



(مقاله پژوهشی)

تحقیقات غلات

دوره دهم / شماره دوم / تابستان ۱۳۹۹ (۱۴۷-۱۳۵)

پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم در مناطق نیمه‌گرمسیر دیم

رحمت‌الله کریمی‌زاده^۱، طهماسب حسین‌پور^۲، پیمان شریفی^{۳*}، جبار آلت‌جعفری‌ای^۴، کمال شهبازی هومونلو^۵ و کاووس کشاورزی^۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۶

چکیده

آگاهی از برهمکنش ژنوتیپ × محیط به به‌نژادگران کمک می‌کند تا بتوانند بهترین ژنوتیپ‌ها را برای مناطق مختلف انتخاب کنند. هدف از این پژوهش، دست‌یابی به ژنوتیپ‌های پرمحصول گندم دوروم از بین چند لاین برگزیده بود تا بتوانند سازگار با شرایط آب و هوایی مناطق دیم گرمسیری و نیمه‌گرمسیری و برتر از ارقام شاهد منطقه باشند. در این پژوهش، ۱۶ ژنوتیپ گندم دوروم برگزیده از آزمایش‌های پیشرفته مقایسه عملکرد، به‌همراه دو رقم شاهد دهدشت و سیمره، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار به‌مدت سه سال زراعی (۹۵-۱۳۹۲) در چهار منطقه (گچساران، گنبد، خرم‌آباد و مغان) مورد مطالعه قرار گرفتند. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که آثار اصلی ژنوتیپ، سال و مکان و برهم‌کنش سال × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تجزیه واریانس AMMI نیز نشان داد که چهار مولفه اصلی اول معنی‌دار بودند و در مجموع حدود ۸۱ درصد از تغییرات برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. بیش‌ترین عملکرد دانه در ژنوتیپ شماره ۶ (۳۵۹۲ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین میزان آن در ژنوتیپ شماره ۱۸ (۳۲۲۹ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. محیط‌های ۱۰، ۸، ۱۱ و ۱۲ با بردارهای بلند، از قدرت تفکیک بالایی برخوردار بودند. نتایج این تحقیق بر اساس شاخص‌های AMMI نشان داد که ژنوتیپ‌های ۳، ۵، ۶، ۱۳ و ۱۵ با میانگین عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل در بیش‌تر محیط‌ها، به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و برتر آزمایش بودند. از بین آن‌ها، ژنوتیپ شماره ۱۳ با توجه به دارا بودن سازگاری عمومی مناسب، می‌تواند به‌عنوان ژنوتیپ امیدبخش و نامزد معرفی رقم جدید برای مناطق دیم گرمسیر و نیمه‌گرمسیر باشد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه امی، تنش‌های محیطی، ژنوتیپ امیدبخش، سازگاری عمومی

- ۱- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران
- ۲- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران
- ۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
- ۴- مربی پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گنبد، ایران
- ۵- مربی پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران
- ۶- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران

* نویسنده مسئول: sharifi@iaurasht.ac.ir ; peyman.sharifi@gmail.com

مقدمه

گندم دوروم (*Triticum turgidum*)، از غلات مهم منطقه مدیترانه است و از دیر باز نقش مهمی در تولید و تغذیه مردم آن نواحی داشته است. این گیاه دومین گونه زراعی مهم گندم است (Nachit, 2002) و در سطحی معادل ۱۹ میلیون هکتار در جهان کشت می‌شود (CIMMYT, 2019). تولید جهانی گندم دوروم در سال ۲۰۱۹ حدود ۳۶ میلیون تن بود که نسبت به سال ۲۰۱۸ افزایش شش درصدی نشان می‌دهد (CIMMYT, 2019). کشت گندم دوروم در ایران نیز از زمان‌های قدیم رایج بوده و به علت سازگاری ارقام محلی دوروم به شرایط محیطی و آب و هوایی دیم‌زارهای مناطق جنوبی کشور، کشت غالب این مناطق به‌ویژه استان کهگیلویه و بویراحمد بوده است. با این حال، به دلیل بروز خشکی در چند سال اخیر، حساسیت گندم دوروم به گرمای آخر فصل، کاهش عملکرد آن نسبت به گندم نان در شرایط مشابه و افزایش هزینه‌های کاشت، داشت و برداشت، روند کاهشی در سطح زیر کشت آن دیده می‌شود، اما همچنان بیش‌ترین میزان تولید گندم دوروم مربوط به مناطق گرمسیری کشور است (Karimizadeh et al., 2011). روند رو به رشد جمعیت کشور از یک‌سو و توسعه صنایع غذایی و تبدیلی مانند صنعت تولید ماکارونی و نیاز به افزایش تولید مواد اولیه مورد نیاز این صنعت از سوی دیگر، ضرورت افزایش تولید گندم دوروم در کشور را آشکار می‌سازد (Karimizadeh et al., 2012).

ارزیابی لاین‌های اصلاحی در محیط‌های گوناگون، امکان گروه‌بندی محیط‌ها از نظر پاسخ به ژنوتیپ‌ها، شناسایی بهترین ژنوتیپ برای هر محیط و معرفی ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد بالا را برای محیط‌های مختلف فراهم می‌آورد (Yan et al., 2000). در صورت پیش‌بینی پذیر بودن تغییرات محیطی، برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط را می‌توان با ویژه کردن ژنوتیپ‌ها برای محیط‌های متفاوت کاهش داد. با این حال، تغییرات غیرقابل پیش‌بینی، به‌ویژه تغییرات سال‌ها، موجب بیش‌تر شدن برهم‌کنش ژنوتیپ × سال و ژنوتیپ × سال × مکان می‌شود و نیاز به روش‌های دیگر جهت انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار و با واکنش کم به تغییرات محیطی را ناگزیر می‌سازد (Sadeghzadeh Ahari et al., 2006). آگاهی از برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط به‌منزادگران کمک می‌کند تا در ارزیابی ژنوتیپ‌ها، با دقت بیش‌تری عمل کنند و

بهترین ژنوتیپ‌ها را برگزینند (Rao and Prabhakaran, 2000). روش‌های گوناگونی برای تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها رایج شده است که می‌توان آن‌ها را به سه گروه پارامتری، نا پارامتری و چندمتغیره تقسیم کرد (Flores et al., 1998). در روش چندمتغیره AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction)، ابتدا با تجزیه واریانس معمولی روی داده‌های دوطرفه ژنوتیپ × محیط، آثار اصلی جمع‌پذیر و اثر متقابل ضرب‌پذیر، محاسبه و سپس این اثر متقابل با روش تجزیه به مولفه‌های اصلی به اجزای مختلف تفکیک می‌شود (Gauch, 1988).

پژوهش‌های مختلفی در مورد تجزیه پایداری در گندم دوروم انجام شده است. کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh et al., 2011) با روش‌های مختلف تک و چندمتغیره، ژنوتیپ‌های پایدار گندم دوروم را از بین ۱۹ لاین پیشرفته شناسایی کردند. کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh et al., 2012) در پژوهش دیگری، پایداری ۲۰ ژنوتیپ پیشرفته گندم دوروم را در ۱۴ محیط ارزیابی و در نهایت یکی از ژنوتیپ‌ها با میانگین عملکرد دانه ۲۵۹۲ کیلوگرم در هکتار را به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ معرفی کردند. شریف‌تبار و همکاران (Shariftabar et al., 2015) نیز با استفاده از دو روش AMMI و SHMM، ۴۹ ژنوتیپ گندم دوروم را به‌همراه یک رقم شاهد تجاری ارزیابی و چهار ژنوتیپ با سازگاری عمومی بالاتر نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها را معرفی کردند. در پژوهشی دیگری، ۲۵ ژنوتیپ گندم دوروم در ۲۹ محیط ارزیابی شدند و در نهایت پنج ژنوتیپ سازگار با شرایط محیطی مختلف معرفی شدند (Mohammadi et al., 2016). قائدرحمتی و همکاران (Ghaedrahmati et al., 2017) نیز با استفاده از روش AMMI، ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم را در یک منطقه و طی چهار سال زراعی، ارزیابی و ژنوتیپ‌های پایدار را شناسایی کردند. در پژوهشی دیگری، پایداری عملکرد لاین‌های امیدبخش گندم با روش‌های چندمتغیره، ارزیابی و لاین‌های پایدار با روش‌های مختلف شناسایی شدند (Esmailzadeh Moghaddam et al., 2018). نجفی میرک و همکاران (Najafi Mirak et al., 2019) نیز با ارزیابی ۱۸ لاین پیشرفته گندم دوروم به‌همراه دو رقم شاهد در چهار اقلیم معتدل کشور طی دو سال زراعی، ژنوتیپ‌های پایدار این مناطق را با روش‌های مختلف شناسایی کردند.

مواد و روش‌ها

مواد آزمایشی و طرح آماری

مواد گیاهی این آزمایش، تعداد ۱۶ ژنوتیپ پیشرفته گندم دوروم گزینش شده از آزمایش‌های پیشرفته مقایسه عملکرد بود که به همراه دو رقم شاهد دهدشت و سیمره (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در چهار منطقه گچساران، گنبد، مغان و خرم‌آباد به مدت سه سال زراعی (۱۳۹۵-۱۳۹۲) مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای آماده‌سازی مزرعه پژوهشی در هر سال، زمین آیش سال گذشته با گاوآهن شخم زده شد و خاک با دیسک و روتیواتور نرم شد. به‌هنگام آماده‌سازی زمین، ۱۰۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم و ۷۵ کیلوگرم اوره به‌طور یکنواخت با خاک مخلوط شد. کاشت بذر در شش خط با فاصله ۱۷/۵ سانتی‌متر و تراکم ۳۰۰ دانه در متر مربع در کرت‌هایی به طول ۷/۰۳ متر و عرض ۱/۰۵ متر انجام شد. مشخصات جغرافیایی و میزان بارندگی سالانه مناطق مورد مطالعه در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است.

تجزیه‌های آماری

برای تجزیه داده‌ها، ابتدا آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی با آزمون بارتلت انجام و سپس تجزیه واریانس مرکب داده‌ها انجام شد. جهت ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها نیز از روش AMMI یا FANOVA استفاده شد. در این روش که ترکیبی از مدل تجزیه واریانس و تجزیه به مولفه‌های اصلی است، ابتدا ماتریس انحراف حاصل از آثار جمع‌پذیر (ماتریس Z) محاسبه و سپس تجزیه به مولفه‌های اصلی یک‌بار روی ماتریس Z برای ژنوتیپ‌ها و بار دیگر روی ماتریس Z برای محیط‌ها انجام شد.

شاخص ارزش پایداری امی (ASV=AMMI Stability Value) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Purchase et al., 2000):

$$ASV = \sqrt{\left[\frac{SSIPC1}{SSIPC2} (IPC1) \right]^2 + (IPC2)^2} \quad (1)$$

در این رابطه، SSIPC1/SSIPC2 نسبت تخصیص داده‌شده به مولفه اصلی اول (IPC1)، حاصل تقسیم مجموع مربعات IPC1 بر مجموع مربعات IPC2 (محور مولفه اصلی دوم) است.

برخی از پژوهشگران نیز روش‌های مختلف تجزیه پایداری را نسبت به یکدیگر مقایسه کرده‌اند، به‌طوری‌که رارابتی و همکاران (Rharrabti et al., 2003) از بین روش‌های مختلف تجزیه پایداری در ژنوتیپ‌های گندم دوروم، روش AMMI را روشی با کارایی بالاتر از دیگر روش‌ها معرفی کردند. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2009) نیز در ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های گندم دوروم دیم، نشان دادند که همبستگی بسیار بالایی بین رتبه ژنوتیپ‌ها بر اساس روش‌های GGEbiplot، عملکرد پایداری (YSi) و عملکرد-رگرسیون (Ybi) وجود دارد و بر این اساس، دو آماره اخیر را جایگزین مناسبی برای روش GGEbiplot معرفی کردند. جهرمی و همکاران (Jahromi et al., 2011) نیز بیان داشتند که اکوالانس و واریانس پایداری از نظر درجه‌بندی ژنوتیپ‌ها دارای ارزش یکسانی هستند و مدل AMMI با آنکه محاسبات پیچیده‌ای دارد، اما نتایج آن از اطمینان بیشتری برخوردار است. صادق‌زاده و همکاران (Sadeghzadeh et al., 2017) با ارزیابی ۱۶ لاین پیشرفته گندم دوروم با آماره پایداری امی (ASV) و GGE بای‌پلات نشان دادند که روش بای‌پلات در بررسی سازگاری و پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متفاوت بسیار کارا و کاربردی‌تر است و می‌تواند به‌صورت گسترده‌ای در بررسی لاین‌ها در مناطق و سال‌های متعدد در برنامه‌های اصلاح گندم دوروم و سایر غلات مورد استفاده قرار گیرد.

هدف از تحقیق حاضر نیز شناسایی و معرفی رقم یا ارقام گندم دوروم پرمحصول پایدار و سازگار با شرایط آب و هوایی مختلف مناطق دیم گرمسیری و نیمه‌گرمسیری کشور بود. یکی از جنبه‌های نوآوری این پژوهش تفاوت ژنوتیپ‌های ارزیابی شده با ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در سایر مطالعات است. جنبه دیگر نوآوری این پژوهش، گستره مناطق مطالعه‌شده است که دربرگیرنده مغان (متماایل به شمال غرب)، گنبد (متماایل به شمال شرق)، خرم‌آباد (غرب) و گچساران (متماایل به جنوب شرق) است. بنابراین، یافتن ژنوتیپی پایدار و پرمحصول در چنین گستره اقلیمی می‌تواند به خودکفایی این گیاه زراعی مهم کمک کند. در نهایت، نوآوری اصلی این مقاله ارزیابی و مقایسه لاین‌های برتر گندمی است که بعد از هشت سال ارزیابی در مناطق مختلف کشور انتخاب شدند.

علاوه بر دو شاخص بالا، شاخص گزینش همزمان (SSI=Simultaneous Selection Index) نیز برای هر یک از این دو شاخص محاسبه شد که حاصل جمع رتبه ژنوتیپ‌ها بر پایه هر یک از شاخص‌های پایداری AMMI و رتبه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در تمام محیط‌ها است (Farshadfar *et al.*, 2013).

تجزیه‌های آماری داده‌های این آزمایش با بسته تجزیه آزمایش‌های چندمحیطی تحت عنوان (Multi) Metan (Environment Trial Analysis) (Olivoto, 2019) در نرم‌افزار R انجام شد.

همچنین، شاخص میانگین وزنی نمرات مطلق (WAAS=Weighted Average of Absolute Scores) با رابطه (۲) برآورد شد (Olivoto *et al.*, 2019):

$$WAAS_i = \frac{\sum_{k=1}^p |IPCA_{ik} \times EP_k|}{\sum_{k=1}^p EP_k} \quad (2)$$

در این رابطه، $IPCA_{ik}$ نمره ژنوتیپ i در k امین محور مولفه اصلی برهمکنش (IPC) و EP_k واریانس توجیه شده به‌وسیله k امین IPC است. ژنوتیپ با کم‌ترین مقدار WAAS به‌عنوان ژنوتیپ پایدار در نظر گرفته شد (Olivoto *et al.*, 2019).

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های گندم دوروم مطالعه شده در این آزمایش

Table 1. Characteristics of dorom wheat genotypes studied in this experiment

Code	Genotype
1	Dehdasht
2	Seimareh
3	CANELO_8//SORA/2*PLATA_12/4/STORLOM/3/RASCON_37/TARRO_2//RASCON_37/5/TECA96/TILO_1CDSS02Y01103T-0TOPB-0Y-0M-14Y-0Y
4	SNITAN/5/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/SOMAT_3/4/SOOTY_9/RASCON_37/6/SNITANCDSS02B01019T-0TOPB-0Y-0M-1Y-2M-04Y-0B
5	POD_20//SULA/ACO89/3/SORA/2*PLATA_12//SOMAT_3/4/PATKA_4/THKNEE_9//CABECA_1CDSS02B01271T-0TOPB-0Y-0M-7Y-3M-04Y-0B
6	CMH85.797//DUKEM_12/2*RASCON_21/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9CDSS02B01465T-0TOPB-0Y-0M-16Y-4M-04Y-0B
7	CMH85.797//CADO/BOOMER_33/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1CDSS02B01468T-0TOPB-0Y-0M-5Y-4M-04Y-0B
8	GUAYACANINIA/GUANAY/10/LD357E/2*TC60//JO69/3/FGO/4/GTA/5/SRN_1/6/TOTUS/7/ENTE/MEXI_2//HUI/4/YAV_1/3/LD357E/2*TC60//JO69/8/SOMBRA_20/9/JUPARE C 2001CDSS04Y00275S-8Y-0M-06Y-4M-1Y-0B
9	SNITAN/JUPAREC2001//SOMAT_4/INTER_8CDSS04Y 00284S-24Y-0M-06Y-4M-1Y-0B
10	RANCO//CIT71/CII/3/COMDK/4/TCHO//SHWA/MALD/3/CREX/5/SNITAN/6/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/AUK/GUIL//GREENCDSS04B00151S-3Y-0M-2Y-0M-2Y-0B
11	YAZI_1/3/MUSK_9//ACTS_8/CMH82A.1062/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENT E/7/HUI/YAV79/8/POD_9CDSS05Y00303S-9Y-0M-5Y-0M-4Y-0B
12	ALAS/5*SILVER_2/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/6/GUANAY*2/4/CHEN_1/TEZ/3/GUIL//CIT 71/CII/5/SOMAT_4/INTER_8CDSS05Y00871D-10Y-0M-7Y-0M-1Y-0B
13	Azeghar-2/4/Stj3/3/Gdfi/T.dicds-SY20013//BcrICD02-1272-W-3AP-0TR-3AP-0AP-5AP-0AP-3AP-0AP
14	Ouasloukos1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/GdrICD03-0342-TA-2AP-0AP-9AP-0AP-2AP-0AP
15	ICAMOR-TA04-58/Maamouri-2ICD04-0211-TA-9AP-0AP-5AP-0AP
16	Stk/Hau//Heca-1/3/Quasnima-1ICD04-0935-CA-3AP-0AP-2AP-0AP
17	LLARETAINIA/4/SKEST//HUI/TUB/3/SILVER/5/LHNKE/RASCON//CONAD/6/GREEN_32/CHEN_7//SILVER_14/3/DIPPER_2/BUSHEN_3/4/SNITANCDSS02B00574S-0M-12Y-06Y-2M-1Y-0B
18	YAV79//SOMAT_4/INTER_8/7/YAV79/6/CHEN_1/TEZ/3/GUIL//CIT71/CII/4/SORA/PLATA_12/5/STOT//ALTA R 84/ALDCDSS04B00 811 D-32Y-0M-4Y-0M-4Y-0B

جدول ۲- ویژگی‌های جغرافیایی مناطق اجرای آزمایش

Table 2. Geographic characteristics of trials area

Location	Altitude (m)	Longitude	Latitude	Average rainfall (mm)
Gachsaran	710	50°,50' E	30°,17' N	450
Khoramabad	1147	48°,18' E	33°,29' N	445
Gonbad	45	55°,12' E	37°,16' N	550
Moghan	100	39°,39' E	47°,88' N	312

جدول ۳- میزان بارندگی سالانه مناطق اجرای آزمایش در طول فصل زراعی در سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵

Table 3. Annual rainfall of test areas during the cropping season in 2013-2016

Location	Cropping season		
	2013-2014	2014-2015	2015-2016
Gachsaran	503.7 (E1)	351.6 (E5)	391.1 (E9)
Khoramabad	363.6 (E2)	326.3 (E6)	743.4 (E10)
Gonbad	534.8 (E3)	279.4 (E7)	478.8 (E11)
Moghan	247.9 (E4)	335.0 (E8)	355.0 (E12)

The number in parentheses represents the code of each environment.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

نتایج تجزیه واریانس ساده به صورت جداگانه برای هر یک از محیط‌ها (سال و مکان) انجام شد (جدول ارایه نشده است). نتایج نشان داد که ایستگاه خرم‌آباد با میانگین عملکرد دانه ۴۶۴۸ کیلوگرم در هکتار، بیش‌ترین تولید را داشت و با برتری معنی‌داری نسبت به سایر ایستگاه‌ها در گروه نخست جای گرفت. پس از آن، ایستگاه‌های گچساران و گنبد به ترتیب با میانگین تولید ۳۱۸۲ و ۳۱۱۵ کیلوگرم در هکتار برتری معنی‌داری نسبت به ایستگاه مغان داشتند و در گروه دوم جای گرفتند. ایستگاه مغان هم با تولید ۲۸۰۷ کیلوگرم در هکتار، کم‌ترین میانگین تولید را بین ایستگاه‌های مختلف نشان داد (جدول ارایه نشده است).

برای انجام تجزیه مرکب، ابتدا آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایش با آزمون بارتلت انجام و یکنواختی واریانس‌ها تایید شد ($\chi^2 = 14.8$, P-value=0.19). بنابراین داده‌های هیچ محیطی حذف نشد و تجزیه مرکب برای کل داده‌ها انجام شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها برای چهار مکان در سه سال اجرای آزمایش نشان داد که آثار اصلی ژنوتیپ، سال و مکان و برهم‌کنش‌های سال × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). ضریب تغییرات خطای آزمایش ۱۱/۲ درصد بود. معنی‌دار بودن برهم‌کنش سال × مکان بیانگر متفاوت بودن عملکرد دانه در مناطق مختلف از سالی به سال دیگر است، به بیان دیگر ژنوتیپ‌ها عملکرد متفاوتی را در مکان‌ها و سال‌های مختلف نشان دادند. معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ نیز نشان‌دهنده تفاوت ژنوتیپ‌ها و وجود تنوع ژنتیکی بین آن‌ها از نظر عملکرد دانه و معنی‌دار بودن برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط (ژنوتیپ × سال × مکان) نشان‌دهنده تفاوت ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه از محیطی به محیط دیگر است، به بیان دیگر عملکرد ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های

مختلف، دارای نوساناتی بود و نیاز به ارزیابی ژنوتیپ‌ها در چندین محیط برای شناسایی سازگاری عمومی و خصوصی است. پژوهشگران دیگری نیز اثر معنی‌دار ژنوتیپ، محیط و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط را در ژنوتیپ‌های گندم دوروم گزارش کرده‌اند (Karimizadeh *et al.*, 2011, 2012; Shariftabar *et al.*, 2015; Mohammadi *et al.*, 2016; Ghaedrahmati *et al.*, 2017).

در این پژوهش، سهم اثر محیط (شامل سال، مکان و برهم‌کنش آن‌ها) در توجیه مجموع مربعات کل بیش‌تر از سایر اجزا بود که بیانگر دامنه گسترده‌تر اثر اصلی محیط نسبت به اثر اصلی ژنوتیپ است. پژوهشگران دیگری نیز چنین سهم بالایی را برای محیط گزارش کرده‌اند (Aghaee-Sarbarzeh *et al.*, 2012; Mohammadi *et al.*, 2015; Ghaedrahmati *et al.*, 2017). سهم پایین ژنوتیپ در توجیه تنوع می‌تواند به این دلیل باشد که در برنامه‌های اصلاحی گندم دوروم، ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد دانه انتخاب شده و این ژنوتیپ‌ها نقش کم‌تری در توجیه تنوع در آزمایش‌های چندمحیطی نسبت به محیط و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط داشته‌اند (Fan *et al.*, 2007; Rose *et al.*, 2008; Mohammadi *et al.*, 2016). تفاوت بین محیط‌ها نیز می‌تواند به دلیل تفاوت در میزان پراکنش بارندگی طی سال‌ها و مکان‌های انجام آزمایش و نیز توزیع متفاوت بارندگی در دوره‌های مختلف رشدی گیاه باشد. در ارتباط با برهم‌کنش معنی‌دار ژنوتیپ × محیط نیز علاوه بر تفاوت ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها، تفاوت واکنش آن‌ها به عوامل جغرافیایی و اقلیمی هم موثر بوده است. بنابراین با توجه به برهم‌کنش‌های معنی‌دار بین محیط و ژنوتیپ‌های مطالعه شده، نتیجه‌گیری و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بر اساس نتایج تجزیه مرکب و مقایسه میانگین عملکرد دانه کافی نیست و باید پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها را با روش‌های مختلف تجزیه پایداری ارزیابی کرد.

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب عملکرد ژنوتیپ‌های گندم دوروم برای سه سال اجرای آزمایش

Table 4. Combined analysis of variance on grain yield for durum wheat genotypes in each station during 3 years

Source of variations	df	Sum of squares	Mean squares	Calculated F	The ratio in sum of square
Location	3	391937627.3	130645875.8	0.916 ^{ns}	0.173
Year	2	846549598.5	423274799.3	2.97**	0.374
Location × Year	6	854875391.7	142479231.9	931.2**	0.377
Replication (Location × Year)	36	20769133.0	576920.4	-	0.009
Genotype	17	10272197.3	604246.9	3.95**	0.005
Genotype × Location	51	16022452.2	314165.7	1.34 ^{ns}	0.007
Genotype × Year	34	8478817.6	249377.0	1.06 ^{ns}	0.004
Genotype × Location × Year	102	23894115.7	234256.0	1.53**	0.011
Error	612	93634788	152998	-	0.041
Total	863	2266434121	-	-	-
CV (%)			11.2		

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

تجزیه AMMI

تجزیه واریانس آمی (جدول ۵) نشان داد که چهار مولفه اصلی اول تا چهارم معنی‌دار بودند و در مجموع حدود ۸۱٪ از تغییرات برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. اولین (IPC1) و دومین (IPC2) مولفه اصلی، بیش‌ترین سهم (۵۲٪) را در بیان برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط داشتند و مولفه‌های دیگر در درجات بعدی اهمیت قرار گرفتند (جدول ۵). بزرگی درصد توجیه واریانس کل توسط هر یک از مولفه‌ها در تفکیک بهتر ژنوتیپ‌ها و اعتبار روابط مشاهده شده موثر است. در روش تجزیه به مولفه‌های اصلی، ترکیب خطی متغیرها برای تبیین بیش‌ترین مقدار واریانس آن‌ها به گونه‌ای برآورد می‌شود که اولین مولفه، بیش‌ترین واریانس متغیرها را تبیین کند و مولفه دوم، بیش‌ترین مقدار واریانس باقیمانده را بعد از مولفه اول توضیح می‌دهد که توسط مولفه اول بیان نشده است (Sharifi, 2020). معنی‌دار بودن F تیمار، بیان‌کننده اختلاف بین ترکیب‌های مختلف ژنوتیپ و محیط و معنی‌دار بودن F مدل، نشانگر نیکویی برازش مدل آمی بود. این یافته همسو با یافته‌های محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2007)، دی‌ویتا و همکاران (De Vita et al., 2010) و کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh et al., 2011) است. در این پژوهش، اولین تا چهارمین مولفه اصلی به ترتیب ۲۹٪، ۲۲٪، ۱۸٪ و ۱۱٪ از مجموع مربعات برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط را توجیه کردند و فقط ۱۹٪ از مجموع مربعات برهم‌کنش توسط مولفه‌های اصلی باقیمانده در مدل تبیین شد (جدول ۵). عسگرنیا و همکاران (Asgarinia et al., 2008) و اسماعیل‌زاده مقدم و همکاران (Esmaeilzadeh

(Moghaddam et al., 2018) سه مولفه اصلی اول تجزیه AMMI را معنی‌دار گزارش کردند. در تطابق با نتایج این تحقیق، آقایی سربرزه و همکاران (Aghaee-Sarbarzeh et al., 2012) نیز سهم پایین دو مولفه اصلی اول را در توجیه تغییرات برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط در گندم دوروم گزارش کردند. در مقابل، سهم بالای مولفه اصلی اول در توجیه برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط در گندم دوروم توسط پژوهشگران دیگری گزارش شد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت نداشت (Sharifitabar et al., 2015; Najafi et al., 2019).

ژنوتیپ‌های دارای مقادیر بزرگ (مثبت یا منفی) مولفه اصلی اول (IPC1) برهم‌کنش بالایی با محیط دارند، حال آنکه ژنوتیپ‌ها و محیط‌های دارای مقادیر مولفه اصلی اول نزدیک به صفر دارای برهم‌کنش پایینی هستند. ژنوتیپ‌های ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۱۰ و ۱۸ دارای کم‌ترین مقادیر IPC1 بودند، ولی فقط چهار ژنوتیپ ۳، ۴، ۵ و ۶ دارای میانگین عملکرد دانه بیش‌تر از میانگین کل بودند و در نتیجه به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا معرفی می‌شوند (جدول ۶). در تطابق با نتیجه پژوهش حاضر، شریف‌تبار و همکاران (Sharifitabar et al., 2015) با بررسی پایداری ژنوتیپ‌های گندم دوروم بر پایه نخستین مولفه اصلی، چهار ژنوتیپ با سازگاری عمومی بالاتر نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها را یافتند، اما برخلاف پژوهش حاضر، میزان توجیه تغییرات توسط مولفه اصلی اول در پژوهش ایشان ۶۴ درصد بود که نشان داد می‌توان با استفاده مولفه اصلی اول ژنوتیپ‌های پایدار را به‌خوبی شناسایی کرد. کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh et al., 2011) نیز همانند این پژوهش با

استفاده از مولفه اصلی اول ژنوتیپ‌های پایدار گندم دوروم را شناسایی کردند. از آنجا که مولفه اصلی اول فقط ۲۹ درصد از تغییرات برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط را توجیه کرد، از این‌رو شاخص ارزش پایداری امی (ASV)، میانگین وزنی نمرات مطلق (WAAS) و شاخص انتخاب همزمان بر پایه این دو شاخص نیز محاسبه و ژنوتیپ‌های برتر بر اساس آن شناسایی شدند. شاخص پایداری ASV، ژنوتیپ‌های ۷، ۵، ۶، ۱۰ و ۳ را با کم‌ترین نمره به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها معرفی کرد. بر اساس شاخص WAAS، ژنوتیپ‌های ۷، ۵، ۶، ۱۶ و ۱۰ پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. پژوهشگران دیگری نیز از شاخص ASV به‌عنوان یک معیار مفید برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار در گندم دوروم استفاده کرده‌اند (Karimizadeh *et al.*, 2011, 2012; Mohammadi *et al.*, 2015). از آنجا که در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر با هر کدام از شاخص‌های پایداری بالا، فقط بر جنبه پایداری ژنوتیپ‌ها تأکید شده است، از این‌رو ژنوتیپ‌های ۷ و ۱۰ با عملکردی کم‌تر از متوسط عملکرد کل (۳۴۳۷/۸۹ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر گزینش شده‌اند. برای پرهیز از گزینش چنین ژنوتیپ‌هایی به‌عنوان ژنوتیپ برتر، شاخص انتخاب همزمان (ssi) (Farshadfar *et al.*, 2013) برآورد آن‌ها به هر دو جنبه پایداری و متوسط عملکرد یک ژنوتیپ توجه شده است و با این شاخص‌ها، امکان گزینش ژنوتیپ‌های پایدار اما با عملکرد پایین کاهش می‌یابد

(Farshadfar *et al.*, 2013). بر این اساس، ژنوتیپ‌های ۵، ۶، ۱۵، ۱۳ و ۳ بر مبنای شاخص ssiASV و ژنوتیپ‌های ۶، ۵، ۱۵، ۱۶، ۳ و ۱ بر مبنای شاخص ssiWAAS به‌عنوان برترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند (جدول ۶). از مهم‌ترین کاربردهای روش AMMI، تعیین سازگاری خصوصی ژنوتیپ‌ها و معرفی یک یا چند ژنوتیپ برای یک یا چند مکان ویژه است. روش امی در هر محیط، چهار ژنوتیپ برتر را از نظر عملکرد و پایداری معرفی کرد که نتایج آن در جدول ۸ ارایه شده است. ژنوتیپ ۱۵، یک بار به‌عنوان برترین ژنوتیپ، دو بار به‌عنوان دومین ژنوتیپ برتر، سه بار به‌عنوان سومین ژنوتیپ برتر و یک بار هم به‌عنوان چهارمین ژنوتیپ برتر انتخاب شد و در مجموع با هفت بار قرارگیری در بین چهار ژنوتیپ برتر، به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ انتخاب شد (جدول ۷). ژنوتیپ ۱۳، سه بار به‌عنوان برترین ژنوتیپ انتخاب شد و یک بار هم رتبه دوم را به‌دست آورد و یکی از پایدارترین ژنوتیپ‌ها در روش امی بود (جدول ۷). ژنوتیپ‌های ۶، ۱، ۵ و ۳ نیز به‌ترتیب با ۷، ۶، ۵ و ۴ بار قرارگیری در رتبه‌های اول تا چهارم، به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند. لازم به ذکر است که ژنوتیپ ۱ همان رقم دهدشت است. بنابراین بر اساس رتبه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف در روش امی، ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۳، ۶، ۱، ۵ و ۳ پایدار بودند. کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh *et al.*, 2011) نیز ژنوتیپ‌های پایدار گندم دوروم را با استفاده از روش امی شناسایی کردند.

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب امی برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم

Table 5. AMMI analysis of variance for grain yield of durum wheat genotypes

Source of variations	df	Sum of squares	Mean squares	F
Total	863	2266447041	2626242	-
Treatment	215	2152041067	10009493	65.42**
Genotype	17	10274626	604390	3.95**
Environment	11	2093373009	190306637	329.7**
Replication	36	20774847	577079	3.77**
Genotype × Environment	187	48393431	258788	1.69**
IPCA1	27	14069158	521080	3.41**
IPCA2	25	10881361	435254	2.84**
IPCA3	23	8694130	378006	2.47**
IPCA4	21	5446098	259338	1.70*
IPCA5	19	3222473	169604	1.11 ^{ns}
Residuals	72	6080212	84447	0.55
Experimental error	612	93631127	152992	-

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۶- مولفه‌های اصلی اول تا چهارم، شاخص‌های پایداری، رتبه ژنوتیپ‌ها و شاخص انتخاب همزمان برای ژنوتیپ‌های گندم دوروم
Table 6. The first to fourth principal components, stability indices, rank of the genotypes and simultaneous selection index (ssi) for durum wheat genotypes studied in this experiment

Genotype	Grain yield (kg.ha ⁻¹)	IPCA1	IPCA2	IPCA3	IPCA4	ASV	WAAS	rY	rASV	rWAAS	ssiASV	ssiWAAS
G1	3553	-9.52	-10.20	-0.14	-12.78	15.96	8.01	4	10	9	14	13
G2	3430	-18.84	-2.89	4.79	2.42	24.47	8.48	9	17	10	26	19
G3	3537	5.34	3.28	10.56	-14.24	7.63	7.46	6	5	8	11	14
G4	3334	-3.30	7.68	12.86	6.20	8.78	7.24	15	6	7	21	22
G5	3496	1.31	-3.45	11.89	2.08	3.84	4.53	7	2	2	9	9
G6	3592	4.25	-0.27	-12.16	3.19	5.49	4.87	1	3	3	4	4
G7	3386	2.01	2.08	3.16	7.04	3.32	3.12	13	1	1	14	14
G8	3398	18.50	-17.60	4.71	1.20	29.65	12.17	12	18	18	30	30
G9	3563	-14.96	-5.24	-12.24	-10.99	20.00	11.01	3	13	17	16	20
G10	3413	-2.35	-5.93	11.94	-3.15	6.66	5.73	10	4	5	14	15
G11	3277	8.75	11.92	-10.48	-3.36	16.42	9.15	17	12	12	29	29
G12	3369	15.51	-4.83	-9.13	-5.11	20.58	9.39	14	15	13	29	27
G13	3550	-7.05	8.75	-9.30	16.04	12.62	9.51	5	8	14	13	19
G14	3407	14.84	11.99	8.46	4.05	22.59	10.79	11	16	16	27	27
G15	3571	-11.05	3.38	5.17	5.82	14.65	6.71	2	9	6	11	8
G16	3486	-8.42	5.81	-1.03	-3.78	12.32	5.20	8	7	4	15	12
G17	3291	3.68	15.62	-9.35	-6.99	16.33	8.82	16	11	11	27	27
G18	3229	1.29	-20.09	-9.71	12.34	20.16	10.22	18	14	15	32	33

جدول ۷- چهار ژنوتیپ انتخابی در هر محیط‌ها با استفاده از روش AMMI
Table 7. Four selected genotypes of each environment by AMMI method

Environmental code	Grain yield (kg.ha ⁻¹)	Score	First rank	Second rank	Third rank	Fourth rank
E1	3126	0.431	G6	G13	G15	G16
E2	4296	-1.991	G3	G1	G10	G5
E3	2335	3.587	G3	G5	G15	G14
E4	361	0.947	G13	G15	G5	G1
E5	3054	-4.593	G6	G16	G15	G3
E6	2746	4.272	G13	G8	G1	G5
E7	2208	-1.767	G13	G15	G6	G9
E8	3733	9.308	G8	G18	G6	G1
E9	3366	-1.645	G15	G3	G6	G5
E10	6902	-36.13	G9	G1	G2	G15
E11	4801	18.275	G12	G6	G17	G11
E12	4327	9.303	G8	G18	G6	G1

ولی به‌جز محیط ۲ (خرم‌آباد، سال اول)، سایر محیط‌ها میانگین عملکرد کم‌تری نسبت به میانگین کل داشتند (جدول ۸). از دلایل پایداری و نیز عملکرد بالای محیط ۲ (خرم‌آباد، سال اول)، افزایش میزان بارندگی نسبت به سال پیشین و نیز پراکنش مطلوب بارندگی طی دوره رشد گیاه

محیط‌های ۱، ۲، ۴، ۷ و ۹، به‌ترتیب گچساران (سال اول)، خرم‌آباد (سال اول)، مغان (سال اول)، گنبد (سال دوم) و گچساران (سال سوم)، دارای کم‌ترین مقدار در اولین محور مولفه اصلی (IPCA1) و برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط بودند و نسبت به محیط‌های دیگر پایداری عملکرد بهتری داشتند.

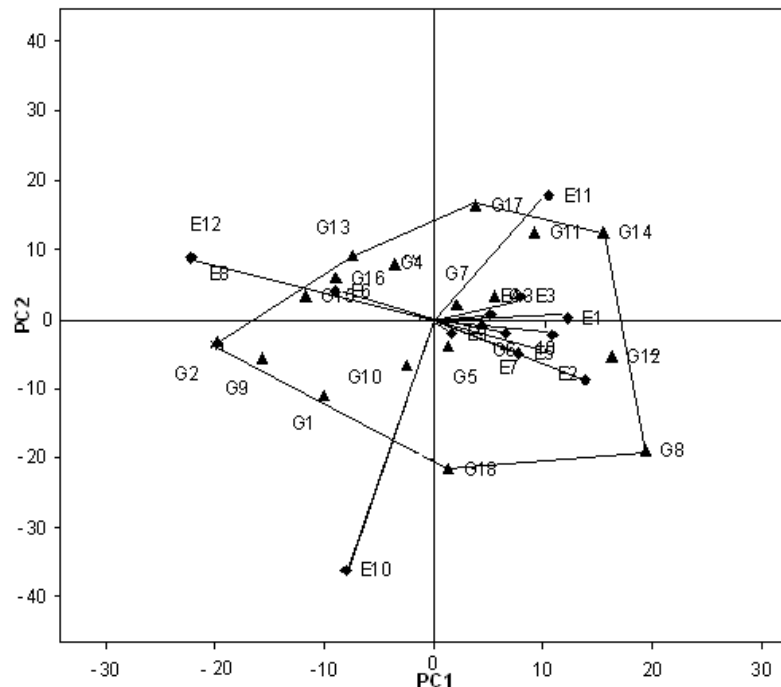
از بای‌پلات AMMI2 که در آن محیط‌ها از طریق خط‌هایی به مبدأ بای‌پلات وصل می‌شوند، برای ارزیابی توانایی جداکنندگی یا تفکیک (Discriminating) محیط‌ها و درک روابط بین آن‌ها استفاده شد. بر این اساس، محیط‌های ۱۰ (خرم‌آباد، سال سوم)، ۸ (مغان، سال دوم)، ۱۱ (گنبد، سال سوم) و ۱۲ (مغان، سال سوم) با بردارهای بلند، از توانایی جداکنندگی بالایی برخوردار بودند و می‌توانند کارایی نسبی ژنوتیپ‌ها را به‌درستی ارزیابی و ژنوتیپ‌ها را بهتر تفکیک کنند. این محیط‌ها می‌توانند برای گزینش ژنوتیپ‌های ویژه، با توجه به تقسیم محیط‌های هدف به محیط‌های کلان استفاده شوند. محیط‌های دیگر که در نزدیک‌ترین فاصله از مبدأ بای‌پلات قرار دارند، توانایی جداکنندگی ندارند و اطلاعات اندکی در باره ژنوتیپ‌ها ارائه می‌دهند و از این‌رو نباید به‌عنوان محیط‌های آزمایشی مرجع به‌کار گرفته شوند. از دیگر کاربردهای این بای‌پلات بررسی همبستگی بین محیط‌ها است. بر این اساس، محیط‌های ۸، ۱۲ و ۶ و نیز ۴، ۷، ۱ و ۲ بیش‌ترین همبستگی را با هم داشتند (شکل ۱). در این نمودار همچنین مشاهده می‌شود که ژنوتیپ‌های ۳، ۵، ۶ و ۷ و ۱۰ در نزدیکی مبدأ بای‌پلات، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند.

بوده است و به نظر می‌رسد که پراکنش فصلی بارندگی نسبت به کل سال زراعی بهتر باشد، چون رطوبت مورد نیاز گیاه طی دوره‌های مختلف رشدی را در اختیار آن می‌گذارد. با وجود آنکه میزان بارندگی در این سال بیش‌تر از دو سال دیگر انجام آزمایش در گچساران بود و این محیط جز محیط‌های پایدار نیز بود، اما به‌دلیل پراکنش فصلی نامناسب و نیز نوسانات دمایی، میزان عملکرد دانه در این محیط کم‌تر از متوسط عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها در تمام محیط‌های مطالعه شده بود. دلیل کاهش عملکرد دانه در محیط ۷ (گنبد، سال دوم) نیز کاهش بارندگی در این سال در مقایسه با میانگین بلندمدت بارندگی‌ها و نیز پراکنش نامناسب بارندگی فصلی (رخداد ۴۰/۹۴ درصد بارش‌ها در پاییز، ۴۷/۱۷ درصد در زمستان و ۱۸/۸۸ درصد در بهار) بوده است. همچنین، این منطقه در سال دوم مطالعه، سال سردتری نسبت به سال پیشین خود بود. در مورد محیط پایدار ۹ (گچساران، سال سوم) نیز شاید دلیل کاهش عملکرد دانه در مقایسه با متوسط کل ژنوتیپ‌ها، ناشی از پراکنش نامناسب بارندگی (به‌گونه‌ای که کم‌ترین بارندگی در فصل بهار رخ داد)، کاهش متوسط دما و افزایش تعداد روزهای یخبندان باشد.

جدول ۸- مولفه‌های اصلی اول، دوم و سوم برای محیط‌های مورد مطالعه

Table 8. The first, second and third principal components for the studied environments

Location / Year	Environmental code	Grain yield (kg.ha ⁻¹)	IPCAe[1]	IPCAe[2]	IPCAe[3]
Gachsaran 2013-2014	E1	3126	0.43	11.95	-5.80
Khoramabad 2013-2014	E2	4296	-1.99	10.49	20.41
Gonbad 2013-2014	E3	2335	3.59	7.70	10.30
Moghan 2013-2014	E4	361	0.95	4.98	5.43
Gachsaran 2014-2015	E5	3054	-4.59	7.58	1.92
Khoramabad 2014-2015	E6	2746	4.27	-8.94	-2.70
Gonbad 2014-2015	E7	2208	-1.77	6.33	-3.24
Moghan 2014-2015	E8	3733	9.31	-21.94	2.60
Gachsaran 2015-2016	E9	3366	-1.64	1.51	6.49
Khoramabad 2015-2016	E10	6902	-36.13	-8.03	-12.37
Gonbad 2015-2016	E11	4801	18.28	10.30	-25.66
Moghan 2015-2016	E12	4327	9.30	-21.93	2.60



شکل ۱- بای‌پلات AMMI2 برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر گندم دوروم و تفکیک‌کنندگی محیط‌ها بر اساس دو مولفه اصلی اول و دوم. اسامی ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۳ ارائه شده‌اند.

Figure 1. AMMI2 biplot to identify the superior durum wheat genotypes and differentiating environments based on first and second principal components. The name of genotypes and environments are presented in Tables 1 and 3, respectively.

نتیجه‌گیری کلی

۱۰، ۸، ۱۱ و ۱۲ با بردارهای بلند از توانایی جداکنندگی بالایی برخوردار بودند و بهتر توانستند ژنوتیپ‌ها را تفکیک کنند. در مجموع، با توجه به اینکه هدف برنامه‌های به‌نژادی انتخاب و معرفی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار است، ژنوتیپ‌های ۳، ۵، ۱۳ و ۱۵ با میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل در بیش‌تر محیط‌ها (ترکیب سال و مکان) و در بیش‌تر روش‌ها، دارای پایداری بالاتری نسبت به ارقام شاهد این آزمایش بودند. از بین این چهار ژنوتیپ نیز ژنوتیپ ۱۳، به‌دلیل زودرسی نسبت به رقم شاهد دهدشت، وزن هزار دانه بیش‌تر از هر دو رقم شاهد، پایداری عمومی و عملکرد بالا در همه مناطق، به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ در این پژوهش انتخاب شد و می‌تواند نامزد مناسبی برای معرفی رقم جدید گندم دوروم باشد. پس از آن، ژنوتیپ ۱۵ به‌عنوان اولویت بعدی در مناطق خرم‌آباد و گچساران و ژنوتیپ ۳ اولویت بعدی در مناطق گنبد و مغان معرفی می‌شود.

به‌منظور ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های گندم دوروم در این آزمایش از شاخص‌های روش AMMI استفاده شد. نتایج نشان داد که بر اساس مولفه اصلی اول روش AMMI، ژنوتیپ‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ پایدار بودند. بر اساس رتبه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف در روش AMMI، ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۳، ۶، ۱، ۵ و ۳ به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شدند. بر پایه شاخص ASV، ژنوتیپ‌های ۷، ۵، ۶، ۱۰ و ۳ و بر اساس شاخص WAAS، ژنوتیپ‌های ۷، ۵، ۶، ۱۶ و ۱۰ پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. شاخص انتخاب همزمان ssiASV، ژنوتیپ‌های ۳، ۵، ۶، ۱۳ و ۱۵ و شاخص ssiWAAS، ژنوتیپ‌های ۶، ۵، ۱۵، ۱۶، ۳ و ۱ را به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر معرفی کرد. بای‌پلات AMMI2، ژنوتیپ‌های ۳، ۵، ۶ و ۱۰ را پایدارترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه معرفی کرد. در ارزیابی محیط‌ها نیز محیط‌های

References

- Aghaee-Sarbarzeh, M., Dastfal, M., Farzadi, H., Andarzian, B., Shahbazzpour-Shahbazi, A., Bahari, M. and Rostami, H. 2012. Evaluation of durum wheat genotypes for yield and yield stability in warm and dry areas of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal* 2: 315-325. (In Persian with English Abstract).
- Asgarinia, P., Saedi, G. A. and Rezaee, A. M. 2008. Pattern analysis of genotype by environment interaction on grain yield in wheat using AMMI multivariate method. *Electronic Journal of Crop Production* 2 (2): 75-90. (In Persian with English Abstract).
- CIMMYT. 2019. Wheat in developing world. International Maize and Wheat Improvement Center. Mexico.
- De Vita, P., Mastrangelo, A. M., Matteua, L., Mazzucotelli, E., Virzic, N., Palumboc, M., Lo Stortod, M., Rizzab, F. and Cattivellia, L. 2010. Genetic improvement effects on yield stability in durum wheat genotypes grown in Italy. *Field Crops Research* 119 (1): 68-73.
- Esmailzadeh Moghaddam, M., Tahmasebi, S., Lotf Ali Ayeneh, G. A., Akbari Moghadam, H., Mahmoudi, K., Sayyahfar, M., Tabib Ghaffari, S. M. and Zali H. 2018. Yield stability evaluation of bread wheat promising lines using multivariate methods. *Cereal Research* 8 (3): 333-344. (In Persian with English Abstract).
- 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.
- Farshadfar, E., Rashidi, M., Jowkar, M. M. and Zali, H. 2013. GGEbiplot analysis of genotype \times environment interaction in chickpea genotypes. *European Journal of Experimental Biology* 3 (1): 417-423.
- Flores, F., Moreno, M. T. and Cubero, J. I. 1998. A comparison of univariate and multivariate methods to analyze $G \times E$ interaction. *Field Crops Research* 56 (3): 271-286.
- Gauch, H. G. 1988. Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics* 44: 705-715.
- Ghaedrahmati, M., Hosseinpour, T. and Ahmadi, A. 2017. Study of grain yield stability of durum wheat genotypes using AMMI. *Journal of Crop Breeding* 9: 67-75. (In Persian with English Abstract).
- Jahromi, M. A., Khodarahmi, M., Mohammadi, A. R. and Mohammadi, A. 2011. Stability analysis for grain yield of promising durum wheat genotypes in southern warm and dry agro-climatic zone of Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences* 13: 565-579. (In Persian with English Abstract).
- Karimizadeh, R., Mohammadi, M., Sheikh, M. M., Bavi, V., Hosseinpour T., Khanzadeh, H., Ghojogh, H. and Armion, M. 2011. Application of multi-variate methods in determining grain yield stability of durum wheat genotypes in semi-warm dry land areas of Iran. *Modern Genetics Journal* 6: 33-48. (In Persian with English Abstract).
- Karimizadeh, R., Mohammadi, M., Sabaghnia, N. and Shefazadeh, M. K. 2012. Using different aspects of stability concepts for interpreting genotype by environment interaction of some lentil genotypes. *Australian Journal of Crop Science* 6 (6): 1017-1023.
- Kosina, P., Reynolds, M. P., Dixon, J. and Joshi, A. 2007. Stakeholder perception of wheat production constraints, capacity building needs and research partnerships in the developing countries. *Euphytica* 157: 475-483.
- Mohammadi, R., Abdullahi, A., Haghparast, R., Aghaee, M. and Rostaii, M. 2007. Nonparametric methods for evaluating of winter wheat genotypes in multi-environment trials. *World Journal of Agricultural Sciences* 3 (2): 137-242.
- Mohammadi, R., Armion, M., Sadeghzadeh, B., Golkari, S., Khalilzadeh, Gh., Ahmadi, H., Abedi-Asl, Gh. and Eskandari, M. 2016. 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 Abstract).
- Mohammadi, R., Farshadfar, E. and Amri, A. 2015. Interpreting genotype environment interactions for grain yield of rainfed durum wheat in Iran. *The Crop Journal* 3 (6): 526-535.
- Mohammadi, R., Haghparast, R., Amri, A. and Ceccarelli, S. 2009. Yield stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi-environment trials. *Crop and Pasture Science* 6: 92-101.
- Nachit, M. M. 2002. Breeding for improved resistance to drought in durum wheat. ICARDA Caravan, ICARDA.

- Najafi Mirak, T., Moayedi, A. A., Sasani, Sh. and Ghandi, A. 2019.** Evaluation of adaptation and grain yield stability of durum wheat (*Triticum turgidum* L.) genotypes in temperate agro-climate zone of Iran. **Iranian Journal of Crop Sciences** 21 (2): 127-138. (In Persian with English Abstract).
- Olivoto, T. 2019.** Metan: Multi environment trials analysis. R package, version 1.1.0. <https://github.com/TiagoOlivoto/metan>.
- Olivoto, T., Lucio, A. D. C., da Silva, J. A. G., Marchioro, V. S., de Souza, V. Q. and Jost, E. 2019.** Mean performance and stability in multi-environment trials. I: Combining features of AMMI and BLUP techniques. **Agronomy Journal** 111: 2949-2960.
- Purchase, J. L., Hatting, H. and van Deventer, C. S. 2000.** Genotypex environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa. II: Stability analysis of yield performance. **South African Journal of Plant and Soil** 17 (3): 101-107.
- Rao, A. R. and Prabhakaran, V. T. 2000.** On some useful interrelationships among common stability parameters. **Indian Journal of Genetics** 60: 25-36.
- Rharrabti, Y., Garcia del Moral, L. F., Villegas, D. and Royo, C. 2003.** Durum wheat quality in Mediterranean environments: Stability and comparative methods in analyzing Gx E interaction. **Field Crops Research** 80: 141-146.
- Sadeghzadeh, B., Mohammadi, R., Ahmadi, H., Abedi-Asl, G., Khalilzadeh, G., Mohammadfam, M., Bahrami, N., Ismaeilzadh, H., Khaledian, M. S. and Hasanpour-Hosni, M. 2017.** Efficiency of GGEbiplot and AMMI analyses for adaptability and grain yield stability of durum wheat lines under different environments. **Journal of Crop Ecophysiology** 11 (2): 413-436. (In Persian with English Abstract).
- Sadegzadeh Ahari, D., Hossaini, K. and Alizadeh, K. 2005.** Study of adaptability and stability of durum wheat lines in tropical and sub-tropical dry land areas. **Seed and Plant Improvement Journal** 21 (4): 561-576. (In Persian with English Abstract).
- Sharifi, P. 2020.** Application of multivariate analysis methods in agricultural sciences. Rasht Branch, Islamic Azad University press. 308 p.
- Shariftabar, M. M., Esmailzadeh Moghaddam, M., Khodarahmi, M. and Bozorhipoor, R. 2015.** A study of grain yield stability and relations among some agronomic traits in durum wheat genotypes. **Journal of Crop Production and Processing** 4 (14):111-120. (In Persian with English Abstract).
- Yan, W. 2002.** Singular-value partitioning in biplot analysis of multi-environment trial data. **Agronomy Journal** 94: 990-996.



Grain yield stability of durum wheat genotypes in semi-warm rainfed regions

Rahmatollah Karimizadeh¹, Tahmasb Hosseinpour², Peyman Sharifi^{3*}, Jabar Alt Jafarby⁴,
Kamal Shahbazi Homonlo⁵ and Kavoos Keshavarzi⁶

Received: April 25, 2020

Accepted: August 11, 2020

Abstract

Knowledge of genotype × environment interactions helps breeders to select the best genotypes for different regions. The main objective of this research was to obtain high yielding durum wheat genotypes selected from several elite lines so that can be compatible to climatic conditions of the tropical and subtropical rainfed regions and superior to check varieties. In this research, 16 durum wheat genotypes selected from advanced yield trials along with two check cultivars, Dehdasht and Seimareh, were studied in a randomized complete block design with four replications for three cropping seasons (2013-2016) in four locations (Gachsaran, Gonbad, Khoramabad and Moghan). Combined analysis of variance indicated that main effects of genotype, year and location and interactions of year × location and genotype × year × location were significant at 1% probability level. AMMI analysis of variance also showed that the first four principal components were significant and explained about 81% of the total variance of genotype × environment interaction. The highest grain yield was observed in genotype 6 (3592 kg.ha⁻¹) and the lowest in genotype 18 (3229 kg.ha⁻¹). Environments 10, 8, 11 and 12 with long vectors had high resolution ability. The results of this study based on AMMI indices showed that genotypes 3, 5, 6, 13 and 15 with higher grain yield than the total mean in most environment were stable and superior genotypes in this experiments. Among them, genotype 13 with suitable general adaptability can be a promising genotype and a candidate to introduce a new cultivar for tropical and subtropical rainfed areas.

Keywords: AMMI analysis, Environmental stresses, General adaptability, Promising genotype

1. Research Assist. Prof., Dryland Agricultural Research Institute, Kohgiluyeh and Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran

2. Research Assist. Prof., Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran

3. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

4. Research Lecturer, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gonbad, Iran

5. Research Lecturer, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Moghan, Iran

6. Research Assist. Prof., Kohgiluyeh and Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yasouj, Iran

* Corresponding author: sharifi@iaurasht.ac.ir ; peyman.sharifi@gmail.com