



مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) در مناطق معتدل ایران

علی‌اکبر مویدی^{۱*}، توحید نجفی میرک^۲، مجید طاهریان^۱، شهریار ساسانی^۳ و داوود امین آزر^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۱

مویدی، ع.ا.، نجفی میرک، ت.، طاهریان، م.، ساسانی، ش.، و امین آزر، د. ۱۳۹۹. ارزیابی پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) در مناطق معتدل ایران. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۲(۲): ۳۴۵-۳۵۸.

چکیده

مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ× محیط و پایداری عملکرد دانه ارقام در شرایط محیطی مختلف از اهمیت ویژه‌ای در برنامه‌های به‌نژادی گندم (*Triticum aestivum* L.) برخوردار است. به‌منظور مطالعه سازگاری و پایداری لاین‌های امیدبخش گندم دوروم، آزمایشی با تعداد ۱۸ لاین به‌همراه دو رقم شاهد (گندم دوروم هانا و نان پارس) به مدت دو سال زراعی (۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶) در چهار ایستگاه تحقیقاتی (کرج، کرمانشاه، نیشابور و اصفهان) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که حدود ۷۰ درصد از کل تغییرات مربوط به اثر محیط، ۱/۷ درصد مربوط به اثر ژنوتیپ و ۱۳/۵ درصد مربوط به اثر متقابل ژنوتیپ× محیط بود. بررسی بای‌پلات چندضلعی منجر به شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب در هر مکان شد. محیط کرج به شرایط محیط ایده‌آل نزدیک بود. بررسی همزمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها با استفاده از بای‌پلات مختصات محیط متوسط نشان داد که ژنوتیپ‌های G_1 ، G_2 و G_{18} جزء ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد و پایداری بالا بودند. نتایج نشان داد که لاین G_{18} می‌تواند در قیاس با رقم شاهد هانا (G_1) به عنوان لاین امیدبخش مطلوب از نظر عملکرد و پایداری در نظر گرفته شود و به عنوان لاین مناسب جهت معرفی در اقلیم معتدل کشور مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ× محیط، GGE بای‌پلات، پایداری، ژنوتیپ برتر

مقدمه

گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) بخش کوچکی معادل پنج درصد از سطح زیر کشت گندم در دنیا و حدود ۱۰ درصد از کل تولید گندم را شامل می‌شود. در سال‌های اخیر میزان تولید گندم دوروم افزایش یافته و به حدود بیش از ۳۰ میلیون تن رسیده که اتحادیه اروپا، کانادا و ایالات متحده ۶۰ درصد این میزان را تولید می‌نمایند. گندم دوروم یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی در منطقه مرکز و غرب آسیا و شمال آفریقا (Central and West Asia and North Africa (CWANA)) و کشورهای حاشیه دریای مدیترانه می‌باشد. منطقه ساوانا سالانه حدود ۱۳ میلیون تن گندم دوروم تولید می‌کند که کشورهای ترکیه، سوریه، مراکش، تونس، الجزایر و ایران ۸۴ درصد این میزان را تولید می‌کنند. بیشتر کشورهای منطقه ساوانا جزء شبکه واردکننده گندم دوروم هستند. در این منطقه تنها سوریه صادرکننده گندم دوروم بوده و ایران پتانسیل

- ۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
- ۲- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- ۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.
- ۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

*- نویسنده مسئول: (Email: moayediali@yahoo.com)
Doi: 10.22067/jag.v12i2.85729

GGE بای پلات (بای پلات ژنوتیپ و ژنوتیپ×محیط^۱) این امکان را فراهم می کند که این دو اثر (ژنوتیپ و ژنوتیپ×محیط) همزمان و به صورت ترسیمی مورد بررسی قرار گیرند (Yan, 2001). محققان زیادی روش GGE بای پلات را روشی کارآمد برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط معرفی نموده و بیان داشته اند که این روش اطلاعات مفیدی در خصوص ژنوتیپ ها و محیط های تحت بررسی در اختیار محقق قرار می دهد. کاربرد GGE بای پلات در گزینش ارقام مناسب برای گندم نان (*Triticum aestivum* L.) (Mohammadi et al., 2017; Omrani et al., 2012; Ahmadi et al., 2016b)، کلزا (*Brassica napus* L.) (Zali et al., 2016) گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) (Pourdad & Jamshid Moghaddam, 2013) گندم دوروم (Mohammadi et al., 2016a) و نخود (*Cicer arietinum* L.) (Farshadfar et al., 2013) گزارش شده است.

هدف از این تحقیق، بررسی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط با استفاده از روش گرافیکی GGE بای پلات در لاین های امیدبخش گندم دوروم و شناسایی و معرفی لاین های دارای عملکرد اقتصادی بالا و پایدار جهت معرفی و کشت در مناطق مختلف اقلیم های معتدل و شناسایی مناطق مطلوب بود.

مواد و روش ها

هجده لاین امیدبخش گندم دوروم، که از آزمایشات مقایسه عملکرد لاین های پیشرفته گندم دوروم اقلیم معتدل در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ انتخاب شده بودند (جدول ۱)، به همراه گندم دوروم هانا و گندم نان پارسی به عنوان ارقام شاهد در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی (RCBD) در سه تکرار و در چهار منطقه کرج، اصفهان، کرمانشاه و نیشابور طی دو سال زراعی متوالی (۹۷-۱۳۹۶ و ۹۶-۱۳۹۵) کاشته شدند و مورد مطالعه قرار گرفتند. زمین مورد کشت تحت تناوب دو ساله غلات- آیش بوده و عملیات تهیه زمین شامل شخم کلش بعد از برداشت محصول قبل، یک نوبت شخم بهاره، یک نوبت دیسک، دو بار لولر عمود برهم، کود پاشی و ایجاد فارو بود. بذور آزمایشی قبل از کاشت به منظور جلوگیری از سیاهک پنهان با قارچ کش کاربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضد عفونی گردید. میزان بذر مصرفی بر اساس ۴۵۰ بذر در متر مربع و بر اساس وزن هزار دانه برای هر لاین تعیین گردید. تاریخ کاشت در مناطق مورد آزمایش، ابتدای آبان بود. کشت به صورت جوی و پشته و آبیاری بصورت نشتی انجام گرفت. نوع و میزان کود بر اساس آزمون خاک هر منطقه مصرف گردید. کود پتاس از منبع سولفات پتاس، کود فسفر از منبع

بالایی برای تولید گندم دوروم دارد (Mohammadi & Amri, 2013). در ایران سطح زیر کشت گندم دوروم بین ۴۰۰-۳۰۰ هزار هکتار بوده و میزان تولید سالانه آن بین ۶۰۰-۵۰۰ هزار تن می باشد (Najafi Mirak et al., 2019).

شناسایی ژنوتیپ های برتر در برنامه های اصلاحی همواره به دلیل تغییرات محیطی در مناطق هدف و اثر متقابل این تغییرات با ژنوتیپ های مورد بررسی مشکل می باشد. بنابراین، لاین های پیشرفته زراعی در برنامه های اصلاحی به منظور اطمینان از تولید محصول و پایداری عملکرد بایستی در محیط های با شرایط آب و هوایی مختلف و در سال های متفاوت ارزیابی شوند (Yan & Rajcan, 2002). یک ژنوتیپ معمولاً در محیط های مختلف از لحاظ عملکرد واکنش های متفاوتی دارد؛ بطوری که رتبه آن از یک محیط به محیط دیگر تغییر می یابد. این تغییرات که در نتیجه اثر متقابل بین ژنوتیپ و محیط ایجاد می شود، تحت عنوان اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط شناخته شده است (Allard & Bradshaw, 1964). چنانچه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط معنی دار باشند، به نژادگر نیازمند شناسایی ژنوتیپ های پایدار با میزان تولید نسبتاً ثابت در دامنه ای از محیط های هدف می باشد. پایداری ممکن است به صورت استاتیکی و یا دینامیکی باشد. پایداری، استاتیکی است، اگر ژنوتیپ ها تمایل به حفظ عملکرد یکسان در همه محیط ها را داشته باشند و دینامیکی است اگر واکنش های عملکرد یک ژنوتیپ دارای یک روال ثابت به تغییرات در محیط ها باشد. به عبارت دیگر، واکنش یک ژنوتیپ موازی با میانگین عملکرد ژنوتیپ ها در محیط های مختلف باشد (Becker & Leon, 1988). تاکنون مدل های آماری زیادی برای تجزیه اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط پیشنهاد شده اند. این مدل ها از ناپارامتری تا پارامتری تک متغیره و چندمتغیره متفاوت می باشد.

از میان روش های چند متغیره می توان به روش بای پلات که مبتنی بر تجزیه به مولفه های اصلی می باشد، اشاره نمود (Gabriel, 1971). در روش بای پلات ژنوتیپ ها و محیط و اثرات متقابل آن ها به طور همزمان در یک گراف که بای پلات نامیده می شود، نمایش داده می شوند. آنچه که در ارزیابی ژنوتیپ ها در محیط های مختلف بسیار حائز اهمیت می باشد، این است که اثر محیط در اکثر موارد بسیار بزرگ بوده، اما قابل بهره برداری نیست، بنابراین حذف اثر محیط از داده ها و تمرکز بر اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط حائز اهمیت است (Yan & Kang, 2003). تنها اثر ژنوتیپ و اثر متقابل اثر متقابل ژنوتیپ×محیط است که در گزینش لاین های پایدار عملکرد اهمیت دارند و نکته اساسی این است که دو اثر ژنوتیپ و ژنوتیپ×محیط باید به صورت توأم بررسی شوند. روش

1- Genotype and genotype× environment Biplot

ظهور سنبله و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، ملاک ۵۰ درصد مساحت هر کرت بود. اندازه‌گیری ارتفاع بوته با استفاده از خط‌کش ۱۰۰ سانتی‌متری و از سطح خاک در کف کرت تا انتهای سنبله، بدون در نظر گرفتن ریشک‌ها، انجام شد. وزن هزار دانه با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱/۰ اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس صفت عملکرد در چهار منطقه و دو سال، با استفاده از تجزیه مرکب انجام شد که اثر مکان ثابت و اثر ژنوتیپ و سال تصادفی در نظر گرفته شد. قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب، جهت آزمون همگنی واریانس آزمایشات، از آزمون بارتلت استفاده شد. نتایج آزمون بارتلت بیانگر یکنواختی واریانس آزمایشات بود.

فسفات آمونیوم بصورت پایه و کود ازته از منبع اوره بصورت پایه و سرک به مصرف رسید. هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف شش متری به فاصله ۲۰ سانتی‌متر (متر مربع $6 \times 1/2 = 7/2$) بود که قبل از برداشت نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت حذف و بقیه (شش متر مربع) برداشت شد. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن برگ و باریک برگ، مخلوطی از علف‌کش‌های گرانستار و پوما سوپر به ترتیب به مقدار ۲۰ گرم و یک لیتر در هکتار در مرحله پنجه‌زنی تا ساقه‌رفتن استفاده شد. در طول دوره رشد علاوه بر مراقبت‌های زراعی، یادداشت برداری صفات مورد مطالعه شامل تعداد روز از کاشت تا ۵۰ درصد ظهور سنبله، تعداد روز تا ۵۰ درصد رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع بوته، رنگ دانه و وزن هزار دانه به عمل آمد. جهت اندازه‌گیری تعداد روز تا

جدول ۱- نام و شجره ارقام و لاین‌های امید بخش گندم دوروم

Table 1- Name and pedigree of durum wheat cultivars and promising lines

شماره لاین‌ها Lines number	شجره لاین‌ها Pedigree of lines
G ₁	Hana (<i>T. durum</i>)
G ₂	Parsi (<i>T. aestivum</i>)
G ₃	SOOTY_9/RASCON_37//SOMAT_3.1/4/GRO_2/YUAN_1//ARLIN/2*ACO89/3/JUPARE C 2001
G ₄	SOOTY_9/RASCON_37//SOMAT_3.1/5/GUAYACAN INIA/KUCUK/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/8/AVTA/...
G ₅	BOOMER_33/ZAR/3/BRAK_2/AJAIA_2//SOLGA_8/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ ALBA-...
G ₆	P91.272.3.1/3*MEXI75//2*JUPARE C 2001/5/ARTICO/AJAIA_3//HUALITA/3/FULVOUS_1/MFOWL_13/4/TECA96/TILO_1/6/...
G ₇	SOOTY_9/RASCON_37//STORLOM/5/TOSKA_26/RASCON_37//SNITAN/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS 4/3/CANELO_9.1/6...
G ₈	SOOTY_9/RASCON_37//SOMAT_3.1/3/SOOTY_9/RASCON_37//STORLOM/4/SOOTY_9/RASCON_37/ /GUAYACAN..
G ₉	PLATA_6/GREEN_17//SNITAN/4/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/AUK/GUIL//GREEN/5/RCOL/GUAN AY*2//SOMAT_3/GREEN_22
G ₁₀	PLATA_6/GREEN_17/3/CHEN/AUK//BISU*2/5/PLATA_3//CREX/ALLA/3/SOMBRA_20/4/SILVER_14/ MOEWE
G ₁₁	P91.272.3.1/3*MEXI75//2*JUPARE C 2001/5/PLATA_6/GREEN_17//SNITAN/4/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3...
G ₁₂	MÁALI/5/LOTUS_5/SORD_1/3/CANELO_8//SORA/2*PLATA_12/4/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/A UK/GUIL//GREEN
G ₁₃	SCRIP_1//DIPPER_2/BUSHEN_3/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1
G ₁₄	1A.1D 5+1-06/3*MOJO/RCOL/3/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4
G ₁₅	PLATA_6/GREEN_17/3/CHEN/AUK//BISU*2/5/PLATA_3//CREX/ALLA/3/SOMBRA_20/4/... TAMAROI/8/R143/RUFF//STIL/3/YAV79/4/SHWA/MALD/5/ALTAR
G ₁₆	84/6/TILO_1/LOTUS_4/7/CAMAYO
G ₁₇	ADAMAR_15//ALBIA_1/ALTAR_84/3/SNITAN/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/...
G ₁₈	WID22202/5/TOSKA_26/RASCON_37//SNITAN/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/6/...
G ₁₉	SOOTY_9/RASCON_37//JUPARE C 2001/6/PLATA_6/GREEN_17/3/CHEN/AUK//BISU/5/PLATA_3//...
G ₂₀	ZHONG ZUO/2*GREEN_3//SORA/2*PLATA_12/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/...

حفظ کرده و GGE را به دو جزء ضریبی تجزیه می‌کند. (Yan et al., 2000). مدل استفاده شده در GGE بای‌پلات به صورت معادله ۱ است:

بررسی پایداری عملکرد دانه ارقام و لاین‌ها با استفاده از روش‌های چندمتغیره GGE بای‌پلات انجام شد. روش GGE بای‌پلات، اثر ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ×محیط (GE) را با هم

2016b) در ارزیابی عملکرد و پایداری عملکرد در ژنوتیپ‌های گندم نان بیان کردند که سهم محیط، اثر متقابل ژنوتیپ× محیط و ژنوتیپ در توجیه میانگین مربعات کل به ترتیب ۶۹/۸، ۱۵/۶ و یک درصد بود.

میانگین دو ساله عملکرد دانه لاین‌ها و ارقام گندم مورد بررسی برای ایستگاه‌های اصفهان، کرج، کرمانشاه، و نیشابور و همچنین میانگین کل عملکرد دانه برای این لاین‌ها و ارقام در جدول ۳ ارائه شده است.

نتایج نشان داد که در ایستگاه اصفهان میانگین دامنه دو ساله عملکرد دانه لاین‌های مورد ارزیابی ۸/۱۶-۶/۸۵ تن بوده و لاین G₁₉ کمترین و لاین G₆ بیشترین میانگین عملکرد را داشتند. میانگین کل عملکرد دانه در این ایستگاه ۷/۳۴ تن در هکتار بود. در ایستگاه کرج میانگین دامنه عملکرد دانه لاین‌های مورد مطالعه ۶/۳۰ تا ۷/۹۳ تن در هکتار بوده و ژنوتیپ G₂₀ کمترین و لاین G₁₈ بالاترین میانگین عملکرد دانه را دارا بودند (جدول ۳). میانگین کل عملکرد دانه در این ایستگاه ۷/۰۴ تن در هکتار بود. در ایستگاه کرمانشاه دامنه میانگین عملکرد دانه لاین‌های مورد مطالعه ۶/۸۹ تا ۹/۰۴ تن در هکتار و لاین‌های G₄ و G₂ به ترتیب کمترین و بیشترین میانگین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۳). میانگین کل عملکرد دانه در این ایستگاه ۷/۸۸ تن در هکتار بود. در ایستگاه نیشابور دامنه میانگین عملکرد دانه لاین‌های مورد مطالعه ۵/۲۳ تا ۵/۹۰ تن در هکتار و لاین‌های G₁₆ و G₁₀ به ترتیب کمترین و بیشترین میانگین عملکرد دانه را داشتند. میانگین کل عملکرد دانه در این ایستگاه ۵/۵۶ تن در هکتار بود. در مجموع، تمام مکان‌ها مشاهده شد که میانگین عملکرد دانه لاین‌های مورد ارزیابی در دامنه‌ای بین ۶/۵۷ تا ۷/۲۶ تن در هکتار و لاین‌های G₂₀ و G₂ به ترتیب کمترین و بیشترین عملکرد دانه را داشتند. میانگین کل عملکرد دانه برای مکان‌ها و سال‌های اجرای آزمایش ۶/۹۹ تن در هکتار بود. نتایج نشان داد که لاین‌های G₆ و G₁₆ از جمله لاین‌هایی بودند که میانگین عملکرد از میانگین عملکرد رقم شاهد دنا (G₁) بیشتر بود (جدول ۳).

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = g_{1i}e_{1j} + g_{2i}e_{2j} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

g_{1i} و e_{1j} : نمره‌های اولیه برای ژنوتیپ i و محیط j ، g_{2i} و e_{2j} : نمره‌های ثانویه برای ژنوتیپ i و محیط j و ε_{ij} : باقیمانده‌ای است که به وسیله اثرات اولیه و ثانویه توضیح داده نمی‌شود. یک بای‌پلات GGE با رسم g_{1i} در مقابل g_{2i} و e_{1j} در مقابل e_{2j} در یک نمودار پراکنش، رسم می‌شود. نمره‌های اولیه از طریق تجزیه به مقادیر منفرد^۱ (SVD) تجزیه شده و به صورت معادله ۲ تبدیل می‌شوند:

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

λ_1 و λ_2 : به ترتیب مقادیر منفرد اولین و دومین مؤلفه اصلی (PC_1 و PC_2)، ξ_{1i} و ξ_{2i} : به ترتیب بردارهای ویژه ژنوتیپ i برای PC_1 و PC_2 و η_{1j} و η_{2j} : به ترتیب بردارهای ویژه محیط j برای PC_1 و PC_2 می‌باشند (Yan et al., 2000; Yan, 2001). به منظور ترسیم نمودارهای GGE بای‌پلات و تجزیه واریانس مرکب داده‌ها از نرم‌افزارهای ADEL-R و GE-R استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر اصلی سال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، در حالی که اثر اصلی مکان و همچنین اثر اصلی ژنوتیپ معنی‌دار نبود. اثر متقابل ژنوتیپ×سال و نیز اثر متقابل سه جانبه ژنوتیپ×سال×مکان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند که نشانگر وجود اثر متقابل ژنوتیپ×محیط بود. همچنین نتایج حاکی از آن بود که حدود ۷۰ درصد از کل تغییرات مربوط به اثر محیط، ۱/۷ درصد مربوط به اثر ژنوتیپ و ۱۳/۵ درصد مربوط به اثر متقابل ژنوتیپ×محیط بود (جدول ۲). هرچند اثر متقابل ژنوتیپ×محیط منبع اصلی تغییرات نبود، اما حدود هشت برابر اثر ژنوتیپ نقش داشت. نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققان گزارش شده است (Yan et al., 2000; Fan et al., 2007; Rose et al., 2008). کم بودن اثر ژنوتیپ در توجیه تنوع موجود احتمالاً به این دلیل می‌باشد که در سال‌های گذشته در برنامه‌های به‌نژادی گندم دوروم ژنوتیپ‌های برتر از لحاظ عملکرد انتخاب شده و این ژنوتیپ‌های برتر در آزمایشات چندمحیطی نسبت به محیط و اثر متقابل ژنوتیپ×محیط نقش کمتری در توجیه تنوع موجود داشته‌اند. محمدی و همکاران (Mohammadi et al.,

1- Singular valued composition

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه لاین‌های گندم دوروم در چهار مکان و دو سال

Table 2- Combined analysis of variance for durum wheat genotypes in four locations and two years

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares	واریانس توجیه شده Explained variance
مکان Location	3	127.14 ^{ns}	43.22
سال Year	1	17.48 ^{**}	1.98
مکان×سال Location× year	3	61.63 ^{**}	20.95
بلوک (آزمایش) Block (experiment)	16	1.54	2.79
ژنوتیپ Genotype	19	0.78 ^{ns}	1.68
ژنوتیپ×مکان Genotype× location	57	0.67 ^{ns}	4.33
ژنوتیپ×سال Genotype× year	19	1.27 ^{**}	2.73
ژنوتیپ×مکان×سال Genotype× location × year	57	1.04 ^{**}	6.46
اشتباه آزمایشی Error	304	0.46	15.85
ضریب تغییرات CV (%)	-	9.6	-

جدول ۳- میانگین عملکرد دانه ارقام و لاین‌های امید بخش گندم دوروم در چهار مکان (اصفهان، کرج، کرمانشاه و نیشابور) (۱۳۹۵-۹۷)

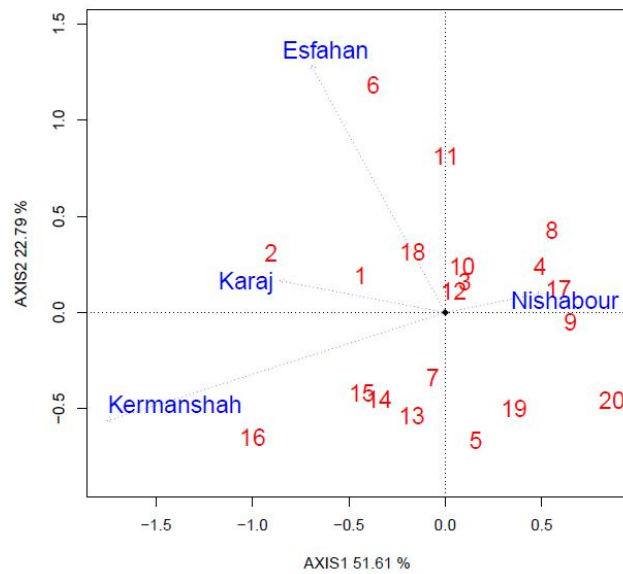
Table 3- Mean of grain yield of durum wheat cultivars and promising lines in four locations (Isfahan, Karaj, Kermanshah and Neishabour) (2016-2018)

گندم‌های لاین کد Code of wheat lines	رقم/لاین Cultivar/Line	عملکرد دانه Grain yield (t.ha ⁻¹)				میانگین Mean
		اصفهان Isfahan	کرج Karaj	کرمانشاه Kermanshah	نیشابور Neishabour	
G ₁	Hana (<i>T. durum</i>)	7.600	7.211	8.499	5.386	7.120
G ₂	Parsi (<i>T. aestivum</i>)	7.924	7.039	9.041	5.321	7.264
G ₃	DM-95-3	7.458	6.839	7.879	5.64	6.972
G ₄	DM-95-4	7.382	6.647	6.886	5.427	6.751
G ₅	DM-95-5	6.895	6.961	7.926	5.707	6.907
G ₆	DM-95-6	8.158	7.297	7.744	5.585	7.259
G ₇	DM-95-7	7.127	7.195	8.214	5.77	7.058
G ₈	DM-95-8	7.448	6.780	7.354	5.865	6.901
G ₉	DM-95-9	7.064	6.900	7.133	5.471	6.703
G ₁₀	DM-95-10	7.504	6.908	7.959	5.903	7.076
G ₁₁	DM-95-11	7.853	6.989	7.608	5.542	7.048
G ₁₂	DM-95-12	7.374	7.111	8.19	5.615	7.004
G ₁₃	DM-95-13	7.148	6.825	8.038	5.342	6.909
G ₁₄	DM-95-14	7.212	7.058	8.266	5.47	7.040
G ₁₅	DM-95-15	7.286	7.017	8.431	5.545	7.098
G ₁₆	DM-95-16	7.214	7.603	8.507	5.226	7.228
G ₁₇	DM-95-17	7.148	7.117	7.693	5.897	6.899
G ₁₈	DM-95-18	7.338	7.933	7.31	5.277	7.058
G ₁₉	DM-95-19	6.851	7.156	7.726	5.647	6.847
G ₂₀	DM-95-20	6.897	6.303	7.212	5.585	6.574
Mean	میانگین	7.344	7.044	7.881	5.561	6.986

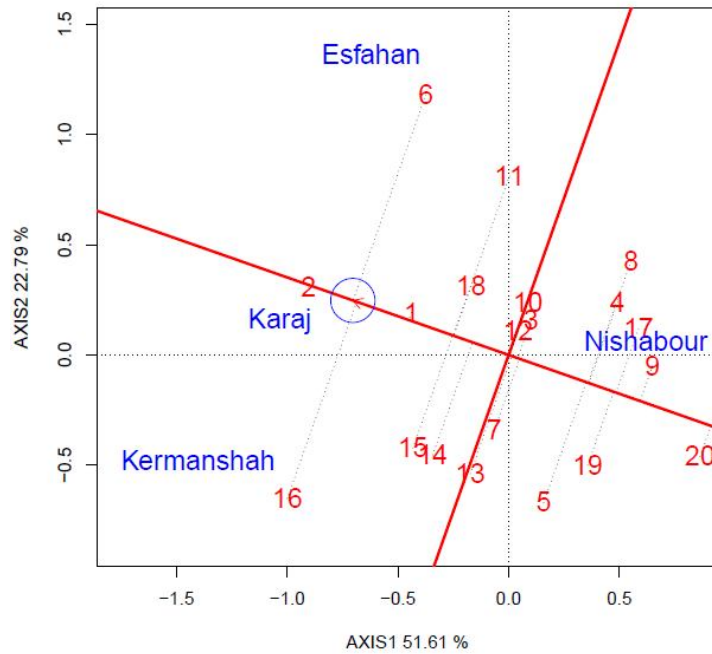
ژنوتیپ‌های موجود در هر بخش دارای شباهت زیادی به یکدیگر بودند. به عنوان مثال، ژنوتیپ G_1 در محیط کرج مشابه ژنوتیپ G_2 بود. همچنین ژنوتیپ‌های G_{13} ، G_{14} ، G_{15} و G_7 در محیط کرمانشاه مشابه ژنوتیپ برتر G_{16} بودند و سازگاری خوبی به محیط مذکور داشتند هر چند که به اندازه ژنوتیپ G_{16} برتر نبودند. تفاوت عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، نشان‌دهنده اثر متقابل کراس‌آوری است که در آن رتبه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، متفاوت می‌باشد (Yan & Tinker, 2005). ژنوتیپ‌های G_5 و G_8 در هیچ‌کدام از محیط‌ها برتر نبودند. ژنوتیپ‌های G_3 ، G_{10} و G_{12} که در نزدیک مرکز بای‌پلات قرار داشتند دارای عملکرد متوسطی در تمام محیط‌ها بودند. برای بررسی هم‌زمان پایداری و عملکرد لاین‌ها از نمودار مختصات محیط متوسط (AEC)^۲ استفاده شد (شکل ۲). استفاده از نمودار مختصات محیط متوسط در روش GGE بای‌پلات از روش‌های مفید و مؤثر تجزیه پایداری به شمار می‌رود و اطلاعات خوبی از نحوه تظاهر ژنوتیپ‌های مورد بررسی ارائه می‌دهد (Kaya, 2006; Samonte et al., 2005). این نمودار، بای‌پلات میانگین در مقابل پایداری نیز نامیده می‌شود. خط افقی با دایره و پیکان نشان‌دهنده پایداری است و هر ژنوتیپی که به این محور نزدیک باشد پایدارتر است (Yan et al., 2000). در عین حال، خط عمودی نشان‌دهنده متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها است و ژنوتیپ‌های موجود در سمت چپ این خط، دارای عملکرد پایین‌تر از متوسط کل می‌باشند. شکل ۲ رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها را بر اساس عملکرد دانه و میزان پایداری عملکرد در چهار مکان نشان می‌دهد. بر این اساس ژنوتیپ‌های G_1 ، G_2 ، G_1 و G_{18} جزء ژنوتیپ‌های برتر (عملکرد و پایداری بالا) بودند. بقیه ژنوتیپ‌هایی که در سمت راست خط عمودی قرار داشتند از نظر عملکرد برتر از میانگین و ژنوتیپ‌هایی که در سمت چپ این خط قرار داشتند عملکرد کمتری از میانگین داشتند. لذا ژنوتیپ‌های G_6 ، G_{16} ، G_{11} ، G_{15} و G_{14} دارای عملکرد بالا و پایداری پایین بودند و ژنوتیپ‌های G_{17} ، G_{19} ، G_8 ، G_4 ، G_7 و G_5 دارای عملکرد کمتر از متوسط و پایداری کم و ژنوتیپ‌های G_{20} و G_9 دارای عملکرد کمتر از متوسط و پایداری بیشتر بودند. ژنوتیپ‌های G_3 ، G_{12} و G_{10} دارای عملکرد متوسط و نسبتاً پایدار بودند.

نمایش چندضلعی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط در آزمایشات چند محیطی بهترین راه برای مشاهده الگوهای اثرات متقابل بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به منظور تفسیر مؤثر بای‌پلات و مطالعه وجود احتمالی گروه‌های محیطی در یک منطقه است (Yan et al., 2000). نتایج حاصل از روش GGE بای‌پلات نشان داد که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم به ترتیب ۵۱/۶۱ و ۲۲/۷۹ درصد و در مجموع ۷۴/۴ درصد از کل تغییرات را توجیه کردند (شکل ۱). محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2016b) در ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های گندم نان در ۲۱ محیط بیان کردند که نتایج GGE بای‌پلات ۳۹/۱۹ درصد تغییرات را توجیه کرد، در حالی که در بررسی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های گندم نان توسط عمرانی و همکاران (Omran et al., 2017) GGE بای‌پلات در ۱۲ محیط، حدود ۸۲ درصد تغییرات را توجیه کرد. در هر حال، اگر مجموع مؤلفه‌های اصلی اول و دوم نتوانند اکثر تغییرات موجود را توجیه نمایند، نشان‌دهنده ماهیت پیچیده اثر متقابل ژنوتیپ×محیط بوده، اما الزاماً به معنای غیرمعتبر بودن بای‌پلات نیست (Yan & Tinker, 2005). در شکل ۱، نمایش گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط ۲۰ لاین و رقم مورد مطالعه در چهار مکان نشان داده شده است. در این شکل ژنوتیپ‌هایی که بیشترین فاصله را از مرکز بای‌پلات دارند، به وسیله تعدادی خطوط مستقیم به هم وصل شده و سایر ژنوتیپ‌ها در درون چندضلعی قرار می‌گیرند. ژنوتیپ‌هایی که در رئوس چند ضلعی قرار دارند از لحاظ عملکرد دانه بهترین یا ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در یک یا چند محیط محسوب می‌شوند، زیرا بیشترین فاصله را از مرکز بای‌پلات دارند (Yan & Kang, 2003). بر هر ضلع چندضلعی یک عمود از مرکز بای‌پلات رسم می‌شود که بای‌پلات را به چندین بخش تقسیم می‌کند و محیط‌ها در بخش‌های یکسان و یا متفاوتی قرار می‌گیرند. بررسی نمودار چند ضلعی به منظور تعیین لاین‌های برتر در محیط‌های مختلف و مشخص نمودن محیط‌های بزرگ (شکل ۱) نشان داد که لاین‌های G_6 ، G_8 ، G_{20} ، G_5 ، G_{16} و G_2 در رئوس چند ضلعی قرار دارند. براساس شکل ۱ محیط‌ها به چهار گروه و ژنوتیپ‌ها به شش گروه تقسیم شدند. اولین محیط شامل محیط اصفهان با ژنوتیپ برتر G_6 ، دومین محیط شامل محیط کرج با ژنوتیپ برتر G_2 ، سومین محیط شامل محیط کرمانشاه با ژنوتیپ برتر G_{16} و محیط چهارم، نیشابور با ژنوتیپ برتر G_{20} بود. علاوه بر موارد فوق،

1- Average environment coordination



شکل ۱- چند ضلعی GGE بای پلات برای شناسایی ارقام و لاین‌های امید بخش برتر گندم دوروم در محیط‌های مختلف
 Fig. 1- Polygon of GGE biplot to determine the superior bread wheat cultivars and promising lines in different environments



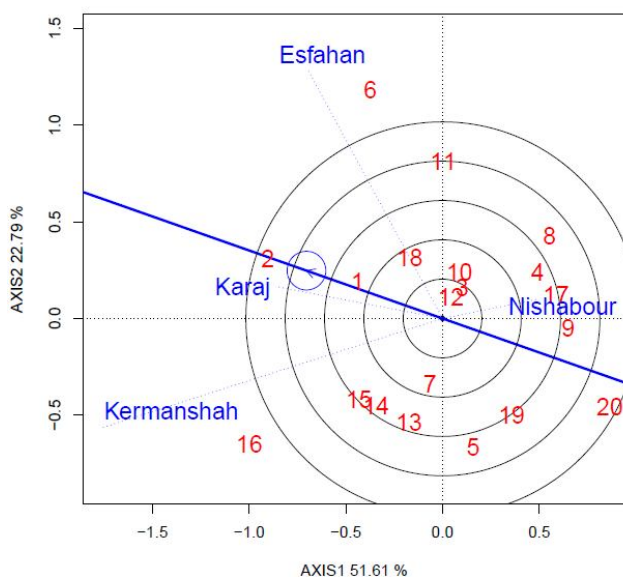
شکل ۲- بای پلات مختصات محیط متوسط (AEC) برای گزینش هم‌زمان عملکرد دانه و پایداری ارقام و لاین‌های امیدبخش گندم دوروم
 Fig. 2- Biplot of the average-environment coordination (AEC) for simultaneous selection of grain yield and stability of durum wheat cultivars and promising lines

از ۹۰ درجه بود که نشان می‌دهد این محیط‌ها در رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها مشابه عمل می‌کنند. در مقابل زاویه بین محیط نیشابور با محیط‌های

بر اساس شکل ۳ تشابه زیادی بین محیط‌های کرج و کرمانشاه و نیز کرج و اصفهان وجود داشت. زاویه بین این دو گروه محیطی کمتر

یک محیط نماینده شرایط سایر محیطها در مطالعه مورد نظر است (Blanche & Myers, 2006; Yan & Tinker, 2006). بنابراین، یک محیط ایده‌آل باید ترکیبی از این دو خصوصیت را برای توسعه مواد ژنتیکی سازگار داشته باشد. این خصوصیات در مدل GGE بای‌پلات تحت عنوان «قدرت تفکیک محیطها در مقابل نمایندگی آن‌ها» آورده شده است (Yan & Kang, 2003; Yan & Tinker, 2006). بر اساس شکل ۳، محیط کرج و بعد از آن به ترتیب محیطهای کرمانشاه و اصفهان به شرایط محیطهای ایده‌آل نزدیک هستند. هرچه طول بردار محیطی کوچک‌تر باشد، آن محیط توانایی کمتری در تفکیک بین ژنوتیپها دارد، بر این اساس محیط نیشابور دارای کمترین توانایی در تفکیک و ایجاد تنوع بین ژنوتیپها بود که ممکن است به شرایط آب و هوایی و یا مدیریت زراعی مرتبط باشد. محیطهای کرمانشاه و اصفهان به ترتیب دارای بیشترین توانایی در تفکیک و ایجاد تنوع بین ژنوتیپها بودند. در این میان، محیط کرج از نظر توانایی نمایندگی رتبه اول و از نظر توانایی در تفکیک و ایجاد تنوع بین ژنوتیپها در حد متوسط بود.

کرمانشاه و کرج منفرد و نزدیک ۱۸۰ درجه بود که نشان می‌دهد این دو گروه از محیطها (نیشابور در مقایسه با کرمانشاه و کرج) در تفکیک و رتبه‌بندی ژنوتیپها عکس هم عمل می‌کنند. اگر چه آزمایش‌های چند محیطی برای ارزیابی ژنوتیپها به کار می‌روند، آن‌ها را می‌توان برای ارزیابی محیطها نیز به کار برد. یک محیط ایده‌آل بایستی به طور واضح اختلاف بین ژنوتیپها را نشان دهد و همزمان نماینده خوبی از محیط هدف باشد. مفهوم محیط ایده‌آل برای محیطهایی کاربرد دارد که دارای دو خصوصیت عمده باشند: (۱) محیط توانایی بالا در تفکیک و تمایز بین ژنوتیپها داشته باشد و (۲) نماینده‌ای برای محیطهای دیگر مورد آزمون باشد (Yan & Kang, 2003; Yan & Tinker, 2006). این مفهوم از محیطهای ایده‌آل برای محصولات مختلف از جمله ذرت (*Zea mays* L.) (Fan et al., 2007)، پنبه (Blanche & Myers, 2007)، *Gossypium hirsutum* L.) (Mohammadi et al., 2010a) و گندم دوروم (Dimitrios et al., 2008) استفاده قرار گرفته است. توانایی تفکیک و تمایز یک محیط، به توانایی محیط برای نشان دادن حداکثر تنوع بین ژنوتیپها برمی‌گردد، اما توانایی نمایندگی یک محیط بیان می‌کند که



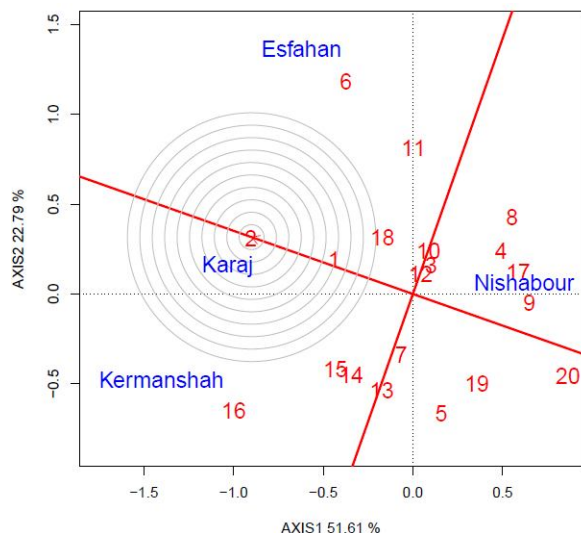
شکل ۳- GGE بای‌پلات که روابط بین محیطها و مقایسه محیطها از نظر «قابلیت تفکیک بین ژنوتیپها در مقابل نماینده بودن» آن‌ها را نشان می‌دهد.

Fig. 3- GGE biplot which shows the relationship among different environments and “discriminative vs. representative of testers”.

1- Discriminating power vs. representativeness of testers

بای‌پلات قرار دارد (Yan, 2001). میزان مطلوبیت لاین‌ها به فاصله آن‌ها از ژنوتیپ مطلوب بستگی دارد. ژنوتیپ G₂ به عنوان ژنوتیپ مطلوب بوده و از بین لاین‌های امیدبخش مورد بررسی، نزدیک‌ترین لاین امیدبخش به آن ژنوتیپ G₁₈ بود. در مقابل ژنوتیپ‌های G₂₀، G₁₉، G₉، G₁₇، G₅، G₄ و G₈ به عنوان ژنوتیپ‌های نامطلوب تعیین شدند (شکل ۴).

ژنوتیپ مطلوب باید دارای بیشترین میانگین عملکرد دانه در محیط‌های مورد مطالعه و عملکرد پایدار نسبت به شرایط محیطی باشد (Yan, 2002). چنین ژنوتیپی به‌عنوان ژنوتیپی که دارای بیشترین طول روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و دارای حداقل نقش در اثر متقابل ژنوتیپ×محیط باشد تعریف شده است. ژنوتیپ ایده‌آل از نظر مکانی در مرکز دوایر متحدالمرکز

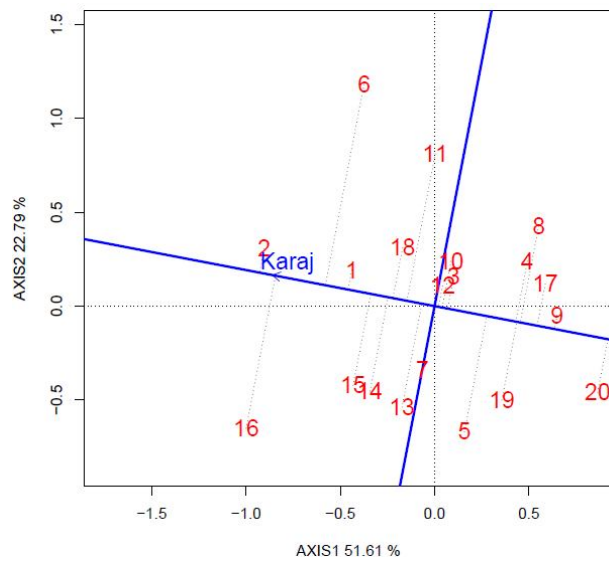


شکل ۴- بای‌پلات مقایسه ارقام و لاین‌های امیدبخش گندم دوروم با ژنوتیپ مطلوب بر مبنای عملکرد و پایداری عملکرد دانه
 Fig. 4- Biplot of durum wheat cultivars and promising lines in comparison with ideal genotype based on grain yield and stability

ارقام و لاین‌ها تفاوت قابل توجهی نشان ندادند و همه آن‌ها در محدوده ۲۱۳-۲۱۰ روز بودند. از نظر ارتفاع بونه ارقام و لاین‌ها به‌طور میانگین دارای ارتفاع ۸۸ سانتی‌متر بوده و محدوده تغییرات این صفت بین ۹۲-۸۳ سانتی‌متر بود. کمترین ارتفاع بونه مربوط به لاین G₃ و بیشترین آن مربوط به لاین G₁₈ با ارتفاع ۹۲ سانتی‌متر بود. وزن هزار دانه ارقام و لاین‌ها با میانگین ۳۶ گرم بین ۳۲-۳۸ گرم متغیر بود. بیشترین وزن هزار دانه مربوط به لاین‌های G₁₄، G₁₁ و G₁₈ و کمترین آن مربوط به ژنوتیپ G₁₀ بود. شاهد دوروم و نان هردو دارای وزن هزار دانه ۳۷ گرم بودند. از نظر رنگ دانه هیچ تنوعی بین ارقام و لاین‌ها دیده نشد و همه آنها دارای رنگ دانه زرد کهربائی بودند. از نظر واکنش به بیماری زنگ تمام لاین‌ها مقاوم تا نسبتاً مقاوم بودند. در مورد زنگ قهوه‌ای نیز ژنوتیپ G₉ دارای واکنش نسبتاً حساس و بقیه لاین‌ها مقاوم بودند (جدول ۴).

با توجه به این که ایستگاه کرج نقش هدایت‌کننده‌ای در آزمایشات به‌نژادی گندم دوروم دارد، از این‌رو تظاهر ژنوتیپ‌ها در این محیط بررسی گردید. ژنوتیپ‌های موجود در سمت راست پیکان مربوط به کرج، به عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب می‌باشند. بنابراین ژنوتیپ‌های G₂ و G₁₆ به عنوان ژنوتیپ مطلوب در محیط کرج شناسایی شدند. خط عمودی بر خط پیکان‌دار، ژنوتیپ‌ها را بر اساس میانگین کل به دو گروه بالاتر از میانگین و پایین‌تر از میانگین تقسیم می‌کند (شکل ۵). میانگین برخی از خصوصیات زراعی لاین‌های مورد بررسی در جدول ۴ ارائه شده است.

از نظر صفت تعداد روز تا سنبله‌دهی ارقام و لاین‌ها در محدوده ۱۷۴-۱۶۹ روز قرار داشتند که کمترین آن مربوط به ژنوتیپ G₁₀ و بیشترین آن مربوط به لاین‌های G₃، G₁₃ و G₂₀ می‌باشد. رقم هانا نیز بعد از ۱۷۲ روز به سنبله رفته است. از نظر تعداد روز تا رسیدن نیز



شکل ۵- بای پلات مقایسه زنوتیپها در محیط کرج

Fig. 5- Biplot for comparison of genotypes in Karaj environment

جدول ۴- میانگین برخی از خصوصیات زراعی در لاینهای گندم دوروم

Table 4- Mean of agronomic traits for durum wheat lines

شماره لاینها Lines number	بیماریها Diseases [#]		DHE	DMA	PLH (cm)	K.C.	TKW (g)
	YR	LR					
G ₁	5R/MR	5R	172	212	89	A	37
G ₂	5R	20MR	170	212	90	A	37
G ₃	10R/MR	5R	174	212	83	A	36
G ₄	5MR/MS	15MR	173	212	85	A	35
G ₅	2R	30MR-MS	172	213	87	A	36
G ₆	15R/MR	5R-MR	173	213	88	A	35
G ₇	5R/MR	5R	172	211	87	A	37
G ₈	20MR/MS	15MR	173	213	87	A	36
G ₉	15MR	40MS	171	212	89	A	35
G ₁₀	5R/MR	5R	169	210	88	A	32
G ₁₁	10R	25MR	172	212	88	A	38
G ₁₂	5R/MR	5R-MR	171	211	90	A	37
G ₁₃	10MR	15R-MR	174	213	90	A	36
G ₁₄	5R/MR	15MR	171	211	86	A	38
G ₁₅	5R	15MR	171	211	88	A	37
G ₁₆	5R	5R	171	211	90	A	37
G ₁₇	15MR	5R	173	213	88	A	35
G ₁₈	10R/MR	5R	173	211	92	A	38
G ₁₉	5R	10MR	173	211	87	A	37
G ₂₀	10MR/MS	5R-MR	174	213	87	A	35

YR: زنگ زرد، LR: زنگ قهوه‌ای، DHE: تعداد روز تا سنبله‌دهی، DMA: تعداد روز تا رسیدگی، PLH: ارتفاع بوته، KC: رنگ دانه، TKW: وزن هزار دانه

YR: Yellow rust, LR: leaf rust, DHE: number of days to heading stage, DMA: number of days to maturity stage, PLH: plant height, KC: kernel color, TKW: 1000-kernel weight.

ایستا (آمار) است (Pourdad & Jamshid Moghaddam,)

(2013)، روش GGE بای پلات مبتنی بر مفهوم پایداری زراعی است

نتیجه‌گیری

موضوع پایداری شامل دو بخش پایداری پویا (زراعی) و پایداری

محیط‌های مربوط به هریک از مکان‌های کرج، کرمانشاه و اصفهان کمتر از ۹۰ درجه بود. این امر نشان می‌دهد که محیط‌های مربوط به هریک از این سه مکان تمایلی به واگرایی نداشتند. ژنوتیپ‌های G₂، G₁ و G₁₈ جزء ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد و پایداری بالا بودند. نتایج نشان داد لاین G₁₈ می‌تواند در قیاس با رقم شاهد هانا (G₁) به عنوان لاین امیدبخش مطلوب از نظر عملکرد و پایداری در نظر گرفته شود و به عنوان کاندید در اقلیم معتدل کشور مد نظر قرار گیرد.

و ژنوتیپ‌های انتخابی با این روش علاوه بر پایداری از عملکرد بالایی هم برخوردار هستند. بدین ترتیب، GGE بای‌پلات روش گرافیکی مناسبی برای گزینش همزمان عملکرد و پایداری ارقام و لاین‌ها می‌باشد. بر اساس نتایج این پژوهش، در محیط اصفهان ژنوتیپ G₆، در محیط کرج ژنوتیپ G₂، در محیط کرمانشاه ژنوتیپ برتر G₁₆ و در محیط نیشابور ژنوتیپ G₂₀ برترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد و پایداری بودند و سازگاری خصوصی مناسبی در این مناطق داشتند. محیط کرج به شرایط محیط ایده‌آل نزدیک بود. حداکثر زاویه بین

References

- 1- Ahmadi, J., Mohammadi, A., and Najafi Mirak, T., 2012. Targeting promising bread wheat (*Triticum aestivum L.*) lines for cold climate growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analyses. *Journal of Agricultural Science and Technology* 14: 645-657.
- 2- Allard, R.W., and Bradshaw, A.D., 1964. Implication of genotype-environment interaction in applied plant breeding. *Crop Science* 5: 503-506.
- 3- Becker, H.C., and Leon, J., 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding* 101:1-23.
- 4- Blanche, S.B., and Myers, G.O., 2006. Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. *Crop Science* 46: 946-949.
- 5- Dimitrios, B., Christos, G., Jesus, R., and Eva, B., 2008. Separation of cotton cultivar testing sites based on representativeness and discriminating ability using GGE Biplots. *Agronomy Journal* 100: 1230-1236.
- 6- Fan, X.M., Kang, M.S. Chen, H., Zhang, Y., Tan, J., and Xu, C., 2007. Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. *Agronomy Journal* 99: 220-228.
- 7- Farshadfar, E., Rashidi, M., Jokar, M.M., and Zali, H., 2013. GGE biplot analysis of genotype × environment interaction in chickpea genotypes. *European Journal of Experimental Biology* 3(1): 417-423.
- 8- Gabriel, K.R., 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika* 58: 453-467.
- 9- Mohammadi, R., and Amri, A., 2013. Genotype × environment interaction and genetic improvement for yield and yield stability of rainfed durum wheat in Iran. *Euphytica* 192: 227-249.
- 10- Mohammadi, R., Armion, M., Sadeghzadeh, B., Golkari, S., Khalilzadeh, G., Ahmadi, H., Abedi-Asl, G., and Eskandari, M., 2016a. Assessment of grain yield stability and adaptability of rainfed durum wheat breeding lines. *Applied Field Crops Research* 29(4): 25-42. (In Persian with English Summary)
- 11- Mohammadi, M., Hosseinpour, T., Armion, M., Khanzadeh, H., and Ghojogh, H., 2016b. Analysis of genotype, environment and genotype × environment interaction in bread wheat genotypes using GGE biplot. *Agricultural Communications* 4(3): 1-8.
- 12- Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M., and Zali, H., 2019. Evaluation of durum wheat cultivars and promising lines for yield and yield stability in warm and dry areas using AMMI model and GGE Biplot. *Journal of Crop Breeding* 10(28): 1-12. (In Persian with English Summary)
- 13- Omrani, S., Mohammad Naji, A., and Esmaeilzadeh Moghaddam, M., 2017. Yield stability analysis of promising bread wheat lines in southern warm and dry agroclimatic zone of Iran using GGE biplot model. *Journal of Crop Breeding* 23(9): 157-165.
- 14- Pourdard, S.S., and Jamshid Moghaddam, M., 2013. Study on genotype × environment interaction through GGE biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica napus L.*) in rain-fed condition. *Journal of Crop Breeding* 5 (12): 1-14. (In Persian with English Summary)
- 15- Rose, I.V.L.W., Das, M.K., and Taliaferro, C.M., 2008. A comparison of dry matter yield stability assessment methods for small numbers of genotypes of bermudagrass. *Euphytica* 164: 19-25.
- 16- Samonte, S.O.P.B., Wilson, L.T., McClung, A.M., and Medley, J.C., 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analysis. *Crop Science* 45: 2414-2424.

- 17- Yan, W., 2001. GGE biplot—A Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. *Agronomy Journal* 93: 1111-1118.
- 18- Yan, W., and Kang, M.S., 2003. *GGE Biplot Analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- 19- Yan, W., and Rajcan I., 2002. Biplot analysis of sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science* 42: 11-20.
- 20- Yan, W., and Tinker, N.A., 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science* 86: 623-645.
- 21- Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q., and Szlavics, Z., 2000. Genotype evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science* 40: 597-605.
- 22- Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., and Asghari, A., 2016. Evaluation of yield stability and drought tolerance based AMMI and GGE biplot analysis in *Brassica napus* L. *Agricultural Communications* 4(1): 1-8.



Evaluation of Grain Yield Stability of Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) Promising Lines in Moderate Regions of Iran

A. Moayyedi^{1*}, T. Najafi Mirak², M. Taherian¹, S. Sasani³ and D.Amin Azarm⁴

Submitted: 25-11-2019

Accepted: 11-03-2020

Moayyadi, A., Najafi Mirak, T., Taherian, M., Sasani, S and Amin Azarm, D., 2020. Evaluation of grain yield stability of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) promising lines in moderate regions of Iran. Journal of Agroecology. 12(2):345-358.

Introduction

Durum wheat (*Triticum turgidum* L. var durum) consist of only 5% of the world's total cultivated wheat area and contributes about 10% to the total global wheat production. Durum wheat in Iran is grown on 300-400 thousand hectares with an average annual production of 500-600 thousand tons. Similar to other crops, insufficient yield stability in durum wheat is recognized as a one of the factors responsible for the gap between actual yield and potential yield. In breeding programs, the identification of superior genotypes is difficult due to environmental variability of target locations and the interaction of these variabilities with the investigated genotypes. Therefore, it is important to evaluate the advanced agronomic lines across various environments and over multiple years to ensure their yield stability and production (Yan & Rajcan, 2002). Many statistical models have been suggested to analyze genotype (G)× environment (E) interaction. GGE (genotype plus genotype-by-environment) biplot method is a multivariate model, which is based on principal component analysis that simultaneously represents G, E and G×E interaction on a graph known as biplot. GGE biplot is widely used in agricultural research as it provides a simple graphical interpretation of G×E interaction. The aim of the study was to evaluate the grain yield stability and adaptability in some promising durum wheat lines grown in moderate regions of Iran.

Materials and Methods

Eighteen promising durum wheat lines (G₁-G₁₈) along with two control cultivars (durum wheat cv. Hana and bread wheat cv. Parsi), were investigated based on a randomized complete block with three replications for two cropping seasons (2016-2017 and 2017-2018) at four Agricultural Research Stations (including Karaj, Ahwaz, Kermanshah, Neishabour and Isfahan cities, Iran). Combined analysis of variance for grain yield was performed using ADEL-R software. The GGE biplot methodology was employed to analyze G×E interaction (Yan, 2001). The GGE biplot model was used for the following purposes; (i) evaluation of yield stability, (ii) the simultaneous selection for yield and stability, (iii) identification of ideal durum wheat genotypes, and (iv) assessment of the characteristics of and relationships among the testing environments.

1-Assistant Professor of Horticulture Crop Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.

2-Associate Professor of Cereal Research Department, Seed and Plant Research Improvement Institute, AREEO, Karaj, Iran.

3-Assistant Professor of Horticulture Crop Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran.

4- Assistant Professor of Horticulture Crop Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.

(* - Corresponding Author Email: moayedialia@yahoo.com)

Doi:10.22067/jag.v12i2.85729

Results and Discussion

About 70% of variation was related to environment, 1.7% to genotype and 13.5% to genotype× environment interaction. Overall the grain yield of the lines ranged from 6.57 to 7.26 t.ha⁻¹ and the G₂₀ and G₂ lines had the lowest and highest grain yield, respectively. Also, G₆ and G₁₆ lines had higher yield than Dena cultivar (G₁). Surveying Polygon of GGE biplot showed that genotypes G₂, G₁₆, G₅, G₄, G₂₀, G₈ and G₆ which had the most distance from Bipolt center and located in Polygon vertices that they were premier genotypes. The lines which designed from Biplot center divided the shape of Polygon to four environments. The first environment was included into the Isfahan in which genotype G₆ had the most performance. The second environment was included into the Karaj that G₂ was premier genotypes of this environment. The third environment was included into Kermanshah that genotype G₁₆ was high performance genotype in this environment. The fourth environment was included into the Neishabour in which genotype G₂₀ was premier genotype. The G₁₂, G₃, and G₁₀ genotypes, which were located near the center of the biplot, had performance in all environments. Simultaneous evaluation of grain yield and stability through environment coordinate (AEC) biplot showed that genotypes G₂, G₁ and G₁₈ with the higher grain yield were the most stable genotypes. There were many similarities between Karaj and Kermanshah environments as well as Karaj and Isfahan. The angles between these two environmental groups were less than 90 degrees. In contrast, the angle between Neishabour environment and Kermanshah and Karaj environments was distorted and near 180 degrees. These results verified the Karaj station was close to the ideal environment. G₂ and G₁₆ genotypes were identified as favorable genotypes in Karaj environment.

Conclusion

GGE Biplot was an appropriate graphical method for simultaneous selection of performance and stability of cultivars and lines. Based on the results, genotype G₆ in Karaj, G₆ in Isfahan and G₂₀ in Neishabour were the best genotypes in terms of yield and stability. Generally, G₁₈ can be considered as a favorite promising line compared to the control cultivar Hana and as a candidate in the temperate climates.

Keywords: Genotype × environment interaction, GGE biplot, Sustainability, Superior genotype