

تجزیه پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم با استفاده از مدل GGE biplot در شرایط دیم

رحمت‌الله کریمی‌زاده^{۱*}، طهماسب حسین‌پور^۲، جبار آلت‌جعفری‌بای^۳، کمال شهبازی هومونلو^۴، محمد آرمیون^۵، پیمان شریفی^۶

۱- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران.

۲- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران.

۳- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گنبد، ایران.

۴- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران.

۵- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران.

۶- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.

چکیده

روش‌های متعددی برای تحلیل اثر متقابل ژنوتیپ در محیط پیشنهاد شده است که هر کدام از آن‌ها مبتنی بر روش‌های آماری خاصی می‌باشند. در این تحقیق ۱۶ لاین گندم دوروم به همراه ارقام دهدشت و سیمره به عنوان شاهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار منطقه گچساران، گنبد، مغان و خرم‌آباد طی سه سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۲ بررسی شدند. تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرات اصلی ژنوتیپ، سال و مکان و برهمکنش‌های سال×مکان و ژنوتیپ×سال×مکان برای عملکرد دانه در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار بود. آزمون اسکریت سهم بالای چهار مؤلفه اصلی اول در توجیه برهمکنش ژنوتیپ در محیط را نشان داد، به طوری که دو مؤلفه اصلی اول به ترتیب ۲۶/۶۰٪ و ۱۵/۳۳٪ از تغییرات GEI را توجیه می‌کردند. نمودار موزائیکی نشان داد که ۲۰/۷۶٪ از مجموع مربعات کل ناشی از مجموع مربعات ژنوتیپ و ۷۹/۲۴٪ ناشی از مجموع مربعات برهمکنش ژنوتیپ در محیط بود. نمودار گرمایی نشان داد که ژنوتیپ‌های G1، G3، G6، G15 و G16 دارای عملکرد بالا در بسیاری از محیط‌ها بودند. چندضلعی بای‌پلات براساس نزدیکی ژنوتیپ‌های G1، G5، G6، G7 و G4 به مبدأ بای‌پلات، آن‌ها را ژنوتیپ‌هایی با پایداری عمومی بالا به محیط‌های آزمایشی شناسایی نمودند، در حالی که ژنوتیپ‌های G8 و G12 به هیچ‌کدام از محیط‌ها سازگار نبودند. مطالعه همزمان اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط با نمای محور تستر متوسط (ATC) نشان داد که ژنوتیپ‌های G15، G13 و G6 در نزدیکی محور ATC، علاوه بر پایداری نسبت به ژنوتیپ‌های دیگر دارای عملکرد بالاتر از متوسط کل نیز بودند و می‌توانند به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و پر محصول در نظر گرفته شوند. نمای بای‌پلات ژنوتیپ ایده‌آل نشان داد که ژنوتیپ‌های G15، G13، G16، G2 و G6 واقع در نزدیکی ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپ‌های مطلوب بودند. در مجموع، ژنوتیپ‌های

*نگارنده مسئول: karimizadeh_ra@yahoo.com تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۴

G15, G13, G3 و G6 با نماهای مختلف بای پلات، علاوه بر پایداری، عملکرد بالاتری داشتند و کاندیدای پروسه‌ی توصیه رقم باشند.

واژه‌های کلیدی: تنوع ژنتیکی، ژنوتیپ در محیط، ژنوتیپ ایده‌آل، نمودار موزائیکی، نمودار گرمایی.

مقدمه

گندم دوروم (*Triticum turgidum*) دومین گونه زراعی مهم که در دنیا در سطح گسترده‌ای کشت می‌شود. از تنگناهای مهم مناطق تولید گندم دوروم در دنیا می‌توان به خشکی، سرما و گرمای آخر دوره رشد، مسایل مربوط به تغذیه، وآفات و بیماری‌ها اشاره کرد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۶). عملیات زراعی برای کاستن اثرات تنش‌های محیطی و غیرمحیطی کافی نبوده و به‌نژادی گزینه‌ای مناسب برای غلبه بر این اثرهای نامطلوب و افزایش عملکرد ارقام در این شرایط نامساعد است (Karimizadeh *et al.*, 2013). از دیگر چالش‌های تولید گیاهان زراعی واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌ها به تغییرات اقلیمی و همچنین عدم امکان معرفی یک رقم مناسب به دامنه گسترده‌ای از محیط‌ها است. بنابراین بر همکنش ژنوتیپ × محیط در زراعت و به‌نژادی گیاهان زراعی، دارای اهمیت ویژه‌ای است (Sharifi *et al.*, 2017). آگاهی از چنین برهمکنشی به به‌نژادگر کمک می‌کند تا در ارزیابی ژنوتیپ‌ها، با دقت بیشتری عمل کرده و بهترین ژنوتیپ‌ها را گزینش کنند و همچنین به متخصص زراعت یاری می‌رساند تا در یک مکان ویژه یا گستره‌ای از محیط‌ها یک رقم بهینه را کشت نماید و یا اینکه در یک مکان در سال‌های

بیابایی بتواند با اطمینان و بدون کاهش عملکرد یک رقم را پیشنهاد کند (Yan and Kang, 2003). اثر معنی‌دار برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای گندم، در مطالعه‌های دیگری نیز گزارش شده است (جعفری و فرشادفر، ۱۳۹۷؛ قائدرحمتی و همکاران، ۱۳۹۶؛ بدری و همکاران، ۱۳۹۹؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۶). در شرایط وجود برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ × محیط، برای پیشنهاد یک رقم در محیط‌های گوناگون باید ژنوتیپی گزینش شود که با وجود داشتن عملکرد بالا پایدار نیز باشد، یعنی از نوسان عملکرد کمتری از محیطی به محیط دیگر برخوردار باشد. با آنکه در شرایط وجود برهمکنش ژنوتیپ در محیط، تجزیه واریانس و مقایسه میانگن‌های ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها اطلاعات بسیار مهمی را فراهم می‌آورند، اما توانایی توجیه پایداری ژنوتیپ‌ها و الگوی واکنش آن‌ها به محیط‌ها را ندارند (Whaley and Eskandari, 2019) و نیاز به ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف و شناسایی ژنوتیپ پایدار برای تمام محیط‌ها و در صورت نبودن چنین ژنوتیپی، پیشنهاد ژنوتیپ‌های سازگار برای هر کدام از محیط‌ها است. روش‌های زیادی برای تجزیه برهمکنش ژنوتیپ × محیط به‌وسیله پژوهشگران

کل پیش از تجزیه پایداری به روش GGE بای پلات نشان دادند.

هدف از پژوهش حاضر، بهره‌گیری از ابزار GGE بای پلات و نمودار موزائیکی برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر گندم دوروم در شرایط آب و هوایی مناطق دیم گرمسیری و نیمه‌گرمسیری کشور است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به منظور دستیابی به ارقام پر محصول و سازگار با شرایط آب و هوایی مناطق دیم گرمسیری و نیمه‌گرمسیری کشور اجرا شد. آزمایش در زمین آیش که هر ساله با گاوآهن شخم و با دیسک و روتواتور نرم و صاف گردید انجام شد. به هنگام آماده‌سازی زمین و کشت، ۱۰۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم و ۷۵ کیلوگرم اوره استفاده شد. ۱۶ ژنوتیپ پیشرفته گندم دوروم انتخابی از آزمایش‌های پیشرفته مقایسه عملکرد به همراه دو رقم شاهد دهدشت و سیمره (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و چهار منطقه گچساران، گنبد، مغان، خرم‌آباد به مدت سه سال زراعی (۱۳۹۵-۱۳۹۲) و در کرت‌هایی به طول ۷/۰۳ متر و عرض ۱/۰۵ متر بر روی ۶ خط با فاصله خطوط ۱۷/۵ سانتی‌متر و تراکم دانه ۳۰۰ دانه در متر مربع کشت شدند. در جدول‌های ۲ و ۳ ویژگی‌های جغرافیایی و میزان بارندگی سالانه مناطق نشان داده شده است.

ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به ارزیابی گرافیکی رفتار ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها بر پایه دو مؤلفه اصلی اول از برهمکنش ژنوتیپ در محیط بدون حذف اثر محیط اشاره کرد که به وسیله یان و همکاران (۲۰۰۰) و به وسیله پژوهشگران زیادی در گیاهان زراعی مختلف از آن بهره گرفته شده است. از آنجا که در بیشتر آزمایش‌های تجزیه پایداری، اثر اصلی محیط، به‌عنوان یک منبع غیرقابل کنترل، زیاد است، اما تغییرات توجیه شده به وسیله منابع قابل تفسیر یعنی اثر ژنوتیپ (G) و برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GE) کم است، در روش GGE بای پلات، این دو منبع تغییر به کار گرفته می‌شوند تا نتایج قابل اعتمادتری بدست آید (Yan et al., 2007; Yan et al., 2001). از مهمترین کاربردهای این روش، تعیین محیط‌های کلان است تا در سال‌های آینده با توجه به این محیط‌های کلان، ژنوتیپ‌های برتر (پایدار و پرمحصول) برای هر ناحیه معرفی می‌شوند (شریفی، ۱۳۹۸). برخی از پژوهشگران از این ابزار برای تجزیه برهمکنش ژنوتیپ در محیط در گندم دوروم استفاده کرده‌اند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۲؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۵؛ صادق‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷؛ Letta et al., 2008; Kaya and Turkoz, 2016; Heidari et al., 2017; Kendal, 2019). علاوه بر روش تجزیه پایداری با نمودار بای پلات، لافونت و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از نمودار موزائیکی، سهم مجموع مربعات ژنوتیپ (G) و برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GE) را در مجموع مربعات

شماره ژنوتیپ	رقم/لاین
۱	دهدشت
۲	سیمره
۳	CANELO_8//SORA/2*PLATA_12/4/STORLOM/3/RASCON_37/TARRO_2//RASCON_37/5/TECA96/TILO_1CDS S02Y01103T-0TOPB-0Y-0M-14Y-0Y
۴	SNITAN/5/AJAIA_12/F3LOCAL(SELETHIO.135.85)//PLATA_13/3/SOMAT_3/4/SOOTY_9/RASCON_37/6/SNIT ANCSS02B01019T-0TOPB-0Y-0M-1Y-2M-04Y-0B
۵	POD_20//SULA/ACO89/3/SORA/2*PLATA_12//SOMAT_3/4/PATKA_4/THKNEE_9//CABECA_1CDSS02B01271 T-0TOPB-0Y-0M-7Y-3M-04Y-0B
۶	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
۷	CMH85.797//CADO/BOOMER_33/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1CDSS02B01468T-0TOPB-0Y- 0M-5Y-4M-04Y-0B
۸	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
۹	SNITAN/JUPAREC2001//SOMAT_4/INTER_8CDSS04Y 00284S-24Y-0M-06Y-4M-1Y-0B
۱۰	RANCO//CIT71/CII/3/COMDK/4/TCHO//SHWA/MALD/3/CREX/5/SNITAN/6/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/A UK/GUIL//GREENCDSS04B00151S-3Y-0M-2Y-0M-2Y-0B
۱۱	YAZI_1/3/MUSK_9//ACTS_8/CMH82A.1062/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE /7/HUI/YAV79/8/POD_9CDSS05Y00303S-9Y-0M-5Y-0M-4Y-0B
۱۲	ALAS/5*SILVER_2/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/6/GUANAY*2/4/CHEN_1/TEZ/3/GUIL//CIT7 1/CII/5/SOMAT_4/INTER_8CDSS05Y00871D-10Y-0M-7Y-0M-1Y-0B
۱۳	Azeghar-2/4/Stj3/3/Gdfl/T.dicds-SY20013//BcrICD02-1272-W-3AP-0TR-3AP-0AP-5AP-0AP-3AP-0AP
۱۴	Ouasloukos1/5/Azn1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/GdrICD03-0342-TA-2AP-0AP-9AP-0AP-2AP-0AP
۱۵	ICAMOR-TA04-58/Maamouri-2ICD04-0211-TA-9AP-0AP-5AP-0AP
۱۶	Stk/Hau//Heca-1/3/Quasnima-1ICD04-0935-CA-3AP-0AP-2AP-0AP
۱۷	LLARETAINIA/4/SKEST//HUI/TUB/3/SILVER/5/LHNKE/RASCON//CONAD/6/GREEN_32/CHEN_7//SILVER_1 4/3/DIPPER_2/BUSHEN_3/4/SNITANCDSS02B00574S-0M-12Y-06Y-2M-1Y-0B
۱۸	YAV79//SOMAT_4/INTER_8/7/YAV79/6/CHEN_1/TEZ/3/GUIL//CIT71/CII/4/SORA/PLATA_12/5/STOT//ALTAR 84/ALDCDSS04B00 811 D-32Y-0M-4Y-0M-4Y-0B

جدول ۲- ویژگیهای جغرافیایی مناطق اجرای آزمایش

ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	متوسط بلندمدت بارندگی سالیانه (میلی متر)
گچساران	۷۱۰	۵۰°، ۵۰'	۳۰°، ۱۷'	۴۵۰
گنبد	۴۵	۵۵°، ۱۲'	۳۷°، ۱۶'	۵۵۰
مغان	۱۰۰	۳۹°، ۳۹'	۴۷°، ۸۸'	۳۱۲
خرم آباد	۱۱۴۷	۴۸°، ۱۸'	۳۳°، ۲۹'	۴۴۵

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

مکان	فصل زراعی		
	۱۳۹۴-۹۳	۱۳۹۳-۹۴	۱۳۹۲-۹۳
گچساران	۳۹۱/۱ (E9 محیط ۹) - ۳۹۰/۱	۳۵۱/۶ (E5 محیط ۵)	۴۱۰/۴ (E1 محیط ۱)
گنبد	۴۷۸/۸ (E10 محیط ۱۰)	۲۷۹/۴ (E6 محیط ۶)	۳۳۵/۸ (E2 محیط ۲)
مغان	۳۵۵/۰ (E11 محیط ۱۱)	۳۳۵/۰ (E7 محیط ۷)	۱۵۷/۵ (E3 محیط ۳)
خرم‌آباد	۷۴۳/۴ (E12 محیط ۱۲)	۳۲۶/۳ (E8 محیط ۸)	۴۳۲/۹ (E4 محیط ۴)

درصد بود (جدول ۴). اثر معنی دار ژنوتیپ نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی بین مواد آزمایشی است. دلیل تفاوت بین سال‌ها می‌تواند از یکسان نبودن عوامل جوی همچون میزان بارندگی، پراکنش آن در سال‌ها و توزیع متوازن بارندگی ماهیانه در دوره‌های مختلف رشدی گیاه، حداقل و حداکثر درجه حرارت هوا و خاک، مقدار پوشش برفی در مناطق و غیره باشد. اثر معنی دار مکان نیز می‌تواند برآمده از عواملی همچون خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و غیره باشد. اثر معنی دار برهمکنش ژنوتیپ × سال × مکان نشان‌دهنده اختلاف بین عملکرد ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیط دیگر و وجود نوسان در عملکرد دانه است که نیاز به ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های گوناگون را برای شناسایی سازگاری عمومی و خصوصی نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد که در برهمکنش معنی دار ژنوتیپ در محیط، افزون بر تفاوت ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها، واکنش‌های متفاوت آن‌ها به عوامل جغرافیایی و اقلیمی هم موثر بوده است. همانند نتایج این پژوهش، اثر معنی دار ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ در محیط را پژوهشگران دیگری نیز در

تجزیه های آماری: پیش از انجام تجزیه های اصلی پایداری با روش GGE بای پلات و همچنین نمودارهای گرمایی (برای نشان دادن پراکنش میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف) و موزائیکی (برای ارزیابی سهم ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط در مجموع مربعات کل)، از آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی با آزمون بارتلت، تجزیه واریانس مرکب و آزمون اسکریت (Screet test) برای شناساندن شمار مؤلفه‌های توجیه کننده برهمکنش ژنوتیپ انجام شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از بسته‌های GGEbiplotGUI (Bernal and Villardon, 2016) و gge (Wright and Laffont, 2018) در نرم‌افزار R انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس: آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی با آزمون بارتلت، نشانگر یکنواختی واریانس‌ها بود و تجزیه واریانس مرکب بدون حذف محیط و بر مبنای امید ریاضی منابع تغییر انجام شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان‌دهنده معنی دار بودن اثرات اصلی ژنوتیپ، سال و برهمکنش‌های سال × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان در سطح احتمال یک

محیط، گزینش ژنوتیپ‌های برتر بر پایه تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین‌ها امکان‌پذیر نیست و باید برای تعیین پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها از روش‌های تجزیه پایداری بهره گرفت.

گندم دوروم گزارش کرده‌اند (کریمی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ قاندرحمیتی و همکاران، ۱۳۹۶؛ جعفری و فرشادفر، ۱۳۹۷؛ بدری و همکاران، ۱۳۹۹؛ Karimizadeh et al., 2012). با توجه به برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ در

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

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
مکان	۳	۱۳۰۶۴۵۸۷۵/۸ ^{ns}
سال	۲	۴۲۳۲۷۴۷۹۹/۳**
مکان × سال	۶	۱۴۲۴۷۹۲۳۱/۹**
خطای ۱	۳۶	۵۷۶۹۲۰/۴
ژنوتیپ	۱۷	۶۰۴۲۴۶/۹**
ژنوتیپ × محیط	۱۸۷	۲۵۸۱۷۹۸/۸*
ژنوتیپ × مکان	۵۱	۳۱۴۱۶۵/۷ ^{ns}
ژنوتیپ × سال	۳۴	۲۴۹۳۷۷/۰ ^{ns}
ژنوتیپ × مکان × سال	۱۰۲	۲۳۴۲۵۶/۰**
خطای ۲	۶۱۲	۱۵۲۹۹۸
کل	۸۳۶	
ضریب تغییرات		۱۱/۲
کای اسکور برای آزمون بارتلت		۱۶/۹۳ ^{ns}

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و :^{ns} عدم تفاوت معنی‌دار

پیش از تجزیه پایداری به روش GGE بای‌پلات که در آن برهمکنش ژنوتیپ در محیط به دو جز ژنوتیپ و ژنوتیپ در محیط شکسته بدون در نظر گرفتن اثر محیط (E)، از جدول دو طرفه مجموع مربعات کل برای کشیدن نمودار موزائیکی بهره گرفته شد. لافونت و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از این نمودار، سهم مجموع مربعات ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط را از مجموع

تعیین سهم مؤلفه‌ها در برهمکنش ژنوتیپ در محیط و نمودارهای گرمایی و موزائیکی: با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ در محیط، آزمون اسکریت نشان داد که چهار مؤلفه اصلی اول هر کدام تقریباً سهم قابل توجهی در توجیه GEI داشتند (شکل ۱-الف)، به طوری که مؤلفه اصلی اول و دوم به ترتیب ۲۶/۶٪ و ۱۵/۳٪ از تنوع ژنوتیپ در محیط را توجیه کردند.

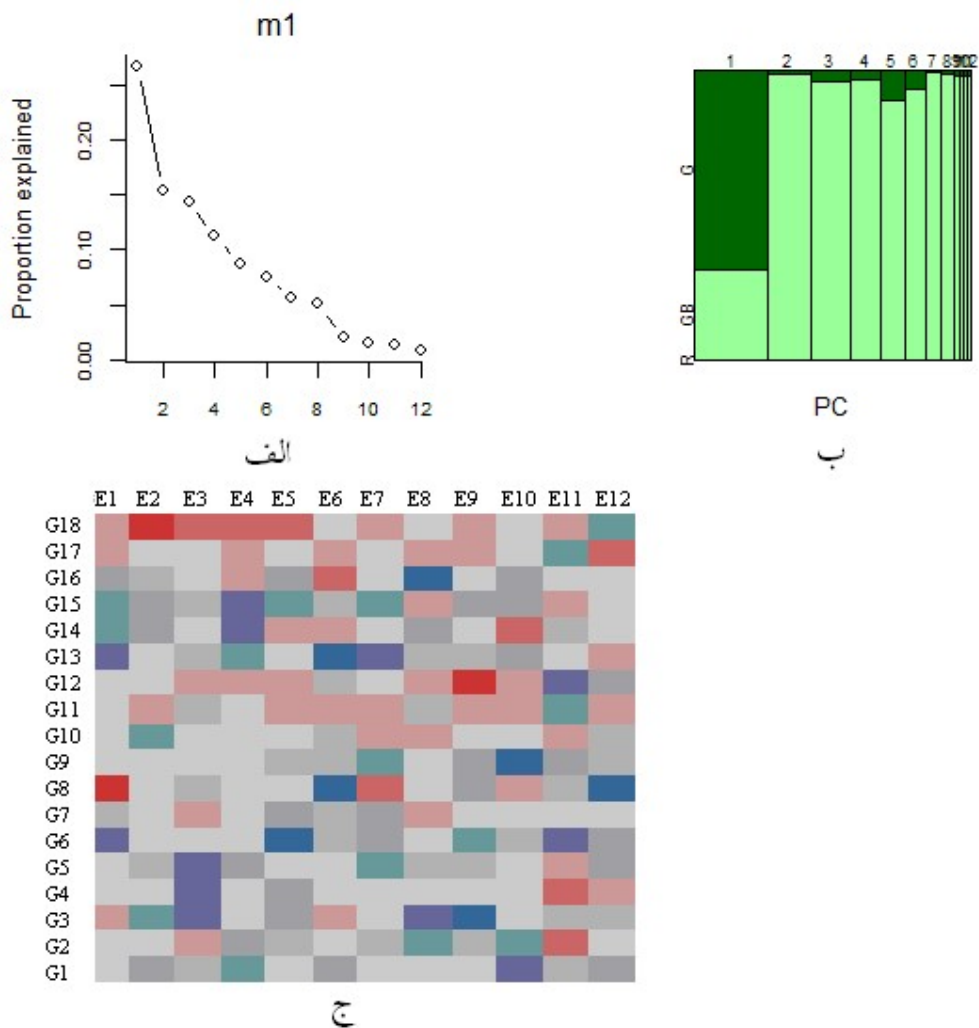
را به بخش ناشی از SSG و بخش ناشی از SSGE، هر محور تقسیم می‌کند. بر این اساس اولین محور مؤلفه اصلی، سهم بسیار بزرگی (۸۸/۸) از مجموع مربعات ژنوتیپ دارد. در چنین شرایطی، محور اول را می‌توان محور ژنوتیپ در نظر گرفت و فاصله بین نقاط ژنوتیپ‌ها تا محور اول با فاصله بین میانگین ژنوتیپ‌ها ارتباط زیادی خواهد داشت. مجموع مربعات محور مؤلفه اصلی دوم، سهم بسیار بیشتری از اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط را نسبت به اثر ژنوتیپ دارد، بنابراین می‌توان این ستون را به‌عنوان محور ژنوتیپ در محیط نام نهاد، به‌ویژه آنکه سهم این مؤلفه در برهمکنش ژنوتیپ در محیط (۳۱/۱٪) تقریباً دو برابر سهم مؤلفه اول (۱۶/۹٪) است، هرچند سهم مؤلفه‌های بعدی (به‌ویژه سوم تا پنجم به ترتیب با سهم ۱۷/۵٪، ۱۳/۸٪ و ۹/۹٪) را نمی‌توان در این برهمکنش نادید انگاشت. بنابراین، ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محور نخست می‌تواند در رابطه با عملکرد دانه باشد و ارزیابی آن‌ها در محور دوم بای‌پلات می‌تواند اطلاعاتی را درباره پایداری فراهم نماید.

برای پی بردن به ساختار اضافی در داده‌ها، یک نمودار دیگر نیز می‌تواند مفید باشد که نمودار پراکنش عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف به صورت یک نمودار گرمایی است. در این نمودار برای مثال دیده می‌شود که ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۱۸ در بسیاری از محیط‌ها عملکرد پایینی دارند، در حالی که ژنوتیپ‌هایی همچون ۱، ۳، ۶، ۱۵ و ۱۶ در بیشتر محیط‌ها عملکرد دانه بالایی دارند. البته چنین تفسیرهایی را می‌توان از

مربعات کل نشان دادند (شکل ۱-ب). در این نمودار که کل مربع نمودار ۱۰۰٪ مجموع مربعات کل است، نواحی با رنگ تیره تنوع کل ناشی از اثرات ژنوتیپی را نشان می‌دهد که در این مثال ۲۰/۸٪ از تنوع کل ناشی از اختلاف بین میانگین ژنوتیپ‌ها است و به بیانی دیگر ۲۰/۸٪ از تنوع کل یا فنوتیپی ناشی از اثر ژنوتیپ است. مناطق با رنگ روشن در این نمودار، تنوع برآمده از برهمکنش ژنوتیپ در محیط است که ۷۹/۲ درصد از کل تغییرات را دربر می‌گیرد. سهم پایین ژنوتیپ در توجیه تنوع می‌تواند به این دلیل باشد که در سال‌های پیش در برنامه اصلاحی گندم دوروم ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد انتخاب شده‌اند و این ژنوتیپ‌های برتر در آزمایش‌های چندمحیطی نسبت به محیط و برهمکنش ژنوتیپ \times محیط نقش کمتری در توجیه تنوع داشته‌اند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵). ستون‌های این نمودار مرتبط با محورهای مؤلفه اصلی است، به گونه‌ای که ستون اول ۲۶/۶٪ از کل مساحت مربع را در برمی‌گیرد و اولین مؤلفه اصلی از مجموع مربعات کل را تشکیل می‌دهد. ستون (مؤلفه اصلی) دوم ۱۵/۳٪ از مجموع مربعات کل را در بر گرفته است. این دو مؤلفه اصلی که برای کشیدن نمودارهای بای‌پلات در شکل‌های بعدی از آنها استفاده شده است، با هم ۴۱/۹۴٪ از مجموع مربعات کل، ۸۸/۸۴٪ (۸۸/۳٪+۰/۵۲٪) از مجموع مربعات ژنوتیپ و ۲۹/۷٪ (۱۰/۴٪+۱۹/۲۱٪) از مجموع مربعات اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط را تشکیل می‌دهند. ردیف‌های نمودار موزاییکی (در داخل هر ستون)، آن ستون

یکنواختی داشته باشد، نمودی از پایداری آن است که بر این اساس نیز ژنوتیپ‌های ۳ و ۶ را می‌توان ژنوتیپ‌های پایداری در نظر گرفت.

نمودارهای بای پلات نیز بدست آورد، ولی این نمودار یک تجسم روشن‌تری از پراکنش ژنوتیپ‌ها را در محیط‌های آزمایشی ارائه می‌دهد. همچنین اگر ژنوتیپی در تمام محیط‌ها عملکرد



شکل ۱- برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GEI) ۱۸ ژنوتیپ گندم در ۱۲ محیط. الف. ریشه مشخصه ماتریس GEI؛ ب. نمودار موزائیکی موزائیکی جهت نمایش سهم مولفه‌ها از واریانس G+GE؛ ج. نمودار گرمایی پراکنش عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها

همکاران، ۱۳۹۶؛ نجفی میرک و همکاران، Karimizadeh *et al.*, 2013; Kaya *et al.*, ۱۳۹۸ *et al.*, 2006; Mohammadi *et al.*, 2007). این نتیجه نشان می‌دهد که گزینش ژنوتیپ‌ها فقط بر اساس عملکرد دانه در یک مکان نمی‌تواند دقیق

چنین واکنش‌هایی به وسیله پژوهشگران دیگری نیز در گندم گزارش شده است (جهرمی و همکاران، ۱۳۹۰؛ کریمی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۲؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۵؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ قائدرحمتی و

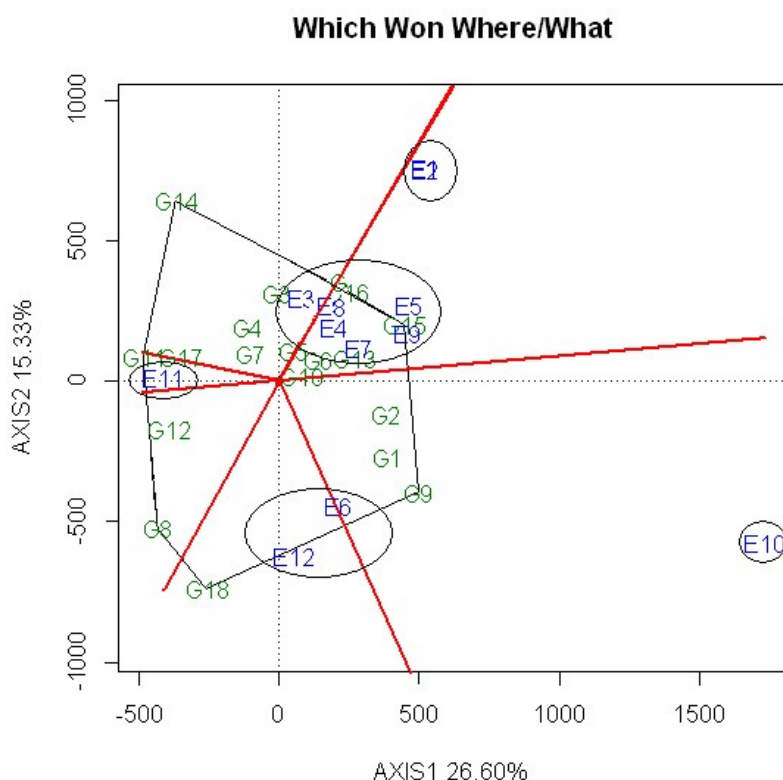
(Rakshit *et al.*, 2012) (environment به صورت گرافیکی است. در این نمای بای پلات، ژنوتیپ‌های G11 و G14، G15، G9، G18، G8، بیشترین فاصله را از مبدأ بای پلات داشتند و ژنوتیپ‌های رأسی بودند. در بخشی که G14 در رأس آن بود، ژنوتیپ‌های G3، G4، G7 و G17 نیز جای داشتند که به محیط ۳ سازگار بودند. در بخش بعدی، ژنوتیپ G15 در رأس و ژنوتیپ‌های G5، G6، G10، G13 و G16 درون آن جای داشتند و از آنجا که محیط‌های Gn92-93، Gd92-93، Kh92-93، Mn93-94، Gn93-94، Kh93-94 و Gn94-95 را در بر می‌گرفت، می‌توان پیشنهاد داد که ژنوتیپ G15 و ژنوتیپ‌های یادشده، بهترین ژنوتیپ‌ها برای این محیط‌ها بودند. در بخش سوم، ژنوتیپ G9 و ژنوتیپ‌های G1 و G2 به همراه محیط Gd94-95 جای داشتند، بنابراین برای این محیط که با توجه به فاصله آن از بای پلات از توانایی جداکنندگی خوبی نیز بین ژنوتیپ‌ها برخوردار است، ژنوتیپ‌های G1، G2 و G9، بهترین ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ G18، بهترین ژنوتیپ برای محیط‌های Gd93-94 و Kh94-95 بود. ژنوتیپ‌های G8 و G12 سازگاری به هیچ‌کدام از محیط‌های مورد مطالعه نداشتند. این نمای از بای پلات افزون بر شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار به هر محیط، برای شناسایی ژنوتیپ‌های دارای پایداری عمومی بالا با توجه به نزدیک بودن به مبدأ بای پلات، به محیط‌های آزمایشی نیز کاربرد دارد، بر این اساس ژنوتیپ‌های G5، G6، G7 و G4 نزدیکترین ژنوتیپ‌ها به مبدأ بای پلات

و عملی باشد و باید ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های مختلف ارزیابی گردند تا سازگاری و پایداری آنها تعیین شود (Eberhart and Russel, 1966).

تجزیه GGE بای پلات: تجزیه GGE بای پلات نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول در مجموع ۴۱/۹٪ (به ترتیب ۲۶/۶٪ و ۱۵/۳٪) از کل تغییرات برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه می‌کردند. چنین نتیجه‌ای درباره سهم متوسط به پایین دو مؤلفه اصلی اول در برهمکنش ژنوتیپ در محیط در گندم دوروم توسط پژوهشگران دیگری نیز گزارش شده است (کریمی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰؛ نجفی میرک و همکاران، ۱۳۹۸). همان‌گونه که با نمودار موزائیکی دیده شد، با توجه به سهم بالای مؤلفه اصلی اول در مجموع مربعات ژنوتیپ، استفاده از این مؤلفه در توجیه اثر ژنوتیپ از کارایی بالایی برخوردار است. بنابراین، از روش GGE بای پلات برای ارزیابی و نمایش متغیر وابسته (عملکرد دانه) در ژنوتیپ بر مبنای مؤلفه اصلی اول و پایداری بر مبنای مؤلفه اصلی دوم استفاده شد. از نماهای گوناگونی برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها به محیط‌های مختلف استفاده شد که اولین نمای آن، نمای چندضلعی بای پلات (شکل ۲) است که به‌عنوان یکی از جالب‌ترین ویژگی‌های GGE بای پلات، بهترین راه برای دیدن برهمکنش ژنوتیپ در محیط (Yan and Kang, 2003) و نشان دادن مفاهیمی همچون سازگاری ویژه یک ژنوتیپ و تفکیک محیط‌های کلان (Mega-

شناسایی برهمکنش از نوع تغییر در رتبه (ناشی از تفاوت عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر کدام از گروه‌های محیطی) (Yan and Tinker, 2006) و برهمکنش تغییر در مقدار (ناشی از جای گرفتن برخی از محیط‌ها در گروه‌های مشابه) استفاده می‌شود. در تطابق با یافته حاضر، پژوهشگران دیگری نیز با استفاده از روش بای پلات، ژنوتیپ‌های پایدار گندم دوروم را شناسایی کردند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۲؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Letta et al., 2008; Kaya and Turkoz, 2016; Heidari et al., 2017; Kendal. 2019;

و دارای سازگاری عمومی به تمامی محیط‌ها بودند. بر اساس این نمای بای پلات محیط‌های کلان یا مگا-محیط‌ها شناسایی شدند که شامل E1 (Gn92-93) و E2 (Gd92-93) نخستین ابر-محیط؛ E12 (Kh94-95) و E6 (Gd93-94) دو مین ابر-محیط؛ E3 (Mn92-93)، (Kh92-93) E4، E5 (Gn93-94)، E7 ((Mn93-94))، E8 (Kh93-94) و E9 ((Gn94-95)) سومین ابر-محیط) بود. دو محیط E11 (Mn92-93) و E10 (Gd93-94) جزء هیچ کدام از این محیط‌های کلان نبودند. از این محیط‌های کلان برای کا ستن شمار محیط‌ها در آزمایش‌های بعدی و همچنین

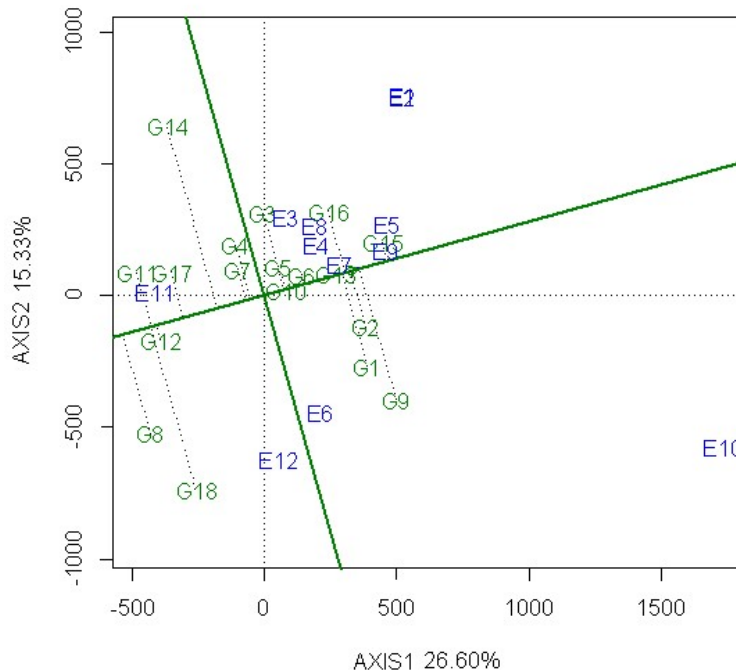


شکل ۲- نمای چند ضلعی GGE بای پلات بر اساس داده‌های عملکرد دانه ۱۸ ژنوتیپ گندم دوروم در ۱۲ محیط. AXIS1 و AXIS2 به ترتیب مؤلفه اصلی اول و دوم هستند؛ شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.

شماره ۳ دارای عملکردی بیشتر از متوسط و از ژنوتیپ‌های ۴ دارای عملکردی کمتر از متوسط بودند. دو رقم شاهد دهمشت و سیمره دارای عملکرد دانه بالاتر از میانگین بودند. بُعد قائم ATC، که از مبدأ بای پلات می‌گذرد و عمود بر بُعد افقی ATC است، تقریبی از برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GEI) و در نتیجه شاخصی از تنوع یا ناپایداری ژنوتیپ‌ها است. ژنوتیپ‌های دورتر از خط ATC، دارای برهمکنش بیشتر ژنوتیپ در محیط و پایداری کمتر هستند. بر این اساس، ژنوتیپ‌های G9، G18، G8، G1 و G2 در بخش پایین و ژنوتیپ G14 در بخش بالای محور ATC نسبت به ژنوتیپ‌های دیگر متغیرتر و ناپایدارتر بودند.

برای ارزیابی همزمان میانگین عملکرد دانه و پایداری ژنوتیپ‌ها محور تستر متوسط (Average Tester Coordinate, ATC) یا محور محیط متوسط (Average Environment Coordinates, AEC) در یک بای پلات ژنوتیپ محور استفاده شد. این محور خطی است که از مبدأ بای پلات و میانگین محیط (میانگین نمرات PC1 و PC2 محیط‌ها) می‌گذرد و بُعد افقی ATC نیز نامیده می‌شود. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر روی این محور نمادی از اثر اصلی ژنوتیپ (G) یا متوسط متغیر وابسته است (Yan and Kang, 2003). بر پایه این نمای بای پلات، رتبه ژنوتیپ‌ها $G15 > G9 \approx G2 \approx G16 \approx G1 \approx G13 > G6 > G10 \approx G5 \approx G3 > G4 \approx G7 > G14 > G17 > G12 \approx G11 \approx G18 > G8$ بود. در این رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های تا

Mean vs. Stability



شکل ۳- نمایش میانگین مختصات تستر (ATC) از بای پلات GGE بر اساس داده‌های عملکرد دانه ۱۸ ژنوتیپ گندم دوروم آزمایش شده در ۱۲ محیط. AXIS1 و AXIS2 به ترتیب مؤلفه اصلی اول و دوم هستند؛ شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.

دارد (Yan *et al.*, 2000). بنابراین، E5، E7، E9، E11 و بیشترین نمایندگی و محیط‌های E1، E2، E3، E8، E10، E6 و E12 کمترین نمایندگی را داشتند. محیط‌های آزمایشی غیر جداکننده (آنهايي که دارای بردارهای بسیار کوتاه هستند) (به‌عنوان مثال E4، E3، E8 و E7) کمتر مفید هستند، زیرا اطلاعات تمایز کمی درباره ژنوتیپ‌ها ارائه می‌دهند (شکل ۵). نمای برداری GGE بای‌پلات برای نمایاندن تنوع درون محیط نیز کاربرد دارد. محیط‌های با زاویه بسته نسبت به خط ATC، به‌ویژه آنهايي که بردارهای بلندتری نیز دارند، علاوه بر نمود عملکرد بالا (نمایندگی)، به خوبی می‌توانند ژنوتیپ‌های پایدار را از ژنوتیپ‌های ناپایدار تمییز دهند. در این تحقیق، چنین محیطی دیده نشد. محیط‌های با توانایی تمایز، اما غیر نماینده (به‌عنوان مثال، E10، E1، E2 و E12) برای گزینش ژنوتیپ‌های ویژه با توجه به تقسیم محیط‌های هدف به محیط‌های کلان می‌توانند استفاده شوند. از دلایل عملکرد بالا در محیط ۲ (خرم‌آباد سال اول) افزایش میزان بارندگی نسبت به سال پیشین و همچنین پراکنش مطلوب بارندگی بوده است که به نظر می‌رسد پراکنش فصلی بارندگی نسبت به سال زراعی بهتر باشد، چون رطوبت مورد نیاز گیاه در طی دوره‌های مختلف رشدی را در اختیار آن می‌گذارد.

از دیگر کاربردهای این نمای بای‌پلات بررسی همبستگی بین محیط‌ها و حفظ یا حذف محیط‌ها در آزمایش‌های بعدی است که در این شرایط استفاده از محیط آزمایش کمتر، باعث کاهش هزینه و افزایش بازده اصلاحی می‌شود

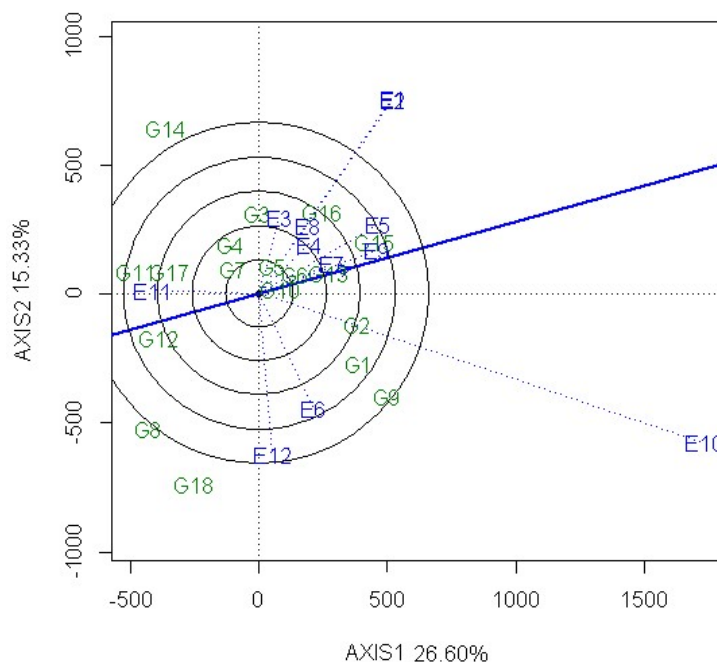
این نما نشان می‌دهد که نزدیک‌ترین ژنوتیپ، به ژنوتیپ ایده‌آل (واقع در اولین دایره متحدالمرکز در بای‌پلات) ژنوتیپ مطلوب است و توصیه می‌شود در آزمایش‌های بعدی بررسی شود، در حالی که ژنوتیپ نامطلوب که دور از ژنوتیپ ایده‌آل است و می‌تواند در چرخه‌های اولیه به‌نژادی حذف شود (Yan and Kang, 2003). بنابراین با توجه به این نمای بای‌پلات، ژنوتیپ‌های G2، G16، G13، G15 و G6 واقع در دایره‌های اطراف ژنوتیپ ایده‌آل، مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند و ژنوتیپ‌های خارج از آخرین حلقه شامل G4، G7، G14، G17، G11، G12، G8 و G18 نامطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند (شکل ۴).

نمای برداری GGE بای‌پلات که محیط‌ها را از طریق خط‌هایی به مبدأ بای‌پلات وصل می‌کند، به درک روابط بین محیط‌ها کمک می‌کند (شکل ۵). بر اساس این نمای بای‌پلات، برخی از بردارهای محیطی شامل E10، E1، E2 و E12 خیلی بلند هستند و از توانایی جداکنندگی یا تمایز بالایی برخوردار هستند و می‌تواند کارایی نسبی ژنوتیپ‌ها را به درستی برآورد کنند. محیط‌های دیگر، به‌ویژه E3، E4، E8 و E7 نزدیک‌ترین محیط‌ها به مبدأ بای‌پلات بودند و کمترین توانایی جداکنندگی را بین ژنوتیپ‌ها داشتند. این محیط‌ها که توانایی جداکنندگی ندارند، اطلاعات کمی درباره ژنوتیپ‌ها ارائه می‌دهند و از این رو نباید به‌عنوان محیط‌های آزمایشی مرجع به کار گرفته شوند. محیطی که نسبت به ATC زاویه کمتری دارد، نسبت به سایر محیط‌ها نمایندگی بیشتری

کافی است. بر این اساس، محیط‌های E1، E4، E3، E8 و E2؛ E6 و E12، E9، E7 و E5 بیشترین همبستگی را با یکدیگر داشتند (شکل ۵).

(Yan and Rajcan, 2007). اگر این شباهت در طی سال‌ها تکرار شدنی باشد، این محیط‌ها زاید محسوب می‌شوند و یک محیط از میان آنها

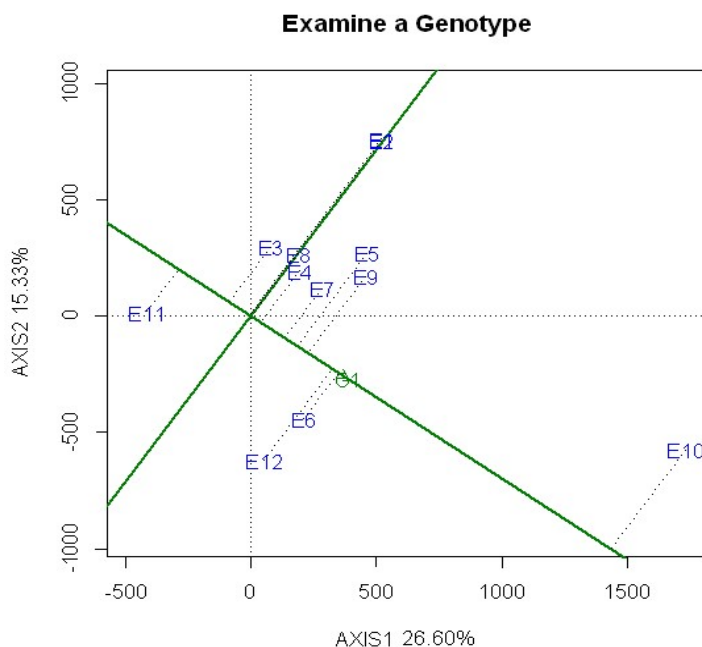
Discriminativens vs. representativens



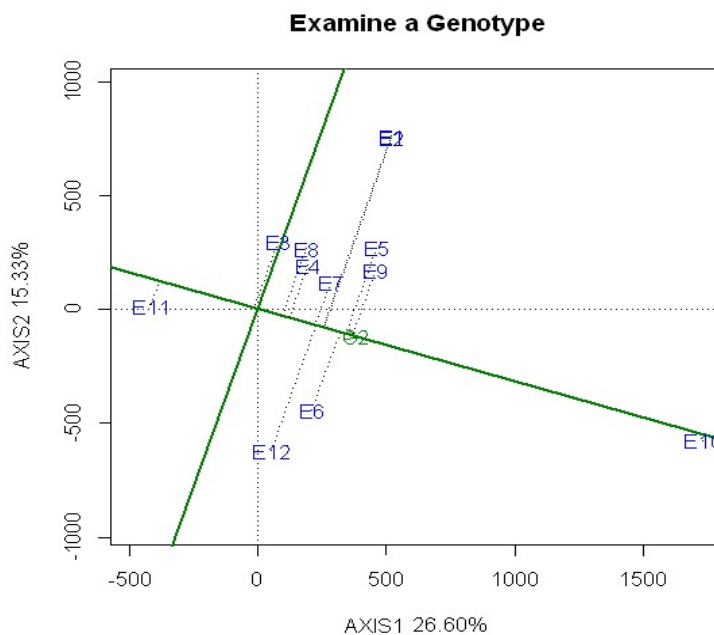
شکل ۵- نمای برداری GGE بای پلات که روابط بین محیط‌های آزمایش را نشان می‌دهد. AXIS1 و AXIS1 به ترتیب مؤلفه اصلی اول و دوم هستند؛ شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.

از ۱۲ محیط، عملکرد این ژنوتیپ بالاتر از متوسط بود که نشان از دقت در معرفی این رقم به عنوان یک رقم پرمحصول دارد، اما از نظر شاخص پایداری این ژنوتیپ از پایداری کمتری به‌ویژه در محیط‌های E1، E2، E10 و E12 برخوردار بود (شکل ۶). درباره ژنوتیپ G2 (رقم سیمره) نیز مشاهده شد که این ژنوتیپ بالاترین عملکرد را در محیط E10 داشت و در تمام محیط‌ها به جز محیط E11 عملکرد آن بیشتر از متوسط بود، با این وجود این رقم نیز در برخی از محیط‌ها از جمله E1، E2 و E12 از پایداری کمتری برخوردار بود (شکل ۷).

برای نشان دادن چگونگی سازگاری نسبی یک ژنوتیپ ویژه در محیط‌های مختلف، که برای به‌نژادگران و کشاورزان مطلوب است، یک خط از نشانه ژنوتیپ در محور مختصات و مبدأ بای پلات کشیده می‌شود که به عنوان محور ژنوتیپ نامیده می‌شود (Yan and Kang, 2003). با توجه به وجود دو شاهد در این آزمایش، از محور ATC بای پلات برای ژنوتیپ‌های شاهد G1 (رقم دهدشت) و G2 (رقم سیمره) به صورت جداگانه استفاده شد. شکل ۶ گویای آن است که بالاترین عملکرد دانه در محیط ۱۰ و در پی آن در محیط‌های E6 و E12 بدست آمد. در ۱۰ محیط



شکل ۶- مقایسه عملکرد رقم G1 (دهدشت) در محیط‌های مختلف. AXIS1 و AXIS2 به ترتیب مؤلفه اصلی اول و دوم هستند؛ شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.



شکل ۷- مقایسه عملکرد رقم G2 (سیمره) در محیط‌های مختلف. AXIS1 و AXIS2 به ترتیب مؤلفه اصلی اول و دوم هستند؛ شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.

برهمکنش‌های سال × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان در سطح احتمال یک درصد بود. معنی دار بودن برهمکنش ژنوتیپ در محیط بیانگر منطقی

نتیجه‌گیری کلی

تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه نشان‌دهنده معنی دار بودن اثر اصلی ژنوتیپ، سال و مکان و

حالی که ژنوتیپ‌های G7 و G12 با وجود پایدار بودن، از عملکرد دانه پایین‌تری برخوردار بودند و بنابراین نمی‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب به‌شمار آورده شوند. نمای بای‌پلات ژنوتیپ ایده‌آل نشان داد که ژنوتیپ‌های G13، G15، G16، G2 و G6 واقع در دایره‌های اطراف ژنوتیپ ایده‌آل، مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. نمای برداری GGE بای‌پلات نشان داد که محیط‌های جداکننده، اما غیر نماینده (E10، E1، E2 و E12) می‌توانند برای گزینش ژنوتیپ‌های ویژه با توجه به تقسیم محیط‌های هدف به محیط‌های کلان به کار برده شود. نمای محور ژنوتیپ برای رقم شاهد دهمشت (G1) نشان داد که عملکرد این ژنوتیپ در ۱۰ محیط از ۱۲ محیط آزمایشی بالاتر از متوسط بود. درباره ژنوتیپ G2 (رقم سیمه) نیز مشاهده شد که عملکرد این ژنوتیپ در تمام محیط‌ها به جز محیط ۱۱ بیشتر از متوسط بود (شکل ۷). در مجموع، ژنوتیپ‌های G13، G15، G2 و G6 با نماهای مختلف بای‌پلات، علاوه بر پایداری از عملکرد بالاتری نیز برخوردار بودند.

بودن کاربرد تجزیه پایداری برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های گندم به محیط‌های مورد مطالعه در این پژوهش است. ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف با نمودار گرمایی نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های ۳ و ۶ از پایداری بالایی در محیط‌ها برخوردار بودند و ژنوتیپ‌های G1، G3، G6، G15 و G16 دارای عملکرد بالا در بسیاری از محیط‌ها بودند. نمای چند ضلعی بای‌پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های G2، G7، G6، G5، G10 و G2، با توجه به نزدیکی به مبدأ بای‌پلات، ژنوتیپ‌هایی با پایداری عمومی بالا به محیط‌های آزمایشی بودند، اما ژنوتیپ‌های G8 و G12 سازگار به هیچ‌کدام از محیط‌ها نبودند. بنابراین ژنوتیپ‌های مطالعه شده، پراکندگی مناسبی در محیط‌های آزمایشی داشتند. با نمای محور تستر متوسط بای‌پلات، مطالعه همزمان اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط انجام شد و نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های G15، G13 و G6 در نزدیکی محور ATC، علاوه بر پایداری نسبت به ژنوتیپ‌های دیگر دارای عملکرد بالاتر از متوسط کل نیز بودند، در

منابع

- بدری‌هاجر، محمدی‌رضا، اطمینان‌علیرضا. ۱۳۹۹. بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی. ۱۲(۳۳): ۱۱۹-۱۲۶.
- جعفری طیبه، فرشادفر عزت‌اله. ۱۳۹۷. تجزیه پایداری ژنوتیپ‌های گندم نان (*Triticum aestivum* L.) با روش GGE biplot. تحقیقات غلات. ۸(۲): ۱۹۹-۲۰۸.
- حاجی محمد علی جهرمی مجید، خدارحمی منوچهر، محمدی‌علیرضا، محمدی‌عبداله. ۱۳۹۰. تجزیه پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های امید بخش گندم دوروم در اقلیم گرم و خشک جنوب ایران. مجله علوم زراعی ایران ۱۳(۳): ۵۶۵-۵۷۹.

شریفی پ. ۱۳۹۸. کاربرد روش‌های آماری چندمتغیره در علوم کشاورزی. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت. ۳۰۸ صفحه.

صادق‌زاده بهزاد، محمدی رضا، احمدی حسن، عابدی اصل غلامرضا، احمدی ملک مسعود، محمدفام مهناز، بهرامی نوذر، خالدیان محمدشریف، ناصری علی‌اکبر. ۱۳۹۷. بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه لاین‌های گندم دوروم تحت شرایط دیم با استفاده از GGE بای‌پلات و AMMI. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۱(۲): ۲۴۱-۲۶۰.

قائد رحمتی مهناز، حسین‌پور طهماسب، احمدی علی. ۱۳۹۶. بررسی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم با استفاده از روش AMMI. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی. ۹(۲۳): ۶۷-۷۵.

کریمی‌زاده رحمت‌الله، محمدی محتشم، شیخ‌مومو محسن، باوی وحید، حسین‌پور طهماسب، خاتزاده حسن، قوجق حسن، آرمیون محمد. ۱۳۹۰. کاربرد روش‌های تجزیه خوشه‌ای و امی در تعیین پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم در مناطق دیم نیمه گرمسیر ایران. ژنتیک نوین. ۶(۲): ۳۳-۴۸.

محمدی رضا، آرمیون محمد، صادق‌زاده بهزاد، گلکاری صابر، خلیل‌زاده غلامرضا، احمدی حسن، عابدی اصل غلامرضا، اسکندری مسعود. ۱۳۹۵. ارزیابی پایداری عملکرد دانه و سازگاری لاین‌های اصلاحی گندم دوروم دیم. نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی. ۲۹(۴): ۲۵-۴۲.

محمدی رضا، آرمیون محمد، حسن اسماعیل‌زاد، اسکندری مسعود. ۱۳۹۲. تجزیه اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط برای عملکرد دانه در گندم دوروم. نشریه زراعت دیم ایران. ۱(۴): ۱-۱۶.

محمدی محتشم، کریمی‌زاده رحمت‌الله، حسین‌پور طهماسب، قوجق حسن، شهبازی کمال، شریفی پیمان. ۱۳۹۶. استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری برای تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ محیط در ژنوتیپ‌های گندم نان. پژوهش‌های ژنتیک گیاهی، ۴(۲): ۷۵-۸۸.

نجفی میرک توحید، مویدی علی‌اکبر، ساسانی شهریار، قندی اکبر. ۱۳۹۸. ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم (*Triticum turgidum* L.) در مناطق معتدل ایران. مجله علوم زراعی ایران. ۲۱(۲): ۱۳۸-۱۲۷.

Bernal EF, Villardon PG. 2016. GGEBiplotGUI: Interactive GGE Biplots in R. <https://cran.r-project.org/web/packages/GGEBiplotGUI/index.html>.

Eberhart SA, Russel WA. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6: 36-40.

Heidari S, Azizinezhad R, Haghparast R. 2017. Determination of yield stability in durum wheat genotypes under rainfed and supplementary irrigation conditions. *Journal of Agricultural Science and Technology* 19: 1355-1368.

Karimizadeh R, Mohammadi M, Sabaghni N, Mahmoodi AA, Roustami B, Seyyedi F. 2013. GGE biplot analysis of yield stability in multi-environment trials of lentil genotypes under rainfed condition. *Notulae Scientia Biologica* 5:256-262.

- Karimizadeh R, Mohammadi M, Sabaghnia N, Shefazadeh MK, Pour-alhosseini J. 2012. Univariate stability analysis methods for determining genotype \times environment interaction of durum wheat grain yield. *African Journal of Biotechnology* 11(10): 2563-2573.
- Kaya Y, Turkoz M. 2016. Evaluation of genotype by environment interaction for grain yield in durum wheat using non-parametric stability statistics. *Turkish Journal of Field Crops* 21(1): 51-59.
- Kaya Y, Akcura M, Taner S. 2006. GGE-biplot analysis of Multi-Environment yield trials in bread wheat. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 30:325-337.
- Kendal E. 2019. Comparing durum wheat cultivars by genotype \times yield \times trait and genotype \times trait biplot method. *Chilean Journal of Agricultural Research* 79(4): 512-522.
- Kroonenberg PM. 1995. Introduction to biplots for GxE tables. Department of Mathematics, Research Report 51. Australia: Univ. of Queensland.
- Laffont JL, Hanafi M, Wright K. 2007. Numerical and graphical measures to facilitate the interpretation of GGE biplots. *Crop Science* 47:990-996.
- Letta T, D'Egidio MG, Abinasa M. 2008. Analysis of multi-environment yield trials in durum wheat based on GGE-biplot electronic resource. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 6(2): 217-221.
- Mohammadi R, Abdullahi A, Haghparast R, Aghae M, Rostaii M. 2007. Nonparametric methods for evaluating of winter wheat genotypes in multi-environment trials. *World Journal of Agricultural Sciences* 3(2): 137-242.
- Olivoto, T., Lúcio A.D.C., da Silva, J.A.G., Sari B.G., Diel, M.I. 2019. Mean performance and stability in multi-environment trials II: selection based on multiple traits. *Agronomy Journal* 111: 6. 2961-2969.
- Rakshit S, Ganapathy KN, Gomashe SS, Rathore A, Ghorade RB, Kumar MVG, Ganesmurthy K, Jain SK, Kamtar MY, Sachan JS, Ambekar SS, Ranwa BR, Kanawade DG, Balusamy M, Kadam D, Sarkar A, Tonapi VA, Patil JV. 2012 GGE biplot analysis to evaluate genotype, environment and their interactions in sorghum multi-location data. *Euphytica* 185: 465-479.
- Sharifi P, Aminpanah H, Erfani R, Mohaddesi A, Abbasian A. 2017. Evaluation of genotype \times environment interaction in rice based on AMMI model in Iran. *Rice science* 24(3): 173-180.
- Whaley R, Eskandari M. 2019. Genotypic main effect and genotype-by-environment interaction effect on seed protein concentration and yield in food-grade soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill). *Euphytica* 215 (2): 1-17.
- Wright K, Laffont JL. 2018. Package 'gge'. <https://github.com/kwstat/gge/issues>
- Yan W, Cornelius PL, Crossa J, Hunt LA. 2001. Two types of GGE biplots for analyzing multi environment trial data. *Crop Science* 41: 656-663.
- Yan W, Rajcan I. 2002. Biplot Analysis of Test Sites and Trait Relations of Soybean in Ontario. *Crop Science* 42(1):11-20.
- Yan W, Kang MS. 2003. GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, Geneticists and Agronomists. 1st Edn., CRC Press LLC., Boca Raton, Florida, pp: 271.
- Yan W, Tinker NA. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science* 86: 623-645.

Yan W, Hunt LA, Shen Q, Szlavnic Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science* 40: 597- 605.

Yan W, Kang MS, Ma B, Wood S, Cornelious PL. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype by environment data. *Crop Science* 47: 643-655.

Grain yield stability analysis of durum wheat genotypes using GGE biplot model in rainfed conditions

Rahmatollah Karimizadeh^{1*}, Tahmasb Hosseinpour², Jabar Alt Jafarby³, Kamal Shahbazi Homonlo⁴, Mohammad Armion⁵, Peyman Sharifi⁶

- 1- *Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran.*
- 2- *Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran.*
- 3- *Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gonbad, Iran.*
- 4- *Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Moghan, Iran.*
- 5- *Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ilam, Iran.*
- 6- *Department of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.*

Abstract

Several methods have been proposed to analyze the interaction of genotype in the environment. In this research 16 selected durum wheat lines with two check cultivars (Dehdasht, Seimareh) were evaluated in randomized complete block design experiment with three replications in four regions of Iran including Gachsaran, Gonbad, Khorramabad and Moghan during three cropping seasons 2013-2016. Combined ANOVA indicated significant effect of year, location, genotype, year×location and genotype×year×location interactions at 1% probability level on durum wheat grain yield. Screenshot test indicated the first four principal components had high contribution of GEI, so that the PC1 and PC2 was explained 26.60% and 15.33% of GEI variation. Mosaic plot revealed that 20.76% of total sum of squares is illustrated by genotype sum of squares and 79.24% by genotype×environment interaction sum of squares. Heat-map plot was also indicated G1, G3, G6, G15 and G16 had high grain yield in many of environments. The polygon view of biplot indicated G10, G5, G6, G7 and G4 were as stable genotypes to the tested environments according to the closest distance to biplot origin, while G8 and G12 was not adaptable to any environments. The simultaneous studying of the effect of genotype and GE interaction by average tester coordinate view of biplot illustrated that G15, G13 and G6, in addition to high grain yield, were also more stable than other genotypes. Ideal genotype view of biplot indicated G15, G13, G16, G2 and G6 were as most desirable genotypes. In conclusion, G15, G13, G3 and G6 with high mean yield and stability performance can be used in selection/ recommendation process of cultivar.

Keywords: Genetic divergence, genotypes × environment, ideal genotypes, Mosaic plot, heat-map plot

* Corresponding author: karimizadeh_ra@yahoo.com Submit date: 2020/06/13 Accept date: 2021/03/14