دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

ارزیابی تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم با استفاده از شاخص‌های تحمل

علی اصغری[۱]، سحر تعدیلی[۲]، رحمت الله کریمی‌زاده[۳]، امید سفالیان[۴] و حمیدرضا محمددوست چمن آباد[۴]

۱- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (نویسنده مسوول: ali_asgharii@yahoo.com)
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۳- استادیار پژوهشی، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران
۴- استاد گروه زراعت واصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱/۱۶
صفحه: ۱۸۵ تا ۱۹۸

چکیده

به منظور ارزیابی تحمل تنش خشکی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم، آزمایشی در مرکز تحقیقات دیم گچساران طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. تعداد ۱۸ ژنوتیپ گندم دوروم در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار تحت دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که آبیاری تکمیلی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گردید. در شرایط آبیاری تکمیلی ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۷ و ۱۸ و در شرایط دیم ژنوتیپ‌های ٤، ١٦ و ۱۷ بیشترین عملکرد دانه در هکتار را داشتند. نتایج تجزیه همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد دانه درشرایط دیم و آبیاری‌تکمیلی نشان داد که بین عملکرد دانه در شرایط دیم (YS) با شاخص خشکی نسبی (RDI)، شاخص بهره‌وری (MP)، شاخص تحمل به تنش (STI)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص جدید مقاومت به خشکی (DI)، شاخص تحمل به تنش بهبود یافته (MSTI)، شاخص میزان محصول محیط غیرتنش و تنش (SNPI) و شاخص میانگین هارمونیک (HARM) همبستگی‌مثبت و معنی‌داری وجود داشت و این شاخص‌ها معیارهای مناسب برای شناسایی لاین‌های متحمل به خشکی بودند. هم‌چنین، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص ثبات عملکرد (YSI)، شاخص تحمل تنش‌های غیرزنده (ATI) و شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI) در تمایز لاین‌ها نقش زیادی نداشتند. نتایج روش تجزیه خوشه‌ای نشان داد که ژنوتیپ‌ها در چهار گروه مجزا طبقه‌بندی شدند و ژنوتیپ‌های ٤، ١٦ و ۱۷ که در گروه چهارم قرار داشتند که دارای بالاترین شاخص‌های تحمل نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بودند و ژنوتیپ‌های متحمل شرایط دیم شناخته شدند. ژنوتیپ‌های ۷، ۸ و ۱۰ پایین‌ترین میزان عملکرد و همچنین پایین‌ترین مقدار برای اکثر شاخص‌ها را داشتند و جزو حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به شرایط دیم بودند. نتایج تجزیه به عامل‌ها بر اساس شاخص‌های تحمل نیز نتایج بالا را تایید کرد.

واژه‌های کلیدی: بای پلات، تجزیه به عامل‌ها، تجزیه خوشه‌ای، شاخص‌های تحمل به خشکی

مقدمه

گندم نان و گندم دوروم از مهمترین محصولات زراعی جهان بوده و غذای اصلی مردم را در مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهند (۲۳). تولید جهانی گندم دوروم تا سال ۲۰۱۶ میلادی ۳۹/۹۴۲ میلیون تن بود و این به‌طور معمول پنج درصد کل تولید گندم را شامل می‌شود (۱۲). با عنایت به محدودیت ذخایر آب موجود در سراسر جهان باید سیاست‌های کشاورزی به منظور افزایش تولید گندم، تدوین برنامه‌های استراتژیک جهانی برای تحقیقات گندم، تشویق سرمایه‌گذاری کارآمد در این خصوص و توسعه ژنوتیپ‌های متحمل در برابر شرایط تنش خشکی صورت گیرد (۱۴).

تغییرات آب و هوایی منجر به خشکسالی در برخی کشورها شده است که بایستی با توسعه ارقام متحمل به خشکی، بهره‌وری گندم افزایش یابد (۵). در مناطقی که میزان بارندگی برای رشد گیاه کافی باشد، ولی پراکنش باران متناسب با دوره رشد گندم نباشد، عملکرد دانه، به دلیل کمبود رطوبت به‌شدت کاهش خواهد یافت و حتی در شرایطی ممکن است کل محصول از بین برود. بنابراین، در مناطقی که مقدار و پراکنش زمانی بارندگی نامتناسب است، آبیاری تکمیلی برای تولید مطلوب گندم دیم قابل توصیه است (۲۴). منظور از آبیاری تکمیلی، کاربرد مقدار محدودی آب در زمان توقف بارندگی است تا آب کافی برای تداوم رشد بوته‌ها و افزایش و ثبات عملکرد دانه تأمین شود (۳۳،۲۴).

ارزیابی عملکرد گیاه، مهم‌ترین شاخص برای شناسایی ارقام سازگار به محیط دارای تنش است (۳۱). روش‌های مختلفی برای ارزیابی واکنش گیاهان زراعی نسبت به انواع تنش‌ها ابداع و مورد استفاده به‌نژادگران قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: میانگین تولید (MP)[۱] (۲۳)، تحمل به تنش (TOL)[۲] در محیط تنش و بدون تنش (۲۳)، شاخص تحمل تنش (STI)[۳] (۹)، میانگین هندسی تولید (GMP)[۴] (۹)، میانگین هارمونیک (HARM)[۵] (۹)، شاخص حساسیت به تنش فیشر و مور (SSI)[۶] (۹)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)[۷] (۴)، شاخص عملکرد (YI)[۸] (۱۸)، شاخص خشکی نسبی (RDI)[۹]، شاخص جدید مقاومت به خشکی (DI)[۱۰]. هم‌چنین، موسوی و همکاران (۲۲) از اصطلاح تحمل و مقاومت نسبی به‌جای تحمل و مقاومت استفاده کردند. آن‌ها اظهار داشتند که عبارت تحمل و مقاومت مفهوم تحمل و مقاومت کامل را دارد و در عمل چنین تحملی وجود ندارد. بلکه، تحمل و مقاومت همواره به‌صورت نسبی است و در این تحقیق آن‌ها سه شاخص تحمل تنش‌های غیرزنده (ATI)[۱۱]، درصد حساسیت به تنش (SSPI)[۱۲]، میزان محصول محیط غیر تنش و تنش (SNPI)[۱۳] را معرفی کردند.

1 Mean Productivity
2- Tolerance Index
3 Stress Tolerance Index
4- Geometric Mean productivity
5- Harmonic Mean
6- Stress Susceptibility Index
7- Yield Stability Index
8- Yield Index
9- Relative Drought Index
10- Drought Index
11- Abiotic Tolerance Index
12- Stress Susceptibility Percentage Index
13- Stress Susceptibility Normal Percentage Index

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: 10.29252/jcb.12.34.185]

هر ژنوتیپی که از میزان بالای این شاخص‌ها برخوردار باشد، نشان‌دهنده میزان بالای تحمل به تنش است. فرناندز (۱۰) با بررسی عملکرد گیاه لوبیا در دو محیط تنش و بدون تنش، ژنوتیپ‌ها را از نظر واکنش به دو محیط در چهار گروه طبقه‌بندی کرد: گروه A (ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط عملکرد بالایی داشتند) گروه B (ژنوتیپ‌هایی که فقط در محیط بدون تنش عملکرد بالایی دارند) گروه C (ژنوتیپ‌هایی که در محیط تنش عملکرد خوبی دارند) گروه D (ژنوتیپ‌هایی‌که در هر دو محیط عملکرد پایینی دارند). سی‌وسه مرده و همکاران (۳۲) گزارش کردند که شاخص MP زمانی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش بازده دارد که شدت تنش زیاد نبوده و اختلاف بین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش نیز خیلی زیاد نباشد. پیرایواتلو و همکاران (۲۵) نیز شاخص STI را معیاری قابل‌اعتماد برای انتخاب ارقام پر محصول در شرایط تنش و غیرتنش معرفی کردند. در مطالعه‌ای معلوم شد که انتخاب براساس مقادیر پایین TOL و SSI می‌تواند در انتخاب ارقام متحمل به تنش خشکی مؤثر واقع شود (۱۵). بی‌همتا و همکاران (۳) شاخص‌های STI، GMP، MP و TOL را برای شناسایی بهترین ژنوتیپ‌ها از لحاظ پاسخ به تنش خشکی استفاده کردند.

انتظار می‌رود ارقام با مقادیر بالای YSI بیشترین عملکرد را هم در شرایط بدون تنش و هم در شرایط تنش داشته باشند (۳۵). کامرانی و همکاران (۱۶) در تحقیقی به منظور بررسی تحمل خشکی در ژنوتیپ‌های گندم نان دیم شاخص‌های STI، MP و GMP را به عنوان بهترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های پر محصول معرفی کردند.

هدف از انجام این تحقیق، تأثیر آبیاری تکمیلی بر روی عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های پیشرفته گندم دوروم و شناسایی لاین‌های متحمل به شرایط دیم و با آبیاری تکمیلی بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر آبیاری تکمیلی بر عملکرد دانه و شناسایی لاین‌های متحمل به شرایط دیم با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش، ۱۷ ژنوتیپ امیدبخش گندم دوروم به همراه رقم شاهد دهدشت (جدول ۱) و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو شرایط آبیاری تکمیلی و خشکی (دیم)، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم گچساران واقع در جنوب غرب ایران، بین ۵۰ درجه و۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و۲۰ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۷۱۰ متر از سطح دریا در شرق شهرستان گچساران طی سال زراعی ۹۷-۹۶مورد ارزیابی قرار گرفتند. کاشت بذر، با تراکم ۳۰۰ بذر در هر مترمربع صورت گرفت. هر کرت آزمایشی شامل ۶ ردیف کاشت به طول ۷ متر و فاصله بین ردیف‌ها ۱۷/۵ سانتی‌متر بود. کودهای به‌کاررفته، نیتروژن (نیترات آمونیوم) و فسفر (P_2O_5)، به ترتیب به میزان ۸۶ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار (معادل ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و ۶۰ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص)، در هنگام کاشت و باقی‌مانده کود نیتروژن به‌صورت نیترات آمونیوم، در دو مرحله پنجه‌دهی و آبستنی خوشه‌ها، هر مرحله به میزان ۸۰ کیلوگرم در هکتار، اضافه گردید. نتایج هواشناسی ایستگاه گچساران در سال زراعی ۹۷- ۱۳۹۶ در شکل ۱ آمده است. در این پژوهش، آبیاری تکمیلی، طی دو مرحله و به میزان ۵۰ میلی‌متر، انجام شد. اولین آبیاری در مرحله خوشه‌دهی و دومین آبیاری به فاصله ۳ هفته پس از اولین آبیاری، اعمال گردید. روش آبیاری، به‌صورت بارانی انجام و با استفاده از استوانه مدرج، میزان آب مصرفی اندازه‌گیری شد. طی دوره رشد هیچ بیماری مشاهده نشد و مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت شیمیایی و با سموم تاپیک و گران استار انجام گردید. در آزمایش دیم ژنوتیپ‌ها فقط از نزولات جوی بهرمند شدند. پس از رسیدگی کامل، محصول کرت‌ها با کمباین اتریشی Wintersteiger، برداشت شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه در هکتار تمام کرت مربوط به هر ژنوتیپ بعد از حذف اثر حاشیه در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی جداگانه برداشت گردید و میزان عملکرد در هر کرت برحسب کیلوگرم به دست آمد (عملکرد بوته). سپس، به میزان عملکرد در هکتار تبدیل شد. برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به تنش، شاخص‌های زیر با استفاده از عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی محاسبه شدند:

شاخص حساسیت به تنش (SSI) (۱۱)

$$SSI = \frac{1-(\frac{Ys}{Yp})}{SI} \qquad SI = 1-\frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P} \qquad (۱$$

شاخص خشکی نسبی (RDI) (۱۱)

$$RDI = (Ys/Yp)/(\bar{Y}_S/\bar{Y}_P) \qquad (۲$$

شاخص تحمل (TOL) (۲۷)

$$TOL = Y_P - Y_S \qquad (۳$$

شاخص بهره‌وری (MP) (۲۷)

$$MP = (Ys+Yp)/2 \qquad (۴$$

شاخص تحمل به تنش (STI) (۱۰)

$$STI = (Y_S \times Y_P)/(\bar{Y}_P)^2 \qquad (۵$$

شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) (۱۰)

$$GMP = \sqrt[2]{Yp \times Ys} \qquad (۶$$

شاخص عملکرد (YI) (۱۳)

$$YI = Ys/\bar{Y}_S \qquad (۷$$

شاخص ثبات عملکرد (YSI) (۴)

$$YSI = Ys/Yp \qquad (۸$$

شاخص جدید مقاومت به خشکی (DI) (۱۸)

$$DI = Ys\,(Ys/Yp)/\bar{Y}_S \qquad (۹$$

شاخص تحمل به تنش بهبود یافته (MSTI) (۲۲)

$$K_1 = Y^2_p/\bar{Y}_S^2 \qquad K_2 = Y^2s/\bar{Y}_S^2 \qquad MSTI = Ki \times STI \qquad (۱۰$$

شاخص تحمل تنش‌های غیر زنده (ATI) (۲۲)

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.185]

$$ATI = [(Yp - YS)/((\bar{Y}_P/\bar{Y}_S)] \times \left[\sqrt[2]{Ys \times Yp}\right] \quad (۱۱$$

شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI) (۲۲)

$$SSPI = \left[\left(\frac{Yp}{Ys}\right)/2(\bar{Y}_P)\right] \times 100 \quad (۱۲$$

شاخص میزان محصول محیط غیرتنش و تنش (SNPI) (۲۲)

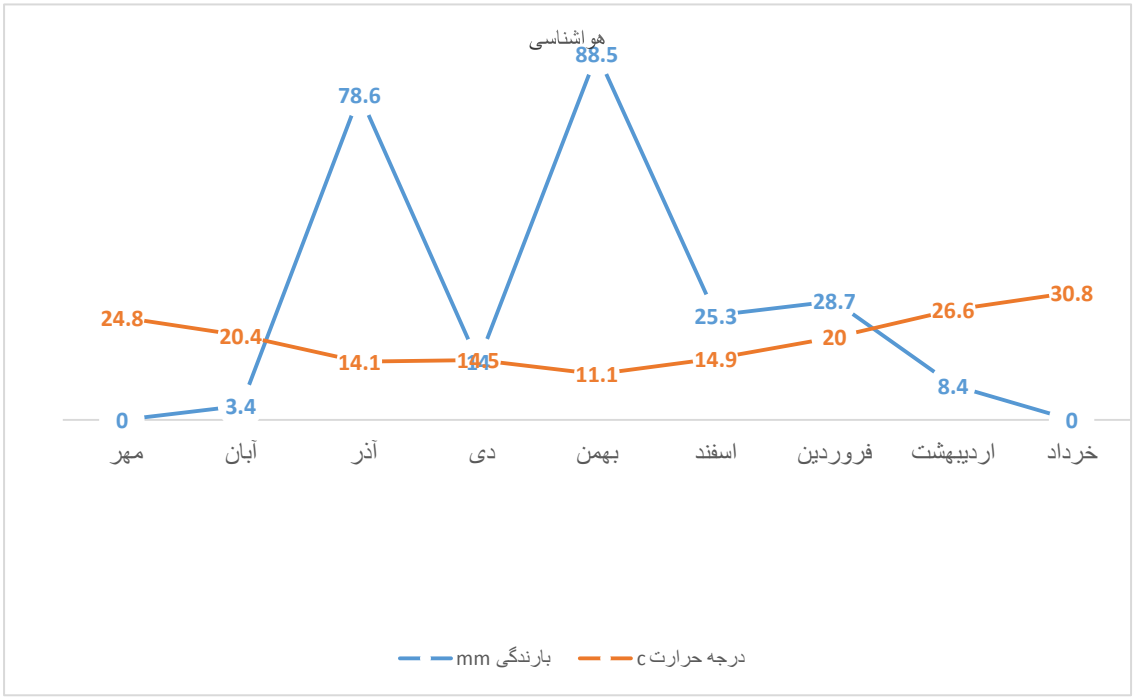
(۱۳

$$SNPI = \left[\sqrt[3]{(Yp + Ys)/(Yp - Ys)}\right] \times \left[\sqrt[3]{Yp \times Ys \times Ys}\right]$$

شاخص میانگین هارمونیک (HARM) (۲۹)

$$HARM = (2(Ys)(Yp)|Ys + Yp) \quad (۱۴$$

در معادلات بالا $\bar{Y}_S$ ،$\bar{Y}_P$ ،Y_S ،Y_P به ترتیب میانگین عملکرد در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی برای هر ژنوتیپ و عملکرد در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی برای کلیه ژنوتیپ‌ها است. قبل از انجام تجزیه واریانس، آزمون نرمال بودن به روش کولموگروف و اسمیرنوف برای کلیه شاخص‌ها انجام شد. تجزیه واریانس عملکرد به صورت مرکب و تجزیه واریانس شاخص‌ها به صورت بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. برای گروه‌بندی لاین‌ها و بررسی رابطه بین شاخص‌های مورد مطالعه از روش‌های تجزیه خوشه‌ای به روش حداقل واریانس وارد با استفاده از معیار فاصله اقلیدسی براساس میانگین استاندارد شده و تجزیه به عامل‌ها به روش تجزیه به مولفه‌های اصلی و با چرخش واریماکس استفاده شد. تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار $SPSS_{16}$ و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.



شکل ۱- بارش، حداقل و حداکثر دما در طول فصل زراعی سال ۹۷- ۱۳۹۶ در ایستگاه گچساران

Figure 1. Rainfall, minimum and maximum temperatures during growing season (2017-18) in Gachsaran station

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.185]

جدول ۱- شجره لاین‌های‌گندم دوروم مورد مطالعه در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

Table 1. Pedigree of studied durum wheat lines in rainfed and supplementary irrigation conditions

ژنوتیپ	شجره
۱	Dehdasht (control)
۲	SORA/2*PLATA_12/3/SORA/2*PLATA_12//SOMAT_3/4/AJAIA_13/YAZI//DIPPER_2/BUSHEN_3CDSS02B00849T-0TOPB-0Y-0M-7Y-2M-04Y-0B
۳	NUS/SULA//5*NUS/4/SULA/RBCE_2/3/HUI//CIT71/CII*2/5/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1CDSS04Y00888T-0TOPB-26Y-0M-06Y-2M-1Y-0B
۴	Arislahn-8//Bidra1/MikiICD03-0318-TA-3AP-0AP-4AP-0AP-3AP-0AP
۵	Quarmal/Gbch-2//Terbol97-4ICD04-1055-TA-4AP-0AP-1AP-0AP
۶	CM829/Cando cross-H25ICD02-0977-T-2AP-0TR-1AP-0AP-5AP-0AP-3AP-0AP
۷	WID22248/10/LD357E/2*TC60//JO69/3/FGO/4/GTA/5/SRN_1/6/TOTUS/7/ENTE/MEXI_2//HUI/4/YAV_1/3/LD357E/2*TC60//JO69/8/SOMBRA_20/9/JUPARE C 2001/11/PORTO_6/GREEN _38/3/SOMAT _3/PHAX_1// TILO_1/LOTUS_4CDSS06Y00652T-0TOPB-27Y-0M-2Y-4M-0Y
۸	1A.1D 5+1-06/3*MOJO//RCOL/3/SNITAN/SOMAT_3//FULVOUS _1/ MFOWL_13/10/AVILLO_1/3/CANELO_8//SORA/2*PLATA_12 /9/ USDA595/3/D67.3/RABI //CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ ARDENTE /7/HUI/YAV79/8/POD_9CDSS06Y00568S13Y-0M-1Y-2M-0Y
۹	BICHENA/AKAKI_7/4/LIS_8/FILLO_6/3/FUUT//HORA/JOR/5/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/AUK/GUIL//GREEN/6/MUSK_1//ACO89/FNFOOT_2/4/MUSK_4/3/PLATA_3//CREX/ALLA/5/OLUS*2/ILBOR//PATKA_7/YAZI_1CDSS06Y00389S-20Y-0M-4Y-2M-0Y
۱۰	AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/GUANAY/4/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4/5/CAMON_5//HUI/YAV79CDSS05B00579T-0TOPY-22Y-0M-1Y-4M-0Y
۱۱	GUAYACAN INIA/POMA_2//SNITAN/4/D86135/ACO89//PORRON _4/3/ SNITAN CDSS02B00562S-0Y-0M-2Y-1M-04Y-0B
۱۲	CBC 509 CHILE/6/ECO/CMH76A.722//BIT/3/ALTAR 84/4/AJAIA_ 2/ 5/KJOVE_1/7/AJAIA _12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA _13 /8/SOOTY_9/RASCON_37//WODUCK/CHAM_3 CDSS02B00 596S-0Y-0M-5Y-1M-04Y-0B
۱۳	MINIMUS/COMB DUCK_2//CHAM_3/3/CANELO_9/9/USDA595/3/ D67.3/ RABI//CRA/4/ ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/ 8/POD_9 /10/ TARRO_1/2*YUAN_1//AJAIA_13/ YAZI/3/SOMAT_4/ INTER _8/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4 /3/CANELO_9.1 CDSS06Y00416S-10Y-0M-1Y-3M-0Y
۱۴	TRIDENT/3*KUCUKCDIB02Y00011T-B-4B-3Y-3B-3Y-2B-1Y-5B-1Y-1B-0Y
۱۵	AVTA/YAZI_1//GREEN/SOMO/6/AJAIA_1/EUDO//PLATA_6/4/BUTO//SCOT/MEXI_1/3/PLATA_8/5/ISLACDSS05B00584T-0TOPY-26Y-0M-2Y-4M-0Y
۱۶	Icarhani ICD01-0946-C-7AP-TR-4AP-0TR-1AP-0AP-4AP-0AP-3AP-0AP
۱۷	Secondroue ICD06-1287-0AP-0AP-6AP-0AP-4AP-0THTD
۱۸	Icambel ICD06-0279-0AP-2AP-0AP-1AP-0THTD

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که شرایط کشت بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد. میانگین عملکرد دانه برای تمامی ژنوتیپ‌ها در شرایط آبیاری و دیم به ترتیب ۳۷۲۱/۰۱ و ۱۸۳۱/۰۷ کیلوگرم در هکتار بود. شرایط دیم باعث کاهش ۴۹/۲۰ درصد از عملکرد دانه در مقایسه با شرایط آبیاری تکمیلی گردید. اثر متقابل ژنوتیپ در شرایط آبیاری غیر معنی‌دار شد که نشان می‌دهد پاسخ ژنوتیپ‌ها به هر دو محیط مشابه می‌باشد. یا به‌عبارتی‌دیگر عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط دیم کمتر و در شرایط آبیاری تکمیلی بیشتر شده است. کامرانی و همکاران (۱۶) با بررسی ۳۶ ژنوتیپ گندم نان تحت شرایط آبیاری تکمیلی و دیم نشان دادند که آبیاری تکمیلی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد شد و شرایط دیم باعث کاهش معنی‌داری در عملکرد دانه در مقایسه با شرایط آبیاری تکمیلی گردید.

تجزیه واریانس شاخص‌ها

تجزیه واریانس شاخص‌های مورد مطالعه به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی نشان داد که بین لاین‌های مورد مطالعه از نظر شاخص‌های MP، HARM، YI، ATI، STI، GMP، K_1STI و K_2STI اختلاف معنی‌داری وجود داشت که نشان‌دهنده تنوع بین ژنوتیپ‌ها از نظر این شاخص‌ها بود (جدول ۲). از نظر شاخص‌های MP، HARM، ATI، STI، GMP، K_1STI و K_2STI که مقادیر بالای آن‌ها نشان‌دهنده تحمل تنش است، ژنوتیپ‌های ۴، ۱۶ و ۱۷ که به‌ترتیب عملکردهای ۲۰۴۵/۰۰، ۲۰۳۳/۵۰ و ۲۰۵۰/۷۵ کیلوگرم در هکتار در شرایط دیم داشتند، به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش بودند. رقم شاهد دهدشت در هر دو شرایط عملکرد پایین‌تری نسبت به سه رقم مذکور داشت. براساس این شاخص‌ها، ژنوتیپ‌های ۳، ۶، ۷، ۸، ۱۰ و ۱۳ به ترتیب با عملکردهای ۱۶۱۰/۲۵، ۱۸۹۷/۷۵، ۱۷۴۵/۷۵، ۱۵۶۱/۲۵، ۱۵۵۹/۲۵ و ۱۶۳۳/۵۰ کیلوگرم در هکتار به عنوان ژنوتیپ‌های حساس به تنش شناسایی شدند. هرچند که ژنوتیپ‌های ۴ و ۱۶ و ۱۷ با برخی دیگر از ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری نداشتند. مقایسه میانگین ها برای این صفات بر اساس آزمون LSD یا حداقل تفاوت‌های معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد انجام شد (جدول ۳). در این تحقیق شاخص‌های دیگر استفاده شده قادر به تمایز ژنوتیپ‌های گندم دوروم نبودند. در این تحقیق شاخص‌های MP،

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.185]

K_2STI، HARM، K_1STI، GMP و STI به عنوان بهتـرین شاخص‌ها برای شناسایی لاین‌های متحمـل معرفـی شـدند. احمـدزاده و همکـاران (۲) شـاخص‌هـای STI، GMP، MP و HARM را به‌عنوان بهترین شاخص‌ها جهت دسـتیابی بـه ژنوتیپ‌های پر محصول گندم دوروم در شـرایط تـنش و غیـر تنش معرفی کردنـد. شـفازاده و همکـاران (۳۰) و صـادق‌زاده اهری (۳۲) در بررسی ژنوتیپ‌های گندم به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های STI، GMP وMP در به‌گزینی ارقام نسـبت به سایر شاخص‌ها موفق‌تـر بودنـد. بـی‌همتـا و همکـاران (۳) شـاخص‌هـای STI، GMP، MP و TOL بـرای شناسـایی بهترین ژنوتیپ‌ها از لحاظ پاسخ بـه تـنش خشـکی اسـتفاده کردنـد. در آزمـایش دیگـر شـاخص‌هـای STI، GMP، MP، K_1STI و HARM را به‌عنوان شـاخص‌هـای مناسـب بـرای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشـکی معرفـی شـدند (۱). آزمایشی دیگر توسط فرشادفر و همکـارانش (۷) بـر روی ۳۰ ژنوتیپ گندم انجام شد. شاخص‌های GMP، MP، STI، YI، DI و MSTI به عنوان شاخص‌های مناسب بـرای شناسـایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفـی شـدند (۱). آزمایشـی دیگر توسط فرشادفر و همکـارانش (۹) بـر روی ۳۰ ژنوتیـپ گندم انجام شد. شاخص‌هـای GMP، MP، STI، YI، DI و MSTI به‌عنوان شاخص‌های مناسب برای این منظور معرفـی شدند.

جدول ۲- تجزیه‌واریانس‌مرکب عملکرد ژنوتیپ‌های گندم دوروم در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

Table 2. Combined analysis of variance durum genoteps for grain yield in rainfed and supplementary irrigation conditions

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات عملکرد دانه (کیلوگرم)
شرایط	۱	۱۲۸۵۸۸۴۰/۱**
تکرار (شرایط)	۶	۵۸۵۷۲۶/۶۰**
ژنوتیپ	۱۷	۳۹۷۵۶۷/۶۱**
ژنوتیپ × شرایط	۱۷	۱۳۳۱۴۷/۲۴^{ns}
خطا	۱۰۲	۱۱۲۹۶۵/۴۶
ضریب تغییرات (٪)		۱۲/۱۰

ns، ** و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد.

جدول ۳- مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه گندم از نظر شاخص‌های تحمل به خشکی

Table 3. Comparison of durum wheat genotypes mean yield (Kg/hec) based on drought tolerance indices

ژنوتیپ	Y_s	Y_p	MP	GMP	STI	YI	K_1STI	ATI	HARM	K_2STI
۱	۱۷۶۹/۲۵$^{a-e}$	۳۶۸۹/۰۰$^{a-d}$	۲۷۲۹/۱^{bc}	۲۵۵۴/۵$^{a-f}$	۰/۴۷$^{b-f}$	۰/۹۶$^{a-e}$	۰/۴۶$^{b-g}$	۲۵۹۴/۵^{abc}	۲۳۹۱/۶$^{b-f}$	۰/۴۴$^{b-e}$
۲	۱۸۸۷/۷۵$^{a-d}$	۴۰۱۴/ ۵۰^{ab}	۲۹۵۱/۱^{bc}	۲۷۵۱/۲^{ab}	۰/۵۵^{abc}	۰/۹۶$^{a-d}$	۰/۶۵^{abc}	۳۱۱۲/۸^{ab}	۲۵۶۵/۳^{abc}	۰/۵۹$^{a-d}$
۳	۱۶۱۰/۲۵^{de}	۳۰۰۸/۵۰^{d}	۲۳۰۹/۴^{c}	۲۱۹۲/۵^{g}	۰/۳۵^{g}	۰/۸۷^{de}	۰/۲۵^{g}	۱۶۸۳/۲^{c}	۲۰۸۲/۹^{g}	۰/۲۷^{e}
۴	۲۰۴۵/۰۰^{a}	۳۹۹۱/۵۰^{ab}	۳۰۱۸/۲^{abc}	۲۸۵۴/۱^{a}	۰/۵۹^{ab}	۱/۱۱^{a}	۰/۶۹^{ab}	۳۰۱۸/۲^{abc}	۲۶۹۹/۴^{ab}	۰/۷۴^{a}
۵	۱۹۰۳/۲۵^{abc}	۳۸۸۰/۵۰^{abc}	۳۶۵۲/۸^{a}	۲۷۲۹/۱^{abc}	۰/۵۳$^{a-d}$	۱/۰۳^{abc}	۰/۵۸$^{a-d}$	۲۸۲۶/۹^{abc}	۲۵۴۶/۶^{abc}	۰/۶۰^{abc}
۶	۱۸۹۷/۷۵$^{a-d}$	۳۱۹۵/۲۵^{cd}	۲۵۴۶/۵^{bc}	۲۴۵۷/۶$^{b-g}$	۰/۴۴$^{c-g}$	۱/۰۳^{abc}	۰/۳۵^{efg}	۱۷۱۶/۲^{c}	۲۳۷۲/۶$^{c-g}$	۰/۵۱$^{a-e}$
۷	۱۵۶۱/۲۵^{e}	۳۳۴۹/۵۰^{bcd}	۲۴۵۵/۴^{bc}	۲۲۸۲/۰^{tg}	۰/۵۲$^{a-e}$	۰/۸۵^{d}	۰/۳۰^{tg}	۲۱۵۵/۴^{bc}	۲۱۲۲/۰^{tg}	۰/۲۸^{e}
۸	۱۵۵۹/۰۰^{e}	۳۵۹۸/۵۰$^{a-d}$	۲۵۷۸/۸^{bc}	۲۳۵۶/۳^{etg}	۰/۳۸^{tg}	۰/۸۵^{d}	۰/۴۲$^{b-g}$	۲۶۳۶/۰^{abc}	۲۱۵۶/۳^{tg}	۰/۳۰^{de}
۹	۱۵۵۹/۲۵$^{a-d}$	۳۷۶۹/۵۰^{abc}	۲۸۲۱/۹^{bc}	۲۶۴۴/۳$^{a-e}$	۰/۵۱$^{a-e}$	۰/۹۹$^{a-d}$	۰/۵۲$^{a-f}$	۲۶۰۰/۸^{abc}	۲۶۴۴/۳$^{a-e}$	۰/۵۹$^{a-d}$
۱۰	۱۶۳۳/۵۰^{cde}	۳۵۴۱/۵۰$^{a-d}$	۲۵۸۷/۵^{bc}	۲۳۸۰/۹$^{d-g}$	۰/۵۱^{efg}	۰/۸۹^{cde}	۰/۴۰$^{d-g}$	۲۴۵۰/۲^{abc}	۲۱۹۵/۱^{efg}	۰/۳۳^{cde}
۱۱	۱۸۳۰/۵۰$^{a-e}$	۳۶۴۹/۷۵$^{a-d}$	۲۷۴۰/۱^{bc}	۲۵۷۵/۳$^{a-f}$	۰/۴۸$^{b-f}$	۰/۹۶$^{a-e}$	۰/۴۶$^{b-g}$	۲۴۵۶/۹^{abc}	۲۴۲۲/۴$^{a-f}$	۰/۵۰$^{a-e}$
۱۲	۱۹۰۶/۲۵^{abc}	۳۹۲۱/۰۰^{abc}	۲۹۱۳/۶^{bc}	۲۷۱۳/۳^{ab}	۰/۵۴$^{a-d}$	۱/۰۴^{abc}	۰/۶۰$^{a-d}$	۲۹۱۵/۷^{ab}	۲۵۴۸/۱^{abc}	۰/۵۸$^{a-d}$
۱۳	۱۷۴۵/۷۵$^{b-e}$	۳۳۸۳/۵۰^{bcd}	۲۵۶۴/۶^{bc}	۲۳۹۰/۳$^{c-g}$	۰/۴۲$^{d-g}$	۰/۹۵$^{b-e}$	۰/۴۱$^{c-g}$	۲۲۲۱/۸^{bc}	۲۲۳۳/۳$^{c-g}$	۰/۳۷$^{c-e}$
۱۴	۱۸۸۳/۲۵$^{a-d}$	۳۹۹۴/۰۰^{ab}	۲۹۳۸/۶^{bc}	۲۷۲۳/۶^{ab}	۰/۵۴^{abc}	۱/۰۲$^{a-d}$	۰/۶۳$^{a-d}$	۳۰۲۶/۶^{ab}	۲۵۴۳/۸^{abc}	۰/۶۳^{ab}
۱۵	۱۹۶۷/۵۰^{ab}	۳۶۹۹/۲۵$^{a-d}$	۲۸۳۳/۴^{bc}	۲۶۹۰/۴$^{a-d}$	۰/۵۲$^{a-e}$	۱/۱۱^{ab}	۰/۵۱$^{a-e}$	۲۴۵۳/۰^{abc}	۲۵۶۵/۲^{abc}	۰/۶۲^{abc}
۱۶	۲۰۳۳/۵۰^{a}	۴۰۱۶/۷۵^{ab}	۳۰۲۵/۱^{abc}	۲۸۴۹/۰^{a}	۰/۵۹^{ab}	۱/۰۷^{a}	۰/۶۸^{ab}	۲۹۵۵/۴^{ab}	۲۶۸۴/۷^{abc}	۰/۷۷^{a}
۱۷	۲۰۵۰/۷۵^{a}	۴۰۸۴/۵۰^{ab}	۳۰۶۷/۶^{ab}	۲۸۹۰/۵^{a}	۰/۶۰^{a}	۱/۱۲^{a}	۰/۷۲^{a}	۳۰۹۶/۱^{ab}	۲۷۲۴/۴^{a}	۰/۷۷^{a}
۱۸	۱۸۳۱/۵۰$^{a-e}$	۴۱۹۱/۲۵^{a}	۲۸۲۱/۹^{abc}	۲۷۴۳/۲^{ab}	۰/۵۴^{abc}	۰/۹۸$^{a-e}$	۰/۶۸^{ab}	۳۴۵۸/۵^{a}	۲۴۸۱/۱$^{a-d}$	۰/۵۳$^{a-e}$
میانگین	۱۸۳۱/۱۱	۳۳۷۲۰/۶۳	۲۸۱۸/۳	۲۵۹۹/۰	۰/۴۹	۱/۰۰	۰/۵۲	۲۶۲۸/۳	۲۴۳۵/۵	۰/۵۳

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال یک درصد با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.185]

جدول ۴- تجزیه واریانس شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم

Table 4. Analysis of variance for drought tolerance indices in durum wheat genotypes

منابع تغییرات		درجه آزادی	میانگین مربعات												
			TOL	MP	STI	RDI	SSI	GMP	YI	YSI	DI	K_1STI	K_2STI	ATI	SNPI	SSPI	HARM
تکرار	۳		۱۵۵۹۰۷۶/۰**	۵۳۷۶۲۵/۷*	۰/۰۴**	۰/۳۲**	۰/۳۱۱**	۲۶۴۷۸۲/۰**	۰/۱۸**	۰/۰۸**	۰/۲۴**	۰/۱۰**	۰/۴۲**	۲۳۸۴۵۸۶/۰**	۴۰۵۰۸۱۹/۶**	۲۸۱/۵**	۳۹۸۸۳۵/۱**
ژنوتیپ	۱۷		۲۶۶۲۹۴/۴۸^{ns}	۳۶۸۹۱۰/۲*	۰/۰۲**	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۱۷۶۸۶۱/۱**	۰/۰۳**	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۸**	۰/۱۰**	۹۰۴۰۰۳/۱*	۴۵۵۴۰۳/۳^{ns}	۴۸/۰^{ns}	۱۶۳۹۷۵/۵**
خطا	۵۱		۲۲۶۷۱۰/۷	۱۹۰۵۰۵/۵	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۳	۴۰۶۸۵/۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۸	۰/۰۲	۰/۰۳۱	۴۹۰۰۱۸/۳۵	۲۹۴۰۰۹/۳	۴۰/۹۴	۳۵۵۰۳/۹
ضریب تغییرات٪		۲۵	۲۵	۱۵/۴	۲۰/۴	۱۶/۸	۱۷/۶	۷/۷۶	۱۰	۲۰	۱۷/۵	۲۷	۳۲	۳۶/۶	۱۵/۸	۷/۷	۲۵

ns، ** و * به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد.

جدول ۵- ضرایب عامل‌ها، مقادیر ویژه، درصد واریانس و واریانس تجمعی توجیه شده توسط عامل‌ها بعد از چرخش واریماکس برای شاخص‌های تحمل تنش در گندم دوروم

Table 5. Factor loadings, Eigen values, expressed present of variance and cumulative present of variance after varimax rotation for drought tolerance indices in durum wheat

عامل	مقادیر ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی	YS	YP	TOL	MP	STI	RDI	SSI	GMP	YI	YSI	DI	K_1STI	K_2STI	ATI	SNPI	SSPI	HARM
اول	۸/۳۲	۴۸/۹۵	۴۸/۹۵	-۰/۴۰	۰/۸۲	۰/۹۸	۰/۳۹	۰/۲۳	-۰/۹۸	۰/۹۲	۰/۲۷	-۰/۴۵	-۰/۹۸	-۰/۸۳	۰/۵۳	-۰/۱۶	۰/۹۱	-۰/۶۹	۰/۹۸	۰/۳۴
دوم	۷/۶۴	۴۴/۹۷	۹۳/۹۲	۰/۹۰	۰/۵۶	۰/۰۹	۰/۶۳	۰/۹۶	۰/۱۵	-۰/۱۴	۰/۹۵	۰/۸۹	۰/۱۵	۰/۵۴	۰/۸۲	۰/۹۶	۰/۳۶	۰/۵۸	۰/۰۹	۰/۹۸

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.185]

همبستگی بین شاخص‌ها

بررسی روابط همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش با عملکرد در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی نشان داد که (جدول ۶) بین عملکرد دانه در شرایط دیم با شاخص‌هایMP، STI، GMP، YI، YSI، DI، K_1STI، K_2STI، SNPI، HARM و RDI همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. از طرفی بین عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی با شاخص‌های TOL، MP، YI، MSTI ، ATI،SSPI، SSI وSTI همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت. بیشترین همبستگی مربوط به شاخص K_2STI با همبستگی ۹۰ درصد بود. شاخص‌های ATI، SSPI و TOL هر سه ۸۷ درصد و شاخص STI ۷۳ درصد همبستگی با عملکرد در شرایط آبیاری تکمیلی داشتند. با توجه به جدول (۶) بین عملکرد دانه در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی و شاخص‌های MP، K_2STI ، HARM، K_1STI، GMP و STI همبستگی مثبت معنی‌دار در سطح یک درصد وجود داشت. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که این شاخص‌ها به‌عنوان شاخص‌های برتر بودند و از طرفی وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص‌های مذکور نشان دهنده همسویی نتایج آن‌ها می‌باشد. همبستگی مثبت و معنی‌دار با شاخص‌های MP، SSI، SSPI، ATI، GMP، SNPI، STI و K_1STI و همبستگی منفی و معنی‌دار با شاخص‌های YI، YSI و DI وجود داشت (جدول ۶). وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص‌های YSI، RDI و DI همبستگی منفی و معنی‌دار این سه شاخص با شاخص‌های SSI، SSP، ATI و TOL نشان‌دهنده ماهیت مشابه این شاخص‌ها می‌باشد و می‌توان لاین‌هایی که حساسیت کمتری به تنش خشکی دارند را با این شاخص‌ها متمایز کرد. هرچند که این ژنوتیپ‌ها ممکن است در شرایط بدون تنش الزاماً دارای عملکرد بالایی نباشند (۲۱). با توجه به همبستگی بالای بین شاخص‌های STI، GMP و MP نمودار سه بعدی مربوط به شاخص STI و Y_Pو Y_S ترسیم شد (شکل ۳). در این شکل لاین‌های شماره ۲، ۴، ۱۲، ۱۶ و ۱۷ بالاترین مقدار شاخص STI را داشته و عملکردشان در هر دو شرایط بالاتر بود. ژنوتیپ‌های ۳، ۶، ۷، ۸، ۱۰ و ۱۳ در سطح پایین از نظر تحمل به تنش قرار بودند.

محمدی و همکاران (۲۰) از میان شاخص‌های مقاومت به خشکی شاخص‌های MP، GMP، STI، TOLو HARM را برای شناسایی ارقام متحمل به تنش معرفی کردند. گروهی از محققان (۸،۲۱) اعلام‌کردند که شاخص‌های GMP، MP، YI، MSTI، DI، DRI و STI همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط تنش داشتند و از این رو می‌توانند معیارهای مناسبی برای انتخاب لاین‌های در محیط تنش باشند. احمدزاده و همکاران (۲) شاخص‌های STI، HARM، GMP و MP را به‌عنوان بهترین شاخص‌ها جهت دستیابی به ژنوتیپ‌های پر محصول گندم دوروم در شرایط تنش و غیرتنش معرفی کردند. خاکسار و همکاران (۱۷) نشان دادند که شاخص‌های HARM، MP و GMP دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی بودند و بیان داشتند شاخص‌های مذکور بهترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر هستند. به‌طورکلی شاخص‌هایی که در هر دو محیط تنش و غیرتنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه باشند، به‌عنوان شاخص‌های مناسب معرفی می‌شوند. چراکه این شاخص‌ها قادر به جداسازی و شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو محیط می‌باشند (۸). فرشادفر و همکاران (۷) نیز نشان دادند که بین شاخص‌های TOL، SSI، SSPI، ATI و K_1STI همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد. ماهیت شاخص‌های SSPI و ATI براساس مکانیسم بقای یک ژنوتیپ در شرایط تنش می‌باشد. خواه این ژنوتیپ عملکرد کم و یا زیاد در دو شرایط تنش و غیرتنش داشته باشد (۶). هر دو این شاخص‌ها با عملکرد در شرایط بدون تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری دارند (جدول ۶). بین عملکرد در شرایط تنش با شاخص‌های TOL، SSI و SSPI همبستگی منفی و معنی‌دار وجود داشت. که با نتایج رحمانی و همکاران (۲۶) و محمدنیا و همکاران (۲۱) مطابقت داشت. بین شاخص YI با عملکرد دانه در شرایط تنش همبستگی ۱۰۰ درصد وجود داشت که با نتایج فرشادفر و همکاران (۸) مطابقت دارد. مطالعات نشان داده که شاخص‌های STI، GMP و MP در گندم دوروم مناسب‌ترین شاخص‌ها برای گزینش ارقام متحمل به شمار می‌روند (۱۵).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.185]

جدول ۶- ضرایب همبستگی ساده بین شاخص‌های تحمل به تنش و میانگین‌های عملکرد دانه گندم دوروم در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی
Table 6. Simple correlation coefficient between mean yield of durum wheat in rainfed and supplementary irrigation conditions and drought tolerance indices

شاخص‌ها	YS	YP	TOL	MP	STI	RDI	SSI	GMP	YI	YSI	DI	K_1STI	K_2STI	ATI	SSPI	SNPI
YS	۱/۰۰															
YP	۰/۱۷	۱/۰۰														
TOL	−۰/۳۲**	۰/۸۷**	۱/۰۰													
MP	۰/۳۸**	۰/۶۴**	۰/۴۲**	۱/۰۰												
STI	۰/۷۸**	۰/۷۳**	۰/۳۳**	۰/۶۶**	۱/۰۰											
RDI	۰/۵۳**	−۰/۷۱**	−۰/۹۴**	−۰/۲۶*	−۰/۰۸	۱/۰۰										
SSI	−۰/۴۸**	−۰/۶۵**	۰/۸۶**	۰/۲۵*	۰/۰۸	−۰/۹۳**	۱/۰۰									
GMP	۰/۷۶**	۰/۷۶**	۰/۳۶**	۰/۶۶**	۰/۹۹**	−۰/۱۳	۰/۱۲	۱/۰۰								
YI	۱/۰۰**	۰/۱۷	−۰/۳۲**	۰/۳۸**	۰/۷۸**	۰/۵۳**	−۰/۴۸**	۰/۷۶**	۱/۰۰							
YSI	۰/۵۳**	−۰/۷۱**	−۰/۹۴**	−۰/۲۶*	−۰/۰۸	۱/۰۰**	−۰/۹۳**	−۰/۱۳	۰/۵۳**	۱/۰۰						
DI	۰/۸۳**	−۰/۳۷**	−۰/۷۶**	۰/۰۱	۰/۳۲**	۰/۹۰**	−۰/۸۴**	۰/۲۸*	۰/۸۳**	۰/۹۰**	۱/۰۰					
K_1STI	۰/۵۱**	۰/۹۰**	۰/۶۱**	۰/۶۹**	۰/۹۲**	−۰/۳۷**	۰/۳۳**	۰/۹۲**	۰/۵۱**	−۰/۳۷**	۰/۰۰	۱/۰۰				
K_2STI	۰/۹۵**	۰/۳۹**	−۰/۰۸	۰/۴۹**	۰/۹۰**	۰/۲۹*	−۰/۲۷*	۰/۸۷**	۰/۹۵**	۰/۲۹*	۰/۶۶**	۰/۶۹**	۱/۰۰			
ATI	−۰/۰۵	۰/۹۷**	۰/۹۵**	۰/۵۶**	۰/۵۶**	−۰/۸۲**	۰/۷۴**	۰/۵۹**	−۰/۵۳	−۰/۸۲**	−۰/۵۵**	۰/۸۱**	۰/۱۸	۱/۰۰		
SSPI	−۰/۳۲**	۰/۸۷**	۱/۰۰**	۰/۴۲**	۰/۳۲**	−۰/۹۴**	۰/۸۶**	۰/۳۶**	−۰/۳۲**	−۰/۹۴**	−۰/۷۶**	۰/۶۱**	−۰/۰۸	۰/۹۵**	۱/۰۰	
SNPI	۰/۷۶**	−۰/۲۱	۰/۵۷**	۰/۰۹	۰/۳۷**	۰/۸۰**	−۰/۷۷**	۰/۳۴**	۰/۷۶**	۰/۸۰**	۰/۹۰**	۰/۱۴	۰/۶۲**	−۰/۳۶**	−۰/۵۷**	۱/۰۰
HARM	۰/۸۹**	۰/۵۷**	۰/۱۱	۰/۵۹**	۰/۹۷**	۰/۱۱	−۰/۰۸	۰/۹۶**	۰/۸۹**	۰/۱۱	۰/۵۰**	۰/۸۰**	۰/۹۵**	۰/۳۷**	۰/۱۱	۰/۵۰**

تجزیه به عامل‌ها

تجزیه به عامل‌ها به‌منظور دسته‌بندی شاخص‌ها، تعیین اهمیت شاخص‌ها، ارتباط هر یک از آن‌ها در ایجاد تغییرات کل و همین‌طور گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها انجام شد (جدول ۵). در تجزیه به عامل‌ها از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و چرخش واریماکس استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که ۹۳/۹۲ درصد از تغییرات کل بین شاخص‌ها را دو عامل اول توجیه کرد. به‌طوری‌که، عامل اول ۴۸/۹۸ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و دارای ضرایب عاملی بزرگ و مثبت برای شاخص‌های SSPI، SSI، ATI و TOLو ضرایب عاملی منفی و بزرگ برای شاخص‌های YSI, RDI و DI بود. این عامل، عامل حساسیت به تنش نام‌گذاری شد. عامل دوم ۴۴/۹۷ درصد تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و دارای ضرایب عاملی بزرگ و مثبت برای شاخص‌های MP، STI ، MSTI، YI، HARM، DRI وGMP بود. با توجه به این‌که میزان بالای این شاخص‌ها مطلوب هستند، در صورت گزینش براساس عامل دوم، ارقامی انتخاب می‌شوند که دارای تحمل بیشتر به شرایط تنش هستند. بنابراین، عامل دوم را می‌توان عامل تحمل تنش نام‌گذاری کرد. براساس مؤلفه اول که مربوط به ژنوتیپ‌های حساس به تنش خشکی بود ژنوتیپ‌های ۲، ۱۴و ۱۸حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی بودند. براساس مؤلفه دوم ژنوتیپ‌های ۴، ۱۶ و ۱۷ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل معرفی شد (شکل ۴). نتایج حاصل از تحقیقات محمدنیا و همکاران (۲۱) نشان داد که ۹۸/۵۸ درصد تغییرات داده‌ها بین شاخص‌ها را دو عامل اول توجیه می‌کرد. به‌طوری‌که ۵۰/۰۲ درصد از تغییرات کل‌داده‌ها را عامل اول توجیه کرد و دارای ضرایب عاملی بزرگ و مثبت برای شاخص‌های MP، HM، GMP، STI، 2STI، K، K_1، DRI، SNPI و YI بود. بنابراین، عامل اول را عامل تحمل تنش‌نام‌گذاری‌کردند. عامل دوم ۴۴/۵۶ درصد از تغییرات کل شاخص‌ها را تبیین کرد و دارای ضرایب عاملی بزرگ و مثبت برای شاخص‌های ATI، SSPI، SSI و TOL ضرایب عاملی منفیو بزرگ برای شاخص‌های DI، YSI و RDI بود. این عامل، عامل حساسیت به تنش نام‌گذاری شد. در نمودار دو بعدی ترسیم شده (شکل۴) ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۷، ۲، ۱۴، ۴، ۱۶، ۵، ۱۲، ۹، ۱۱ و ۱ (شاهد دهدشت) در یک گروه بودند و در ناحیه A قرار گرفتند ولی ژنوتیپ‌های ۴، ۱۶ و ۱۷ بیشترین مقدار عامل دوم (عامل تحمل تنش) را داشتند و عامل اول (عامل حساسیت) آن‌ها در حد متوسط بود. ژنوتیپ‌های ۳،۱۳، ۶ و ۷ در ناحیه D قرار گرفتند که از نظر هر دو عامل کمترین مقدار را داشتند. در نمودار سه بعدی مربوط به STI با عملکرد در هر دو شرایط نیز ژنوتیپ‌های ۴، ۱۶ و ۱۷ جزو ژنوتیپ‌های متحمل بودند ولی رقم شاهد دهدشت عملکرد بالایی نداشت (شکل ۳).

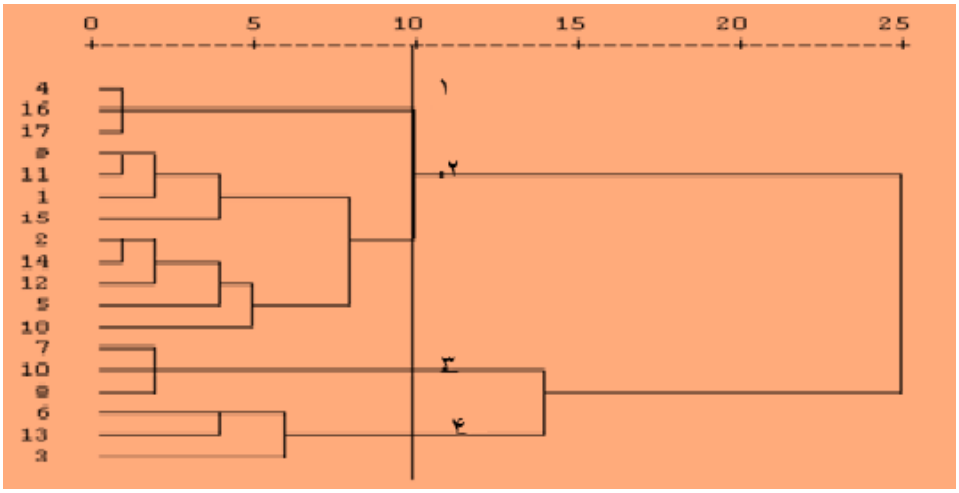
تجزیه خوشه‌ای

نمودار درختی حاصل از نتایج گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس عملکرد دانه‌ی آن‌ها و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی، براساس تجزیه خوشه‌ای به روش حداقل واریانس وارد نشان داد (شکل ۲) که ژنوتیپ‌ها در ۴ گروه قرار گرفتند. برش نمودار درختی بر اساس تجزیه تابع تشخیص و تجزیه واریانس چند متغیره انجام شد و گروه‌های حاصل در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار داشتند. ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۵، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵و ۱۸ در گروه دوم قرار گرفتند. این ژنوتیپ‌ها بعد از گروه ۱ دارای بیشترین مقادیر برای اکثر شاخص‌ها و عملکرد دانه در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی بودند. بنابراین ژنوتیپ‌های این گروه تقریباً عملکرد قابل قبولی داشتند ولی کمتر از گروه اول بودند. ژنوتیپ‌های ۴، ۱۶ و ۱۷ در گروه اول قرار داشتند که دارای بالاترین مقدار شاخص‌های تحمل نسبت به سایر لاین‌ها بودند. با توجه به این‌که شاخص‌های STI، GMP، MP، HARM و MSTI در ژنوتیپ‌های این گروه دارای بالاترین میانگین بود، ژنوتیپ‌های این گروه جزو متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش می‌باشند. گروه چهارم شامل ژنوتیپ‌های ۳، ۶ و ۱۳ بود که میزان عملکرد نسبتاً ضعیفی داشتند. از طرفی لاین‌های گروه سوم یعنی ژنوتیپ‌های ۷، ۸ و ۱۰ که پایین‌ترین میزان عملکرد و اکثر شاخص‌ها را داشتند، جزو حساس‌تری ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی شناسایی شدند. جدول (۷) ارزش هر یک از گروه‌ها را از لحاظ میانگین و انحراف از میانگین کل در شاخص‌های مورد ارزیابی را نشان می‌دهد. گروه اول شامل ژنوتیپ های ۴، ۱۶ و۱۷ می‌باشد. از نظر

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.185]

شاخص‌های MP، HM، STI، K_2STI، K_1، DI، YI، SSPI، SNPI، YSI، GMP، TOL و ATI بالاتر و SSI پائین‌تری از میانگین کل داشتند. گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۵، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵ و ۱۸ بود. ژنوتیپ‌های این گروه از نظر شاخص‌های HM، STI، K_2STI، K_1، SSI، SSPI، GMP، TOL و ATI بالاتری از میانگین و از نظر شاخص‌های MP، SNPI، YSI و RDI پائین‌تر از میانگین کل بودند. گروه سوم شامل ژنوتیپ‌های ۷، ۸ و ۱۰ بود که نظر شاخص SSI، SSPI و TOL میانگین بالاتری از میانگین کل داشتند. گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۵، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵ و ۱۸ می‌باشد. ژنوتیپ‌های این گروه از نظر شاخص‌های HM، STI ، K_2STI، K_1، SSI، SSPI، GMP، TOL و ATI میانگین بالاتری از میانگین کل داشتند ولی از نظر شاخص‌های MP، SNPI، YSI و RDI میانگین پائین‌تری از میانگین کل داشتند. گروه سوم شامل ژنوتیپ‌های ۷، ۸ و ۱۰ که نظر شاخص SSI ، SSPI و TOL میانگین بالاتری از میانگین کل داشتند. ولی میانگین این گروه از نظر شاخص‌های MP، RDI HM، STI، K_2STI، K_1، DI، YI، SNPI، YSI، GMP و ATI پائین‌تر از میانگین کل بود. گروه چهارم شامل ژنوتیپ‌های ۳، ۶ و ۱۳ بود و از نظر شاخص RDI، YSI، SNPI و DI میانگین بالاتری از میانگین کل داشتند. ولی از نظر شاخص‌های MP، HM، STI، K_2STI، K_1، YI، SSPI، TOL، GMP و ATI میانگین پائین‌تری از میانگین کل داشتند. کامرانی و همکاران (۱۳) با گروه‌بندی ۲۴ ژنوتیپ گندم نان براساس شاخص‌های تحمل تنش، آن‌ها را در ۴ گروه طبقه‌بندی کردند و گروه اول را که در اکثر شاخص‌ها میانگین بالاتری از میانگین کل داشت و فقط از نظر شاخص‌های SSI و TOL میانگین پایین‌تری نسبت به میانگین کل برخوردار بود. به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل معرفی کرد. محمدنیا و همکاران (۲۱) نیز بر همین اساس ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم را بر سه دسته تقسیم‌بندی کردند و ژنوتیپ‌های گروه دوم متحمل به تنش معرفی شدند که عملکرد و میانگین این گروه در اکثر شاخص‌ها بیشتر از میانگین کل بود و شاخص‌های SSI، SSPI، ATI و TOL پایین‌تر از میانگین کل بودند.



شکل ۲- گروه‌بندی ژنوتیپ‌های گندم دوروم براساس شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی به روش حداقل واریانس وارد

Figure 2. Grouping of durum wheat genotypes according to drought tolerance indices and grain yield under rainfed and supplementary irrigation condition using Ward Minimum Variance Method

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.185]

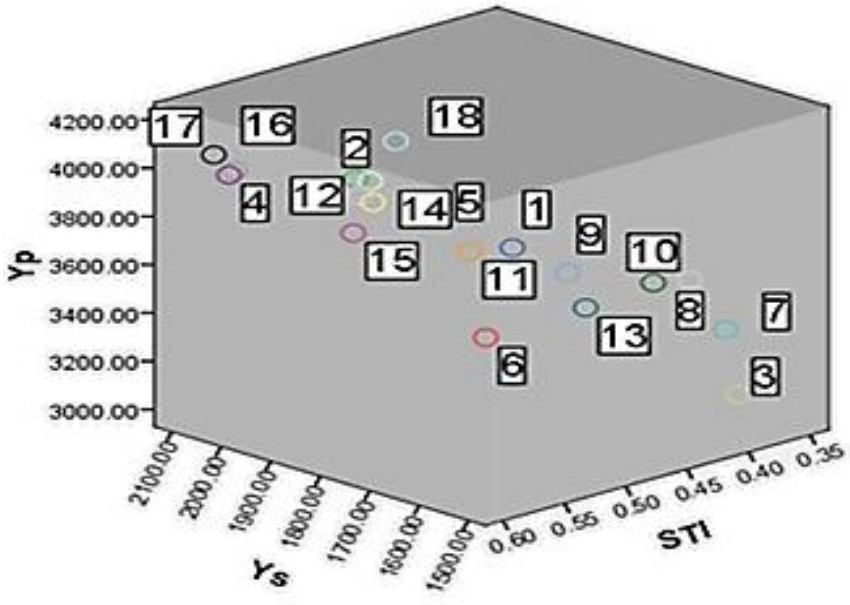
جدول ۷- میانگین گروه‌ها، انحراف میانگین هر گروه از میانگین کل و انحراف استاندارد میانگین-برای شاخص‌های مورد بررسی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم

Table 7. Groups mean, mean deviation of each group from total mean and standard deviation of mean for the indices investigated in durum wheat genotypes

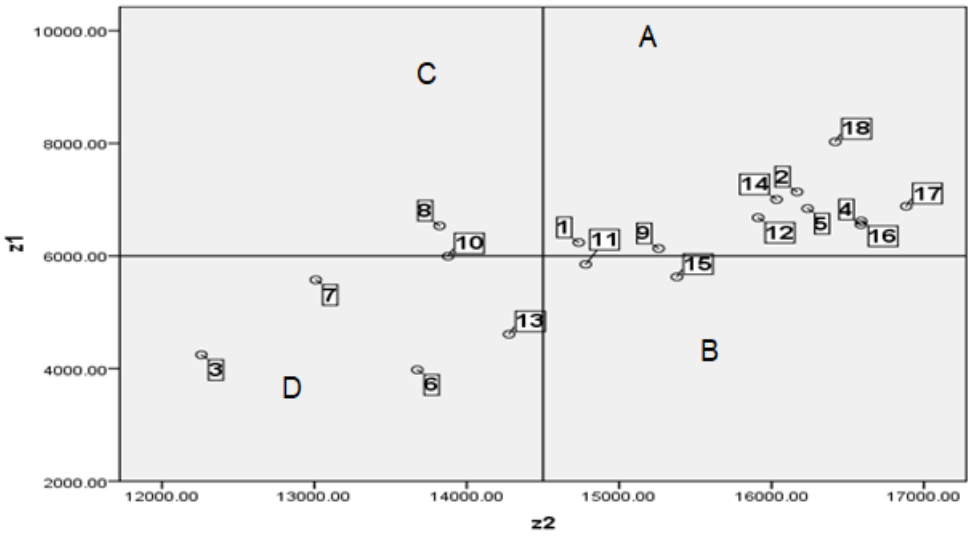
خوشه	ژنوتیپ		Tol	MP	STI	RDI	SSI	GMP	YI	YSI	DI	K1STI	K2STI	ATI	SNPI	SSPI	HARM
		میانگین	۱۹۸۷/۸	۳۰۳۶	۰/۵۹	۱/۰۴	۰/۰۱	۲۸۶۴/۵	۱/۱۲	۰/۵۱	۰/۵۸	۰/۷۰	۰/۷۶	۳۰۰۰/۶	۳۷۴۶/۹	۲۶/۷۱	۲۷۰۲/۸
۱	۴، ۱۶، ۱۷	انحراف از میانگین کل	۹۷/۸	۲۱۷/۷	۰/۱	۰/۰۱	-۰/۰۱	۲۶۵/۵	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۲۳	۳۷۲/۲	۳۲۹/۴	۱/۳۱	۲۶۷/۳
		خطای معیار	۴۳/۸	۲۶/۷۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۲۲/۶	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۸۲/۶	۴/۸۶	۰/۵۹	۲۰/۰۷
	۵،۹،۱،۲	میانگین	۱۹۹۸/۴	۲۹۵۲/۹	۰/۵۲	۰/۹۹	۰/۰۴	۲۶۸۰/۸	۱/۰۲	۰/۴۹	۰/۵۱	۰/۵۷	۰/۵۷	۲۸۲۷/۲	۳۴۱۶/۵	۲۶/۸۲	۲۵۰۷/۵
۲	۱۱،۱۵،۱۴	انحراف از میانگین کل	۱۰۸/۴	-۲۵۶/۴	۰/۰۳	-۰/۰۴	۰/۰۲	۸۱/۸	۰/۰۲	-۰/۰۱	۰/۰	۰/۰۵	۰/۰۴	۱۹۸/۸	-۱	۱/۴۲	۷۲
	۱۸،۱۲	خطای معیار	۱۹۴/۸	۲۸۷/۴	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۲	۷۳/۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۶	۳۳۷/۳	۱۳۱/۱	۲/۶۲	۶۲/۹۵
		میانگین	۱۹۱۱/۹	۲۵۴۰/۶	۰/۴۰	۰/۹۶	۰/۰۸	۲۳۳۹/۷	۰/۸۶	۰/۴۷	۰/۴۱	۰/۳۸	۰/۳۰	۲۴۱۳/۸	۲۹۲۵/۵	۲۵/۶۹	۲۱۵۷/۸
۳	۷،۸،۱۰	انحراف از میانگین کل	۲۱/۹	-۲۷۷/۷	-۰/۰۹	-۰/۰۷	۰/۰۶	-۲۵۹/۳	-۰/۱۴	-۰/۰۳	-۰/۱	-۰/۱۴	-۰/۲۳	-۲۱۴/۶	-۴۹۲	۰/۲۹	-۲۷۷/۷
		خطای معیار	۱۲۵/۷۰	۷۳/۸۸	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۴	۵۱/۴۹	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۳	۲۴۲/۴۱	۱۴۶/۲۹	۱/۶۹	۳۶/۵۸
		میانگین	۱۴۴۴/۵	۲۴۷۳/۵	۰/۴۰	۱/۱۸	-۰/۱۳	۲۳۴۶/۸	۰/۹۶	۰/۵۸	۰/۵۶	۰/۳۴	۰/۳۹	۱۸۷۳/۷	۳۵۸۳/۲	۱۹/۴۱	۲۲۲۹/۶
۴	۳،۶،۱۳	انحراف از میانگین کل	-۴۴۵/۵	-۳۴۴/۸	-۰/۰۹	۰/۱۵	-۰/۱۵	-۲۵۲/۲	-۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۵	-۰/۱۸	-۰/۱۴	-۷۵۴/۷	۱۶۵/۷	-۵/۹۹	-۲۰۵/۹
		خطای معیار	۱۷۴/۸۱	۱۴۲/۴۰	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۴	-۱۳۷/۸۰	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۱۳	۳۰۱/۸۹	۵۵۷/۱۶	۲/۳۵	۱۴۴/۸۸
		میانگین کل	۱۸۹۰/۰	۲۸۱۸/۳	۰/۴۹	۱/۰۳	۰/۰۲	۲۵۹۹/۰	۱/۰۰	۰/۵۰	۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۵۳	۲۶۲۸/۴	۳۴۱۷/۵	۲۵/۴۰	۲۴۳۵/۵

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.185]



شکل۳- گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه گندم دوروم براساس عملکرد در شرایط دیم، آبیاری تکمیلی و شاخص ST
Figure 3. Grouping of durum wheat genotypes based on yield in rainfed, supplementary irrigation and STI index



شکل ۴- گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه براساس عامل اول و دوم بر اساس شاخصهای تحمل
Figure 4. Grouping of the studied genotypes using first and second factors based on toleranc indices

بطور کلی نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های ۴، ۱۶ و ۱۷ به عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی و شاخص‌های تحمل به تنش بودند. رقم شاهد دهدشت در این مطالعه عملکرد متوسط داشت و از نظر شاخص‌های تحمل از سه ژنوتیپ مذکور بدتر بود. ژنوتیپ‌های ۷، ۸ و ۱۰ پایین‌ترین میزان عملکرد و همچنین پایین‌ترین مقدار برای اکثر شاخص‌ها را داشتند و جزو حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به شرایط دیم بودند. نتایج این تحقیق نشان داد که بین عملکرد دانه در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی با شاخص‌های MP، K_2STI، HARM، K_1STI، GMP و STI همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. بنابراین، می‌توان از این شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش استفاده کرد. مقدار این شاخص‌ها برای ژنوتیپ‌های ۴، ۱۶ و ۱۷ نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها بالاتر بود. نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به فاکتورها هم با این نتایج مطابقت داشت.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: 10.29252/jcb.12.34.185]

منابع

1. Afiuni, D. and A.R. Marjovvi. 2009. Assessment of different bread wheat cultivars responses to irrigation water salinity. Journal of Crop Cultivation Improvement, 11(2): 1-9 (In Persian).
2. Ahmadizadeh, M., M. Valizadeh, H. Shahbazi and A. Nouri. 2012. Behavior of durum wheat genotypes under normal irrigation and drought stress conditions in the greenhouse. African Journal of Biotechnology, 11(8): 1912-1923.
3. Bihamta, M.R., M. Shirkavand, J. Hasanpour and A. Afzalifar. 2018. Evaluation of durum wheat genotypes under normal irrigation and drought stress condition. Journal of Crop Breeding, 9(24): 119-136 (In Persian).
4. 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.
5. Dixit, P., R. Telleria, A.N. Al Khatib and S.F. Allouzi. 2018. Decadal analysis of impact of future climate on wheat production in dry Mediterranean environment. A case of Jornal Science of the Total Environment, 610: 219-233.
6. Farshadfar, E., B. Jamshidi and M. Aghaee. 2012 (a). Biplot analysis of drought tolerance indicators in bread wheat landraces of Iran. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 4: 226-233.
7. Farshadfar, E., M.M. Poursiahbidi and A.R. Pour Abooghadareh. 2012 (b). Repeatability of drought tolerance indices in bread wheat genotypes. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 413: 891-903.
8. Farshadfar, E., M.M. Poursiahbidi and S.M. Safavi. 2013. Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/tolerance indices. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 2: 143-158
9. Farshadfar, E. and J. Sutka. 2002. Screening drought tolerance criteria in maize. Acta Agronomia Hungarica, 50: 411-416.
10. Fernandez, G.C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetablem and other Food Crops to Temperature Water Stress, 13-18 pp., august, Taiwan, and China.
11. Fischer, R.A. and A. Maurer. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars grain yield response. Australian Journal of Agricultural Researches, 29: 897-912.
12. International Grains Council. 2017. World Grain Statistics. [on-line] Available at https:// www.igc.int/en/subscriptions/subscription.aspx. (Accessed January 4, 2018).
13. Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R.G. Campaline, G.L. Ricciardi and B. Borghi. 1997. Evaluation of field and laboratory of drought and heat stress in winter cereals. Canadian Journal of Plant Science, 77: 523-531.
14. Gautam, A., S.V. Sai Prasad, A. Jajoo and D. Ambati. 2015. Canopy temperature as a selection parameter for grain yield and its components in durum wheat under terminal heat stress in late sown conditions. Agricultural Research, 4: 238-244.
15. Golabadi, M., A. Arzani and S.A.M. Mirmohammadi Maibody. 2006. Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. African Journal of Agricultural Research, 1: 162-171.
16. Kamrany, M., A. Mehraban and M. Shiri. 2019. Identification of drought tolerant genotypes in dryland wheat using drought tolerance indices. Journal of Crop Breeding, 10(28): 13-26 (In Persian).
17. Khaksar, N., E. Farshadfar and R. Mohammadi. 2013. Evaluation of durum wheat advanced genotypes based on drought tolerance indices. Cereal Research, 3(4): 267-279
18. Lan, J. 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. Acta Agricultural Boreali-occid Sciences, 7: 85-87.
19. Mohammadi, R., M. Armion, D. Kahrizi and A. Amri. 2010. Efficiency of screening techniques for evaluating durum wheat genotypes under mild drought conditions. International Journal of Plant Production, 4: 1735-8043.
20. Mohammadi, M., R. Karimizadeh and M. Abdipour. 2011. Evaluation of drought tolerance in bread wheat genotypes under dryland and supplemental irrigation conditions. Australian Journal of Crop Science, 5: 487-493.
21. Mohammadnia, S., A. Asghari, O. Sofalian, H.R. Mohammaddoust ChamanAbad, R. Karimizadeh and A.A. Shokouhian. 2016. Evaluation of durum wheat lines using drought stress indices. Journal of Crop Breeding, 8(20): 11-23 (In Persian).
22. Moosavi, S.S., B. Yazdi Samadi, M.R. Naghavi, A.A. Zali, H. Dashti and A. Pourshahbazi. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. Desert, 12: 165-178.
23. Munns, R., R.A. James and A. Lauchli. 2006. Approaches increasing the salt tolerance.of wheat and other cereals. Journal of Experimental Botany, 57: 1025-1043.
24. Oweis T. 1997. Supplemental Irrigation: A highly efficient water-use practice. International Center for AgriculturalResearch in the Dry Areas (ICARDA), 16 pp., Aleppo, Syria.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.185]

25. Pireivatlou, A.G., B. Sanjari, D. Masjedlou and R.T. Aliyev. 2010. Evaluation of yield potential and stress adaptive trait in wheat genotypes under post anthesis drought stress conditions. African Journal of Agricultural Research, 5(20): 2829-2836.
26. Rahmani, S.H., E. Farshadfar and M. Mahdi Jowkar. 2013. Locating QTLs controlling yield based indicators of drought tolerance in Agropyron using wheat agropyron disomic addition lines. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 5: 1028-1033.
27. Rosielle, A.A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science Journal, 21: 943-946.
28. Sadegh-Zadeh-Ahari. D. 2006. Evaluation for tolerance to drought stress in dryland promising durum wheat genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences, 8: 30-45 (In Persian).
29. Sami Zade Lahighi, H. 1996. Study of phenotype and genotype variety of quality and quantity parameters and their condition with white chickpea yield. Ph.D. Dissertation, University of Azad Eslamic University, Karaj.
30. Shafazadeh, M., A. Yazdan Sepas, A. Amini and M. Ghanadha. 2004. Study of terminal drought tolerance in promising winter and facultative wheat genotypes using stress susceptibility and tolerance indices. Seed and Plant, 20(1): 57-71 (In Persian).
31. Shiri, M., M. Valizadeh, E. Magjidi A. Sanjari and A. Gharib-Eshghi. 2010. Evaluation of wheat tolerance indices to moisture stress condition. Electronic Journal of Crop Production, 3: 153-171 (In Persian).
32. Sio-se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crop Researches, 98: 222-229.
33. Stone. L.R. and A.J. Schlegel. 2006. Yieldwater supply relationships of grain sorghum and winter wheat. Agronomy journal, 98: 1359-1366.
34. Taha, S.A. and F. Sagi. 1987. Relationships between chemical composition of durum wheat semolina and macaroni quality. II. Ash, carotenoid pigments and oxidative enzymes. Cereal Research Communication, 15: 123-129.
35. Zareii. D.F., A .Roozbahani and A. Hosnamidi. 2014. Evaluation the effect of water stress and foliar application of nanoparticles on yield. Components and oil Percentage of Safflower (*Carthamus tinctorious* L.). IJABBR Article, 4(2): 11-20.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.185]

Evaluation of Stress Tolerance in Durum Wheat Genotypes Based on Tolerance Indices

Ali Asghari[1], Sahar Tadili[2], Rahmatollah Karimizadeh[3], Omid Sofalion[4] and Hamidreza Mohammaddoust Chamanabad[4]

1- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran (Corresponding author: ali_asgharii@yahoo.com)
2- M.Sc. Student Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
3- Assistant Professors, Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ghachsaran, Iran
4- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
Received: February 8, 2020 Accepted: April 4, 2020

Abstract

In order to evaluate the drought stress tolerance of durum wheat genotypes, an experiment was conducted at Gachsaran Dryland Research Center, Iran during 2017-18. A total of 18 durum wheat genotypes were studied in a randomized complete block design with four replications under rainfed and supplementary irrigation conditions. The results of combined analysis of variance showed that supplementary irrigation significantly increased grain yield. In supplementary irrigation condition, the genotypes 16, 17 and 18 and in rain fed condition the genotypes 4, 16 and 17 had the highest grain yield per hectare. The stress tolerance indices were calculated based on yield of genotypes in rain fed and supplementary irrigation conditions. With considering of significant positive correlation between grain yield in the rain fed condition (YS) with relative drought index (RDI), mean productivity index (MP), stress tolerance index (STI), yield index (YI), geometric mean productivity index (GMP), new drought resistance index (DI), improved stress tolerance index (MSTI), non-Stress Environmental Stress Index (SNPI) and harmonic Mean Index (HARM), these indices are suitable for identification of stress tolerant lines. Stress susceptibility index (SSI), yield stability index (YSI), abiotic stress tolerance index (ATI) and stress sensitivity percentage index (SSPI) did not play a significant role in the differentiation of genotypes. On the other hand, there was a significant positive correlation between grain yield in supplemental irrigation with TOL, MP, YI, MSTI, SSPI, ATI, SSI and STI. Grouping of genotypes using cluster analysis method showed that the genotypes were classified into four distinct groups and genotypes 4, 16 and 17 were in the fourth group with the highest tolerance indices compared to the other. Genotypes 7, 8 and 10, which had the lowest yield and also the lowest amount for the most indices, were identified as the most susceptible to drought stress. The results of factor analysis confirmed the above results.

Keywords: Biplot, Factor Analysis, Cluster Analysis, Drought Tolerance Indices

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jcb.12.34.185]