.3.1.1118

Tihana, M., Aron, H. K., Végh, B., Tibor, J. & Eva, D. (2019). Metabolic response to drought in six winter wheat genotypes. *PLoS One*, *14*(2). DOI: 10.1371/journal.pone.0212411

Yadav, M. R., Choudhary, M., Singh, J., Lal, M. K., Jha, P. K., Udawat, P. & Prasad, P. V. (2022). Impacts, tolerance, adaptation, and mitigation of heat stress on wheat under changing climates. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(5), 2838. https://doi.org/10.3390/ijms23052838

Yarahmadi, N., Nematzadeh, S., Sabouri, M. & Najfi Zarin, A. (2020). Relationship between drought tolerance indices and their application in wheat screening programs. *Journal of Crop Improvement*, 12(33), 29-41

Zebarjadi, A., Asgar, S., Najafi, A., Rezaiezad, A. 2016. Evaluation of drought tolerance of rapeseed genotypes using drought resistance indices. *Environmental Stresses in Crop Science*. 8, 345-348. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2016.248