



"مقاله پژوهشی"

گزینش ژنوتیپ‌های برتر متحمل خشکی گندم دوروم با استفاده از روش مبتنی بر تحلیل گرافیکی

مهدی وثوقی‌راد^۱، متین جامی معینی^۲، مجید طاهریان^۳ و محمد آرمین^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران
۲- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران
۳- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران، (نویسنده مسوول: taherian.m@ut.ac.ir)
۴- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۳
صفحه: ۱۵۹ تا ۱۷۰

چکیده

خشکی مهم‌ترین عامل محدود کننده تولید گندم دوروم در نواحی مدیترانه‌ای و سایر مناطق می‌باشد. ایران در زمره مناطق خشک و نیمه خشک دنیا قرار دارد. به منظور شناسایی مؤثرترین شاخص‌های تحمل تنش خشکی و همچنین ژنوتیپ‌های متحمل خشکی گندم دوروم، این مطالعه به صورت دو آزمایش مجزا (یکی در شرایط آبیاری نرمال و دیگری قطع آبیاری بعد از ۵۰ درصد سنبله‌دهی) انجام شد. در هر آزمایش ۲۰ لاین امیدبخش گندم دوروم در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی نیشابور به مدت دو سال زراعی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. شاخص‌های تحمل تنش با استفاده از میانگین دو ساله عملکرد محاسبه شدند که عبارت بودند از REI و MP, GMP, STI, SSI, TOL, YI, YSI, RDI, DI, MRP. بررسی همبستگی بین شاخص‌ها و عملکرد دانه در دو محیط تنش و بدون تنش با استفاده از نمودار بای‌پلات، نشان داد که شاخص‌های MP, GMP و STI بهترین شاخص‌ها جهت شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در دو محیط آزمایش بودند. بر اساس چند ضلعی GGEbiplot لاین‌های ۷ و ۸ برترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. بررسی همزمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها با استفاده از GGEbiplot بر اساس عملکرد دانه در مجموع دو شرایط نیز نشان داد که لاین شماره ۷ (ALLA*2/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1) با داشتن عملکرد و پایداری بالا بهترین ژنوتیپ بود. همچنین لاین شماره ۷ در بای‌پلات تعیین ژنوتیپ ایده‌ال به عنوان ژنوتیپ برتر شناخته شد. در مجموع نتایج نشان دادند GGEbiplot روش مناسبی جهت شناسایی ژنوتیپ‌های برتر بر اساس بای‌پلات شاخص‌های مختلف در مقابل ژنوتیپ‌ها و گزینش همزمان بر اساس عملکرد و پایداری عملکرد می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های تحمل تنش، تنش خشکی انتهای فصل، عملکرد، GGEbiplot

مقدمه

خشکی مهم‌ترین عامل محدود کننده تولید گندم دوروم در نواحی مدیترانه‌ای و سایر مناطق می‌باشد (۲۰). کشور ایران با متوسط بارندگی حدود ۲۴۰ میلی‌متر در سال در زمره مناطق خشک جهان طبقه‌بندی می‌شود. تقریباً بیشتر از دو سوم مساحت ایران دارای آب و هوای خشک می‌باشد و هر ۵-۷ سال در معرض خشکی شدید می‌باشد (۲۱). تحت این شرایط تقریباً تمام جنبه‌های رشدی و فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان از جمله گندم تحت تاثیر کمبود آب قرار گرفته و میزان عملکرد محصول کاهش می‌یابد. گندم دوروم پس از گندم نان از تیپ‌های تجارتي مهم گندم می‌باشد که به مناطق کم باران دارای تنش خشکی در طی فصل رشد، بهتر از ارقام گندم نان سازگاری دارد (۳۱).

گندم به دلیل تنوع در ژن‌های فنولوژی (ژن‌های ppd)، با طیف وسیعی از شرایط محیطی سازگار شده است، به طوری که مراحل رشد خود را بر اساس در دسترس بودن آب در محیط‌های هدف، تغییر می‌دهند. بنابراین، به حداکثر رساندن عملکرد در شرایط تنش خشکی با استفاده از ترکیبات مناسب ژن‌های فنولوژی همراه با ژن‌های پاکوتاهی (Rht) و سایر صفات مهم فیزیولوژیکی مرتبط با تحمل خشکی، یک نیاز

ضروری است (۲۳). با این حال، جهت تأمین تقاضای آینده برای غذا، که نتیجه رشد جمعیت و تغییر در عادات اجتماعی است، عملکرد گندم در شرایط محدود آب باید افزایش یابد (۱۷).

بنابراین شناخت ساز و کارهای تحمل خشکی به خصوص در مناطق خشک برای حصول عملکرد مناسب ضروری به نظر می‌رسد تا با اعمال مدیریت صحیح در منابع (آبی، گیاهی و ...) و کاهش هزینه‌های تولید گیاهان و در نتیجه افزایش عملکرد، نیازهای روزافزون جمعیت رو به رشد جهانی تأمین گردد (۲۶).

مستقیم‌ترین معیار برای ارزیابی پاسخ به تنش‌ها میزان عملکرد می‌باشد. از آنجایی که ساز و کارهای اساسی ژنتیکی برای عملکرد دانه و زیست‌توده تحت تاثیر محیط می‌باشند، اصلاح برای ارتقای صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی دارای توارث پذیری بالا که در عملکرد موثر هستند، اهمیت خاصی در برنامه‌های به‌نژادی دارد (۳ و ۳۲). علیرغم تحت تاثیر محیط قرار گرفتن، عملکرد دانه به عنوان یک شاخص ارزیابی پاسخ غلات به تنش‌های محیطی می‌باشد. در محیط‌های خیلی سخت (با تنش شدید) کل زیست‌توده عملکرد شاید شاخص مناسب‌تری برای بیان تحمل تنش در مقایسه با

شد که همبستگی بین شاخص حساسیت (SSI) با عملکرد تحت تنش (Ys)، شاخص برداشت (HI)، وزن هزاردانه، تعداد دانه در خوشه منفی و معنی‌دار بود. این نشان می‌دهد گزينش برای هر یک از این صفات در شرایط تنش باعث کاهش حساسیت به تنش می‌شود. در مطالعه انجام شده توسط اطمینان و همکاران (۹) مشخص شد که شاخص‌های GMP و MP شاخص‌های مناسبی بودند و توانستند به عنوان معیاری مناسب برای شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب تحت شرایط تنش خشکی در نظر گرفته شوند. در پژوهش انجام شده توسط پاتل و همکاران (۲۷) بر روی ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم با استفاده از ۱۳ شاخص تحمل خشکی در هند، موثرترین شاخص‌ها شامل GMP، MP، YI و YI بودند و سه ژنوتیپ برتر توسط این شاخص‌ها انتخاب شدند. سماهگن و همکاران (۳۸) با ارزیابی ۲۰ ژنوتیپ گندم نان در پنج مکان، با استفاده از چهار شاخص MP، GMP، STI و YI سه ژنوتیپ متحمل را شناسایی کردند. در یک پژوهش که توسط طاهریان و همکاران (۴۲) روی ۱۶ ژنوتیپ جو تحت تنش خشکی، تنش شوری و شرایط بدون تنش انجام شد، مشخص شد در شرایط تنش شوری تنها STI قادر به تشخیص ارقام دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بود. هنگامی که تنش ملایم بود (تنش خشکی) MP، YI، GMP، STI و DI برای تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل در هر دو شرایط تنش و بدون تنش مفیدتر بودند. شیروانی و همکاران (۴۱) جهت گزينش لاین‌های گندم دوروم متحمل تنش خشکی در شرایط دیم از شاخص‌های تحمل تنش استفاده کردند و گزارش کردند که بر اساس شاخص‌های MP، GMP و STI ژنوتیپ شماره ۱۲ متحمل‌ترین ژنوتیپ بود. نجفی میرک و همکاران (۲۲)، با استفاده از تجزیه‌بای‌پلات از میان ۲۰ لاین گندم دوروم، لاین شماره ۱۸ را به عنوان لاین دارای عملکرد بالا و پایدار برای هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل شناسایی کردند.

هدف از این پژوهش دستیابی و شناسایی ژنوتیپ‌های گندم دوروم مناسب کشت در شرایط تنش خشکی انتهای فصل و تعیین مناسب‌ترین معیار انتخاب در شرایط تنش خشکی در شهرستان نیشابور بود.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش تعداد ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم (جدول ۲) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط (آبیاری نرمال و قطع آبیاری بعد از ۵۰٪ سنبله‌دهی تا پایان فصل) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی نیشابور واقع در ۱۲۰ کیلومتری مشهد به مدت دو سال زراعی (۹۸-۱۳۹۶) مورد مطالعه قرار گرفتند. هر ژنوتیپ در دو پشته در شش خط به طول شش متر کشت و مورد مطالعه قرار گرفت. تهیه زمین و عملیات کاشت بر اساس عرف اجرای آزمایش‌های غلات انجام شد. کود مصرفی بر اساس آزمون خاک (جدول ۱) با فرمول (۵۰ - ۹۰ - ۹۰) انجام شد. آبیاری به صورت نشتی بوده و برای هر دو آزمایش یک آبیاری پائیزه (خاک آب) صورت گرفت. در بهار پس از رفع یخبندان در آزمایش با

عملکرد دانه باشد (۶). همواره هدف از تهیه ژنوتیپ‌های متحمل خشکی ژنوتیپ‌هایی بوده که به طور نسبی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها تنش را بهتر تحمل کرده و در شرایط محیطی یکسان افت عملکرد کمتری را حاصل نمایند. برای انتخاب گیاهان بر اساس عملکرد، شاخص‌های متفاوتی پیشنهاد شده است. این شاخص‌ها عملکرد گیاه را در دو محیط تنش و بدون تنش در بر می‌گیرند (۱۱).

تحمل تنش (TOL) به صورت تفاوت عملکرد بین محیط‌های تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) و میانگین تولید (MP) به صورت میانگین عملکرد تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) تعریف شده است (۳۳). میانگین هندسی تولید (GMP) اغلب توسط به‌نژادگران علاقمند به تظاهر نسبی به کار می‌رود، به علت این که تنش می‌تواند در محیط مزرعه و در طی سال‌های مختلف از نظر نوع و شدت متغیر باشد (۲۸). یک شاخص پیشرفته جدید (STI)، توسط فرناندز (۱۱) تعریف شده است که می‌تواند برای تشخیص ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش تولید می‌کنند، استفاده شود. او ژنوتیپ‌ها را براساس تظاهر عملکردشان در محیط تنش و بدون تنش به چهار گروه تقسیم نمود: ۱- ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بالایی در هر دو محیط‌های تنش و بدون تنش تولید می‌کنند (گروه A)، ۲- ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا فقط در محیط بدون تنش (گروه B)، ۳- ژنوتیپ‌هایی که عملکرد نسبتاً خوبی فقط در محیط تنش دارند (گروه C) و ۴- ژنوتیپ‌هایی که تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش از عملکرد ضعیفی برخوردارند (گروه D).

شاخص دیگری به عنوان (RDI)^۲ توسط فیشر و وود (۱۳) معرفی شد. شاخص پایداری عملکرد (YSI) نیز توسط (۵) محاسبه و پیشنهاد گردید. این شاخص برای ژنوتیپ فرضی به صورت نسبت عملکرد دانه تحت شرایط تنش به عملکرد دانه تحت شرایط بدون تنش محاسبه می‌گردد. ژنوتیپ‌های با YSI بالا انتظار می‌رود که عملکرد بالایی تحت شرایط تنش و عملکرد پایینی تحت شرایط بدون تنش داشته باشند (۲۰). از SSI برای ارزیابی تحمل خشکی در ژنوتیپ‌های گندم استفاده شد و مشخص شد که تنوع سال به سال در SSI برای ژنوتیپ‌ها و الگوی رتبه بندی‌شان وجود داشت (۷). در پژوهشی دیگر از شاخص SSI در ارقام گندم بهاره استفاده شد و پیشنهاد شد که SSI بیشتر از ۱ حساسیت به تنش خشکی بالای میانگین نشان داد (۱۶). دو شاخص MRP و REI توسط (۲۹) معرفی شدند که همبستگی مثبت و قوی با شاخص‌های MP، GMP و STI داشتند.

به طور کلی، شاخص‌هایی که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد باشند به عنوان بهترین شاخص معرفی می‌شوند. زیرا این شاخص‌ها قادر به جدا کردن و شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو محیط می‌باشند. علاوه بر این شاخص‌ها، توجه به جنبه‌های دیگر تحمل به خشکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در مطالعه‌ای که روی تعدادی از ارقام بومی و پیشرفته گندم بهاره در محیط‌های تحت تنش توسط (۸) انجام شد مشخص

آبیاری کامل سه تا چهار نوبت آبیاری با توجه به نیاز گیاه و تنش آبی پس از ظهور ۵۰٪ سنبله‌ها آبیاری قطع شد. عملکرد شرایط آب و هوایی انجام گرفت، در حالی که در آزمایش تحت

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Physicochemical properties of soil at the experimental site

pH	EC	Clay	Silt	Sand	CO	Nitrogen	Phosphor	Potassium
اسیدیته	هدایت الکتریکی (ds/m)	رس	سیلت	شن	کربن آلی (%)	نیتروژن (%)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)
۷/۶	۰/۶۸	۲۴	۵۶	۲۰	۰/۳۳	۰/۰۸	۱۰	۳۵۷

جدول ۲- نام و شجره ارقام و لاین‌های امیدبخش گندم دوروم مورد بررسی

Table 2. Name and pedigree of studied durum wheat cultivars and promising lines

شماره	ژنوتیپ	شجره
1	G1	Hana (<i>T.durum</i>)
2	G2	Parsi (<i>T. aestivum</i>)
3	G3	SOOTY_9/RASCON_37//SOMAT_3.1/4/GRO_2/YUAN_1//ARLIN/2*ACO89/3/JUPARE C 2001
4	G4	SOOTY_9/RASCON_37//SOMAT_3.1/5/GUAYACANNIA/KUCUK/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/8/AVTA /ALTAR 84/5/CHEN/ALTAR 84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/6/SORA/2*PLATA_12//SOMAT_3/7//SOOTY_9/RASCON_37 BOOMER_33/ZAR/3/BRAK_2/AJAIA_2//SOLGA_8/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBAD/5/AVO/HU I/7/PLATA_13/8/THKNEE_11/9/CHEN/ALTAR84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/11/ARTICO/AJAIA_3//HUALITA/3/ FULVOUS_1/MFOWL_13/4/TECA96/TILO_1/12/SORA/2*PLATA_12// P91.272.3.1/3*MEXI75//2*JUPARE
5	G5	C2001/5/ARTICO/AJAIA_3//HUALITA/3/FULVOUS_1/MFOWL_13/4/TECA96/TILO_1/6/RISSA/GAN//POHO_1/3/PLATA_ 3//CREX/ALLA*2/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1
6	G6	SOOTY_9/RASCON_37//STORLOM/5/TOSKA_26/RASCON_37//SNITAN/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/6 /RISSA/GAN//POHO_1/3/PLATA_3//CREX/ALLA*2/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1
7	G7	SOOTY_9/RASCON_37//SOMAT_3.1/3//SOOTY_9/RASCON_37//STORLOM/4//SOOTY_9/RASCON_37//GUAYACAN INIA/3//SOOTY_9/RASCON_37//LLARETA INIA
8	G8	PLATA_6/GREEN_17//SNITAN/4/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/AUK/GUIL//GREEN/5/RCOL/GUANAY*2//SOMAT_3/ GREEN_22
9	G9	PLATA_6/GREEN_17/3/CHEN/AUK//BISU*2/5/PLATA_3//CREX/ALLA/3/SOMBRA_20/4/SILVER_14/MOEW E P91.272.3.1/3*MEXI75//2*JUPARE C
10	G10	2001/5/PLATA_6/GREEN_17//SNITAN/4/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/AUK/GUIL//GREEN/6/D94528/2*JUPARE C 2001/5/TARRO_1/TISOMA_2//TARRO_1/3/COMB DUCK_2/ALAS/4*COMB DUCK_2/4/SHAG_9/BUTO_17
11	G11	MÁALI/5/LOTUS_5/SORD_1/3/CANELO_8//SORA/2*PLATA_12/4/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/AUK/GUIL//GREEN
12	G12	SCRIP_1//DIPPER_2/BUSHEN_3/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1
13	G13	1A.ID 5+1-06/3*MOJO//RCOL/3/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4
14	G14	PLATA_6/GREEN_17/3/CHEN/AUK//BISU*2/5/PLATA_3//CREX/ALLA/3/SOMBRA_20/4/...
15	G15	TAMAROL/8/R143/RUFF//STIL/3/YAV79/4/SHWA/MALD/5/ALTAR 84/6/TILO_1/LOTUS_4/7/CAMAYO
16	G16	ADAMAR_15//ALBIA_1/ALTAR 84/3/SNITAN/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/...
17	G17	WID22202/5/TOSKA_26/RASCON_37//SNITAN/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/6/...
18	G18	SOOTY_9/RASCON_37//JUPARE C 2001/6/PLATA_6/GREEN_17/3/CHEN/AUK//BISU/5/PLATA_3//...
19	G19	ZHONG ZUO/2*GREEN_3//SORA/2*PLATA_12/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/...
20	G20	

شاخص‌های تحمل تنش با استفاده از میانگین دو ساله عملکرد در هر محیط از طریق روابط زیر محاسبه شدند:

منبع	رابطه ریاضی	نام اختصاری	شاخص تحمل تنش خشکی
(۱۲)	$SSI = \frac{1 - (Y_s/Y_p)}{1 - (Y_s/Y_p)}$	SSI	Stress Susceptibility Index
(۱۳)	$RDI = (Y_s/Y_p) / (Y_s/Y_p)$	RDI	Relative Drought Index
(۳۳)	$TOL = Y_p - Y_s$	TOL	Tolerance
(۳۳)	$MP = \frac{Y_s + Y_p}{2}$	MP	Mean Productivity
(۱۱)	$STI = \frac{Y_s \times Y_p}{Y_p^2}$	STI	Stress Tolerance Index
(۱۱)	$GMP = \sqrt{(Y_p)(Y_s)}$	GMP	Geometric Mean Productivity
(۱۵)	$YI = \frac{Y_s}{Y_s}$	YI	Yield Index
(۵)	$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$	YSI	Yield Stability Index
(۱۳)	$DI = Y_s \times (Y_s/Y_p) / \bar{Y}_s$	DI	Drought Index
(۲۹)	$MRP = \left(\frac{Y_s}{Y_s}\right) + \left(\frac{Y_p}{Y_p}\right)$	MRP	Mean Relative Performance
(۲۹)	$REI = \left(\frac{Y_s}{Y_s}\right) \left(\frac{Y_p}{Y_s}\right)$	REI	Relative Efficiency Index

نتایج و بحث

به منظور بررسی وضعیت عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها و سال‌های مختلف، تجزیه واریانس مرکب انجام شد. نتایج نشان داد که اثرات محیط، سال، سال × محیط، ژنوتیپ و ژنوتیپ × سال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ بیانگر تنوع در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود. نتایج تجزیه واریانس مرکب به تفکیک هر محیط آزمایش طی دو سال نیز ارائه گردید (جدول ۴). در محیط بدون تنش فقط اثر سال معنی‌دار بود و اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × سال معنی‌دار نبود. همچنین تحت شرایط تنش خشکی انتهای فصل، اثر سال در سطح احتمال یک درصد و اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × سال در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین مرکب ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۷ و ۸ بیشترین عملکرد را دارا بودند. در حالی که کمترین عملکرد مربوط به ژنوتیپ‌های ۳، ۶، ۱۳، ۱۸ و ۱۹ بود (جدول ۵). مقایسه میانگین مرکب ژنوتیپ‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در شرایط بدون تنش نشان داد که ژنوتیپ ۱۷ بیشترین عملکرد و ژنوتیپ‌های ۳ و ۱۸ کمترین میانگین عملکرد را به خود اختصاص دادند (جدول ۵).

در فرمول‌های فوق \bar{Yp} , \bar{Ys} , Yp , Ys به ترتیب عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط تنش، عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش می‌باشد.

تجزیه و تحلیل گرافیکی با استفاده از روش‌های چند متغیره GGE بای‌پلات انجام شد (۴۱).

نمره‌های اولیه از طریق تجزیه به مقادیر منفرد^۱ (SVD) تجزیه شده و به صورت رابطه ۱ تبدیل می‌شوند:

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{1j} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{2j} + \epsilon_{ij} \quad (1)$$

رابطه ۱: عملکرد ژنوتیپ i در محیط j ، μ : میانگین کل، β_j : اثر اصلی محیط j ، λ_1 و λ_2 : به ترتیب مقادیر منفرد اولین و دومین مؤلفه اصلی (PC1) و (PC2)، ξ_{i1} و ξ_{i2} : به ترتیب بردارهای ویژه ژنوتیپ i ام برای PC1 و PC2، η_{1j} و η_{2j} : به ترتیب بردارهای ویژه شاخص j ام برای PC1 و PC2، ϵ_{ij} : باقیمانده می‌باشند (۴۱).

محاسبه شاخص‌ها با استفاده از برنامه EXCEL، تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها به روش دانکن با برنامه SAS9.1.3، محاسبه ضرایب همبستگی پیرسون با نرم‌افزار JUMP (۳۵) و تجزیه‌های بای‌پلات با استفاده از نرم‌افزار GEA-R (۲۵) انجام شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم در دو محیط آزمایش طی دو سال
Table 3. Combined analysis of variance grain yield for durum wheat genotypes in two experimental environments across two years

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)
سال	۱	۱۴۸/۵۵**
محیط	۱	۵۴/۷۲**
محیط × سال	۱	۱۲/۱۴**
تکرار / (محیط × سال)	۸	۱/۰۴
ژنوتیپ	۱۹	۰/۷۷**
ژنوتیپ × محیط	۱۹	۰/۲۶ ^{ns}
ژنوتیپ × سال	۱۹	۰/۸۱۲**
ژنوتیپ × محیط × سال	۱۹	۰/۱۸ ^{ns}
خطا	۱۵۲	۰/۳۴۹

** و ^{ns}: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و غیر معنی‌دار

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم به تفکیک دو محیط آزمایشی
Table 4. Combined analysis of variance on grain yield for durum wheat genotypes by separation of two experimental environmental environments

منبع تغییرات	df	میانگین مربعات (MS)	
		تنش	بدون تنش
سال	۱	۳۷/۸۸	۱۲۲/۸۲
تکرار / سال	۴	۰/۵۰۴	۱/۵۸
ژنوتیپ	۱۹	۰/۷۲*	۰/۳۰۸ ^{ns}
ژنوتیپ × سال	۱۹	۰/۶۵*	۰/۳۷ ^{ns}
خطا	۷۶	۰/۳۸	۰/۲۲

***، * و ^{ns}: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار.

جدول ۵- میانگین دو ساله عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل ژنوتیپ‌های گندم دوروم در دو شرایط تنش و بدون تنش
Table 5. Two years grain yield mean and tolerance indices of durum wheat genotypes in stress and non-stress conditions

ژنوتیپ	Yp	Ys	MP	GMP	STI	TOL	SSI	RDI	YI	YSI	DI	MRP	REI
۱	۶/۱۵۸ ^{ab}	۵/۰۶۵ ^{ab}	۵/۶۱	۵/۵۸۵	-/۱۸۸	۱/۰۹۳	۱/۱۱	-/۹۸	۱/۰۱	-/۸۲	-/۸۳	۲/۰۵	۱/۰۵
۲	۵/۷۴۸ ^{ab}	۵/۲۰۲ ^{ab}	۵/۴۸	۵/۴۶۸	-/۱۸۴	-/۵۴۶	-/۵۹	۱/۰۸	۱/۰۴	-/۹۱	-/۹۴	۲/۰۱	۱
۳	۵/۵۶۷ ^b	۴/۶۲۸ ^b	۵/۱	۵/۰۷۶	-/۷۳	-/۹۳۹	۱/۰۶	-/۹۹	-/۹۳	-/۸۳	-/۷۷	۱/۸۶	-/۸۷
۴	۵/۸۲۷ ^{ab}	۵/۰۳۲ ^{ab}	۵/۴۳	۵/۴۱۵	-/۱۸۳	-/۷۹۵	-/۸۵	۱/۰۳	۱/۰۱	-/۸۶	-/۸۷	۱/۹۸	-/۹۸
۵	۶/۰۰۸ ^{ab}	۵/۱ ^{ab}	۵/۵۵	۵/۵۳۵	-/۱۸۶	-/۹۰۸	-/۹۵	۱/۰۱	۱/۰۲	-/۸۵	-/۸۷	۲/۰۳	۱/۰۳
۶	۶/۲۲۸ ^{ab}	۴/۷۵۷ ^b	۵/۴۹	۵/۴۴۳	-/۱۸۴	۱/۴۷۱	۱/۴۸	-/۹۱	-/۹۵	-/۷۶	-/۷۳	۲	-/۹۹
۷	۶/۲۰۵ ^{ab}	۵/۶۳۲ ^a	۵/۹۲	۵/۹۱۲	-/۹۹	-/۵۷۳	-/۵۸	۱/۰۸	۱/۱۳	-/۹۱	۱/۰۲	۲/۱۷	۱/۱۷
۸	۵/۹۸۸ ^{ab}	۵/۶۹۳ ^a	۵/۸۴	۵/۸۳۹	-/۹۶	-/۲۹۵	-/۳۱	۱/۱۳	۱/۱۴	-/۹۵	۱/۰۸	۲/۱۴	۱/۱۴
۹	۵/۹۰۸ ^{ab}	۵/۰۹۷ ^{ab}	۵/۵	۵/۴۸۸	-/۱۸۵	-/۸۱۱	-/۸۶	۱/۰۳	۱/۰۲	-/۸۶	-/۸۸	۲/۰۱	۱/۰۱
۱۰	۶/۰۸۸ ^{ab}	۵/۱۴۳ ^{ab}	۵/۶۲	۵/۵۹۶	-/۱۸۸	-/۹۴۵	-/۹۷	۱/۰۱	۱/۰۳	-/۸۴	-/۸۷	۲/۰۵	۱/۰۵
۱۱	۶/۰۷ ^{ab}	۵/۲۱۵ ^{ab}	۵/۶۴	۵/۶۲۶	-/۱۸۹	-/۸۵۵	-/۸۸	۱/۰۲	۱/۰۴	-/۸۶	-/۹	۲/۰۶	۱/۰۶
۱۲	۵/۸۶۳ ^{ab}	۴/۸۵ ^{ab}	۵/۳۶	۵/۳۳۲	-/۱۸	۱/۰۱۲	۱/۰۸	-/۹۸	-/۹۷	-/۸۳	-/۸	۱/۹۵	-/۹۵
۱۳	۵/۹۹۳ ^{ab}	۴/۴۲۲ ^b	۵/۲۱	۵/۱۴۸	-/۷۵	۱/۵۷۱	۱/۶۴	-/۸۸	-/۸۸	-/۷۴	-/۶۵	۱/۸۹	-/۸۹
۱۴	۵/۹۹ ^{ab}	۵/۰۹۸ ^{ab}	۵/۵۴	۵/۵۲۶	-/۱۸۶	-/۸۹۲	-/۹۳	۱/۰۱	۱/۰۲	-/۸۵	-/۸۷	۲/۰۳	۱/۰۳
۱۵	۶/۰۵ ^{ab}	۵/۱۳۳ ^{ab}	۵/۵۹	۵/۵۷۳	-/۱۸۸	-/۹۱۷	-/۹۵	۱/۰۱	۱/۰۳	-/۸۵	-/۸۷	۲/۰۴	۱/۰۴
۱۶	۵/۹۹۳ ^{ab}	۵/۰۷ ^{ab}	۵/۵۱	۵/۴۸۵	-/۱۸۵	-/۹۷۳	۱/۰۲	۱	۱	-/۸۴	-/۸۴	۲/۰۱	۱/۰۱
۱۷	۶/۳۹۵ ^a	۵/۱۵۵ ^{ab}	۵/۷۸	۵/۷۴۲	-/۹۳	۱/۲۴	۱/۲۱	-/۹۶	۱/۰۳	-/۸۱	-/۸۳	۲/۱	۱/۱۱
۱۸	۵/۵۰۲ ^b	۴/۴ ^b	۴/۹۵	۴/۹۲	-/۶۸	۱/۱۰۲	۱/۲۵	-/۹۵	-/۸۸	-/۸	-/۷	۱/۸	-/۸۱
۱۹	۵/۶۰۵ ^{ab}	۴/۴۷ ^b	۵/۰۴	۵/۰۰۵	-/۷۱	۱/۱۳۵	۱/۲۷	-/۹۵	-/۸۹	-/۸	-/۷۱	۱/۸۴	-/۸۴
۲۰	۵/۸۸ ^{ab}	۴/۹۲۳ ^{ab}	۵/۴	۵/۳۸	-/۱۸۲	-/۹۵۸	۱/۰۲	۱	-/۹۸	-/۸۴	-/۸۲	۱/۹۷	-/۹۷

میانگین‌های با یک حرف مشترک در ستون‌های Yp و Ys از نظر آماری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.

معرفی کردند (شکل ۱ و جدول ۵). بر اساس شکل ۱ ژنوتیپ‌هایی که در راس چند ضلعی قرار گرفته‌اند، دارای بیشترین مقدار عددی شاخص تنشی است که در مجاور آن ژنوتیپ‌ها قرار دارد. به عنوان مثال ژنوتیپ‌های ۷، ۸ و ۱۷ که در راس چند ضلعی قرار داشتند و در مجاورت شاخص‌های GMP، MP، STI، MRP، STI و REI قرار گرفتند، دارای بیشترین مقادیر مربوط به شاخص‌های مذکور بودند و می‌دانیم که مقادیر بالاتر این شاخص‌ها نشان دهنده تحمل بیشتر نسبت به تنش می‌باشد. در مورد شاخص‌های TOL و SSI مقادیر کمتر، بیانگر تحمل بیشتر است. به همین دلیل در شکل ۱، ژنوتیپ‌های ۶ و ۱۳ که در راس چند ضلعی و در مجاورت این دو شاخص قرار داشتند، بیشترین مقادیر دو شاخص مذکور را به خود اختصاص دادند و حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر TOL و SSI بودند.

فرشادفر و همکاران (۱۰) جهت غربال‌گری تحمل خشکی ۳۰ ژنوتیپ بومی گندم از ۱۵ شاخص تحمل تنش استفاده کردند و بیان کردند که تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل تنش بر اساس تنها یک معیار منفرد، ممکن است نتیجه‌ای متناقض با سایر شاخص‌ها داشته باشد. نتایج آنها با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت. همچنین در آزمایشی دیگر سی‌وسه‌مرده و همکاران (۴۲) نشان دادند ارقامی با YSI بالاتر، حداقل عملکرد را در شرایط غیرتنش و بالاترین عملکرد را در شرایط تنش داشتند. محققین دیگری نیز گزارش کردند که STI می‌تواند به عنوان یک شاخص قابل اعتماد جهت گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در نظر گرفته شود (۲، ۲۷ و ۴۲).

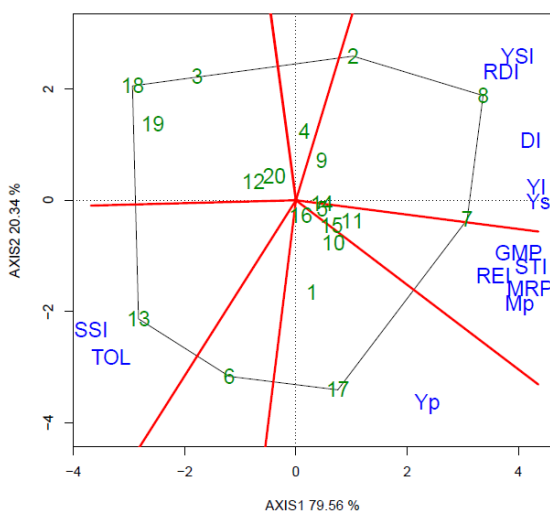
یک همبستگی غیر معنی‌دار ولی مثبت بین TOL و عملکرد پتانسیل (YP) و یک همبستگی منفی بین TOL و عملکرد تحت تنش (YS) (جدول ۶ و شکل ۲) بیانگر این

ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های تحمل خشکی با استفاده از GGEbiplot

جهت ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص‌های تحمل تنش از روش گرافیکی GGEbiplot استفاده شد. با استفاده از ویژگی‌های نمودار بای پلات (۱۴) و روش چند متغیره تجزیه به مولفه‌های اصلی، روش نوین GGE بای پلات معرفی شد (۴۵). بای پلات GI یک کاربرد از تکنیک GGE بای پلات است و می‌تواند در مطالعه داده‌های ژنوتیپ-شاخص (GI) استفاده شود. بای پلات ابزار مفیدی برای بررسی روابط بین شاخص‌ها، ارزیابی ژنوتیپ‌ها براساس شاخص‌های متعدد و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در شاخص خاص می‌باشد (۲۱ و ۴۳). در تجزیه بای پلات، دو مولفه اصلی در مجموع ۹۹/۹ درصد از تغییرات را توجیه نمودند (شکل ۱). در پژوهش علی و همکاران (۱) دو مولفه اول حدود ۹۸ درصد تغییرات را توجیه کرد. همان‌طور که در شکل ۱ و جدول ۵ مشاهده می‌شود، تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل تنش بر اساس تنها یک معیار منفرد، ممکن است نتیجه‌ای متناقض با سایر شاخص‌ها داشته باشد. به عنوان مثال ژنوتیپ‌های ۷، ۸ و ۱۷ بر اساس شاخص‌های GMP، MP، STI، MRP، REI و STI متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. در حالی که حساس‌ترین ژنوتیپ، لاین ۱۸ بود. مقادیر بالاتر شاخص‌های فوق، بیانگر تحمل بیشتر ژنوتیپ‌ها می‌باشد. براساس شاخص‌های RDI و YSI ژنوتیپ‌های شماره ۷، ۸ و ۲ مطلوب و ژنوتیپ شماره ۱۳ ناپایدار بود. بهترین ژنوتیپ‌ها براساس شاخص YI و DI لاین‌های شماره ۷ و ۸ بودند درحالی که لاین‌های شماره ۱۳، ۱۸ و ۱۹ از نظر این شاخص‌ها نامطلوب بودند. شاخص‌های TOL و SSI، ژنوتیپ شماره ۸ را متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۱۳ و ۶ را کم تحمل‌ترین لاین‌ها

تغییرات عملکرد در شرایط عادی و تنش می‌باشد و به عبارت دیگر، ژنوتیپ‌هایی که دارای شاخص SSI کم‌تر می‌باشند، تغییرات کمتر یا ثبات بیشتری در تغییر شرایط تنش به عدم تنش و بالعکس از لحاظ عملکرد دارند. در حقیقت یکی از معیارهای پایداری، واریانس است و به اعتقاد بلوم (۴) اگر ژنوتیپی در شرایط مطلوب عملکرد مناسبی داشته باشد، برای این‌که این ژنوتیپ به عنوان یک رقم اصلاح شده برای شرایط تنش در نظر گرفته شود، باید در شرایط تنش هم از عملکرد مطلوبی برخوردار باشد و به عبارت دیگر واریانس یا تغییرات عملکرد آن باید پایین باشد. YI همبستگی بسیار معنی‌داری با عملکرد تحت تنش خشکی داشت. این شاخص ارقام را فقط براساس عملکردشان تحت تنش رتبه‌بندی می‌کند و بنابراین قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A نمی‌باشد (۱۵). YSI و RDI عملکرد تحت تنش یک رقم را نسبت به عملکرد بدون تنش آن ارزیابی می‌کنند و ژنوتیپ‌های متحمل در شرایط تنش خشکی را شناسایی می‌کنند. بنابراین انتظار می‌رود ارقام با YSI و RDI بالا از عملکرد بالایی تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش برخوردار باشند (جدول ۵).

است که گزینش براساس TOL منجر به کاهش عملکرد تحت شرایط نرمال خواهد شد (جدول ۵). در یک پژوهش مشخص شد که گزینش براساس مقادیر کمتر TOL که بیانگر حداقل کاهش عملکرد تحت شرایط تنش است، ممکن است باعث از دست رفتن ژنوتیپ‌های مطلوب گردد (۴۳). انتخاب براساس میانگین دو محیط (MP) در صورتی که همبستگی بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش مثبت بوده و واریانس ژنتیکی در شرایط تنش کمتر از شرایط بدون تنش باشد، موجب انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که عملکرد بالایی در هر دو محیط دارند (۳۳). GMP نسبت به MP در جداسازی ژنوتیپ‌های گروه A قدرتمندتر می‌باشد و حساسیت کمتری به مقادیر مختلف Yp و Ys دارد. هرچه مقدار GMP بیشتر باشد، درجه تحمل نسبی بیشتر است (جدول ۴). مقادیر بالاتر STI نشان دهنده تحمل بیشتر است (جدول ۵) و مهم‌ترین مزیت STI پایداری آن نسبت به جداسازی ژنوتیپ‌های گروه A از سایر گروه‌ها می‌باشد. همبستگی SSI با عملکرد تحت شرایط تنش خشکی منفی بود (جدول ۶ و شکل ۲). ارقام با عملکرد بالا تحت تنش خشکی از عملکرد پایینی تحت شرایط بدون تنش برخوردار بودند و پایین‌ترین SSI را نشان دادند (جدول ۵). شاخص SSI به نوعی حاکی از



شکل ۱- چند ضلعی GIBiplot برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های تحمل خشکی
Figure 1. Evaluation genotypes with GIBiplot basis of drought tolerance indices

ضریب همبستگی مثبت و زاویه قائمه (۹۰ درجه) نشان دهنده عدم همبستگی بین شاخص‌ها می‌باشد (۴۵). همچنین ضرایب همبستگی در جدول ۵ موبد موارد مذکور می‌باشند. بر این اساس، عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp) همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با REI، GMP، STI، MP و MRP داشت. در شرایط تنش خشکی عملکرد (Ys) همبستگی مثبت و معنی‌داری با تمام شاخص‌ها به جز TOL و SSI داشت. همبستگی Ys با SSI و TOL منفی و معنی‌دار بود. بر این اساس شاخص‌های GMP، STI، MP، REI و MRP شاخص‌هایی بودند که همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با عملکرد دانه در دو محیط تنش و بدون تنش خشکی داشتند (شکل ۲ و جدول ۶).

بررسی همبستگی بین شاخص‌ها

شکل ۲، نمودار بای پلات همبستگی بین شاخص‌ها می‌باشد. با توجه به این‌که بزرگتر بودن طول بردار نشان دهنده نقش بیشتر آن شاخص در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر است، لذا می‌توان گفت نقش شاخص‌های DI، YI، REI، MRP، RDI و YSI در تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل نسبت به سایر شاخص‌ها کمتر است. با توجه به این‌که تقریباً نزدیک به ۱۰۰ درصد واریانس توسط بای پلات توجیه شد، لذا ضریب همبستگی بین دو شاخص می‌تواند با توجه به کسینوس زاویه بین بردارهای آنها تقریب زده شود. به طوری که زاویه منفرجه (بیشتر از ۹۰ درجه) نشان‌دهنده ضریب همبستگی منفی، زاویه حاده (کمتر از ۹۰ درجه) نشان دهنده

(۴) در گندم و پانتوان (۲۴) (در برنج) معتقد بودند که عملکرد پتانسیل اثر خیلی زیادی فقط روی عملکرد تحت شرایط بدون تنش خشکی ملایم داشته و اگر تنش خیلی شدید باشد اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را برای عملکرد القاء می‌کند. علی و همکاران (۱) با بررسی ۴۹ ژنوتیپ گندم دوروم تحت سه وضعیت بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید، کاهش خیلی زیاد عملکرد را تحت شرایط تنش شدید برای همه لاین‌ها مشاهده کردند در حالی که تحت شرایط تنش ملایم، این کاهش شدید عملکرد برای برخی لاین‌ها اتفاق نیفتاد. آنها جهت گزینش لاین‌های متحمل، استفاده از محیط‌های دارای تنش ملایم را در مقایسه با محیط‌های دارای تنش شدید، مناسب‌تر دانستند. بنابراین به‌نژادگران جهت گزینش لاین‌های متحمل خشکی باید به شدت تنش توجه کافی داشته باشند.

انتخاب ژنوتیپ‌ها در محیط به دو روش صورت می‌گیرد، ۱- تحمل نسبی به تنش که عملکرد نسبی در محیط تنش نسبت به محیط بدون تنش می‌باشد. ۲- تحمل مطلق به تنش که عملکرد حداکثر در شرایط تنش بدون توجه به عملکرد در شرایط بدون تنش می‌باشد. عملکرد مطلق در شرایط تنش برای کشاورزان و عملکرد نسبی برای به‌نژادگران از اهمیت بیشتری برخوردار است (۳۹).

از مقادیر بالای شاخص STI برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل در گندم استفاده شده است (۴۱،۱۹). گزارش شده است هنگامی که تنش خشکی ملایم بود، شاخص‌های MP، GMP، YI، STI و DI برای تشخیص ژنوتیپ‌های جو متحمل در هر دو شرایط تنش و بدون تنش مفیدتر بودند (۳۹). انتخاب براساس سه شاخص STI، MP، GMP توسط سایر محققان در شرایط تنش پیشنهاد شده است (۳۴) و (۴۳) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارند. همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) مثبت و معنی‌دار بود (شکل ۲ و جدول ۵). این مطلب بیانگر این است که عملکرد بالا در شرایط مطلوب، منجر به بهبود عملکرد در شرایط تنش در بیشتر ژنوتیپ‌ها شده است. پاتل و همکاران (۲۶) و اطمینان و همکاران (۹) در گندم دوروم نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی گزارش کردند. در حالی که در مطالعه کامرانی و همکاران (۱۸) گزارش شد که عملکرد دانه تحت شرایط تنش مستقل از عملکرد دانه تحت شرایط بدون تنش بود.

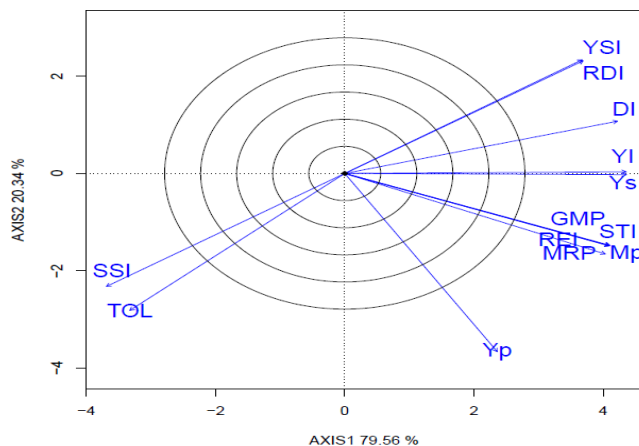
در آزمایش حاضر، همبستگی بین عملکرد در شرایط بدون تنش با عملکرد در شرایط تنش خشکی معنی‌دار بود. از طرفی نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد طی دوسال در دو محیط آزمایش، نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی‌دار نبود. این مطالب بیانگر شدت تنش ملایم بود. بلوم

جدول ۶- ضرایب همبستگی پیرسون بین شاخص‌های مختلف تحمل تنش در ژنوتیپ‌های جو

Table 6. Correlation coefficient among different tolerance indices in barley genotypes

شاخص	Yp	Ys	MP	GMP	STI	TOL	SSI	RDI	YI	YSI	DI	MRP	REI
Yp	۱												
Ys	۰/۵۵ ^{**}	۱											
MP	۰/۸۳ ^{**}	۰/۹۳ ^{**}	۱										
GMP	۰/۷۹ ^{**}	۰/۹۴ ^{**}	۰/۹۹ ^{**}	۱									
STI	۰/۷۹ ^{**}	۰/۹۴ ^{**}	۰/۹۹ ^{**}	۰/۹۹ ^{**}	۱								
TOL	۰/۱۳	۰/۷۶ ^{**}	۰/۴۶ [*]	۰/۵۰ [*]	۰/۵۰ [*]	۱							
SSI	۰/۰۱	۰/۸۴ ^{**}	۰/۵۸ ^{**}	۰/۶۲ ^{**}	۰/۶۱ ^{**}	۰/۹۹ ^{**}	۱						
RDI	۰/۰۱	۰/۸۴ ^{**}	۰/۵۸ ^{**}	۰/۶۲ ^{**}	۰/۶۱ ^{**}	۰/۹۹ ^{**}	۰/۹۹ ^{**}	۱					
YI	۰/۵۳ [*]	۰/۹۹ ^{**}	۰/۹۲ ^{**}	۰/۹۴ ^{**}	۰/۹۴ ^{**}	۰/۷۷ ^{**}	۰/۸۵ ^{**}	۰/۸۵ ^{**}	۱				
YSI	۰/۰۱	۰/۸۴ ^{**}	۰/۵۸ ^{**}	۰/۶۲ ^{**}	۰/۶۱ ^{**}	۰/۹۹ ^{**}	۰/۹۹ ^{**}	۰/۹۹ ^{**}	۰/۸۵ ^{**}	۱			
DI	۰/۳۲	۰/۹۷ ^{**}	۰/۸۰ ^{**}	۰/۸۳ ^{**}	۰/۸۳ ^{**}	۰/۹۰ ^{**}	۰/۹۵ ^{**}	۰/۹۵ ^{**}	۰/۹۷ ^{**}	۰/۹۵ ^{**}	۱		
MRP	۰/۸۰ ^{**}	۰/۹۴ ^{**}	۰/۹۹ ^{**}	۰/۹۹ ^{**}	۰/۹۹ ^{**}	۰/۴۹ ^{**}	۰/۶۱ ^{**}	۰/۶۱ ^{**}	۰/۹۴ ^{**}	۰/۶۱ ^{**}	۰/۸۳ ^{**}	۱	
REI	۰/۷۹ ^{**}	۰/۹۴ ^{**}	۰/۹۹ ^{**}	۰/۹۹ ^{**}	۰/۹۹ ^{**}	۰/۴۹ ^{**}	۰/۶۱ ^{**}	۰/۶۱ ^{**}	۰/۹۴ ^{**}	۰/۶۱ ^{**}	۰/۸۳ ^{**}	۰/۹۹ ^{**}	۱

** و * : به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار.

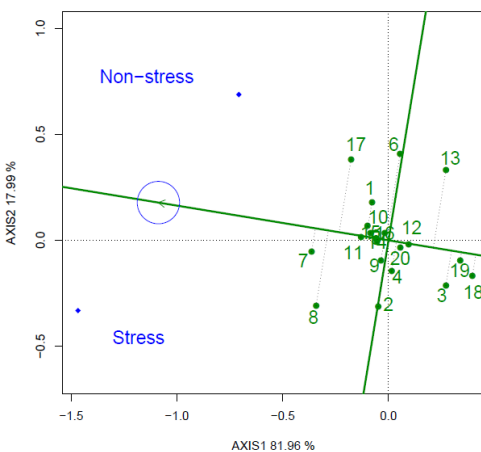


شکل ۲- بای‌پلات روابط بین شاخص‌های مورد بررسی
Figure 2. Biplot of relationship among indices

میانگین محیط‌ها عمود شده است، نشان‌دهنده پایداری ژنوتیپ‌ها می‌باشد. ژنوتیپ‌هایی که طول بردار کوتاه‌تری دارند و به مبدا این خط نزدیک‌تر هستند از پایداری عملکرد بیشتری برخوردارند (۴۵). برای این اساس ژنوتیپ‌های ۶، ۱۷، ۱۳ و ۸ ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها در دو محیط تنش و بدون تنش بودند. در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه گزینش همزمان برای عملکرد و پایداری ممکن بوده و می‌توان نتیجه گرفت لاین شماره ۷ به دلیل داشتن عملکرد دانه بالا و پایداری مطلوب در هر دو شرایط محیطی از سایر ژنوتیپ‌ها برتری محسوسی داشت. در پژوهشی که بر روی جو در دو شرایط تنش خشکی انتهایی فصل و بدون تنش در مشهد انجام شد، با استفاده از بای‌پلات میانگین عملکرد در مقابل پایداری، لاین‌های شماره ۶، ۱۵ و ۲۰ به دلیل داشتن عملکرد دانه بالا و پایداری مطلوب در هر دو شرایط محیطی گزینش شدند (۴۰).

بررسی همزمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها با استفاده از GGEBiplot بر اساس عملکرد دانه

به منظور شناسایی همزمان ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد و پایداری از بای‌پلات میانگین در مقابل پایداری در دو محیط تنش و بدون تنش استفاده شد (شکل ۳). از مبدا مختصات خطی به میانگین محیط‌ها رسم شده (خطی که با یک پیکان مشخص شده است)، ژنوتیپ‌هایی که در انتهای منفی این خط (در جهت پیکان) قرار دارند دارای بیشترین عملکرد و ژنوتیپ‌هایی که در انتهای مثبت این خط قرار دارند دارای کمترین عملکرد می‌باشند. بر این اساس لاین‌های شماره ۷، ۸ و ۱۷ دارای بیشترین میانگین عملکرد دانه در محیط‌های آزمایش بودند در حالی که لاین‌های شماره ۱۸، ۱۹، ۳ و ۱۳ کمترین میانگین عملکرد در محیط‌های مورد بررسی را به خود اختصاص دادند. خطی که از مبدا مختصات گذشته و بر



شکل ۳- GGEBiplot برای گزینش همزمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها در دو محیط
Figure 3. GGEBiplot diagram for simultaneous selection of genotypes for their yield and stability in both environments

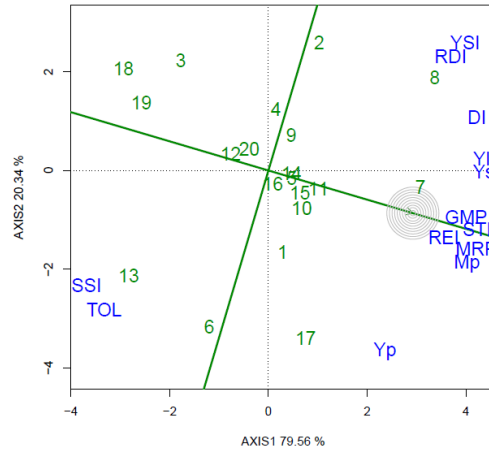
وسط دایره متحدالمرکز قرار دارد (۴۵). میزان مطلوبیت ژنوتیپ‌ها به میزان فاصله آنها از ژنوتیپ مطلوب بستگی دارد. با توجه به شکل ژنوتیپ شماره ۷ که در مجاورت دایره

تعیین ژنوتیپ ایده‌آل

ژنوتیپ ایده‌آل ژنوتیپی است فرضی که دارای بیشترین عملکرد و بالاترین میزان پایداری بوده و از نظر مکانی در

استفاده از روش بای پلات، به عنوان ژنوتیپ ایده آل شناسایی شد (۴۰). در پژوهشی دیگر، تعیین ژنوتیپ ایده آل پنبه در دو شرایط تنش خشکی و عدم تنش با استفاده از روش بای پلات انجام و رقم دلتاپاین ۲۵ به عنوان ژنوتیپ ایده آل انتخاب شد (۳۷).

متحدالمركز قرار گرفته است از نظر صفت عملکرد دانه بر اساس شاخص‌های مورد بررسی در دو محیط بدون تنش و تنش به عنوان رقم ایده آل شناسایی شد. در یک پژوهش که بر روی ۲۰ ژنوتیپ جو در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل در مشهد انجام شد، لاین شماره ۶ با



شکل ۴- بای پلات ارزیابی ژنوتیپ‌ها نسبت به ژنوتیپ ایده آل
Figure 4. Biplot of evaluating genotypes compared to the ideal genotype

ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. بررسی همزمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها با استفاده از GGEBiplot بر اساس عملکرد دانه در مجموع دو شرایط نیز نشان داد که لاین شماره ۷ با داشتن عملکرد و پایداری بالا بهترین ژنوتیپ بود. همچنین لاین شماره ۷ در بای پلات تعیین ژنوتیپ ایده آل به عنوان ژنوتیپ برتر شناخته شد. در مجموع نتایج نشان دادند GIBiplot و GGEBiplot روش مناسبی جهت شناسایی ژنوتیپ‌های برتر بر اساس بای پلات شاخص‌های مختلف در مقابل ژنوتیپ‌ها و گزینش همزمان بر اساس عملکرد و پایداری عملکرد می‌باشند.

در این تحقیق استفاده از چند ضلعی GIBiplot بر اساس شاخص‌های مورد بررسی مقایسه ژنوتیپ‌ها را نسبت به مقایسه یک به یک مقادیر عددی محاسبه شده آسانتر کرد و ژنوتیپ‌هایی که از لحاظ برخی شاخص‌های خاص برتر بودند شناسایی شدند. همچنین بررسی همبستگی بین شاخص‌ها و عملکرد دانه در دو محیط تنش و بدون تنش خشکی با استفاده از نمودار بای پلات انجام شد که بر این اساس شاخص‌های GMP، STI، MP، بهترین شاخص‌ها جهت شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در دو محیط آزمایش بودند. لذا بر اساس چند ضلعی GIBiplot لاین‌های ۷ و ۸ برترین

منابع

1. Ali, M.B. and A.N. El-Sadek. 2016. Evaluation of drought tolerance indices for wheat (*Triticum aestivum* L.) under irrigated and rain-fed conditions. Communications in Biometry and Crop Science, 11(1): 77-89.
2. Amini, A., R. Amirnia and H.A. Ghazvini. 2015. Evaluation of salinity tolerance in breed wheat genotypes under field conditions. Seed and Plant Improvement Journal, 31(1): 95-115 (In Persian).
3. Ashraf, M. and P.J.C. Harris. 2006. Abiotic stresses. International book distributing Co.
4. Blum, A. 1999. Improving wheat grain filling under stress by stem reserves mobilization. Euphytica. 100: 77-83.
5. 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.
6. Ceccarelli, S. and S. Grando. 1996. Drought as a challenge for the plant breeder. Plant Growth Regulation, 20: 149-155.
7. Clarke, J.M., R.M. DePauw and T.F. TownleySmith. 1992. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. Crop Science, 32: 723-728.
8. Ehdai, B., G.A. Alloush and J.G. Waines. 2008. Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserves to grain yield in wheat. Field Crops Research, 106: 34-43.
9. Etminan, A., A. Pour-Aboughadareh, R. Mohammadi, L. Shooshtari, M. Yousefiazarkhanian and H. Moradkhani. 2019. Determining the Best Drought Tolerance Indices using Artificial Neural Network (ANN): Insight into Application of Intelligent Agriculture in Agronomy and Plant breeding. Cereal Research Communications, 47(1): 170-181.

10. Farshadfar, E., B. Jamshidi and M. Aghae. 2012. Biplot analysis of drought tolerance indicators in breed wheat landraces of Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Science*, 4(5): 226-233.
11. Fernandez, G.C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other food Crops in Temperature and Water Stress, 13-16 Aug., 1992, Taiwan, pp: 257-270.
12. Fischer, R.A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29: 897-912.
13. Fischer, R.A. and J.T. Wood. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 3: yield association with morpho-physiological traits. *Australian Journal of Agricultural Research*. 30: 1001-1020.
14. Gabriel, K.R. 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, 58: 453-467.
15. Gavuzzi, P.F. Rizza, M. Palumbo, R.G. Campalino, G.L. Ricciardi and B. Borghi. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 77: 523-531.
16. Guttieri, M.J., J.C. Stark, K.O. Brien and E. Souza. 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. *Crop Science*, 41: 327-335.
17. Hawkesford, M., J. Araus, R. Park, D. Calderini, D. Miralles, T. Shen, J. Zhang and M.A.J. Parry. 2013. Prospects of doubling global wheat yields. *Food and Energy Security*, 2: 34-48.
18. Kamrani, M., A. Ebadi and A. Mehreban. 2016. Evaluation of grain yield-based drought tolerance indices for screening durum wheat genotypes. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*. 12(2): 649-665.
19. Khalili, M., A. Pour-Aboughadareh and M.R. Naghavi. 2016. Assessment of drought tolerance in barley: integrated selection criterion and drought tolerance indices. *Environmental and Experimental Biology*, 14: 33-41.
20. Mohammadi, R. 2019. The use of a combination scoring index to improve durum productivity under drought stress. *Experimental Agriculture*. 1-10.
21. Mohammadi, R. and A. Amri. 2013. Genotype \times environment interaction and genetic improvement for yield and yield stability of rainfed durum wheat in Iran. *Euphytica*, 192: 227-249.
22. Najafi Mirak, T., M. Dastfal, H. Farzadi, M. Sayahfar and B. Andarzian. 2020. Study of durum wheat yield stability in warm zone of Iran under normal and drought Stress. *Journal of Crop Breeding*, 12(35): 80-90 (In Persian).
23. Nazim Ud Dowla, M.A.N., I. Edwards, G. O'Hara and S. WujunMa. 2018. Developing wheat for improved yield and adaptation under a changing climate: Optimization of a few key genes. *Engineering*, 4(4): 514-522.
24. Nikkhal, H.R. and H. Dehghani. 2014. The effect of late-terminal drought stress on yield and many physiological characteristics barley varieties and lines. *Journal of Water Research in Agriculture*, 27(4): 535-549.
25. Pacheco, A., M. Vargas, G. Alvarado, F. Rodríguez, M. López, J. Crossa and J. Burgueño. 2016. GEA-R (Genotype \times Environment Analysis with R for Windows). Version 4.0.
26. Panthuan G., S. Fokai, M. Cooper, S. Rajatasereekul and J.C. O'Toole. 2002. Yield response of rice genotypes to different types of drought under rainfed lowlands. Part 1: grain yield and yield components. *Field Crop Research*, 41: 45-54.
27. Patel, J.M., A.S. Patel, C.R. Patel, H.M. Mamrutha, P. Sharma and P. Karen. 2019. Evaluation of selection indices in screening durum wheat genotypes combining drought tolerance and high yield potential. *International Journal Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(04): 1165-1178.
28. Pireivatlou, A.S., B.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 Agriculture Research*, 5: 2829-2836.
29. Raman, A., S.B. Verulkar, N.P. Mandal, M. Variar, V.D. Shukla, J.L. Dwivedi, B.N. Singh, O.N. Singh, P. Swain, A.K. Mall, S. Robin, R. Chandrababu, A. Jain, T. Ram, S. Hittalmani, S. Haefele, H. P. Piepho and A. Kumar. 2012. Drought yield index to select high yielding rice lines under different drought stress severities. *Rice*, 5: 1-12.
30. Ramirez, P. and J.D. Kelly. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica*. 99:127-136.
31. Reynolds, M., M.J. Foulkes, G.A. Slafer, P. Berry, M.A. Parry, J. Snape and W. Angus. 2009. Raising yield potential in wheat. *Journal of Botany*, 60: 1899-1918.
32. Richards, R.A., A.G. Condon and G.J. Rebetzke. 2001. Traits to improve yield in dry environments. Pp. 88-100, in: M.P. Reynolds, J.I. Ortiz-Monasterio and A. McNab (eds), *Application of physiology in wheat breeding*. Mexico, D.F. (CIMMYT).
33. Rosielle, A.A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, 42: 1441-1446.
34. Salehi, M. and S.A. Mosavat. 2008. Selection criteria of wheat genotypes under salt stress in Golestan province. *Electronic Journal of Crop Production*, 1(4): 19-33 (In Persian).

35. SAS JMP Statistical Discovery Pro 14.3.0 . www.jmp.com.
36. Schulte, D., T.J. Close, P. Langridge, T. Matsumoto, G. Muehlbauer, K. Sato, A.H. Schulman, R. Waugh, R. P. Wise and N. Stein. 2009. The international barley sequencing consortium-at the threshold of efficient access to the barley genome. *Plant Physiology*, 149: 142-147.
37. Sedigh, S., M. Zabet, M.G. Ghaderi and A.R. Samadzadeh. 2016. Identification of superior varieties of cotton under drought stress and normal conditions using GGEbiplot and GTBiplot method in birjand. *Journal of Crop Breeding*, 8(19): 134-144.
38. Semahegn, Y., H. Shimelis, M. Laing and I. Mathew. 2020. Evaluation of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for yield and related traits under drought stress conditions. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 1-11.
39. Shannon, M.C. 1984. Breeding, selection, and the genetics of salt tolerance, In: *Salinity Tolerance in Plants: Strategies for Crop Improvement*, R.C. Staples and G.H. Toenniessen (Eds). New York (USA).
40. Sharifi-Alhosini, M. and M. Taherian. 2019. Identification of drought tolerant barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) using drought tolerance indices. *Applied Field Crop Research*, 31(4): 90-105.
41. Shirvani, F., M. Daneshvar, R. Mohammadi and A. Ismaili. 2021. Evaluation of agro-physiological characteristics and drought tolerance in some of durum wheat breeding genotypes. *Journal of Crop Breeding*, 12(36): 117-135 (In Persian).
42. Sio-se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research*, 98: 222-229.
43. Taherian, M., A.R. Rasoulnia, M.R. Bihamta, A. Peyghambari and H. Alizadeh. 2017. Evaluation of stress tolerance indices in iranian barley genotypes under salinity and drought conditions. *Agricultural Communications*, 5(3): 7-17.
44. Talebi, R., F. Fayaz and A.M. Naji. 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *General and Applied Plant Physiology*, 35.
45. Yan, W., L.A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavincs. 2000. Cultivar evaluation based on yield trial data with special reference to winter wheat in Ontario. Ph.D. Thesis, University of Guelph, Guelph, ON, Canada.

Selection of Superior Drought Tolerant Genotypes of Durum Wheat using Graphic Analysis Based Methods

Mehdi Vosoughi Rad¹, Matin Jami Moeini², Majid Taherian³ and Mohammad Armin⁴

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran

2- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran

3- Assistant Professor of Horticulture Crop Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran, (Corresponding author: taherian.m@ut.ac.ir)

4- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran

Received: December 11, 2020

Accepted: February 21, 2021

Abstract

Drought is the most important limiting factor for durum wheat production in the Mediterranean and other regions. Iran is located in arid and semi-arid parts of the world. In order to identify the most effective stress tolerance indices and the most tolerant durum wheat genotypes, this study was conducted as two separate experiments (one under normal irrigation conditions and the other cut off irrigation after 50% spike) on 20 promising durum wheat lines in a randomized complete block design at three replications. The research was implemented at Neishabour Agricultural Research Station for two cropping seasons. Stress tolerance indices were calculated using the two-year average yield, which were MP, GMP, STI, SSI, TOL, YI, YSI, RDI, DI, MRP and REI. Biplot correlation equations could explain relation between grain yield and calculated indices where GMP, MP and STI were the best ones under both conditions. Lines 7 and 8 were identified as superior genotypes based on GGEBiplot polygon. Keeping in view both yield and stability adopting GGEBiplot, line 7 was favorable. Also Line 7 was ideal genotype in relevant biplot. Generally, results showed that GGEBiplot was suitable methods for identifying superior genotypes based on biplot indices considering both yield and stability.

Keywords: GGEBiplot, Stress tolerance indices, Terminal drought stress, Yield