

بررسی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نان با استفاده از روش چند متغیره امی

سیما آبیاری^۱، سعید نواب‌پور^{۲*}، رحمت الله کریمی‌زاده^۳، امیر قلی‌زاده^۴، علی اصغر نصراله‌نژاد قمی^۵،
و غفار کیانی^۶

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۹)

چکیده

آگاهی از اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به نه‌زادگران کمک می‌کند تا بتوانند ژنوتیپ‌های سازگار و پایدار را برای مناطق مختلف انتخاب کنند. هدف از این پژوهش، گزینش ژنوتیپ‌های پرمحصول سازگار با شرایط آب و هوایی مناطق دیم گرمسیری و نیمه‌گرمسیری و برتر از رقم شاهد منطقه در گندم نان بود. در این پژوهش، ۱۵ ژنوتیپ گندم نان برگزیده از آزمایش‌های پیشرفته مقایسه عملکرد، به همراه رقم شاهد آفتاب، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت سه سال زراعی (۹۹-۱۳۹۶) در چهار منطقه (گچساران، گنبد، خرم‌آباد و مغان) مورد مطالعه قرار گرفتند. به منظور تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط از روش چند متغیره اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثر متقابل ضرب‌پذیر (AMMI) استفاده شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که به ترتیب ۹۱/۴۹، ۱/۵۴ و ۵/۰۳ درصد از کل تغییرات داده‌ها مربوط به اثر محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بود. نتایج نشان داد که هفت مؤلفه اصلی مدل AMMI معنی‌دار بودند و ۹۷/۹۴ درصد از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. بای‌پلات میانگین عملکرد دانه و اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های G1، G11 و G12 با عملکردی بیش از میانگین و کمترین اثر متقابل به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد بالا شناخته شدند که از بین آنها G11 با توجه به دارا بودن سازگاری عمومی مناسب، می‌تواند به‌عنوان ژنوتیپ امیدبخش و کاندید معرفی رقم جدید برای مناطق دیم گرمسیری و نیمه‌گرمسیر انتخاب شود. در این پژوهش، منطقه خرم‌آباد به دلیل داشتن اثر متقابل بالا، به‌عنوان ایده‌آل‌ترین محیط جهت تمایز و جدا کردن ژنوتیپ‌های گندم نان شناخته شد. تجزیه خوشه‌ای، محیط‌های مورد مطالعه را به سه گروه تفکیک کرد. قرار گرفتن هر سه سال آزمایش مربوط به منطقه مغان در یک گروه بیانگر قابلیت پیش‌بینی و تکرارپذیری بالای این منطقه است.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، مناطق دیم گرمسیری و نیمه‌گرمسیری، تجزیه AMMI، تجزیه پایداری، بای‌پلات

۱، ۲ و ۵ به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استادیار گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولیدات گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
۳. استادیار، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران

۴. استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

۶. دانشیار، گروه بیوتکنولوژی و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: s.navabpour@yahoo.com

مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) به‌عنوان اصلی‌ترین و مهم‌ترین محصول زراعی قلمداد می‌شود که به‌دلیل تنوع ژنتیکی بالا و همچنین سازگاری وسیعی که با محیط‌های گوناگون دارد از تنوع بالایی برخوردار است (۲۳). به‌علاوه گندم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده پروتئین و کالری، بر اقتصاد و امنیت غذایی جهان تأثیر بسزایی دارد (۳۰). این گونه به‌عنوان محصول راهبردی در بین گیاهان زراعی رتبه نخست را به خود اختصاص داده، به‌طوری که میانگین تولید سالیانه آن بالغ بر ۷۶۵ میلیون تن برآورد شده است (۱۱). با توجه به این ویژگی‌های مهم، تولید ارقام با پتانسیل تولید عملکرد بالا و پایدار جهت افزایش سطح زیر کشت گندم نان الزامی است.

وجود اثر متقابل ژنوتیپ × محیط باعث پیچیده شدن ارزیابی ژنوتیپ‌ها و کاهش کارایی روش‌های به‌نژادی و همچنین سبب کاهش همبستگی بین ارزش‌های فنوتیپی و ژنوتیپی شده و با تغییر عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب را با مشکل مواجه می‌کند. بنابراین بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در برنامه‌های به‌نژادی بسیار مهم و ضروری به‌نظر می‌رسد (۴ و ۲۷). ژنوتیپی دارای سازگاری و پایداری بالاست که تحت شرایط مختلف محیطی بتواند عملکردی مطلوب و پایدار داشته باشد. بنابراین آزمایش‌های مقایسه عملکرد به‌صورت تکراردار در چند مکان و چند سال انجام می‌شود و در این آزمایش‌ها علاوه بر معیار عملکرد، میزان پایداری ژنوتیپ‌ها نیز در نظر گرفته می‌شود و در نهایت ژنوتیپ‌هایی گزینش می‌شوند که عملکرد بالا و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط کمتری داشته باشند (۱ و ۶). پایداری عملکرد به روش‌های مختلفی شامل تک متغیره پارامتری و ناپارامتری و چند متغیره ارزیابی می‌شود. در بین روش‌های چند متغیره می‌توان روش اثر اصلی جمع‌پذیر و اثر متقابل ضرب‌پذیر (Additive Main effect and Multiplicative Interaction, AMMI) را نام برد (۵ و ۱۶).

جهرمی و همکاران (۲۲) بیان داشتند که مدل AMMI با آنکه

محاسبات پیچیده‌ای دارد اما نتایج حاصل از آن از اطمینان بیشتری برخوردار است. این روش در پایه‌ریزی برنامه‌های به‌نژادی بلند مدت در خصوص سازگاری خصوصی و عمومی، انتخاب محیط ایده‌آل و گروه‌بندی محیط‌ها بسیار مناسب است (۴ و ۱۵). در روش چند متغیره AMMI، ابتدا با تجزیه واریانس معمولی روی داده‌های دو طرفه ژنوتیپ × محیط، آثار اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر، محاسبه و سپس این اثر متقابل با روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به اجزای مختلف تفکیک می‌شود که بخش بزرگی از اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه می‌کند، بنابراین توسط پژوهشگران زیادی به منظور تجزیه پایداری و تجزیه و تحلیل اثر متقابل ژنوتیپ × محیط استفاده شده است (۵ و ۱۳).

استفاده از روش AMMI برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در گیاهان مختلف از جمله گندم دوروم (۱۷، ۲۴، ۲۹، ۳۱ و ۴۵)، گندم نان (۳۵ و ۳۹)، جو (۲)، برنج (۲۲ و ۴۴)، کلزا (۴، ۳۲ و ۵۲) و نخود زراعی (۵۱) گزارش شده است. هدف از این پژوهش، بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ژنوتیپ‌های گندم نان از طریق روش چند متغیره AMMI به‌منظور شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و پایدار جهت معرفی و کشت در مناطق مختلف اقلیم‌های گرم و مرطوب و شناسایی مناطق مطلوب بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تعداد ۱۵ لاین جدید گندم نان به همراه رقم آفتاب در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گچساران، خرم‌آباد، مغان و گنبد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت سه سال زراعی (۱۳۹۶-۹۹) ارزیابی شدند. نام و مبدأ ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ و برخی مشخصات اقلیمی مناطق اجرای آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. مشخصات فنی و زراعی دوازده منطقه (محیط) این طرح یکسان بود و ژنوتیپ‌ها به‌عنوان عامل ثابت در نظر گرفته شدند.

جدول ۱. شماره، نام و مبدأ ژنوتیپ‌های گندم نان مورد بررسی در این مطالعه

شماره	نام/شجره	مبدأ
G1	Aftab	CIMMYT
G2	TACUPETO F2001*2/BRAMBLING// KIRITATI/ 2*TRCHCMSS08Y00140S-099Y-099M-099NJ-29WGY-0B	CIMMYT
G3	LERKE/5/KAUZ/3/MYNA/VUL//BUC/FLK/4/MILAN/6/PROGRESO F2007/7/KIRITATI/4/2*SERI.1B*2/ 3/KAUZ*2/BOW//KAUZ CMSS08B00400S-099M-099Y-25M-0WGY	CIMMYT
G4	92.001E7.32.5/SLVS/4/WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBL1CMSA08M00321S-040M-0NJ-14Y-0B	CIMMYT
G5	QUAIU #1CGSS01B00046T-099Y-099M-099M-099Y-099M-29Y-0B-12B-0Y	CIMMYT
G6	BECARD/PFUNYE #1CMSS09Y00374S-099Y-099M-099Y-10WGY-0B	CIMMYT
G7	MEX94.27.1.20/3/SOKOLL//ATTILA/3*BCN/4/PUB94.15.1.12/WBL1PTSS09GHB00029S-0SHB-099Y-11Y-020Y-0MXI	CIMMYT
G8	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/4/SRMA/TUIPTSA08M00045S-050ZTM-050Y-28ZTM-010Y-0B	CIMMYT
G9	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/4/MEX94.2.19//SOKOLL/WBL1PTSA08M00050S-050ZTM-050Y-56ZTM-010Y-0B	CIMMYT
G10	PASTOR/KAUZ/6/CNDO/R143//ENTE/MEXI_2/3/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)/ 4/WEAVER/5/2*KAUZ/7/2*PRL/ 2*PASTOR//PBW343*2/ KUKUNACMSS09Y01016T-099TOPM-099Y-099M-099Y-21WGY-0B	CIMMYT
G11	KACHU/3/PBW343*2/KUKUNA//PBW343*2/KUKUNACMSS09B00277S-099ZTM-099NJ-099NJ-19WGY-0B	CIMMYT
G12	BAJ #1/3/TRCH/SRTU//KACHUCMSS 10Y00030S-099Y-099M-11WGY-0B	CIMMYT
G13	KACHU/SAUAL/8/ATTILA*2/PBW65/6/PVN//CAR422/ANA/5/BOW/CROW//BUC/PVN/3/YR/4/T RAP#1/7/ATTILA/2*PASTORCMSS10Y00374S-099Y-099M-1WGY-0B	CIMMYT
G14	KACHU/SAUAL/3/TRCH/SRTU//KACHUCMSS10Y00375S-099Y-099M-6WGY-0B	CIMMYT
G15	ROLF07/3/TRCH/SRTU//KACHU/4/SAUAL/MUTUSCMSS10Y00986T-099TOPM-099Y-099M-7WGY-0B	CIMMYT
G16	MUTUS//ND643/2*WBL1CMS08Y00224S-099Y-099M-099Y-7M-ORGY	CIMMYT

جدول ۲. خصوصیات اقلیمی محیط‌های مورد مطالعه در این پژوهش

مکان/سال	کد محیط‌ها	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	بارندگی (میلی‌متر)
گچساران سال اول (Gach1)	E1	۵۰°۵۰' شرقی	۳۰°۱۷' شمالی	۷۱۰	۴۴۵
گچساران سال دوم (Gach2)	E2	۵۰°۵۰' شرقی	۳۰°۱۷' شمالی	۷۱۰	۴۴۵
گچساران سال سوم (Gach3)	E3	۵۰°۵۰' شرقی	۳۰°۱۷' شمالی	۷۱۰	۴۴۵
خرم‌آباد سال اول (Khoram1)	E4	۴۸°۲۸' شرقی	۳۳°۳۹' شمالی	۱۱۲۵	۵۲۰
خرم‌آباد سال دوم (Khoram2)	E5	۴۸°۲۸' شرقی	۳۳°۳۹' شمالی	۱۱۲۵	۵۲۰
خرم‌آباد سال سوم (Khoram3)	E6	۴۸°۲۸' شرقی	۳۳°۳۹' شمالی	۱۱۲۵	۵۲۰
گنبد سال اول (Gonbad1)	E7	۵۵°۱۲' شرقی	۳۷°۱۶' شمالی	۴۵	۵۵۰
گنبد سال دوم (Gonbad2)	E8	۵۵°۱۲' شرقی	۳۷°۱۶' شمالی	۴۵	۵۵۰
گنبد سال سوم (Gonbad3)	E9	۵۵°۱۲' شرقی	۳۷°۱۶' شمالی	۴۵	۵۵۰
مغان سال اول (Moghan1)	E10	۴۷°۸۸' شرقی	۳۹°۳۹' شمالی	۱۰۰	۳۱۲
مغان سال دوم (Mogha2)	E11	۴۷°۸۸' شرقی	۳۹°۳۹' شمالی	۱۰۰	۳۱۲
مغان سال سوم (Mogha3)	E12	۴۷°۸۸' شرقی	۳۹°۳۹' شمالی	۱۰۰	۳۱۲

داد که عمده تغییرات داده‌های عملکرد مربوط به تأثیر محیط بود (۹۱/۴۹ درصد). همچنین اثر ژنوتیپ و نیز اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به ترتیب ۱/۵۴ و ۵/۰۳ درصد از تغییرات عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی را به خود اختصاص داد (جدول ۳). در پژوهشی مشابه، با بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، اظهار داشتند که بخش عمده تنوع کل مربوط به محیط و پس از آن مربوط به اثر متقابل ژنوتیپ × محیط است (۱۲). همچنین در پژوهشی دیگر برای بررسی پایداری ۴۰ ژنوتیپ گندم نان نتایج نشان داد که سهم ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در توجیه میانگین مربعات کل به ترتیب ۱۵/۳، ۵۴/۲ و ۳۰/۵ درصد است. سهم بالای واریانس محیط به دلیل متفاوت بودن محیط‌های مورد مطالعه است (۱۹). در سایر تحقیقات نیز سهم بالای محیط در توجیه مجموع مربعات کل گزارش شده است (۷، ۱۰، ۲۹، ۳۶، ۳۷، ۴۰، ۴۱، ۴۳، ۴۹ و ۵۰).

همچنین نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان‌دهنده این است که ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف پاسخ‌های متفاوتی نشان داده‌اند. به عبارت دیگر اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیطی دیگر یکسان نیست و پایداری عملکرد دانه می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد. واکنش ژنوتیپ‌های مختلف معمولاً به دلیل پاسخ متفاوت ژن‌ها و یا قدرت تظاهر متفاوت آن‌ها در محیط‌های مختلف است (۳، ۸، ۲۱ و ۳۳). با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در این آزمایش، به منظور تعیین ژنوتیپ‌های پایدار و تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط از روش چندمتغیره AMMI استفاده شد. تجزیه واریانس AMMI (جدول ۳) نشان داد که مؤلفه‌های اصلی اول تا هفتم معنی‌دار بودند و در مجموع ۹۷/۹۴ درصد از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. اولین و دومین مؤلفه اصلی، بیشترین سهم (۵۲/۵۷ درصد) را در بیان اثر متقابل ژنوتیپ در محیط داشتند و مؤلفه‌های دیگر در درجات بعدی اهمیت قرار گرفتند (جدول ۳). غفاری و

عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک (جهت خرد کردن کلوخه‌ها) و ماله (جهت تسطیح) بود و بر اساس نتایج آزمون خاک اقدام به کوددهی شد. هر کرت شامل ۶ خط کاشت به طول ۷ متر در نظر گرفته شد. میزان بذر مصرفی براساس تراکم ۳۰۰ دانه در مترمربع بود که با توجه به وزن هزار دانه برای هر ژنوتیپ محاسبه شد. در طول فصل رشد خصوصیات زراعی و مورفولوژیکی ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ارزیابی شد. پس از رسیدگی محصول، جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه، ابتدا ۵/۰ متر از ابتدا و انتهای هر خط جهت از بین بردن اثر حاشیه حذف شد. در ادامه تمام بوته‌های کرت، برداشت و عملکرد دانه در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار) محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری

ابتدا نرمال بودن باقیمانده داده‌ها به روش کولموگوروف-اسیمروف (Kolmogorov-Smirnov) با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver 20 (۴۶) بررسی شد. سپس آزمون بارتلت به منظور بررسی یکنواختی واریانس محیط‌ها انجام شد و در ادامه به منظور بررسی برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط برای ارزیابی پایداری و سازگاری عملکرد دانه لاین و ارقام مورد بررسی از روش چند متغیره AMMI استفاده شد (۱۴ و ۱۵) و آماره ارزش پایداری AMMI (ASV) براساس روش Purchase (۳۴) محاسبه شد. پارامتر میانگین رتبه (ASR) نیز بر اساس میانگین رتبه عملکرد دانه و هفت مؤلفه اصلی معنی‌دار محاسبه شد (۴). در این پژوهش برای تجزیه AMMI از نرم‌افزار SAS ver 9.1 (۴۲) و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Minitab ver 14 (۲۸) استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های مربوط به صفت عملکرد دانه نشان داد که اثر محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). محاسبه درصد مجموع مربعات سه منبع محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نسبت به مجموع آنها نشان

جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نان در محیط‌های مختلف

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مجموع مربعات توجیه شده (درصد)
محیط	۱۱	۱۳۰۱۱۷۶۳۲۷	۱۱۸۲۸۱۷۵۷**	۹۱/۴۹
تکرار (محیط)	۲۴	۵۸۱۶۵۰۳	۲۴۵۲۷۱**	
ژنوتیپ	۱۵	۱۴۲۹۸۰۴۹	۹۵۳۲۰۳**	۱/۵۴
ژنوتیپ × محیط	۱۶۵	۷۱۵۵۱۸۲۴	۴۳۳۶۴۷**	۵/۰۳
مؤلفه اصلی اول	۲۵	۲۳۰۰۶۸۹۶	۹۲۰۲۷۶**	۳۲/۱۵
مؤلفه اصلی دوم	۲۳	۱۴۶۱۱۶۵۳	۶۳۵۲۸۹**	۲۰/۴۲
مؤلفه اصلی سوم	۲۱	۱۱۶۷۲۳۵۶	۵۵۵۱۲۶**	۱۶/۳۱
مؤلفه اصلی چهارم	۱۹	۸۳۴۸۴۱۵	۴۳۹۳۹۰**	۱۱/۶۶
مؤلفه اصلی پنجم	۱۷	۷۲۰۱۴۶۶	۴۲۳۶۱۶**	۱۰/۰۶
مؤلفه اصلی ششم	۱۵	۲۸۹۳۱۲۹	۱۹۲۸۷۵**	۴/۰۴
مؤلفه اصلی هفتم	۱۳	۲۳۶۸۳۵۳	۱۸۲۱۸۱**	۳/۳۰
باقیمانده	۳۲	۱۴۴۹۵۵۵	۴۵۲۹۹ ^{ns}	۲/۰۲
خطا	۳۶۰	۲۹۱۹۱۳۹۶	۸۱۰۸۷	
کل	۵۷۵	۱۴۲۲۱۰۴۰۹۹	۲۴۷۳۲۲۵	

ns و ** به ترتیب نشان‌دهنده‌ی عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱

درصد از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و مقادیر نمره‌های هفت مؤلفه اصلی ژنوتیپ × محیط (IPCAk) و پارامتر پایداری ASV در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد که میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی در دامنه‌ای بین ۳۱۹۲ تا ۳۸۱۳ با میانگین کل ۳۵۱۵ کیلوگرم در هکتار بود و ژنوتیپ‌های G7 و G10 به ترتیب کمترین و بیشترین عملکرد دانه را تولید کردند. میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های G1، G5، G6، G7، G8، G9، G11، G12، G13 و G15 نیز از میانگین عملکرد کل آزمایش بیشتر بود. روش AMMI دارای پارامترهای مختلفی است که مهم‌ترین آنها پارامتر پایداری ASV است که توسط پژوهشگران زیادی جهت ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده شده است (۹، ۲۶، ۳۸ و ۴۷). در روش ASV ژنوتیپ‌هایی پایدار شناخته می‌شوند که کمترین مقادیر از این پارامتر را به خود اختصاص دهند. بسیاری از محققین در بررسی اثر متقابل

همکاران (۱۸) در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه در آفتابگردان با استفاده از روش AMMI بیان کردند که پنج مؤلفه اصلی مدل AMMI در مجموع ۹۷/۶۴ درصد از برهم‌کنش تغییرات متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. علیزاده و همکاران (۴) در تجزیه برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه در ارقام و لاین‌های کلزای زمستانه با استفاده از روش چند متغیره AMMI استفاده کردند و بیان کردند که پنج مؤلفه اصلی در مجموع ۸۵/۴ درصد از تغییرات اثر متقابل را توجیه نمودند. کریمی‌زاده و همکاران (۲۵) از روش AMMI به منظور تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در ژنوتیپ‌های گندم دوروم استفاده و گزارش کردند که دو مؤلفه اول ۵۲ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. اسماعیل‌زاده و همکاران (۷) نیز در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در ژنوتیپ‌های گندم نان، از روش AMMI استفاده و بیان کردند که چهار مؤلفه اول در مجموع ۷۸

جدول ۴. میانگین عملکرد دانه، مقادیر مؤلفه‌های اصلی و شماره رتوب‌های گندم نان

ASV	مؤلفه اصلی هفتم	مؤلفه اصلی ششم	مؤلفه اصلی پنجم	مؤلفه اصلی چهارم	مؤلفه اصلی سوم	مؤلفه اصلی دوم	مؤلفه اصلی اول	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	شماره رتوب‌ها
۹/۸۰	-۶/۶۷	-۷/۹۵	۸/۹۲	-۲۱/۶۲	-۱۵/۰۰	-۱/۱۷	-۷/۷۴	۳۷۶۶	G1
۲۱/۲۵	-۹/۳۵	۵/۲۶	-۱۳/۵۶	-۱۸/۳۸	-۸/۱۸	-۶/۰۵	۱۵/۸۵	۳۳۵۸	G2
۱۸/۱۸	۶/۰۲	۹/۵۰	۷/۴۰	۸/۰۳	-۳/۹۲	-۸/۲۱	-۱۱/۹۷	۳۴۸۹	G3
۲۴/۳۱	۵/۴۵	۵/۲۸	۵/۳۳	-۰/۱۴	-۵/۸۴	۱۹/۳۲	-۱/۸۲	۳۳۸۹	G4
۲۹/۱۹	-۸/۷۰	۳/۶۷	۸/۷۷	-۳/۱۴	۲۲/۱۹	۱/۶۵	-۲۳/۲۵	۳۶۴۸	G5
۲۹/۶۱	-۱۰/۸۷	۹/۰۶	۱۶/۲۱	۹/۸۸	-۲/۶۶	۵/۴۹	۲۲/۹۹	۳۵۵۱	G6
۲۹/۳۶	-۶/۶۲	۳/۱۷	-۸/۲۶	۲/۷۱	-۴/۵۳	۱۵/۷۵	-۱۷/۳۵	۳۸۱۳	G7
۳۵/۱۰	۵/۸۱	-۱/۶۷	-۶/۴۵	۲/۸۰	-۱۲/۷۶	-۲۳/۹۰	-۱۴/۶۲	۳۵۳۴	G8
۲۸/۳۶	-۳/۴۸	-۲/۵۳	۸/۳۸	۶/۴۰	۸/۴۷	-۲۲/۳۳	-۳/۷۰	۳۵۲۲	G9
۲۳/۰۳	۶/۳۱	۰/۵۵	-۳/۱۵	-۱۳/۲۸	۲۳/۲۸	-۷/۷۶	۱۶/۶۷	۳۱۹۲	G10
۹/۲۶	۴/۱۶	-۳/۵۰	۷/۳۷	۵/۶۷	-۱۶/۰۰	-۰/۱۴	۷/۳۹	۳۵۴۰	G11
۱۱/۳۲	-۷/۱۹	-۲۲/۶۸	-۵/۰۶	۱۳/۴۳	۵/۷۵	۵/۹۶	۶/۸۰	۳۶۲۶	G12
۱۶/۲۰	-۰/۰۷	۱/۲۹	-۱۹/۱۰	۴/۹۴	۱/۵۵	۷/۹۸	-۱۰/۱۸	۳۵۹۴	G13
۱۴/۱۹	۱/۴۹	۹/۴۳	-۱۳/۸۷	۹/۰۵	۲/۹۲	-۱/۴۵	۱۱/۲۴	۳۳۹۵	G14
۱۳/۵۳	۹/۲۱	-۴/۷۵	۱/۳۱	۴/۵۱	-۰/۹۴	۰/۲۲	۱۰/۸۰	۳۵۳۸	G15
۱۸/۴۵	۱۴/۵۰	-۴/۱۲	۵/۷۶	-۱۰/۸۷	۵/۶۶	۱۴/۶۴	-۱/۶	۳۲۹۹	G16
ASR									Rank
۹/۲۵	۱۰	۱۲	۱۲	۱۶	۱۳	۳	۶	۲	G1
۱۲	۱۴	۱۰	۱۳	۱۵	۱۰	۸	۱۲	۱۴	G2
۹/۵	۷	۱۵	۸	۹	۵	۱۱	۱۰	۱۱	G3
۷/۳۷	۵	۱۱	۴	۱	۹	۱۴	۲	۱۳	G4
۹/۱۲	۱۲	۷	۱۱	۴	۱۵	۵	۱۶	۳	G5
۱۰/۵	۱۵	۱۳	۱۵	۱۱	۳	۶	۱۵	۶	G6
۷/۳۷	۹	۵	۹	۲	۶	۱۳	۱۴	۱	G7
۸/۲۵	۶	۳	۶	۳	۱۲	۱۶	۱۱	۹	G8
۸	۳	۴	۱۰	۸	۱۱	۱۵	۳	۱۰	G9
۹/۷۵	۸	۱	۲	۱۳	۱۶	۹	۱۳	۱۶	G10
۶/۳۷	۴	۶	۷	۷	۱۴	۱	۵	۷	G11
۸/۳۷	۱۱	۱۶	۳	۱۴	۸	۷	۴	۴	G12
۶/۱۲	۱	۲	۱۶	۶	۲	۱۰	۷	۵	G13
۸/۶۲	۲	۱۴	۱۴	۱۰	۴	۴	۹	۱۲	G14
۵/۸۷	۱۳	۹	۱	۵	۱	۲	۸	۸	G15
۹/۵	۱۶	۸	۵	۱۲	۷	۱۲	۱	۱۵	G16

Average of Sum of Ranks, ASR: میانگین مجموع رتبه‌ها

AMMI Stability value, ASV: شاخص ارزش پایداری AMMI

محیط‌هایی مناسب و ایده‌آل محسوب می‌شوند که دارای اثر متقابل بزرگ باشند. زیرا در این محیط‌ها تفاوت بین ژنوتیپ‌ها بهتر نمایان می‌شود (۴). بنابراین با توجه به نتایج هر دو پارامتر (ASR و ASV)، منطقه خرم‌آباد به دلیل دارا بودن اثر متقابل بزرگ (ناپایدارترین محیط)، به عنوان ایده‌آل‌ترین محیط جهت تمایز و جدا کردن ژنوتیپ‌های گندم نان مناسب است.

بای‌پلات میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و مقادیر اولین مؤلفه اصلی برهمکنش برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در شکل ۱ نمایش داده شده است. محور افقی نشانگر اثر اصلی و جمع‌پذیر ژنوتیپ یا میانگین عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار و محور عمودی اثر متقابل ضرب‌پذیر ژنوتیپ و محیط یا مقادیر اولین مؤلفه اصلی (IPCA1) است. در شکل ۱ خط عمود در میانه بای‌پلات بیانگر میانگین عملکرد دانه کل سه سال آزمایش است. بنابراین محیط‌ها و ژنوتیپ‌های سمت راست این خط دارای عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل هستند. با توجه به این مطلب ژنوتیپ‌های G1, G5, G6, G7, G12, G13 و G15 با قرار گرفتن در سمت راست این خط عمود، عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل را به خود اختصاص دادند ژنوتیپ‌های G2, G3, G4, G9, G10, G14 و G16 کمترین میزان عملکرد دانه را داشتند. همچنین خط افقی در میانه بای‌پلات بیانگر عدم وجود اثر متقابل از نظر مؤلفه اصلی اول برهمکنش ژنوتیپ در محیط است به این ترتیب ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که نزدیک این خط قرار دارند، نقش کمتری در ایجاد اثر متقابل دارند. درحالی‌که ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که از این خط فاصله دارند، دارای سهم بیشتر در ایجاد اثر متقابل هستند. بر این اساس، ژنوتیپ‌های G1, G4, G9, G11, G12, G13 و G16 دارای اثر متقابل پایین بودند. از این میان، ژنوتیپ‌های G1, G9, G11, G12 و G13 به‌علت داشتن میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد دانه بالا انتخاب شدند (شکل ۱). ژنوتیپ‌هایی که عملکرد دانه کمتری داشته باشند، اما دارای مقادیر مثبت برای اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل (IPCA1) باشند، برای کاشت در نواحی و مناطق ضعیف و

GE پارامتر ASV را به‌علت دقت بیشتر نتایج به‌عنوان یک پارامتر مهم معرفی کرده‌اند (۱۹ و ۴۸). در این بررسی، ژنوتیپ G11 کمترین مقدار ASV را به خود اختصاص داد و با داشتن عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل آزمایش، به‌عنوان ژنوتیپ پایدار با عملکرد دانه بالا شناخته شد. همچنین ژنوتیپ G8 با داشتن بالاترین مقدار ASV به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ از نظر مقدار عملکرد شناخته شد (جدول ۴). پارامتر میانگین رتبه (Average of Sum of Ranks, ASR) که بر اساس میانگین رتبه عملکرد دانه و هفت مؤلفه اصلی معنی‌دار محاسبه شده است، نشان داد که ژنوتیپ‌های G11, G13 و G15 با کمترین مقدار ASR پایدارترین و ژنوتیپ‌های G2 و G6 با بالاترین مقدار ASR ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۴).

میانگین عملکرد دانه محیط‌ها به همراه مقادیر هفت مؤلفه اصلی اثر متقابل محیطی و پارامتر پایداری ASV جهت بررسی پایداری محیط‌ها در جدول ۵ نمایش داده شده است. بیشترین و کمترین مقدار عملکرد دانه محیطی به ترتیب مربوط به محیط‌های E2 (گچساران سال دوم با مقدار ۵۴۵۰ کیلوگرم در هکتار) و E1 (گچساران سال اول با مقدار ۱۱۱۹ کیلوگرم در هکتار) بود. محیط‌های E1 (گچساران سال اول)، E11 (مغان سال دوم)، E9 (گنبد سال سوم) و E12 (مغان سال سوم) با داشتن کمترین مقدار پارامتر ASV به‌عنوان پایدارترین و محیط‌های E3 (گچساران سال سوم)، E2 (گچساران سال دوم)، E6 (خرم‌آباد سال سوم) و E4 (خرم‌آباد سال اول) با داشتن بالاترین مقدار پارامتر ASV به‌عنوان ناپایدارترین محیط‌ها شناخته شدند. نتایج پارامتر میانگین رتبه (ASR) جهت بررسی پایداری محیط‌ها نیز نشان داد که محیط‌های E1 (گچساران سال اول)، E3 (گچساران سال سوم)، E11 (مغان سال دوم) و E12 (مغان سال سوم) با داشتن کمترین مقدار پارامتر ASR به‌عنوان پایدارترین و محیط‌های E7 (گنبد سال اول)، E5 (خرم‌آباد سال دوم)، E6 (خرم‌آباد سال سوم) و E4 (خرم‌آباد سال اول) با داشتن بالاترین مقدار پارامتر ASR به‌عنوان ناپایدارترین محیط‌ها شناخته شدند (جدول ۵). نکته قابل توجه این است که

جدول ۵. میانگین عملکرد دانه، مقادیر مؤلفه‌های اصلی و شماره محیط‌های مورد بررسی

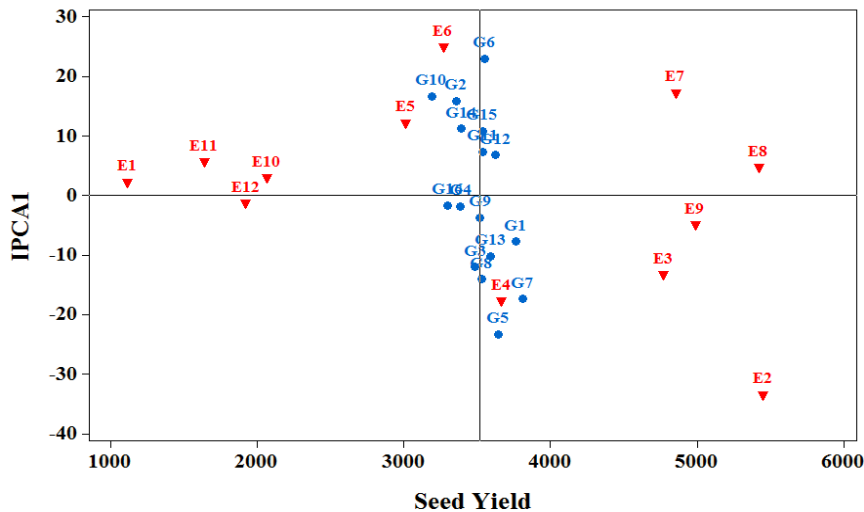
محیط‌ها	شماره	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	مؤلفه اصلی اول	مؤلفه اصلی دوم	مؤلفه اصلی سوم	مؤلفه اصلی چهارم	مؤلفه اصلی پنجم	مؤلفه اصلی ششم	مؤلفه اصلی هفتم	ASV
Gach1	E1	۱۱۱۹	۲/۳۲	۳/۶۲	۵/۷۰	-۱/۵۵	۰/۲۲	۴/۴۰	۲/۸۶	۵/۳۸
Gach2	E2	۵۴۵۰	-۳۳/۳۶	۹/۰۸	-۲۱/۲۷	۱۰/۹۰	۱۰/۶۸	-۵/۶۲	۰/۰۸۱	۴۳/۳۲
Gach3	E3	۴۷۷۳	-۱۳/۲۶	-۳۹/۸۷	۳/۱۲	-۱۰/۳۲	۱/۴۶	۱/۶۸	-۰/۲۹	۵۲/۶۴
Khoram1	E4	۳۶۶۵	-۱۷/۶۵	۱۰/۵۰	۱۱/۰۲	-۱۸/۴۰	۰/۶۹	-۲/۲۱	-۱۰/۵۱	۲۵/۷۳
Khoram2	E5	۳۰۱۵	۱۲/۲۷	۳/۳۷	-۲۰/۴۰	-۱۲/۵۱	-۲۳/۹۸	-۱۱/۹۳	۱/۷۹	۱۵/۹۴
Khoram3	E6	۳۲۷۲	۲۴/۹۵	-۲/۸۵	-۲۰/۷۸	-۳/۲۷	۱۵/۲۰	۱۰/۸۳	-۱۱/۲۲	۳۱/۴۶
Gonbad1	E7	۴۸۵۴	۱۷/۳۵	-۶/۱۶	۹/۸۳	۱۵/۴۸	۱۲/۷۱	۲۰/۳۰	-۰/۵۷	۲۳/۰۶
Gonbad2	E8	۵۴۱۹	۴/۷۵	۱۱/۹۹	۱۸/۸۱	-۲/۰۲	-۲/۷۵	-۰/۰۲	-۱۱/۹۳	۱۶/۱۵
Gonbad3	E9	۴۹۸۷	-۴/۸۵	-۵/۴۱	۲/۳۲	۲۵/۷۱	۲۰/۵۲	۸/۴۷	-۶/۵۳	۹/۱۰
Moghan1	E10	۲۰۷۰	۳/۰۱	۱۰/۰۸	۲/۰۰	۱/۹۰	۳/۶۱	۱۳/۱۳	۹/۵۱	۱۳/۱۸
Moghan2	E11	۱۶۴۱	۵/۶۸	-۲/۷۴	۵/۶۳	-۰/۹۲	-۱/۷۴	۲/۴۸	۱۴/۹۹	۷/۹۰
Moghan3	E12	۱۹۲۶	-۱/۲۱	۸/۳۸	۳/۹۹	-۴/۹۷	-۴/۴۰	-۰/۹۲	۱۱/۸۲	۱۰/۶۰
ASR										
Gach1	E1	۱۲	۲	۴	۶	۲	۱	۶	۵	۴/۷۵
Gach2	E2	۱	۱۲	۸	۱۲	۸	۸	۷	۱	۷/۱۲
Gach3	E3	۵	۸	۱۲	۳	۷	۳	۳	۲	۵/۳۷
Khoram1	E4	۶	۱۰	۱۰	۸	۱۱	۲	۴	۸	۷/۳۷
Khoram2	E5	۸	۷	۳	۱۰	۹	۱۲	۱۰	۴	۷/۸۷
Khoram3	E6	۷	۱۱	۲	۱۱	۵	۱۰	۹	۹	۸
Gonbad1	E7	۴	۹	۶	۷	۱۰	۹	۱۲	۳	۷/۵
Gonbad2	E8	۲	۴	۱۱	۹	۴	۵	۱	۱۱	۵/۸۷
Gonbad3	E9	۳	۵	۵	۲	۱۲	۱۱	۸	۶	۶/۵
Moghan1	E10	۹	۳	۹	۱	۳	۶	۱۱	۷	۶/۱۲
Moghan2	E11	۱۱	۶	۱	۵	۱	۴	۵	۱۲	۵/۶۲
Moghan3	E12	۱۰	۱	۷	۴	۶	۷	۲	۱۰	۵/۸۷

Average of Sum of Ranks, ASR: میانگین مجموع رتبه‌ها

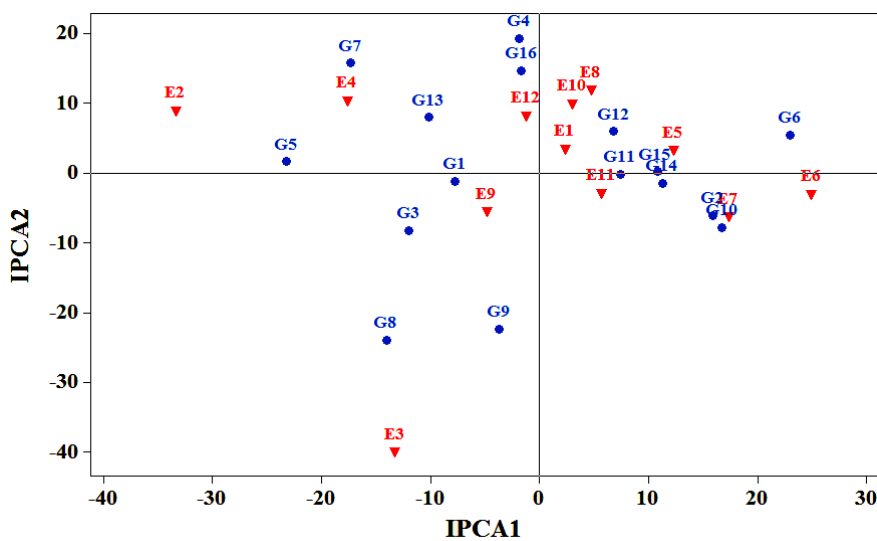
AMMI Stability value, ASV: شاخص ارزش پایداری AMMI

نشان می‌دهد. این دو مؤلفه در مجموع ۵۲/۵۷ درصد از تغییرات مربوط به اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کنند که سهم مؤلفه‌های اصلی اول و دوم برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط به ترتیب برابر با ۳۲/۱۵ و ۲۰/۴۲ درصد بود. در مجموع، ژنوتیپ‌هایی برای ما مهم هستند که از نظر مؤلفه اصلی اول و

کم‌بازده توصیه می‌شوند، به عبارتی این ژنوتیپ‌ها با مناطق ضعیف و کم‌بازده برهم‌کنش مثبت دارند (۲۶). در این مطالعه ژنوتیپ‌های G5 و G6 چنین وضعیتی را نشان می‌دهند. شکل ۲ بای‌پلات مؤلفه‌های اصلی اول و دوم اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد مطالعه را



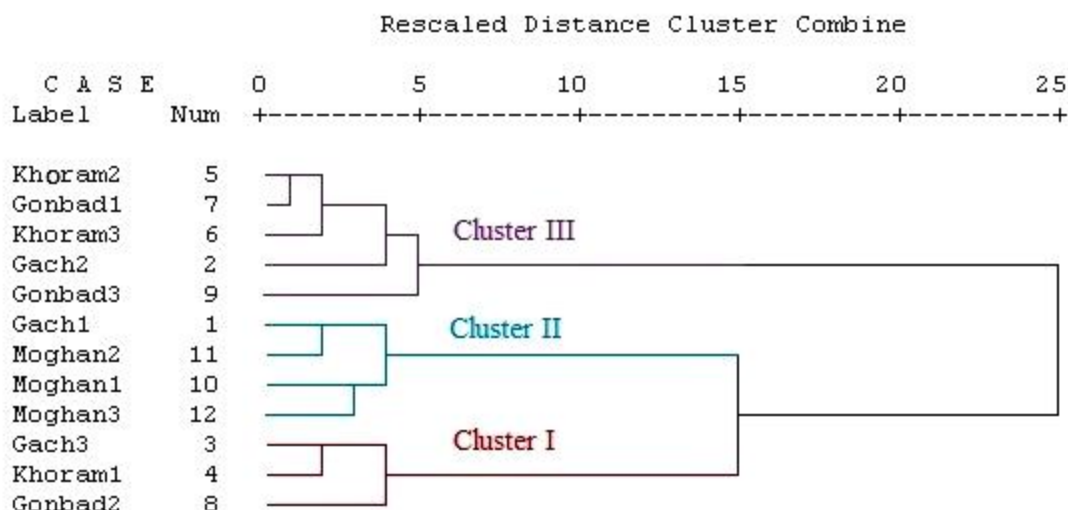
شکل ۱. نمودار بای پلات میانگین عملکرد دانه و اولین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای ۱۶ ژنوتیپ گندم نان و ۱۲ محیط. در مدل AMMI، E1 تا E3 به محیط گچساران سال اول تا سوم، E4 تا E6 به محیط خرم‌آباد سال اول تا سوم، E7 تا E9 به محیط گنبد سال اول تا سوم، E10 تا E12 به محیط مغان سال اول تا سوم و G1 تا G16 به ژنوتیپ‌های ۱ تا ۱۶ اشاره دارد. (رنگی در نسخه الکترونیک)



شکل ۲. نمودار بای پلات دو مؤلفه اصلی اول و دوم برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای ۱۶ ژنوتیپ گندم نان و ۱۲ محیط. در مدل AMMI، E1 تا E3 به محیط گچساران سال اول تا سوم، E4 تا E6 به محیط خرم‌آباد سال اول تا سوم، E7 تا E9 به محیط گنبد سال اول تا سوم، E10 تا E12 به محیط مغان سال اول تا سوم و G1 تا G16 به ژنوتیپ‌های ۱ تا ۱۶ اشاره دارد. (رنگی در نسخه الکترونیک)

ژنوتیپ یا محیطی نسبت به مبدا بای پلات کمتر باشد، آن ژنوتیپ یا محیط سهم کمتری در اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط دارا بوده و از پایداری بیشتری برخوردار است. برعکس فاصله بیشتر ژنوتیپ یا محیط از مبدا بای پلات نشان‌دهنده سهم بیشتر

همچنین مؤلفه اصلی دوم کم یا در حد صفر بوده و دارای میانگین عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل باشند، همچنین فاصله ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها از مبدا بای پلات تعیین‌کننده پایداری و ناپایداری آنها است. بدین معنی که هر چه فاصله



شکل ۳. گروه‌بندی محیط‌های مورد مطالعه بر اساس رتبه میانگین عملکرد دانه و هفت مؤلفه اصلی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر اساس روش Ward's (رنگی در نسخه الکترونیک)

گچساران سال اول با میزان عملکرد ۱۱۱۹ کیلوگرم در هکتار)، Moghan2 (E11) یا مغان سال دوم با میزان عملکرد ۱۶۴۱ کیلوگرم در هکتار)، Moghan3 (E12) یا مغان سال سوم با میزان عملکرد ۱۹۲۶ کیلوگرم در هکتار) و Moghan1 (E10) یا مغان سال اول با میزان عملکرد ۲۰۷۰ کیلوگرم در هکتار) بود و پنج محیط Khoram2 (E5) یا خرم آباد سال دوم با میزان عملکرد ۳۰۱۵ کیلوگرم در هکتار)، Gonbad1 (E7) یا گنبد سال اول با میزان عملکرد ۴۸۵۴ کیلوگرم در هکتار)، Khoram3 (E6) یا خرم آباد سال سوم با میزان عملکرد ۳۲۷۲ کیلوگرم در هکتار) و Gach2 (E2) یا گچساران سال دوم با میزان عملکرد ۵۴۵۰ کیلوگرم در هکتار) و Gonbad3 (E9) یا گنبد سال سوم با میزان عملکرد ۴۹۸۷ کیلوگرم در هکتار) نیز در گروه سوم (Cluster III) قرار گرفتند (شکل ۳). محیط‌هایی که در یک گروه قرار گرفتند، از نظر مقادیر برهمکنش ژنوتیپ × محیط نزدیک به هم هستند و محیط‌هایی با حداقل اثر متقاطع در گروه‌های متفاوت قرار می‌گیرند در مقابل محیط‌هایی که در گروه‌های متفاوت قرار می‌گیرند دارای برهمکنش متقاطع یا کراس‌آوری نسبت به هم هستند (۷). بنابراین در گروه اول (Cluster I) قرار گرفتن Gach3 (E3) یا گچساران سال سوم)، Khoram1 (E4) یا خرم آباد سال اول با میزان عملکرد ۳۶۶۵ کیلوگرم در هکتار) و Gonbad2 (E8) یا گنبد سال دوم با میزان عملکرد ۵۴۱۹ کیلوگرم در هکتار) بود. گروه دوم (Cluster II) شامل محیط‌های Gach1 (E1) یا

آن ژنوتیپ یا محیط در اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط بوده و در نتیجه نشان‌دهنده ناپایداری آن ژنوتیپ یا محیط است. با توجه به شکل ۲، از نظر ۲ مؤلفه اول و دوم تعامل، ژنوتیپ‌های G4، G8 و G9 دارای اثر متقابل بزرگی بوده و به‌همین دلیل ناپایدار هستند. ژنوتیپ‌های G1، G11، G12، G14، G15 و G16 از اثر متقابل کمتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند. از میان این ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ‌های G1، G11، G12 و G15 به‌دلیل داشتن میانگین عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل، به‌عنوان ژنوتیپ‌های با سازگاری عمومی خوب شناخته شدند. همانطور که گفته شد جهت تمایز و جدا کردن ژنوتیپ‌ها، محیط‌هایی مناسب می‌باشند که دارای سهم بیشتری در اثر متقابل بین ژنوتیپ و محیط باشند.

گروه‌بندی محیط‌ها بر مبنای رتبه میانگین عملکرد دانه محیط‌های مورد بررسی و هفت مؤلفه اصلی معنی‌دار انجام گرفت و سه گروه محیط شناسایی شدند (شکل ۳). گروه اول (Cluster I) شامل محیط‌های Gach3 (E3) یا گچساران سال سوم با میزان عملکرد ۴۷۷۳ کیلوگرم در هکتار)، Khoram1 (E4) یا خرم آباد سال اول با میزان عملکرد ۳۶۶۵ کیلوگرم در هکتار) و Gonbad2 (E8) یا گنبد سال دوم با میزان عملکرد ۵۴۱۹ کیلوگرم در هکتار) بود. گروه دوم (Cluster II) شامل محیط‌های Gach1 (E1) یا

از روش چند متغیره AMMI استفاده شد. بر اساس نتایج حاصل از بررسی میانگین رتبه عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و هفت مؤلفه اصلی اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط و پارامتر پایداری ASV، ژنوتیپ‌های G1، G11 و G12 به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه شناسایی شدند که می‌توانند نامزد معرفی ارقام جدید باشند. همچنین محیط خرم‌آباد به‌دلیل دارا بودن بیشترین سهم در اثر متقابل بین ژنوتیپ و محیط، به‌عنوان محیط ایده‌آل جهت تفکیک و تمایز ژنوتیپ‌های گندم نان شناخته شد. تجزیه خوشه‌ای محیط‌های مورد مطالعه را به سه گروه تفکیک کرد. قرار گرفتن هر سه سال آزمایش مربوط به منطقه مغان در یک گروه بیانگر قابلیت پیش‌بینی و تکرارپذیری بالای این منطقه است.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نگارندگان این مقاله، از موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور و معاونت موسسه که امکان انجام آزمایشات را فراهم نمودند کمال تشکر و قدردانی را دارند.

سال آزمایش مغان (Moghan1، Moghan2 و Moghan3) و Gach1 (E1 یا گچساران سال اول) و در گروه سوم قرار گرفتن هر سه سال آزمایش گنبد (Gonbad1، Gonbad2، Gonbad3) و خرم‌آباد سال دوم و سوم (Khoram2، Khoram3) در یک گروه نیز بیانگر قابلیت پیش‌بینی و تکرارپذیری بالاتر این ایستگاه نسبت به سایر ایستگاه‌ها بوده و حاکی از اثر متقابل افزایشی یا غیر کراس‌اور است (۷). به‌عبارت دیگر این امر نشان‌دهنده تغییرات اندک شرایط اقلیمی این مناطق در گروه‌های مورد بررسی بود که می‌تواند به‌عنوان مکان‌های مشابه در نظر گرفته شود و همچنین می‌تواند آزمایشات بررسی ژنوتیپ‌های گندم نان را با تعداد سال کمتری انجام داد. قرارگرفتن سال‌های اول، دوم و سوم ایستگاه‌های گچساران، گنبد و خرم‌آباد در گروه‌های جدا، نشان‌دهنده عدم تکرارپذیری و غیرقابل پیش‌بینی بودن این ایستگاه‌ها است. به‌عبارت دیگر این امر نشان‌دهنده تغییرات زیاد شرایط آب و هوایی این مناطق در طول سه سال مورد بررسی بود.

نتیجه‌گیری کلی

در این آزمایش، به‌منظور ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های گندم نان

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, J., B. Vaezi and A. Pour-Aboughadareh. 2016. Evaluation of forage yield stability of advanced lines of grass pea (*Lathyrus sativa* L.) by parametric and non-parametric methods. *Journal of Crop Breeding* 8: 149-159. (In Farsi).
- Akbarpour, O., B. Dehghani Sorkhi and H. G. Gauch-Jr. 2014. Evaluation of genotype \times environment interaction in barley (*Hordeum vulgare* L.) based on AMMI model using developed SAS program. *Journal of Agricultural Science and Technology* 16(4): 909-920. (In Farsi).
- Alizadeh, B., A. Rezaizad, M. Yazdandoost Hamedani, G. H. Shiresmaeili, F. Nasserghadimi, H. R. Khademhamzeh and A. Gholizadeh. 2020. Evaluation of Seed Yield Stability of Winter Rapeseed (*Brassica napus* L.) Genotypes using Non-Parametric Methods. *Journal of Crop Breeding* 12(35): 202-212.
- Alizadeh, B., A. Rezaizad, M. Yazdandoost Hamedani, G. H. Shiresmaeili, F. Nasserghadimi, H. R. Khademhamzeh and A. Gholizadeh. 2021. Analysis of genotype \times environment interaction for seed yield in winter rapeseed cultivars and lines using multivariate method of additive main effects and multiplicative interaction. *Journal of Crop Production and Processing* 11(1): 95-108. (In Farsi).
- Ebdon, J. and H. Gauch. 2002. AMMI analysis of national turfgrass performance trials. II. Cultivar recommendations. *Journal of Crop Science* 42: 497-506.
- Elias, A. A., K. R. Robbins, R. W. Doerge and M. R. Tuinstra. 2016. Half a century of studying genotype \times environment interactions in plant breeding experiments. *Crop Science* 56: 2090-2105.
- Esmailzadeh Moghaddam, M., S. Tahmasebi, G. A. Lotf Ali Ayeneh, H. Akbari Moghadam, M. Mahmoudi, M. Sayyahfar, S. M. Tabib Ghaffari and H. Zali. 2018. Yield stability evaluation of bread wheat promising lines using multivariate methods. *Cereal Research* 8: 333-344. (In Farsi).
- Falconer, D. S. 1981. *Introduction to Quantitative Genetics*. Longman, London, UK.

9. Fallahi, H. A., S. Ebrahimnejad, H. Sabouri, I. Lakzadeh, M. Ghasemi and K. Shirali. 2018. Evaluation of genotype \times interaction effects on grain yield of barely genotypes using additive main effects and multiplicative interactions (AMMI). *Journal of Crop Breeding* 9: 144-151. (In Farsi).
10. Fan, X. M., M. S. Kang, H. Chen, Y. Zhang, J. Tan and C. Xu. 2007. Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. *Agronomy Journal* 99: 220-228.
11. FAO. 2019. FAO Land and plant nutrition management service. Available online at: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush/>. Accessed 23 April 2019.
12. Farshadfar, E., N. Mahmodi and A. Yaghotipoor. 2011. AMMI stability value and simultaneous estimation of yield and yield stability in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Australian Journal of Crop Science* 5: 1837-1844. (In Farsi).
13. Gauch, H. G. 1988. Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics* 44: 705-715.
14. Gauch, H. G. 1992. Statistical Analysis of Regional Trials: AMMI Analysis of Factorial Designs. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
15. Gauch, H. G. and R. W. Zobel. 1996. AMMI analysis of yield trials. In: M. S Kang, H. G. Gauch, (eds.), Genotype by Environment Interaction. CRC Press, Boca Raton, New York.
16. Gauch, H. G. and R. W. Zobel. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science* 37(1): 311-326.
17. Ghaedrahmati, M., T. Hosseinpour and A. Ahmadi. 2017. Study of grain yield stability of durum wheat genotypes using AMMI. *Journal of Crop Breeding* 9: 67-75. (In Farsi).
18. Ghaffari, M., A. Gholizadeh, S. A. A. Andarkhor, A. A. Zareei Siahbidi, S. A. Kalantar Ahmadi, F. Shariati and A. Rezaeizad. 2021. Pattern analysis of genotype \times environment interaction for seed yield in sunflower using multivariate method of additive main effects and multiplicative interaction. *Journal of Crop Breeding* 13(9): 208-218.
19. Ghodrati-Niari, F. and R. Abdolshahi. 2014. Evaluation of yield stability of 40 bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes using additive main effects and multiplicative interaction (AMMI). *Iranian Journal of Crop Sciences* 16(4): 322-333. (In Farsi).
20. Inabangan-Asilo, M. A., B. M. Swamy, A. F. Amparado, G. I. L. Descalsota-Empleo, E. C. Arocena and R. Reinke. 2019. Stability and G \times E analysis of zinc-biofortified rice genotypes evaluated in diverse environments. *Euphytica* 215: 61-76.
21. Jafari, T. and E. Farshadfar. 2018. Stability analysis of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) by GGE biplot. *Cereal Research* 8: 199-208. (In Farsi).
22. Jahromi, M. A., M. Khodarahmi, A. R. Mohammadi and A. Mohammadi. 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 Farsi).
23. Jasemi, S. S., F. Naghipour, S. Sanjani, E. Esfandiyari, H. Khorsand and G. Najafian. 2017. Evaluation of quality properties of four wheats (*Triticum aestivum* L.) cultivars in wheat producing provinces of Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences* 19(2): 102-115. (In Farsi).
24. Karimizadeh, R., M. Mohammadi, N. Sabaghnia and M. K. Shefazadeh. 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.
25. Karimizadeh, R., T. Hosseinpour, P. Sharifi, J. A. Jafarby, K. Shahbazi Homonlo and K. Keshavarzi. 2020. Grain yield stability of durum wheat genotypes in semi-warm rainfed regions. *Cereal Research* 10(2): 135-147.
26. Khomari, A., K. Mostafavi and A. Mohammadi. 2017. Stability study of yield in sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars using AMMI method. *Journal of Crop Breeding* 9: 117-124. (In Farsi).
27. Mahdavi, A. M., N. Babaeian Jelodar, E. Farshadfar and N. Bagheri. 2020. Evaluation of stability and adaption of bread wheat genotypes using univariate statistics parameters and AMMI. *Plant Genetic Researches* 7: 19-32 (In Farsi).
28. MINITAB. INC. 2005. Minitab 14. User's guide. Harrisburg, Pennsylvania, USA.
29. Mohammadi, R., M. Armion, B. Sadeghzadeh, S. Golkari, Gh. Khalilzadeh, H. Ahmadi, Gh. AbediAsl and M. Eskandari. 2016. Assessment of grain yield stability and adaptability of rainfed durum wheat breeding lines. *Applied Field Crops Research* 29(4): 25-42. (In Farsi).
30. Mondal, S., R. P. Singh, E. R. Mason, J. Huerta-Espino, E. Autrique and A. K. Joshi. 2016. Grain yield, adaptation and progress in breeding for early-maturing and heat-tolerant wheat lines in South Asia. *Field Crops Research* 192: 78-85.
31. Najafi Mirak, T., A. A. Moayedi, Sh. Sasani and A. Ghandi. 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 Farsi).
32. Nowosad, K., A. Liersch, W. Popławska and J. Bocianowski. 2016. Genotype by environment interaction for seed

- yield in rapeseed (*Brassica napus* L.) using additive main effects and multiplicative interaction model. *Euphytica* 208: 187-194.
33. Pourdad, S. S. and M. Jamshidmoghaddam. 2013. Study on genotype \times environment interaction through GGE biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica napus* L.) in rain-fed condition. *Journal of Crop Breeding* 5: 1-13. (In Farsi).
 34. Purchase, J., H. Hatting and C. Van Deventer. 2000. Genotype \times environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. *Journal of Plant and Soil* 17: 101-107.
 35. Roostaei, M., R. Mohammadi and A. Amri. 2014. Rank correlation among different statistical models in ranking of winter wheat genotypes. *Crop Journal* 2: 154 -163.
 36. Rose, I. V. L. W., M. K. Das and C. M. Taliaferro. 2008. A comparison of dry matter yield stability assessment methods for small numbers of genotypes of Bermuda grass. *Euphytica* 164: 19-25.
 37. Sabaghnia, N., H. Dehghani and S. H. Sabaghpour. 2008. Graphical analysis of genotype by environment interaction for lentil yield in Iran. *Agronomy Journal* 100: 760-764.
 38. Sadeghzadeh, B., R. Mohammadi, H. Ahmadi, G. R. Abediasl, M. M. Ahmadi, M. Mohammadfam, N. Bahrami, M. S. Khaledian and A. A. Naserian. 2018. GGE biplot and AMMI application in the study of adaptability and grain yield stability of durum lines under dry-land conditions. *Environmental stresses in crop sciences* 11: 241-260.
 39. Safavi S. M and S. Bahraminejad. 2013. The evaluation of genotype \times environment interactions for grain yield of oat genotypes using AMMI model. *Journal of Crop Breeding* 9(22): 125-132. (In Farsi).
 40. Safavi, S. M. and S. Bahraminejad S. 2017. The evaluation of genotype \times environment interactions for grain yield of oat genotypes using AMMI model. *Journal of Crop Breeding* 9(22): 125-132. (In Farsi).
 41. Samonte, S. O. P. B., L. T. Wilson, A. M. McClung and J. C. Medley. 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE Biplot analysis. *Crop Science* 45: 2414-2424.
 42. SAS Institute Inc. 2011. Base SAS 9.1. Procedures Guide. SAS Institute, Lnc., Cary.
 43. Shahmohammadi, M., H. Dehghani and A. Yousefi. 2005. Stability analysis of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes in regional trial in cold zone. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 9(1): 143-155. (In Farsi).
 44. Sharifi, P., H. Aminpanah, R. Erfani, A. Mohaddesi and A. Abbasian. 2017. Evaluation of genotype \times environment interaction in rice based on AMMI model in Iran. *Rice Science* 24(3): 173-180.
 45. Shariftabar, M. M., M. Esmaeilzadeh Moghaddam, M. Khodarahmi and R. Bozorhipoor. 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.
 46. SPSS, I. 2010. SPSS 19. Users Guide. Chicago, IL., USA.
 47. Taherian, M., M. R. Bihamta, S. A. Peyghambari, H. Alizadeh and A. Rasoulnia. 2019. Stability analysis and selection of salinity tolerant barley genotypes. *Journal of Crop Breeding* 11: 93-103. (In Farsi).
 48. Trethowan, R. M., M. Van Ginkel, K. Ammar, J. Crossa, T. S. Payne, B. Cukadar, S. Rajaram and E. Hernandez. 2003. Associations among twenty years of international bread wheat yield evaluation environments. *Crop Science* 43: 1698-1711.
 49. Vaezi, B., A. Pour-Aboughadareh, R. Mohammadi, M. Armion, A. Mehraban, T. Hossein-Pour and M. Dorii. 2017. GGE biplot and AMMI analysis of barley yield performance in Iran. *Cereal Research Communications* 45: 500-511.
 50. Vaezi, B., A. Pour-Aboughadareh, R. Mohammadi, A. Mehraban, T. Hossein-Pour, E. Koohkan, S. Ghasemi, H. Moradkhani and K. H. Siddique. 2019. Integrating different stability models to investigate genotype \times environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes. *Euphytica* 215(63): 1-18.
 51. Zali, H., E. Farshadfar, S. H. Sabaghpour and R. Karimizadeh. 2012. Evaluation of genotype \times environment interaction in chickpea using measures of stability from AMMI model. *Annals of Biological Research* 3(7): 3126-3136.
 52. Zali, H., O. Sofalian, T. Hasanloo and A. Asghari. 2016. Evaluation of yield stability and drought tolerance based AMMI and GGE biplot analysis in *Brassica napus* L. *Agricultural Communication* 4(1): 1-8.

Grain Yield Stability Evaluation of Bread Wheat Genotypes Using AMMI Multivariate Methods

S. Abyar¹, S. Navabpour^{2*}, R. Karimizadeh³, A. Gholizadeh⁴, A. A. Nasrollahnejad ghomi⁵ and Gh. Kiani⁶

(Received: October 30-2021; Accepted: November 30-2021)

Abstract

Knowledge about genotype \times environment interaction helps breeders to select the best adaptable and stable genotypes for different regions. The main objective of this research was to select higher yielding bread wheat genotypes, compared to control cultivar, that are adaptable to the climatic conditions of the tropical and subtropical rainfed regions of Iran. Thus, 15 bread wheat genotypes selected from advanced yield comparison experiments, along with the check cultivar of Aftab, were studied in a randomized complete block design with three replications for three cropping seasons (2017-2020) in four regions (Gachsaran, Gonbad, Khorramabad and Moghan). In order to analyze the genotype \times environment interaction the multivariate method of Additive Main Effects and Multiplicative Interaction (AMMI) was used. The Results of combined analysis of variance indicated that 91.49, 1.54 and 5.03 percentage of the total variations are related to environment, genotype and genotype \times environment interaction, respectively. Moreover, results showed that the first seven principal components of the AMMI model were significant and explained 97.94% of genotype \times environment interactions. The biplot of mean grain yield and the first principle component of genotypes and environments revealed that genotypes G1, G12 and G11 with a higher grain yield than the overall mean and lowest genotype \times environment interaction were stable with high grain yield. Among them, genotype 11 with suitable general adaptability can be selected as promising genotype and a candidate for introducing a new cultivar for arid and semiarid rainfed regions. In this research, Khorramabad, with high proportion of genotype \times environment interaction was recognized as the ideal environment for differentiation and separation of bread wheat genotypes. The cluster analysis classified the studied environments into three groups. The inclusion of all three years experiments related to Moghan location in one group indicates the high predictability and repeatability of this region.

Keywords: Genotype \times environment interaction, Tropical and subtropical rainfed regions, Additive main effects and multiplicative interaction analysis, Stability analysis, Biplot.

-
- 1, 2 and 5. PhD. Student, Associate Professor and Assistant Professor, Respectively, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3. Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran
4. Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran
6. Associate Professor, Plant Breeding and Biotechnology Department, Faculty of Agricultural Sciences, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran
*: Corresponding Author, Email: s.navabpour@yahoo.com