"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و دوم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹

مقاله پژوهشی

ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های گندم دوروم (*Triticum durum* L.) بر اساس ویژگی‌های فیزیولوژیک در شرایط تنش خشکی با استفاده از روش GGE بای‌پلات

Evaluation of genetic diversity of durum wheat genotypes based on physiological traits in drought conditions using GGE-Biplot analysis

عزت‌اله فرشادفر[۱]، آنیتا یاقوتی پور[۲]، سمیه جمشیدی نژاد[۳]، فاطمه باوندپوری[۴] و محسن فرشادفر[۵]

چکیده

فرشادفر، ع.،آ. یاقوتی پور، س. جمشیدی نژاد، ف. باوندپوری و م. فرشادفر. ۱۳۹۹. ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های گندم دوروم (*Triticum durum* L.) بر اساس ویژگی‌های فیزیولوژیک در شرایط تنش خشکی با استفاده از روش GGEبای‌پلات. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۲(۲): ۱۳۹-۱۲۵.**

به‌منظور بررسی تنوع ژنتیکی بر اساس شاخص‌های فیزیولوژیک و تحمل به تنش خشکی ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم، آزمایشی در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه در قالب طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل انجام شد. نتایج تجزیه واریانس برای صفات زراعی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی نشان داد که اثر ژنوتیپ برای آب باقی‌مانده در برگ‌های بریده‌شده، بهره‌وری آب، هدایت روزنه‌ای، محتوای کلروفیل، عملکرد دانه و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های ۲۰، ۵، ۳، ۱، ۱۲و ۱۳ دارای بیشترین مقدار در کلیه صفات و شاخص‌های اندازه‌گیری شده مانند عملکرد دانه (۵۳۵/۳ گرم در متر مربع)، محتوای آب نسبی (۷۳/۲ درصد)، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ (Fv/Fm) (۰/۷۶۹) و فعالیت آنزیمی سوپر اکسید دیسموتاز (۲/۱۱ واحد در میلی‌گرم پروتئین) بودند. بر اساس نتایج همبستگی در شرایط تنش خشکی صفت عملکرد دانه با محتوای کلروفیل b و کلروفیل کل و همچنین محتوی آب نسبی برگ با کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ همبستگی مثبت معنی‌داری داشتند. بین محتوای آب برگ‌های بریده شده با میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز همبستگی منفی معنی‌داری وجود داشت. بر اساس نتایج تجزیه GGE بای‌پلات برای عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های ۵، ٦، ۲۰، ۹، ۲، ۳، ۱۰، ٤ و ۱۹ بعنوان ژنوتیپ‌های برتر شناخته شدند. بر اساس نتایج آزمایش استفاده از شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی و ارزیابی تنوع ژنتیکی با استفاده از GGEبای‌پلات ابزار ارزشمندی برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا برای تحمل خشکی محسوب می‌شود. این اطلاعات برای استفاده در برنامه به نژادی کاربردی گندم دوروم برای انتخاب والدین دورگ گیری ها و تولید ارقام متحمل به تنش خشکی از اهمیت بالایی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، برهمکنش ژنوتیپ و محیط، فاصله ژنتیکی و گندم دوروم.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۰۷ این مقاله مستخرج از رساله دکتری نگارنده چهارم می‌باشد.

۱- استاد دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی دانشگاه رازی
۲- استادیار دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی،دانشگاه رازی
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی دانشگاه رازی
۴- دانشجوی دکتری دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی دانشگاه رازی
۵- دانشیار گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: farshadfarmohsen@yahoo.com)

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.3.2]
[DOI: 10.29252/abj.22.2.125]

مقدمه

گندم دوروم (*Triticum durum* L.) از گروه گندم‌های تتراپلوییید، یکی از منابع تأمین‌کننده انرژی و پروتئین، پس از گندم نان (*T. aestivum* L.) از بیشترین اهمیت برخوردار است و نقش عمده‌ای در تغذیه میلیون‌ها انسان دارد. دارا بودن گلوتن سنگین و خمیر غیر چسبنده، باعث مطلوبیت این نوع گندم برای تهیه محصولات خمیری از جمله ماکارونی و اسپاگتی شده است. طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۷ تولید گندم دوروم در سطح جهان حدود ۳۸ میلیون تن گزارش شده و بزرگترین تولید کنندگان گندم دوروم عبارتند از کشورهای اتحادیه اروپا، کانادا، ترکیه، مکزیک، امریکا، الجزایر، مراکش و قزاقستان (world grain.com). در بین گونه‌های جنس تریتیکوم، گندم دوروم در مناطق کم باران و خشک و اراضی کم بازده که مستعد تنش‌های محیطی هستند، در مقایسه با گندم نان، سازگاری بهتری داشته و عملکرد آن نیز بالاتر است و در شرایط مطلوب و فاریاب نیز از لحاظ میزان تولید محصول قابلیت رقابت با گندم نان را دارد (Fayaz and Arzani, 2011). ایران جزء مناطق خشک جهان بوده و میانگین میزان بارش سالانه آن ۲۵۰ میلی‌متر است که حدود یک‌سوم میانگین جهانی است. علاوه بر خشک بودن، ایران کشوری مستعد خشک‌سالی است و میزان خسارت خشک‌سالی به علّت کاهش سرانه آب قابل‌دسترس ناشی از افزایش جمعیت، تغییر اقلیم و بهره‌برداری بیش از حد و کاهش کیفی منابع آب موجود (شوری و آلودگی)، در حال افزایش است (Heidari Sharifabad, 2008). خشکی زمانی رخ می‌دهد که مجموعه‌ای از عوامل محیطی باعث وارد شدن تنش به گیاه شده و باعث کاهش میزان تولید می‌شوند. خشکی به‌عنوان نبود یا کمبود رطوبت در مراحل حساس رشد گیاه تعریف شده است (Kazemi *et al*. 2008). تنش خشکی به‌عنوان مهم‌ترین تنش غیرزنده در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان نقش عمده‌ای در کاهش تولید گیاهان زراعی دارد، ازاین‌رو شناسایی صفاتی که با تحمل به خشکی در ارتباط هستند، ضرورت پیدا می‌کند. در ایران دوسوم سطح زیر کشت گندم، به‌صورت دیم است و با توجه به کمبود بارش‌های آسمانی، پراکنش نامناسب بارش و دمای بالای هوا، بخصوص در اواخر فصل رشد، گیاه را در معرض تنش خشکی قرار می‌دهد. این محدودیت آبی برحسب زمان، اثر قابل توجهی بر عملکرد دانه دارد.

در دسترس بودن اطلاعات درباره تنوع ژنتیکی در ارقام اهلی و خویشاوندان وحشی یک‌گونه گیاهی اهمیت زیادی در استفاده از آن در یک برنامه اصلاحی دارد (Romena 2019). ارقامی که به تنش آبی تحمل داشته باشند در صورتی‌که محیط دارای تنوع زیادی باشد، دارای ثبات در عملکرد هستند. روش بای‌پلات اساسا برای آزمایش‌های ناحیه‌ای طراحی شده است، اما امکان استفاده از آن بر اساس داده‌های دوطرفه ژنوتیپ-تستر نیز وجود دارد. این روش بر پایه مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم استوار بوده و بسط داده شده است. GT بای‌پلات (Gynotype by Trait Biplot) که توسط یان و راجکان (Yan and Rajcan, 2002) پیشنهاد شد، یک ابزار آماری قدرتمند برای مطالعه روابط بین صفات، ارزیابی ارقام بر اساس صفات چندگانه و شناسایی ارقامی که از لحاظ صفات خاصی برتر هستند، می‌باشد. ژنوتیپ‌ها به‌عنوان ورودی و صفات چندگانه به‌عنوان تسترها (محک زن‌ها) قرار داده می‌شوند (Rubio *et al*. 2004). تجزیه به روش GT بای‌پلات همبستگی بین صفات را نیز نشان می‌دهد (Yan and Rajcan, 2002).

هدف از تحقیق حاضر ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم دوروم و مطالعه روابط بین صفات برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر بود. بعلاوه شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا برای تحمل خشکی بر اساس شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی و نیز ارزیابی

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.3.2]
[DOI: 10.29252/abj.22.2.125]

تنوع ژنتیکی با استفاده از روش GGEبای‌پلات از اهداف دیگر آزمایش بوده است.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی مورد استفاده در این تحقیق شامل ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم بود که بذر آنها از معاونت مؤسسه تحقیقات دیم کشور (سرارود) تهیه شدند (جدول ۱). آزمایش در قالب طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه اجرا شد. هر کرت آزمایشی شامل چهار خط دو متری بافاصله ۲۵ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع بود. کاشت بذر در ۱۷ آبان ۱۳۹۲ انجام شد. موقعیت جغرافیایی و اطلاعات آب و هوایی محل اجرای آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. در شرایط بدون تنش مطابق روش متعارف منطقه هر ۱۰ روز یک‌بار تا هنگام زرد شدن برگ‌ها آبیاری انجام شد. در شرایط تنش خشکی گیاهان فقط در دو مرحله (زمان کاشت و مرحله دانه بندی) آبیاری شدند. در طول اجرای آزمایش از هیچ‌گونه کود شیمیایی استفاده نشد و کنترل علف‌های هرز به صورت وجین دستی انجام شد. برداشت محصول در اوایل تیر ۱۳۹۳ انجام شد. برای یادداشت‌برداری از هر کرت پنج نمونه

جدول ۱- کد بانک ژن ژنوتیپ‌های گندم دوروم مورد ارزیابی

Table 1. Gene bank code of durum wheat genotypes

ردیف No.	کد بانک ژن Gene bank code	ردیف No.	کد بانک ژن Gene bank code
1	N141979	11	N142025
2	N141982	12	N142035
3	N141987	13	N142038
4	N141994	14	N142039
5	N141995	15	N142045
6	N141997	16	N142056
7	N141999	17	N142060
8	N142004	18	N142069
9	N142005	19	N142070
10	N142017	20	Saji(Mrb11//Snipe/Magh/3/Rufom-7)

جدول ۲- موقعیت جغرافیایی و اطلاعات آب هوایی محل اجرای آزمایش (۹۳-۱۳۹۲)

Table 2. Geographical coordinate and climatic information of experiment site (2013-2014)

Altitude	طول جغرافیایی	47˚.09′
Latitude	عرض جغرافیایی	34˚.21′
Elevation	ارتفاع از سطح دریا	1319 m
Rainfall	بارندگی	450 – 480 mm
Soil texture	بافت خاک	Silty clay
Climatic condition	شرایط اقلیمی	Temperate cold
Min. and Max. temperatures	میانگین حداقل و حداکثر دما	5.9 - 22.6 ˚C
Rainfall during experiment	بارندگی در سال آزمایش	392.7 mm

Oct.2013	مهر ۱۳۹۲	-	Apr.2014	فروردین ۱۳۹۳	31 mm
Nov.2013	آبان ۱۳۹۲	107 mm	May.2014	اردیبهشت ۱۳۹۳	11.98 mm
Dec.2013	آذر ۱۳۹۲	54.5 mm	Jun.2014	خرداد ۱۳۹۳	7.8 mm
Jan.2014	دی ۱۳۹۲	43.7 mm	Jul.2014	تیر ۱۳۹۳	-
Feb.2014	بهمن ۱۳۹۲	76.2 mm			
Mar.2014	اسفند ۱۳۹۲	47.3 mm			

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.3.2]
[DOI: 10.29252/abj.22.2.125]

تصادفی و با رعایت اثر حاشیه انتخاب شد. صفات عملکرد دانه، محتوای آب نسبی برگ (RWC)، بهره‌وری آبیاری، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز، محتوی کلروفیل a، b و کلروفیل کل، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ (F_v/F_m)، هدایت روزنه‌ای، آب باقی‌مانده در برگ‌های بریده شده (Excised Leaf Water Retention; ELWR) اندازه‌گیری شدند.

پس از حذف حاشیه سنبله‌های دو ردیف یک و نیم متری از هر کرت یک و نیم مترمربعی برداشت و خرمن‌کوبی شده و وزن دانه‌ها اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی عصاره گیری به روش راماچاندرادی و همکاران (Ramachandra Reddy *et al*., 2004) انجام شد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD) از روش چانس و ماهلی (Chance and Maehly, 1995) با اندکی تغییرات استفاده شد. اندازه‌گیری بر اساس میزان اکسید شدن گوایکول توسط این آنزیم انجام شد و جذب در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه الیزا (مدل Bio Tek Power wave XS2 آمریکایی) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (SOD) از روش بیچامپ و فریدوویچ (Beauchamp and Fridovich, 1971) استفاده شد. اندازه‌گیری بر اساس توانایی آنزیم SOD در متوقف کردن احیاء فتوشیمیایی نیتروبلوتترازولیوم (NBT) توسط رادیکال‌های سوپر اکسید در حضور ریبوفلاوین در نور صورت می‌گیرد و جذب در طول‌موج ۵۶۰ نانومتر با استفاده از دستگاه الیزا (مدل Bio Tek Powerwave XS2 آمریکایی) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) با استفاده از روش سینها (Sinha, 1972) با اندکی تغییرات انجام شد. در این روش از واکنش احیای دی‌کرومات پتاسیم محلول در اسیداستیک به کرومیک‌استات و تشکیل پرکرومیک‌اسید سبز رنگ در حضور هیدروژن پراکسید و حرارت استفاده شد و جذب در طول‌موج ۵۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه الیزا (Bio Tek Powerwave XS2, USA) اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری محتوی کلروفیل از روش لیچتن تالر و ولبرن (Lichtenthaler and Wellburn. 1983) استفاده شد. جذب در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۶ و ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه الیزا (Bio Tek Powerwave XS2, USA) اندازه‌گیری شد و با استفاده از روابط زیر میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل محاسبه شدند (Arnon, 1949; Ashraf *et al*., 1994).

$Chl_a = 12.21\ (A663) - 2.81\ (A646)$ (رابطه ۱)

$Chl_b = 20.13\ (A646) - 5.1\ (A663)$ (رابطه ۲)

$Chl_T = Chl_a + Chl_b$ (رابطه ۳)

برای اندازه‌گیری محتوای آب نسبی برگ (RWC) و آب باقی مانده در برگ‌های بریده شده (ELWR) از روش ایگرت و تووینی (Egert and Tevini, 2002) و کلارک و مک گایک (Clarke and McCaig, 1982) استفاده شد:

$$RWC = \frac{WF - WD}{WT - WD}$$ (رابطه ۴)

$$ELWR = 1 - (\frac{WF - W3}{WF})$$ (رابطه ۵)

W3, WT, WD ,WF به ترتیب وزن تر برگ، وزن خشک برگ (پس از خشکاندن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد)، وزن آماس (پس از قرار دادن برگ‌ها در آب مقطر به مدت ۲۰-۱۸ ساعت)، وزن برگ جدا شده از گیاه بعد از شش ساعت (در دمای ۲۵ درجه و در داخل انکوباتور) می‌باشند. برای محاسبه میزان آب آبیاری مورد استفاده در شرایط بدون تنش از سرریز مثلثی و فرمول‌های مربوط به آن، ارتفاع آب مورد استفاده برای آبیاری و مدت زمان آبیاری استفاده شده و حجم کل آب مصرفی با حاصل جمع میزان آب آبیاری و آب حاصل از بارندگی به دست آمد. برای اندازه‌گیری کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ (F_v/F_m) و

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.3.2]
[DOI: 10.29252/abj.22.2.125]

هدایت روزنه‌ای به ترتیب از دستگاه‌های کلروفیل فلورسنس و پورومتر (مدل SB-1 آلمانی و پورومتر Hansatech Pocket pea امریکایی) استفاده شد.

تجزیه واریانس داده‌ها برای صفات و شاخص‌های گیاهی اندازه‌گیری شده در شرایط تنش خشکی انجام شد. برای آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی از آزمون Fmax هارتلی استفاده شد. مقایسهٔ میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام گرفت. برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها از نرم‌افزار SAS و برای محاسبه ضرایب همبستگی بین صفات از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. تنوع ژنتیکی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم با استفاده از نرم‌افزار GGE بای‌پلات ارزیابی شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی بر کلیه صفات و شاخص‌ها، به‌استثنای محتوی آب نسبی برگ، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ و کلروفیل a معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان داد که در شرایط تنش خشکی بیشترین مقدار عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ ۲۰ (۵۳۵/۳ گرم در متر مربع)، محتوای آب نسبی مربوط به ژنوتیپ ۳ (۷۳/۲ درصد)، آب باقی‌مانده در برگ‌های بریده شده مربوط به ژنوتیپ ۵ (۷۶/۱ درصد)، هدایت روزنه‌ای مربوط به ژنوتیپ ۳ (۴۱/۷ میلی مول در متر مربع در ثانیه)، کارایی کوانتومی فتوسیستم ۲ (Fv/Fm) مربوط به ژنوتیپ ۵ (۰/۷۶۹)، بهره‌وری آب آبیاری مربوط به ژنوتیپ ۱ (۱۲/۰۱ کیلوگرم بر متر مکعب)، فعالیت آنزیمی پراکسیداز مربوط به ژنوتیپ ۵ (۱۴۵/۲ واحد در میلی‌گرم پروتئین)، فعالیت آنزیمی سوپر اکسید دیسموتاز مربوط به ژنوتیپ ۱۳ (۲/۱۱ واحد در میلی‌گرم پروتئین)، فعالیت آنزیمی کاتالاز مربوط به ژنوتیپ ۱۲ (۴۸۹۱/۳ واحد در میلی‌گرم پروتئین)، کلروفیل a مربوط به ژنوتیپ ۲۰ (۲۵/۵ میلی گرم بر گرم وزن تر)، کلروفیل b مربوط به ژنوتیپ ۲۰ (۱۵/۱۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل کل مربوط به ژنوتیپ ۲۰ (۴۰/۷۳ میلی گرم بر گرم وزن تر) بودند. گزارش شده است که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم می‌شود (Amiri and Assad, 2005) که نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش حاضر نیز موید آن است. در شرایط بدون تنش بهره‌وری آب در ارقام حساس گندم بالاتر از ارقام متحمل بوده و دلیل آن می‌تواند بالاتر بودن میزان عملکرد دانه این ارقام نسبت به ارقام متحمل باشد (Shao *et al.*, 2005). برخی از ژنوتیپ‌های گندم دوروم در شرایط تنش دارای بهره‌وری آب بالاتری نسبت به شرایط بدون تنش بودند. این موضوع نشان می‌دهد که کاشت ارقام متحمل، به‌ویژه ارقامی که برای شرایط دیم معرفی‌شده‌اند، در شرایط تنش خشکی اقتصادی‌تر بوده و حفظ آب خاک در حد ظرفیت مزرعه که با آبیاری‌های مکرر امکان‌پذیر می‌گردد، تنها باعث اتلاف منابع شده و در صورت وجود آب کافی، استفاده از ارقام حساس از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر است. بر اساس نتایج آزمایش محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2011) یکی از سازوکارهای اصلی تحمل به خشکی در گیاهان، کاهش تعرق از طریق بستن روزنه‌ها است که باعث افزایش آب حفظ شده در برگ می‌گردد. در واقع ارقام متحمل توانایی بالاتری در کنترل روزنه‌ها دارند و ارقامی که آب باقی‌مانده بیشتری در برگ‌های بریده شده دارند، تحمل بیشتری به خشکی نشان می‌دهند. محتوی آب نسبی برگ به‌عنوان نشانگر موثر فیزیولوژیکی برای تحمل به خشکی در بسیاری از گیاهان زراعی از جمله گندم نان (Farshadfar, 2012)، شناخته شده است.

کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ به‌صورت Fv/Fm بیان می‌شود. احمدی زاده و همکاران

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.3.2]
[DOI: 10.29252/abj.22.2.125]

(Ahmadizadeh *et al.*, 2011) گزارش کردند که در گندم دوروم در شرایط تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز و کاتالاز در ارقام متحمل افزایش یافت بر اساس نتایج آزمایش سایار و همکاران (Sayar *et al.*, 2008) در ژنوتیپ‌های گندم دوروم در شرایط تنش خشکی میزان فلورسانس کلروفیل نزدیک صفر و در شرایط بدون تنش حدود ۰/۸ بود. بین ژنوتیپ‌ها از نظر این شاخص تفاوت معنی‌داری وجود داشت. رنو و دوارشی (Renu and Devarshi, 2007) گزارش دادند که تنش خشکی باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در ارقام گندم می‌شود. آن‌ها دریافتند که ارقام متحمل گندم دارای میزان کاتالاز بیشتری نسبت به ارقام حساس بوده و میزان افزایش آن در ارقام حساس معنی‌دار نبود. گریگرسن و هولم (Gregersen and Holm, 2007) گزارش کردند که در شرایط تنش میزان کلروفیل در برگ پرچم گندم کاهش یافته و ارقام دارای محتوی کلروفیل بالاتر، تحمل بیشتری نشان می‌دهند. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان یکی از پاسخ‌هایی است که گیاه به افزایش رادیکال‌های آزاد می‌دهد. گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در ذرت بطور معنی‌داری افزایش می‌یابد (Ahmadi *et al.* 2010). نتایج نشان داد که میزان هدایت روزنه‌ای در ارقام گندم دوروم در شرایط تنش خشکی کاهش معنی‌داری یافت. ارقام حساس در شرایط تنش خشکی دارای هدایت روزنه‌ای بالاتری نسبت به ارقام متحمل بودند. هدایت روزنه‌ای بالاتر می‌تواند باعث از دست رفتن آب بیشتر در ارقام حساس شود. کاویانی و همکاران (Kaviani *et al.*, 2013) در بررسی تنوع ژنتیکی برای صفات زراعی و مورفولوژیکی در توده‌های گندم دوروم گزارش شد که مواد ژنتیکی موجود در کلکسیون گندم دوروم منابع ارزشمندی هستند که علاوه بر دارا بودن صفات جدید، تنوع بالایی را از نظر اصلاح و تولید ارقام جدید گندم دوروم برای به‌نژاد گران فراهم می‌کنند.

نتایج به‌دست آمده در ماتریس ضرایب همبستگی صفات و شاخص‌های مورد ارزیابی (جدول ۴) نشان داد که صفت عملکرد دانه با کلروفیل b و کلروفیل کل و همچنین محتوی آب نسبی آب برگ با کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند. بین کلروفیل a با کلروفیل b و کلروفیل کل و نیز بین کلروفیل b با کلروفیل کل همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در سلول‌های گیاهی غالباً در مواجهه با تنش‌های محیطی افزایش‌یافته و بدین ترتیب گیاهان از خسارات رادیکال‌های آزاد اکسیژن ایجادشده مصون می‌مانند. سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز، گلوتانین ازجمله آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی هستند که نقش اساسی در متابولیزه کردن ترکیبات فعال اکسیژن و جلوگیری از خسارت ناشی از تنش اکسیداتیو را بر عهده دارند (Hamrahi *et al.*, 2008). گیل و همکاران (Gale *et al.*, 2002) نیز در آزمایش روی ارقام گندم گزارش کردند که با اعمال تنش خشکی تغییری در کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ مشاهده نشد. نتایج یک آزمایش نشان داد که تنش غرقابی در سویا باعث اختلال در متابولیسم گیاه از طریق کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو، کاهش فسفوریلاسیون نوری، تغییر نسبت کلروفیل a به کلروفیل b در فتوسیستم ۲ گردیده و میزان و سنتز مجدد کلروفیل کاهش یافت. میزان فلورسانس کلروفیل، میزان کلروفیل a و b و کاروتنویید‌ها در طول تنش روندی کاهشی داشتند. میزان کاهش کلروفیل b با افزایش زمان غرقابی بسیار بیشتر از کلروفیل a بود که باعث کاهش نسبت

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.3.2]
[DOI: 10.29252/abj.22.2.125]

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.3.2]

[DOI: 10.29252/abj.22.2.125]

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات و شاخص‌های گیاهی ژنوتیپ‌های گندم دوروم در تیمار تنش خشکی

Table 3. Mean comparison of plant traits of durum wheat genotypes under drought stress treatment

ژنوتیپ‌های گندم دوروم Durum wheat genotypes	عملکرد دانه Grain yield ($g.m^{-2}$)	محتوای آب نسبی Relative water content (%)	آب باقی‌مانده در برگ‌های بریده‌شده Excised leaf water retention (g)	بهره‌وری آب Water productivity ($kg.m^{-3}$)	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance (mmol $H_2O.m^{-2}$ s^{-1})	کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ Fv/Fm
N141979	391.4	68.8	0.670	12.0	16.1	0.766
N141982	373.5	72.0	0.631	11.4	23.3	0.747
N141987	345.6	73.2	0.627	10.6	41.7	0.754
N141994	390.6	71.3	0.725	11.9	29.8	0.745
N141995	384.2	72.5	0.761	11.7	18.4	0.769
N141997	338.9	65.7	0.706	10.4	28.3	0.740
N141999	338.0	66.7	0.636	10.3	27.8	0.725
N142004	367.7	69.4	0.702	11.2	20.9	0.742
N142005	383.8	72.7	0.628	11.7	24.5	0.762
N142017	342.9	72.3	0.655	10.5	31.8	0.746
N142025	380.3	64.2	0.642	11.6	24.9	0.736
N142035	367.3	67.6	0.663	11.2	16.4	0.751
N142038	338.4	70.2	0.611	10.3	38.7	0.737
N142039	310.8	67.6	0.675	9.5	16.9	0.711
N142045	350.6	71.6	0.710	10.7	36.6	0.765
N142056	323.8	68.3	0.735	9.9	39.4	0.750
N142060	340.0	66.2	0.743	10.4	25.3	0.746
N142069	209.1	65.5	0.715	6.4	16.1	0.749
N142070	384.3	70.6	0.650	11.7	28.4	0.754
Saji(Mrb11//Snipe/Magh/3/Rufom-7)	535.3	69.9	0.715	8.70	32.8	0.743
LSD5%	51.7	7.1	0.063	1.59	4.14	0.053
Max.	391.4	73.2	0.761	12.0	41.7	0.769
Min.	1.53	64.2	0.611	6.4	16.1	0.711
Mean	347.2	69.3	0.680	10.6	26.9	0.747

جدول ۳- ادامه

Table 3. Continued

ژنوتیپ‌های گندم دوروم Durum wheat genotypes	فعالیت آنزیم پراکسیداز POD (U.mg^{-1} protein)	فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز SOD (U.mg^{-1} protein)	فعالیت آنزیم کاتالاز CAT (U.mg^{-1} protein)	کلروفیل a Chl$_a$ (mg.g^{-1}Fw)	کلروفیل b Chl$_b$ (mg.g^{-1}Fw)	کلروفیل کل Chl$_{Total}$ (mg.g^{-1}Fw)
N141979	103.7	1.71	2273.6	23.4	11.8	35.2
N141982	107.0	1.81	2408.7	22.0	9.8	31.9
N141987	117.1	1.51	1286.4	24.7	13.5	38.3
N141994	140.0	0.96	2912.3	23.5	12.3	35.8
N141995	145.2	1.37	2568.5	24.6	12.8	37.5
N141997	100.6	0.57	1589.8	24.3	13.9	38.2
N141999	114.6	0.81	1765.6	23.5	8.1	31.7
N142004	121.9	1.13	1113.3	23.8	12.1	36.0
N142005	114.4	1.76	2266.2	22.8	11.1	34.0
N142017	116.7	1.49	3033.7	25.3	12.6	38.0
N142025	100.6	1.19	1283.0	23.3	10.0	33.3
N142035	125.8	1.71	4891.3	23.7	11.4	35.1
N142038	123.0	2.11	1615.8	25.2	12.0	37.2
N142039	96.5	1.63	564.5	23.5	10.6	34.1
N142045	98.0	1.04	1932.7	22.9	10.6	33.6
N142056	131.3	1.32	1283.2	22.7	8.7	31.4
N142060	98.8	1.06	2050.2	24.4	11.8	36.2
N142069	107.5	1.40	2936.1	23.4	10.6	34.0
N142070	104.1	1.94	2223.2	24.3	12.4	36.7
Saji(Mrb11//Snipe/Magh/3/Rufom-7)	105.3	0.49	2804.1	25.5	15.1	40.7
LSD5%	29.4	0.254	488.1	2.47	2.2	3.6
Max.	145.2	2.11	4891.3	25.5	15.1	40.7
Min.	96.5	0.499	564.5	22.0	8.1	31.4
Mean	113.6	1.35	2140.1	23.8	11.6	35.4

جدول ۴- ضرایب همبستگی میان صفات و شاخص‌های گیاهی ژنوتیپ‌های گندم دوروم در تیمار تنش خشکی

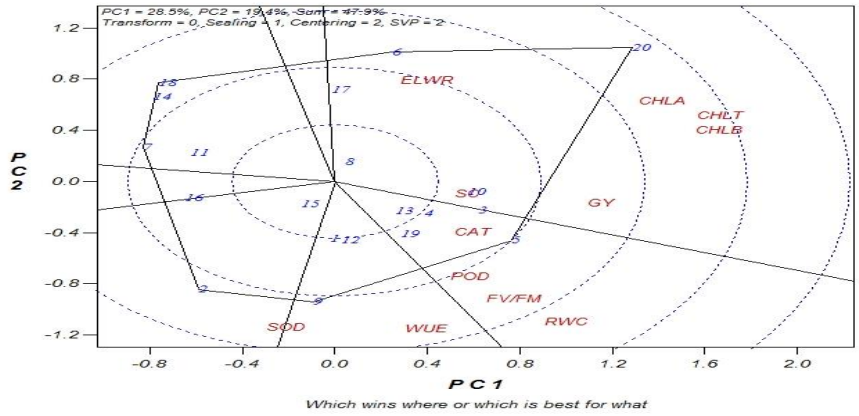
Table 4. Correlation coefficient between plant traits of durum wheat genotypes under drought stress treatment

	عملکرد دانه GY	محتوای آب نسبی RWC	آب باقی‌مانده در برگ‌های بریده‌شده Excised leaf water Retention (ELWR)	بهره‌وری آب Water productivity (WP)	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance (SC)	کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ Fv/Fm	فعالیت آنزیم پراکسیداز POD	فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز SPD	فعالیت آنزیم کاتالاز CAT	کلروفیل a Chl$_a$	کلروفیل b Chl$_b$	کلروفیل کل Chl$_{Total}$
GY	1											
RWC	0.319	1										
ELWR	-0.002	-0.150	1									
WP	0.413	0.359	-0.262	1								
SC	0.150	0.249	-0.130	-0.019	1							
Fv/Fm	0.127	0.464*	0.213	0.344	0.026	1						
POD	0.058	0.374	0.229	0.258	0.099	0.256	1					
SOD	-0.258	0.343	-0.564**	0.244	-0.144	0.150	0.095	1				
CAT	0.172	0.159	0.078	0.014	-0.289	0.407	0.293	0.089	1			
Chl$_a$	0292	0.114	0.050	-0.169	0.282	-0.130	0.092	-0.147	0.096	1		
Chl$_b$	0.491*	0.314	0.185	0.021	0.129	0.141	0.041	-0.192	0.196	0.748**	1	
Chl$_{Total}$	0.447*	0.258	0.146	-0.049	0.195	0.048	0.063	-0.188	0.171	0.890**	0.968**	1

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.3.2]
[DOI: 10.29252/abj.22.2.125]

کلروفیل b به کلروفیل a شد، اما در کل همبستگی مثبت داشتند (Khadem pir *et al.*, 2015). محمدی و فرشادفر (Mohammadi and Farshadfar, 2003) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه گندم در شرایط دیم با میزان آب نسبی ازدست‌رفته گزارش کرده و این شاخص را مهم‌ترین ویژگی فیزیولوژیکی مؤثر در عملکرد دانه در شرایط دیم گزارش نمودند. بر اساس نتایج آزمایش عیوضی و حبیبی (Eivazi and Habibi, 2013) بین کارایی مصرف آب و عملکرد دانه در گندم همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد.

نتایج حاصل از تجزیه GGEبای‌پلات در شرایط تنش خشکی نشان داد که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم به ترتیب ۲۸/۵ و ۱۹/۴ درصد و در مجموع ۴۷/۹ درصد از کل تغییرات را توجیه کردند (شکل ۱). گزارش شده است که در صورتی که مجموع مؤلفه‌های اصلی اول و دوم نتوانند اکثر تغییرات موجود را توجیه نمایند، نشان دهنده ماهیت پیچیده برهمکنش ژنوتیپ در محیط است، اما الزاماً به معنای غیر معتبر بودن بای پلات نیست (Yan and Tinker, 2005). چندضلعی بای‌پلات ژنوتیپ در صفت نشان می‌دهد کدام ژنوتیپ‌ها دارای بیشترین مقدار برای کدام صفات هستند (Farshadfar, 2010). نمودار چندضلعی جهت تعیین ژنوتیپ‌های برتر نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۸، ۶، ۲۰، ۵، ۹، ۲ و ۷ که در رئوس چندضلعی قرار دارند، ژنوتیپ‌های برتر می‌باشند. نمای پلی ژنی GT بای‌پلات یکی از بهترین راه‌ها برای یافتن الگوهای متقابل بین ژنوتیپ‌ها و صفات است. ژنوتیپ ۲۰ بیشترین مقدار را برای محتوای کلروفیل و عملکرد دانه، ژنوتیپ ۵ بیشترین مقدار را برای فعالیت آنزیم پراکسیداز و کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ و محتوای آب نسبی برگ و ژنوتیپ ۹ بیشترین مقدار را برای فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و بهره‌وری آب داشتند.



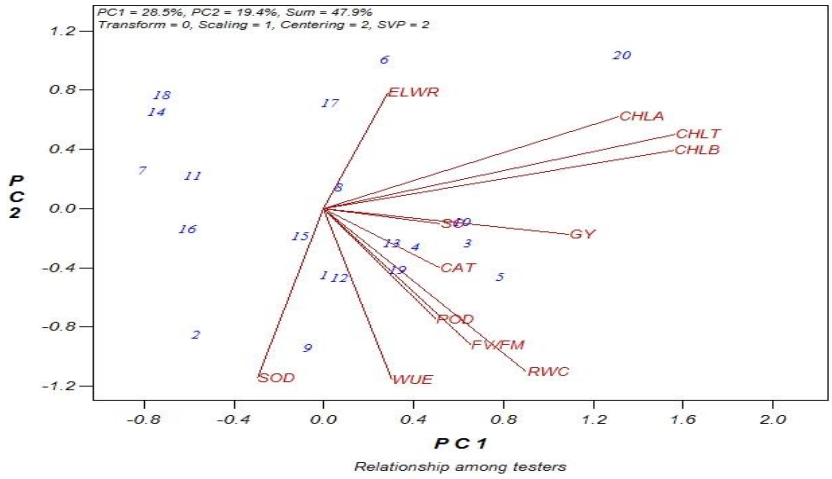
شکل ۱- چندضلعی GGE بای‌پلات برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر گندم دوروم

Fig. 1. The polygon GGE biplot for superior durum wheat genotypes selection

روش GTبای‌پلات (Genotypes × Trait) می‌تواند همبستگی بین صفات را نشان دهد که این کار شناسایی صفاتی را که می‌توانند برای گزینش غیرمستقیم برای یک ویژگی هدف استفاده شوند را تسهیل کرده و برای شناسایی صفاتی به کار می‌رود که باصفت هدف دارای پیوستگی هستند (Yan and Tinker, 2005). این نوع بای‌پلات می‌تواند از دو جنبه کاربرد دارد. اول اینکه ارتباط بین صفات در ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی را نشان می‌دهد. دوم اینکه یک برش عرضی از صفات در ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد، بخصوص

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.3.2]
[DOI: 10.29252/abj.22.2.125]

ژنوتیپ‌هاییکه در فاصله دورتری از منشأ بای‌پلات قرار دارند (Yan and Fregeau-Reid, 2008). نتایج نشان داد که بین فعالیت آنزیم پراکسیداز، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ و محتوی آب نسبی برگ و همچنین بین محتوای کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و عملکرد دانه همبستگی بالایی وجود داشت (شکل ۲) و پیشنهاد می‌شود که یکی از این صفات به‌عنوان ملاک گزینشی در نظر گرفته شوند. ژنوتیپ‌های ۲ و ۹ بیشترین امتیاز منفی را در مؤلفه اصلی دوم داشته و با فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز دارای پیوستگی بالایی بودند. ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۷، ۱۸ و ۶ بیشترین امتیاز مثبت را در مؤلفه اصلی دوم داشتند و با آب باقی‌مانده در برگ‌های بریده‌شده مرتبط ودند. ژنوتیپ ۲۰ نیز بیشترین امتیاز مثبت را در مؤلفه اصلی اول داشت و با محتوای کلروفیل مرتبط بود.



شکل ۲- بای‌پلات نقشه همبستگی صفات و شاخص‌های گیاهی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم

Fig. 2. Correlation map biplot of traits of durum wheat genotypes

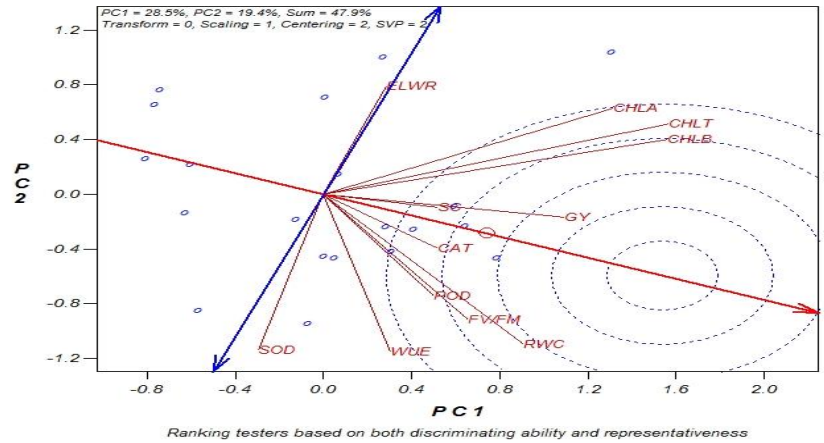
در رابطه با رتبه‌بندی تسترها (محک زن‌ها) بر اساس قدرت تمایز و نمایش برای انتخاب صفت مورد نظر، یک صفت مطلوب باید دارای بیشترین قدرت برای تمایز بین ژنوتیپ‌ها و همچنین نماینده کلیه صفات باشد. یک صفت مطلوب صفتی است که با صفت مورد نظر همبستگی داشته باشد، بنابراین از صفت مطلوب به‌عنوان یک مرکز برای کمک به ترسیم فاصله بین هر صفت و صفت مطلوب استفاده می‌شود (*Yan* et al., *2000*). بر اساس شکل ۳ عملکرد دانه به‌عنوان صفت مورد نظر در نظر گرفته شده و بعد از عملکرد دانه مطلوب‌ترین صفات به ترتیب به‌صورت زیر می‌باشند:

$RWC > F_v/F_m > POD = Chl_b = CAT > Chl_{Total} = SC > Chl_a > WP > SOD = ELWR$

بر این اساس ضعیف‌ترین ویژگی‌ها فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، آب باقی‌مانده در برگ‌های بریده شده بودند که بیشترین فاصله را با صفت مورد نظر داشتند.

در رابطه با رتبه بندی بر اساس میانگین و پایداری برای گزینش ژنوتیپ مطلوب، در شکل ۴ محور آبی‌رنگ نشان دهنده میزان تنوع و محور قرمز رنگ میانگین ژنوتیپ‌ها را برای کلیه صفات نشان می‌دهد. با حرکت در جهت محور قرمز رنگ به میانگین صفات برای ژنوتیپ افزوده شده و حرکت معکوس موجب کاهش میانگین برای آن صفات در ژنوتیپ مورد نظر خواهد شد. حرکت به هر دو جهت در محور آبی برای

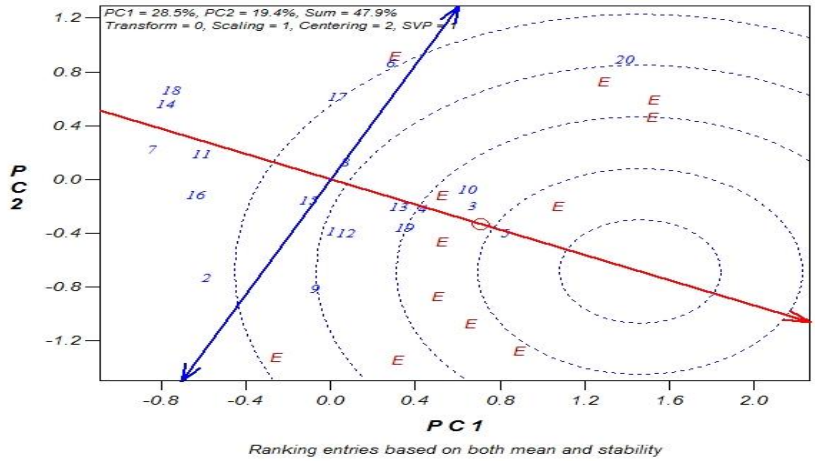
[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.3.2]
[DOI: 10.29252/abj.22.2.125]



شکل ۳- بای‌پلات ژنوتیپ‌های گندم دوروم بر اساس توانایی تمایز و نمایش

Fig. 3. Biplot of durum wheat genotypes based on the ability to differentiate and display

هر ژنوتیپ نشان‌دهنده تنوع بیشتر در کلیه صفات مورد ارزیابی است. بر این اساس ژنوتیپ ۵ به‌عنوان ژنوتیپ مطلوب در نظر گرفته می‌شود، زیرا کمترین فاصله را با مرکز دایره دارد. ترتیب مطلوبیت ژنوتیپ‌ها عبارت است از 5>3>10>4>19>13>12=1>9>20>8=15>6>17>2>16 18=14>11>7> که در واقع ژنوتیپ‌های ۷، ۱۴ و ۱۷ به‌عنوان نامطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها در نظر گرفته می‌شوند.



شکل ۴- بای پلات مختصات محیط برای گزینش همزمان عملکرد دانه و پایداری ژنوتیپ‌های گندم دوروم

Fig. 4. Biplot of environment coordinate for simultaneous selection for grain yield and stability of durum wheat genotypes

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که ژنوتیپ‌هایی که به شرایط تنش آبی تحمل داشته باشند، در صورتی‌که محیط دارای تنوع زیادی باشد، دارای ثبات در عملکرد هستند. براساس ارزیابی تنوع ژنتیکی برای صفات زراعی و مورفولوژیکی در توده‌های گندم دوروم، می‌توان نتیجه گرفت که مواد ژنتیکی موجود در کلکسیون گندم دوروم منابع ارزشمندی هستند که

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.3.2]
[DOI: 10.29252/abj.22.2.125]

علاوه بر دارا بودن صفات جدید، تنوع بالایی را برای به‌نژاد گران جهت اصلاح و تولید ارقام گندم دوروم فراهم می‌کند. اگرچه روش GGEبای‌پلات در آغاز برای تجزیه داده‌های حاصل از آزمایش‌ها در چندین محیط ابداع شد، اما می‌توان از آن برای تجزیه کلیه جدول‌های دوطرفه که دارای ساختار ورودی در تستر هستند، مثل جدول دوطرفه ژنوتیپ در صفت نیز استفاده کرد. تنها تفاوت این است که صفات مختلف واحدهای مختلفی دارند و قبل از تجزیه بای‌پلات باید از طریق استاندارد کردن، واحد صفات را حذف کرد. این خصوصیات GGEبای‌پلات را به یک ابزار قوی و جامع در ژنتیک کمی و اصلاح‌نباتات تبدیل کرده است. در این آزمایش گراف‌های تجزیه GGEبای‌پلات بهترین ژنوتیپ‌ها را برای صفات و شاخص‌های مورد ارزیابی مشخص کرده و ژنوتیپ‌های ۵، ۶، ۲۰، ۹، ۲، ۳، ۱۰، ۴ و ۱۹ به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناخته شدند. چنین اطلاعاتی درباره ژنوتیپ‌ها برای توسعه آن‌ها به رقم و معرفی به زارعین و نیز انتخاب والدین برای دورگ‌گیری بسیار مهم محسوب می‌شود.

منابع مورد استفاده

References

Ahmadi, A., Y. Emam and M. Pessarakli. 2010. Biochemical changes in maize seedling exposed to drought stress conditions at different nitrogen levels. J. Plant Nutr. 33: 541-556.

Ahmadizadeh, M., A. Nouri, H. Shahbazi and M. Habibpour. 2011. Effects of drought stress on some agronomic and morphological traits of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) landraces under greenhouse condition**.** Afr. J. Biotechnol. 10: 14097-14107.

Amiri, F. R. and M. T. Assad. 2005. Evaluation of three physiological traits forselecting drought resistant wheat genotypes. J. Agric. Sci. Technol.7: 81-87.

Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts; polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24: 1-15.

Ashraf, M. Y., A. R. Azmi, A. H. Khan, S. A. Ala. 1994. Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. Acta Physiol Plant. 16(3): 185-191.

Barrs, H. D. 1968. Determination of water deficits in plant tissues. In: T.T. Kozolvski (Ed.), Water Deficits and Plant Growth. Academic Press. 1: 235–368.

Beauchamp, C. and I. Fridovich. 1971. Superoxide dismutases: improved assays and an assay predictable to acrylamide gels. Annals of Biochemistry. 44: 276–287.

Chance, B. and A. C. Maehly. 1995. Assay of catalase and peroxidase. PP. 764-765 *In:* Culowic, S. P. and Kaplan, N. O. (Eds). Methods in Enzymology Vol. 2. Academic Press. Inc. New York.

Hamrahi, S., D. Habibi, H. Madani, and M. MashhadiAkbarBoojar. 2008. Effect of cycocel and micronutrients on antioxidants rates as indices of drought resistance of rapeseed. New Findings Agric. 2(3): 316-329. (In Persian with English abstract).

Clarke, J. M. and T. N. McCaig. 1982. Excised- leaf water retention capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. Can. J. Plant Sci. 62: 571-578.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.3.2]

[DOI: 10.29252/abj.22.2.125]

Egert, M. and M. Tevini. 2002. Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives (*Alliu choenoprasum*). Environ. Exp. Bot. 48: 43-49.

Eivazi, A. and F. Habibi. 2013. Water use efficiency variation and its components in wheat cultivars. Am. J. Exp. Agric. 3(4): 718-730.

Farshadfar, E. 2012. Application of integrated selection index and rank sum for screening drought tolerant genotypes in bread wheat. Int. J. Agric. Crop Sci. 4 (6): 325-332.

Farshadfar, E. 2010. New Discussions in Biometrical Genetics (2th Ed.). Islamic Azad University of Kermanshah Publication. (In Persian).

Fayaz, N., and A. Arzani. 2011. Moisture stress tolerance in reproductive growth stage in triticale (*Triticosecale*Wittmack X) cultivars under field conditions. Crop Breed. J. 1(1): 1-12.

Gale, A., J. Csiszar, I. Tari and L. Erdei. 2002. Change in water and chlorophyll fluorescence parameters under osmotic stress in wheat cultivars. Proceedings of the 7th Hungarian Congress on Plant Physiology, 1 Jan 2002, S2-P05. Acta Biologica Szegediensis, 46(3-4): 85-86.

Gregersen, PL. and P. B. Holm. 2007. Transcriptome analysis of senescence in the flag leaf of wheat. Plant Biotechnol. J. 5: 192–206.

Heidari Sharifabad, H. 2008. Drought mitigation strategies for the agriculture sector. The 10th Iranian Congress of Crop Science. Aug. 18-20, 2008. SPII, Karaj, Iran. (In Persian with English abstract).

Karami, E., M. R. Ghanadha and M. Mardi. 2005. Evaluation of drought tolerance in barley. Iran. J. Agric. Sci. 36 (3): 547-560. (In Persian with English abstract) .

Kaviani, R., M. Aghai Sarbarzeh, M. R. Bihamta and M. Mohammadi. 2013. Genetic diversity and factor analysis for agronomical and morphological traits in durum wheat landraces. Seed Plant Improv. J. 29(4): 673-692. (In Persian with English abstract).

Kazemi, F., D. Habibi, E. Fathollahzade, D. Taleghani, M. Mashhadiakbar Bujar, and H. Jalilevand, 2008. Effect of drought stress on yield, yield componentsand antioxidant enzyme activity in different cultivars of red beans. Agric. Res.1 (1): 81-93 (in Farsi with English Summary).

Khadem Pir, M., S. Galeshi, A. Soltani and F. Ghaderi-Far. 2015. Effect of flood duration and nitrogen-fed type on quantitative and qualitative traits of soybean. J. Plant Prod. Res. 22 (3). (In Persian with English abstract).

Lichtenthaler, H. and A. R. Wellburn. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophyll a and chlorophyll b leaf extracts in different solvents. Biochem. Soc. Transactions. 603: 591-592.

Mohammadi, M., R. Karimizadeh and M. Abdipour. 2011. Evaluation of drought tolerance in bread wheat genotypes under dryland and supplemental irrigation conditions. Aust. J. Crop Sci. 5 (4): 487-493.

Mohammadi, R. and E. Farshadfar. 2003. Determining chromosomes controlling physiological traits associated with drought tolerance in wheat. Iran. J. Crop Sci. 5 (2): 117-132. (In Persian with English abstract).

Ramachandra Reddy, A., K. V. Chaitanya, P. P. Jutur and K. Sumithra. 2004. Differential antioxidative

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.3.2]

[DOI: 10.29252/abj.22.2.125]

responses to water stress among five mulberry (*Morus alba* L.) cultivars. Environ. Exp. Bot. 52(1): 33-42.

Renu, K. C. and S. Devarshi. 2007. Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than susceptible wheat cultivar under field conditions. Environ. Exp. Bot. 60: 276–283.

Romena, M. H. 2019. Genetic analysis of some drought tolerance agronomical, physiological and metabolical criteria in some wheat cultivars at in-vivo and in-vitro conditions. Ph.D thesis, Razi University, Kermanshah, Iran.

Rubio, J., J. I. Cubero, L. M. Martin, M. J. Suso and F. Flores. 2004. Biplot analysis of trait relations of white lupin in Spain. Euphytica.135: 217-224.

Sayar, R., H. Khemira, A. Kameli and M. Mosbahi, 2008. Physiological tests as predictive appreciation for drought tolerance in durum wheat. Agron. Res. 6 (1): 79 – 90.

Sinha, A. K. 1972. Colorimetric assay of catalase. Analytic. Biochem. 47 (2): 389-394.

Shao, H. B., Z. S. Liang, M. A. Shao and B. C. Wang. 2005. Changes of some physiological and biochemical indices for soil water deficits among 10 wheat genotypes at seedling stage. Colloids Surfaces B: Biointerfaces, 42 (1): 107– 113.

Yan, W., and I. R. Rajcan. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. Can. J. Plant Sci. 42: 11-20.

Yan, W. and J. Fregeau-Reid. 2008. Breeding line selection based on multiple traits. Crop Sci. 48: 417-423.

Yan, W. and N. A. Tinker. 2005. An integrated biplot analysis system for displaying, interpreting and exploring genotype × environment interaction. Crop Sci. 45: 1004-1016.

Yan, W., L. A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnics. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Sci. 40: 597-605.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.3.2]

[DOI: 10.29252/abj.22.2.125]

Evaluation of genetic diversity of durum wheat genotypes based on physiological traits in drought conditions using GGE-Biplot analysis

Farshadfar, E.[1], A. Yaghotipoor[2], S. Jamshidi Nezhad[3], F. Bavandpori[4] and M. Farshadfar[5]

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1399.22.2.3.2]

[DOI: 10.29252/abj.22.2.125]

ABSTRACT

Farshadfar, E., A. Yaghotipoor, S. Jamshidi Nezhad, F. Bavandpori and M. Farshadfar. 2020. Evaluation of genetic diversity of durum wheat genotypes based on physiological traits in drought conditions using GGE-Biplot analysis. **Iranian Journal of Crop Sciences. 22(2): 125-139. (In Persian).**

To study the genetic diversity based on agronomic, physiological and drought tolerance indices of 20 genotypes of durum wheat, an experiment was carried out under stress and non-stress conditions in research field and physiology laboratory of agricultural and natural resources campus, Razi University, Kermanshah, Iran, in 2013-2014 cropping season. Experimental design was randomized complete block design with three replications under stress and non-stress conditions. Analysis of variance for different agronomic, physiological and biochemical traits showed that the effect of genotype was significant on water content in cut leaves, water use efficiency, stomata conductance, chlorophyll b, total chlorophyll, grain yield, activity of catalase, peroxidase and superoxide dismutaseenzymes . Mean comparison showed that the genotypes 20, 5, 3, 1, 12 and 13 had the highest values of traits and indices. For example, grain yield of 535.3 $g.m^{-2}$, relative water content of 73.2%, the photochemical efficiency of photosystem II (Fv/Fm) (0.769) and the enzyme activity of superoxide dismutase (2.11 $U.mg^{-1}$). The correlation analysis for drought stress conditions revealed significant positive correlation between grain yield with chlorophyll b, and between total chlorophyll as well as relative water content and photochemical efficiency of photosystem II. Significant negative correlation was observed between water content of cut leaves and the activity level of superoxide dismutase enzyme. There was a significant positive correlation between chlorophyll a content with chlorophyll b and total chlorophyll contents as well as between chlorophyll b and total chlorophyll. The GGE-BIPLOT analysis identified genotypes 5, 6, 20, 9, 2, 3, 10, 4, and 19 as superior genotypes for grain yield and yield components. Also, the use of physiological and biochemical indices as well as genetic diversity assessment using GGE biplot are very valuable tools for identifying high-performance genotypes with yield stability for drought tolerance. This information is of high importance in applied durum wheat breeding programs for slection of parents for cropssing and development of drought tolerant cultivars.

Key words: Antioxidant enzymes, Durum wheat, Genotype × environment interaction and Genetic distance.

Received: October, 2019 Accepted: February, 2020

1. Professor, Razi University, Kermanshah, Iran
2. Assistant Prof., Razi University, Kermanshah, Iran
3. MSc Student, Razi University, Kermanshah, Iran
4. PhD Student, Razi University, Kermanshah, Iran
5. Associate Prof., Department of Agriculture, Payame Noor University, Iran (Corresponding author)
(Email: farshadfarmohsen@yahoo.com)