

Stability analysis of advanced bread wheat (*Triticum aestivum* L.) lines using AMMI method

Tayebeh Jafari Nazarabadi¹, Ali Asghar Nasrollahnejad Ghomi^{*2},
Alaeddin Kordenaeej³, Khalil Zainalinezhad⁴

1. Ph.D. Student, Dept. of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: t.jafari2012@gmail.com
2. Corresponding Author, Dept. of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: nasrollahnejad@gau.ac.ir
3. Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran. E-mail: kordenaeej@shahed.ac.ir
4. Dept. of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: khalil1381@yahoo.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:

Received: 10.08.2021
Revised: 12.27.2021
Accepted: 01.22.2022

Keywords:

AMMI model,
Bread wheat,
Genotype × Environment
interaction,
Stability analysis

ABSTRACT

Background and Objectives: The interaction of genotype × environment complicates performance prediction and is a challenge for crop and breeding programs. Performance stability is critical to achieving high and uniform performance across a wide range of environments. The aim of this study was to investigate the interaction between genotype × environment and to study the compatibility and stability of advanced seven-line grain yield of bread wheat (BC2F6) resulting from cross-breeding of Tabasi local cultivar and modified Typhoon European variety using AMMI model and some stability statistics.

Materials and Methods: The experiment was conducted in a randomized complete blocks design with three replications during the cropping years (2017-2018) and (2018-2019) in Gorgan, Tehran and Kermanshah and stability analysis was performed for 6 environments. In the field, each plot was planted with a density of four hundred seeds per square meter. Each line was planted in plots with eight four-meter lines with 25 cm line spacing. At the end of the growing season, eight rows of four-meter spikes from each plot were harvested and threshed by hand, and the weight of the obtained grains was measured by a digital scale and reported in square meters.

Results: The results of analysis of variance of the main effects of collectible and multiplicative interaction (AMMI model) showed a significant difference in the level of one percent probability for the environment and the interaction of genotype × environment, which indicates different performance of genotypes in different environments. Therefore, sustainability can be examined. Genotype × environment interaction was divided into two main components by AMMI model. The first two components together accounted for 81.36% and the remaining components in the model accounted for 18.63% of the total variation of genotype × environment interaction. According to AMMI1 model, L4 and L6 lines and according to AMMI2 model, L4 and L7 lines were introduced as high performance and stability lines. Based on the results of Amy Stability Value Index (ASV), L4 and L5 lines and based on Genotype Selection Index (GSI), L4 and L6 lines were introduced as stable lines. The results of Rick equivalence method showed that lines L4, L7 and L3 had

the lowest value of this index. According to AMMI1 model, L2 and L7 lines with E1 environment (Gorgan, 2017-2018), and E4 (Tehran, 2018-2019) and L1, L5 and L3 lines with E3 environment (Tehran, 2017-2018) and according to the AMMI2 model, L2 line with E1 environment (Gorgan, 2017-2018), E2 (Gorgan, 2018-2019) and E4 (Tehran, 2018-2019) and L3 and L5 lines with E3 environment (Tehran, 2017-2018) and L1 line had private compatibility with E6 (Kermanshah, 2018-2019) and E5 (Kermanshah, 2017-2018) environments.

Conclusion: Based on all methods of measuring stability in this study and considering the grain yield potential, L4 had the highest general stability to the evaluated environments and was introduced as a stable line with high yield. Therefore, this line can be suggested for use in future breeding programs to introduce new cultivars. According to both AMMI1 and AMMI2 models, L2 line with E1 and E4 environments and L3 and L5 lines with E3 environment had the most private compatibility. If the cause of the interaction of genotype \times environment is predictive factors such as soil type, cultivation operation, the interaction of genotype \times environment will reduce by selection of genotypes with their private and specific adaptation to the environment, and we get the maximum production.

Cite this article: Jafari Nazarabadi, Tayebbeh, Nasrollahnejad Ghomi, Ali Asghar, Kordenaeej, Alaeddin, Zainalinezhad, Khalil. 2022. Stability analysis of advanced bread wheat (*Triticum aestivum* L.) lines using AMMI method. *Journal of Plant Production Research*, 29 (3), 127-141.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2022.19565.2883

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تجزیه پایداری لاین‌های پیشرفته گندم نان (*Triticum aestivum* L.) به روش AMMI

طیبه جعفری نظرآبادی^۱، علی اصغر نصراله‌نژاد قمی^{۲*}، علاءالدین کردنائیج^۳، خلیل زینلی‌نژاد^۴

۱. دانشجوی دکتری گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
رایانامه: t.jafari2012@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
رایانامه: nasrollahnejad@gu.ac.ir
۳. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران. رایانامه: kordenaeejaleddin@gmail.com
۴. گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
رایانامه: khalil1381@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: اثر متقابل ژنوتیپ × محیط باعث ایجاد پیچیدگی در پیش‌بینی عملکرد می‌شود و چالشی برای برنامه‌های به‌زراعی و به‌نژادی است. پایداری عملکرد برای به‌دست آوردن عملکرد بالا و یکنواخت در دامنه وسیعی از محیط‌ها، اهمیت بسیاری دارد. هدف از این پژوهش بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و مطالعه سازگاری و پایداری عملکرد دانه هفت لاین پیشرفته گندم نان (BC_2F_6) حاصل از تلاقی برگشتی رقم محلی طبعی و رقم‌های اروپایی اصلاح شده تایفون با استفاده از مدل AMMI و برخی آماره‌های پایداری بوده است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۶ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۲	مواد و روش‌ها: آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در طی سال‌های زراعی (۹۷-۱۳۹۶) و (۹۸-۱۳۹۷) در گرگان، تهران و کرمانشاه به اجرا درآمد و تجزیه پایداری برای ۶ محیط انجام شد. در مزرعه هر کرت با تراکم چهارصد بذر در مترمربع کشت شد. هر یک از لاین‌ها در کرت‌هایی با هشت خط چهار متری با فاصله خطوط ۲۵ سانتی‌متر کاشته شد. در پایان فصل محصول سنبله‌های هشت ردیف چهار متری از هر کرت به صورت دستی برداشت و خرمکوبی شد و وزن دانه‌های به‌دست آمده توسط ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری و در مترمربع گزارش شد.
واژه‌های کلیدی: برهمکنش ژنوتیپ در محیط، تجزیه پایداری، گندم، مدل AMMI	یافته‌ها: نتایج حاصل از تجزیه واریانس آثار اصلی جمع‌پذیر و اثر متقابل ضرب‌پذیر (مدل AMMI) اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد برای محیط و اثر متقابل ژنوتیپ ×

محیط نشان داد که بیانگر عملکرد متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف است و بنابراین می‌توان پایداری را بررسی نمود. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط توسط مدل AMMI به دو مؤلفه اصلی تفکیک شد. دو مؤلفه اول جمعاً ۸۱/۳۶ درصد و مؤلفه‌های باقی‌مانده در مدل ۱۸/۶۳ درصد از تغییرات کل اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. بر اساس مدل AMMI1 لاین‌های L4 و L6 و بر اساس مدل AMMI2 لاین‌های L4 و L7 به عنوان لاین‌هایی با عملکرد و پایداری بالا معرفی شدند. بر اساس نتایج حاصل از شاخص ارزش پایداری امی (ASV) لاین‌های L4 و L5 و بر اساس شاخص انتخاب ژنوتیپ (GSI) لاین‌های L4 و L6 به عنوان لاین‌هایی پایدار معرفی شدند. نتایج حاصل از روش اکووالانس ریک نشان داد که لاین‌های L4، L7 و L3 دارای کم‌ترین مقدار این شاخص بودند. بر اساس مدل AMMI1 لاین‌های L2 و L7 با محیط E1 (گرگان، ۹۶-۹۷) و E4 (تهران، ۹۷-۹۸) و لاین‌های L1، L5 و L3 با محیط E3 (تهران، ۹۶-۹۷) و بر اساس مدل AMMI2 لاین L2 با محیط E1 (گرگان، ۹۶-۹۷)، E2 (گرگان، ۹۷-۹۸) و E4 (تهران، ۹۷-۹۸) و لاین‌های L3 و L5 با محیط E3 (تهران، ۹۶-۹۷) و لاین L1 با محیط‌های E6 (کرمانشاه، ۹۷-۹۸) و E5 (کرمانشاه، ۹۶-۹۷) دارای سازگاری خصوصی بودند.

نتیجه‌گیری: بر اساس تمامی روش‌های اندازه‌گیری پایداری در این پژوهش و با در نظر گرفتن پتانسیل عملکرد دانه، لاین L4 بیش‌ترین پایداری عمومی را به محیط‌های مورد ارزیابی داشت و به عنوان لاین پایدار با عملکرد بالا معرفی شد. بنابراین می‌توان این لاین را برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی آتی جهت معرفی ارقام جدید پیشنهاد نمود. بر اساس هر دو مدل AMMI1 و AMMI2 لاین L2 با محیط‌های E1 و E4 و لاین‌های L3 و L5 با محیط E3 بیش‌ترین سازگاری خصوصی را داشتند. اگر علت اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، عوامل قابل پیش‌بینی مثل نوع خاک، عملیات کشت باشد، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را می‌توان با انتخاب ژنوتیپ‌های دارای سازگاری خصوصی و اختصاص دادن آن‌ها به محیط‌ها، کاهش داد و حداکثر تولید را داشته باشیم.

استناد: جعفری نظرآبادی، طیبیه، نصراله‌نژاد قمی، علی‌اصغر، کردنائیج، علاءالدین، زینلی‌نژاد، خلیل (۱۴۰۱). تجزیه پایداری لاین‌های پیشرفته گندم نان (*Triticum aestivum* L.) به روش AMMI. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۲۹ (۳)، ۱۴۱-۱۲۷.

DOI: 10.22069/JOPP.2022.19565.2883



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

گندم نان با نام علمی *Triticum aestivum* L. اصلی‌ترین غذای مردم جهان است (۱). مهم‌ترین بخش اقتصادی در گندم نان، عملکرد دانه می‌باشد که از برآیند اجزای عملکرد و دیگر صفات مرتبط با آن به دست می‌آید. ژنوتیپ‌ها، پاسخ‌های متفاوتی به شرایط محیطی مختلف می‌دهند و بنابراین انتخاب ژنوتیپ برتر از میان ژنوتیپ‌هایی که مورد بررسی قرار می‌گیرند برای به‌نژادگران همواره کار دشواری است (۲). هم‌چنین به تفاوت پاسخ عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط می‌گویند. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط درجه‌ای از عدم اطمینان در برتری هر ژنوتیپ را نشان می‌دهد (۳). اگر اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (ناپایداری) معنی‌دار و عوامل به وجود آورنده آن نیز مشخص باشد یا باید محیط و مدیریت و یا عوامل ژنتیکی ژنوتیپ را بهبود بخشید تا تولید حداکثر شود (۴). با تشخیص اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و عوامل به وجود آورنده آن، می‌توان از نوسانات عملکرد در محیط‌های مختلف جلوگیری و بیش‌ترین عملکرد دانه را داشت (۵). وضعیت گیاه زراعی یعنی فنوتیپ مشاهده شده تابع ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط می‌باشد. اثر اصلی و بزرگ محیط مربوط به ارزیابی ژنوتیپ نیست، بنابراین در بررسی ژنوتیپ باید از محیط صرف‌نظر و تمرکز فقط روی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط باشد. مهم‌ترین روش برای پی‌بردن به ماهیت اثر متقابل ژنوتیپ × محیط تجزیه پایداری می‌باشد. پایداری عملکرد به توانایی ژنوتیپ‌های گیاهی در بروز ظرفیت عملکرد در دامنه وسیعی از محیط‌ها اطلاق می‌شود. پایداری عملکرد به حداقل خسارت ناشی از تغییرات اقلیمی، تنش یا آفات نیز اطلاق می‌شود (۶). روش‌های تجزیه پایداری شامل روش‌های ناپارامتری و پارامتری است که روش‌های

پارامتری خود شامل تک‌متغیره و چند متغیره است، می‌باشد. در این میان، اطلاعات کامل‌تر و بیش‌تری از اثر متقابل ژنوتیپ × محیط توسط روش‌های آماری چند متغیره در اختیار قرار می‌گیرد (۷). در روش‌های معمول مثل تجزیه واریانس از مدل آماری جمع‌پذیر برای بررسی اثر اصلی محیط و ژنوتیپ استفاده می‌کند. اگرچه معمولاً جهت آزمون معنی‌داری اثر متقابل ژنوتیپ × محیط از تجزیه مرکب داده‌ها استفاده می‌شود اما امکان دارد نتیجه آزمون دقت لازم را نداشته باشد زیرا در این روش نقش محیط‌ها یا ژنوتیپ‌ها در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط مشخص نمی‌شود، بنابراین مدلی به نام $AMMI^1$ کشف شد که با یک روش آماری قدرتمند اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را تجزیه می‌کند (۸ و ۹). در مدل $AMMI$ ابتدا اثر اصلی جمع‌پذیر ژنوتیپ‌ها و محیط با استفاده از تجزیه واریانس اندازه‌گیری و سپس با استفاده از تجزیه به مؤلفه اصلی^۲ مقدار باقی‌مانده از تجزیه واریانس (اثر متقابل ضرب‌پذیر) مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد (۱۰، ۱۱ و ۱۲). بخش ضرب‌پذیر در مدل $AMMI$ اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را به یک تا N مؤلفه اصلی (PCA) تجزیه می‌نماید. مدل $AMMI$ در گروه مدل‌های چندمتغیره است و در ارتباط با متغیرهای پیوسته کاربرد وسیعی دارد، اما برای متغیرهای ناپیوسته مانند متغیرهای استفاده شده در بیماری‌های گیاهی، در صورتی که سودمندی مدل $AMMI$ به دلیل ایجاد غیریکنواختی واریانس‌ها کاهش یابد، باید مدل $AMMI$ را با داده‌های تبدیل شده اجرا کرد (۱۳). دقت برآورد عملکرد در روش $AMMI$ بیش‌تر است. از طرف دیگر مدل $AMMI$ برای داده‌های بدون تکرار نیز قابل اجرا است زیرا برآوردی از خطا به دست می‌دهد اما تجزیه واریانس در

1- Additive Main Effect and Multiplicative Interaction

2- Principal component analysis

ژنوتیپ با W_i^2 مساوی با صفر را پایدار می‌گویند. شایان ذکر است $\sum_i W_i^2 = SS(GE)$ کندل و همکاران (۲۰۱۹) با پژوهشی که بر روی لاین‌های امیدبخش جو انجام دادند برای بررسی پایداری عملکرد دانه و سازگاری خصوصی لاین‌ها از روش AMMI استفاده کردند (۱۷). در پژوهش‌ها (۲۰۱۵) که به‌منظور بررسی پایداری عملکرد دانه ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم بر مبنای مدل AMMI انجام شد، اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط به دو مؤلفه اصلی تفکیک و اثر محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (۱۸). پایداری عملکرد ۲۰ لاین امیدبخش گندم دوروم که در چهار منطقه با استفاده از مدل AMMI توسط مؤیدی و همکاران (۲۰۲۰) مورد ارزیابی قرار گرفت، نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های G1، G2 و G18 جزء ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا بودند (۱۹). در پژوهشی به‌منظور بررسی اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط که بر روی ۱۰ رقم جو با مدل AMMI انجام گرفت ارقام گرگان ۴، ماکوئی و نصرت نسبت به سایر ارقام مورد بررسی از بیش‌ترین پایداری برخوردار بودند (۲۰). شومن (۲۰۰۳) در آزمایشی برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط در آفتابگردان از مدل AMMI استفاده کرد (۲۱). آلبرت (۲۰۰۴) در بررسی پایداری هیبریدهای ذرت از روش‌های مختلف پایداری استفاده و با هم مقایسه کرد ولی در نهایت برای تجزیه پایداری مدل AMMI را مناسب‌ترین مدل معرفی کرد (۲۲).

هدف از انجام این پژوهش تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط و تعیین ژنوتیپ‌های دارای سازگاری عمومی و خصوصی با استفاده از مدل AMMI و برخی آماره‌های پایداری می‌باشد.

طرح‌های آزمایشی بدون تکرار قابل اجرا نیست (۴). روش AMMI مدلی تشخیصی است، AMMI برای تجزیه مقدماتی آزمایش‌های عملکرد روش مناسبی است زیرا توسط آن می‌توان مناسب‌ترین مدل را برای تجزیه داده‌ها شناسایی کرد (۸). عملکرد تصحیح‌شده حاصل از مدل AMMI را می‌توان در امر گزینش و یا در برنامه‌های اصلاحی دیگر وارد کرده و مورد استفاده قرار داد. اهمیت مدل AMMI در کاهش میزان مؤلفه‌های باقی‌مانده است و این موضوع حتی اگر مؤلفه‌های اصلی درصد کمی از مجموع مربعات منابع تغییر (مانند اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط) را نیز بیان کند، صادق است (۴ و ۱۴). از جمله آماره‌های مبتنی بر مدل AMMI، ارزش پایداری امی^۱ (ASV) و شاخص انتخاب ژنوتیپ^۲ (GSI) می‌باشد. مدل AMMI پایداری را به‌صورت کمی برآورد نمی‌کند. برآورد کمی پایداری برای رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس پایداری عملکرد آن‌ها بسیار ضروری است، از این رو بر مبنای مدل AMMI، شاخص ارزش پایداری امی (ASV) برای رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها ارائه شد (۴). در واقع ASV فاصله از صفر تا یک نمودار پراکنش دو بعدی از نمرات IPCA1 در مقابل نمرات IPCA2 می‌باشد. مقادیر ASV را می‌توان برای هر محیط نیز محاسبه نمود. یکی دیگر از روش‌های برآورد کمی پایداری، شاخص GSI می‌باشد. براساس شاخص GSI، پایداری با عملکرد هم‌زمان مورد بررسی قرار می‌گیرند (۱۵). از جمله روش‌های پارامتری تک‌متغیره برای بررسی پایداری، روش اکووالانس ریک است. پارامتر اکووالانس ریک (W_i^2) مستقیماً به اثر متقابل ژنوتیپ در محیط مربوط می‌شود (۱۶). نظر به این‌که اکووالانس سهم هر ژنوتیپ را در اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط اندازه می‌گیرد، بنابراین هر

1- AMMI stability value

2- Genotype Selection Index

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی و انتخاب لاین‌های پر محصول پایدار، پنج لاین تلاقی برگشتی پیشرفته (BC_2F_6) (BC-1, BC-2, BC-3, BC-4, BC-5) گندم نان همراه با والدین آن‌ها به نام‌های رقم محلی طبری و ارقام اصلاح‌شده اروپایی تایفون به‌عنوان والد تکرارشونده (برای سهولت در انجام تجزیه و کار، لاین‌ها از شماره ۱-۷ شماره‌گذاری شدند، جدول ۱) مورد مطالعه قرار گرفت. طبری یک رقم محلی است که از مجموعه‌ای از گندم بهاره در شمال شرق ایران انتخاب شده است و متحمل به خشکی، زودرس، همراه با ساقه‌های قوی و بلند، خوشه‌های ریشک‌دار، دانه‌های بلند و زرد رنگ می‌باشد. تایفون به عنوان یک رقم اصلاح شده اروپایی با عملکرد بالا، کیفیت نانوائی بالا و حساس به خشکی است که در سال ۲۰۰۳ در آلمان تولید شده است. تایفون و طبری تقریباً در تمام جنبه‌ها شامل پتانسیل تحمل به خشکی، ارتفاع گیاه، زمان خوشه‌دهی، میانگین تعداد دانه در خوشه، وزن هزاردانه، اندازه و رنگ دانه اختلاف آشکاری را نشان می‌دهند. این اختلافات فنوتیپی بین والدین تنوع مناسبی را بین لاین‌های جمعیت ایجاد کرده است. این پنج لاین قبل‌تر در قالب یک پژوهش از بین ۱۳۰ لاین تلاقی برگشتی پیشرفته و پس از ارزیابی‌های جامع کیفی و کمی محتوای گلوتن و اجزای آن انتخاب و گزینش شده‌اند. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. به‌منظور تجزیه پایداری، داده‌های عملکرد دانه در شش محیط مورد بررسی قرار گرفتند. محیط‌ها شامل E_1 (گرگان، ۹۶-۹۷)، E_2 (گرگان، ۹۷-۹۸)، E_3 (تهران، ۹۶-۹۷)، E_4 (تهران، ۹۷-۹۸)، E_5 (کرمانشاه، ۹۶-۹۷) و E_6 (کرمانشاه، ۹۷-۹۸) می‌باشند. منطقه کشت شده در گرگان در مدار ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۶ درجه و ۵۴ دقیقه عرض جغرافیایی با ارتفاع

۵/۵ متر از سطح دریا، منطقه مورد کشت در تهران در مدار ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۵ درجه و ۵۶ دقیقه عرض جغرافیایی با ارتفاع ۱۱۶۰ متر از سطح دریا و منطقه کشت شده در کرمانشاه در مدار ۴۷ درجه و ۹ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه عرض جغرافیایی با ارتفاع ۱۳۱۹ متر ارتفاع از سطح دریا قرار گرفته است. هر لاین در هشت خط چهار متری با فاصله خطوط ۲۵ سانتی‌متر کشت شد. تمامی عملیات زراعی مانند مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. در طول اجرای طرح از هیچ نوع کودی استفاده نشد. آزمون F برای معنی‌دار بودن همه منابع تغییر با استفاده از امید ریاضی میانگین مربعات با فرض تصادفی بودن اثر محیط و ثابت بودن اثر ژنوتیپ انجام شد. مدل آماری AMMI به شکل رابطه ۱ ارائه شده است (۸).

$$X_{ij0} = \mu + \alpha_i + Y_j + \sum_{n=1}^N \lambda_n \alpha_{in} \gamma_{jn} + \rho_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

که در آن، X_{ij0} میانگین ژنوتیپ، μ میانگین کل، α_i اثر ژنوتیپ، Y_j اثر محیط، λ_n مقدار منفرد است که جذر λ_k یعنی مقدار ویژه^۱ است، پس $\lambda_k = \sqrt{\lambda_k}$ می‌باشد، ρ_{ij} اثر نویز (Noise) که تفاوت مقدار برآورد شده با مقدار واقعی است و ε_{ijk} مقدار باقی‌مانده است. در این مدل بردار ویژه ژنوتیپ و γ_{jn} بردار ویژه محیط است (۲۳).

ارزش پایداری امی (AMMI) که برای اولین بار توسط پورچاز (۱۹۹۷) ارائه گردید با رابطه ۲ محاسبه می‌شود (۲۴):

$$ASV_i = \sqrt{\left[\frac{SS_{IPCA1}}{SS_{IPCA2}} (IPCA1score)^2 \right] + (IPCA2score)^2} \quad (2)$$

که در آن، R_{yi} رتبه میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها و $RASVi$ رتبه ارزش پایداری امی می‌باشد. برای محاسبه اکووالانس ریک از رابطه ۴ استفاده شد (۱۶):

$$W_i^2 = \sum (x_{ij} - \bar{x}_{i.} - \bar{x}_{.j} + \bar{x}_{..})^2 \quad (4)$$

در این پژوهش تشخیص نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16.0 انجام شد. برای تجزیه با مدل AMMI از نرم‌افزار IRRISTAT استفاده گردید.

که در آن، IPCA sum of square مجموع مربعات مؤلفه‌ها می‌باشد. از آن‌جا که نمره IPCA1 سهم بیش‌تری در مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط دارد، در این روش نسبت مجموع مربعات IPCA1 به مجموع مربعات IPCA2 به عنوان وزن به ارزش IPCA1 داده می‌شود.

شاخص انتخاب پایداری (GSIi) با رابطه ۳ محاسبه گردید (۱۵):

$$GSIi = RASVi + R_{yi} \quad (3)$$

جدول ۱- کد و نام لاین‌های مورد بررسی.

Table 1. Codes and names for studied lines.

کد Code	نام لاین‌ها Lines name
L1	طبسی
L2	تایفون
L3	BC-1
L4	BC-2
L5	BC-3
L6	BC-4
L7	BC-5

مطالعات کانگ و همکاران (۱۹۹۱) که بر روی پنج ژنوتیپ ذرت انجام شد، تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط معنی‌دار بود (۲۵). بیش‌ترین تغییرات داده‌ها به وسیله واریانس محیط (۷۵/۲۱ درصد) توجیه شد و ۱۸/۴۹ درصد از کل تغییرات مربوط به اثر متقابل لاین \times محیط بود که سه برابر واریانس توجیه شده توسط لاین‌ها (۶/۲۹ درصد) می‌باشد که نشان‌دهنده لزوم بررسی اثر متقابل لاین \times محیط می‌باشد. به دلیل کشت در سال‌های مختلف (۲ سال) و مکان‌های مختلف در هر سال، وجود قسمت بیش‌تر تغییرات مربوط به محیط قابل توجیه می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از مدل AMMI (جدول ۲)، اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد برای محیط و اثر متقابل لاین \times محیط نشان داد. معنی‌دار بودن اثر متقابل لاین \times محیط به این معنی است که لاین‌های مختلف در محیط‌های متفاوت واکنش یکسانی ندارند و اختلاف بین لاین‌ها از یک محیط به محیط دیگر متفاوت است، بنابراین جهت یافتن لاین‌های پایدار و هم‌چنین یافتن لاین‌های مناسب برای محیط‌های خاص، تجزیه و تحلیل اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط اجتناب‌ناپذیر است. در

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس با مدل AMMI برای لاین‌های گندم نان در محیط‌های مورد مطالعه.

Table 2. Analysis of variance with AMMI model for bread wheat lines for studied environments.

میانگین مربعات MS	SS%	مجموع مربعات SS	درجه آزادی df	منابع تغییر S.O.V.
101105**	75.21	505526	5	محیط Environment (E)
6657		79889	12	خطای ۱ (تکرار در محیط) Error1 (Replication × E)
7048 ^{ns}	6.29	42287	6	لاین Line
4144**	18.49	124321	30	لاین × محیط Line × Environment
6290**		62897	10	IPC ₁
4781*		38251	8	IPC ₂
1931 ^{ns}		23173	12	باقی مانده (نویز) Residual (Noise)
1859		133854	72	خطای ۲ Error2
	14.84			ضریب تغییرات (درصد) CV%

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and ** Significant at 5% and 1% levels of probability, respectively

لاین امیدبخش جو به همراه دو رقم شاهد از مدل AMMI استفاده کردند که دو مؤلفه اصلی اول ۶۸/۳ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند (۲۶). گاج (۲۰۰۶) تجزیه AMMI را برتر از مدل‌های دیگر دانست، و دلیل آن را بررسی و جدا کردن اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط عنوان کرد (۲۷). استفاده از بای‌پلات موجب تسهیل در درک اثرات متقابل لاین و محیط می‌شود. بای‌پلات حاصل از تجزیه AMMI لاین‌ها را بر اساس مقادیر مؤلفه‌های اصلی نشان می‌دهد. جهت بررسی پایداری و عملکرد دانه به طور هم‌زمان از نمودار AMMI استفاده شد. در نمودار حاصل از مدل AMMI محور X نمایانگر اثرات اصلی جمع‌پذیر یا میانگین اثر اصلی (میانگین عملکرد لاین‌ها و

به منظور تجزیه اثر متقابل لاین × محیط، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی روی ماتریس باقی‌مانده صورت گرفت. مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به دو مؤلفه اصلی معنی‌دار تفکیک که مؤلفه اول در سطح احتمال یک درصد و مؤلفه دوم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. مؤلفه اصلی اول (IPCA1) و دوم (IPCA2) به ترتیب ۵۰/۵۹ و ۳۰/۷۶ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را به خود اختصاص دادند. در مجموع دو مؤلفه اول ۸۱/۳۶ درصد از تغییرات کل اثر متقابل لاین × محیط را توجیه کردند. مؤلفه‌های باقی‌مانده در مدل ۱۸/۶۳ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را توجیه کردند. این مطلب برازش خوب مدل را نشان می‌دهد. برای و همکاران (۲۰۱۸) به منظور بررسی پایداری در ۱۸

با مقادیر مؤلفه اصلی بزرگ (مثبت یا منفی) که مقدار IPCA1 آن‌ها از صفر فاصله زیادی دارد، به عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی می‌شوند. در نتیجه لاین‌های L2 و L3 که به ترتیب با مقدار ۷/۸۶ و ۵/۶۰- دارای بیش‌ترین مقدار IPCA1 بودند و از خط افقی $IPCA=0$ بیش‌ترین فاصله را داشتند، به‌عنوان لاین‌های ناپایدار معرفی می‌شوند. در نمودار بای‌پلات AMMI لاین‌هایی که نمره IPCA بزرگ (مثبت یا منفی) دارند به نزدیک‌ترین محیط با علامت یکسان دارای سازگاری خصوصی هستند و برای آن محیط‌ها توصیه می‌شوند (۷). بنابراین لاین‌های L2 و L7 با محیط E1 (گرگان، ۹۷-۹۶) و E4 (تهران، ۹۷-۹۸) و لاین‌های L1، L5 و L3 با محیط E3 (تهران، ۹۷-۹۶) دارای سازگاری خصوصی بودند. محیط‌های E3، E5 و E6 دارای بیش‌ترین مقدار IPCA1 با علامت منفی بودند، بنابراین در این محیط‌ها روند واکنش لاین‌ها نسبت به چهار محیط دیگر متفاوت است. در فضای بای‌پلات هردو ژنوتیپی که حداکثر فاصله را با هم داشته باشند برای دورگیری انتخاب می‌شوند و ژنوتیپ‌هایی که نزدیک به هم قرار می‌گیرند در یک گروه قرار می‌گیرند. بنابراین یکی از مزایای بای‌پلات AMMI داشتن خصوصیات تجزیه خوشه‌ای است (۱۱).

محیط‌ها) و محور Y، اثرات متقابل ضربی یا نمرات IPCA1 لاین‌ها و محیط‌ها می‌باشد (شکل ۱). واحد محور افقی همان واحد اصلی داده‌ها و واحد محور عمودی جذر واحد اصلی داده‌ها می‌باشد، بنابراین ضرب مؤلفه اول یک ژنوتیپ در مؤلفه اول یک محیط که برآوردی از عملکرد آن لاین در آن محیط می‌باشد، سبب بازگشت واحد اصلی اندازه‌گیری می‌شود. میانه بای‌پلات نشان‌دهنده میانگین کل برای لاین‌ها و محیط‌ها می‌باشد. لاین‌هایی که روی خط افقی $IPCA=0$ قرار می‌گیرند اثرات متقابل کم و جزئی دارند، بنابراین دارای پایداری عمومی به محیط‌های مورد ارزیابی هستند (۲۸) و اگر میانگین عملکرد آن‌ها از میانگین کل بیش‌تر باشد به‌عنوان لاینی با عملکرد بالا شناخته می‌شوند. بنابراین لاین مطلوب لاینی است که IPCA1 نزدیک به صفر و میانگینی بیش‌تر از میانگین کل داشته باشد. با توجه به مدل AMMI لاین‌های L6، L4 و L5 به ترتیب با مقادیر ۱/۰۱، -۱/۴۳ و -۲/۴۷ به دلیل کم‌ترین فاصله به خط افقی $IPCA=0$ و داشتن کم‌ترین مقدار IPCA1 به عنوان لاین‌های پایدار با سازگاری عمومی و از این بین لاین‌های L6 و L4 با داشتن میانگین عملکرد دانه بیش‌تر از میانگین کل به عنوان لاین‌هایی با عملکرد بالا و پایدار معرفی می‌شوند. ژنوتیپ‌هایی

جدول ۳- مقادیر مؤلفه‌های اول و دوم برای لاین‌ها.

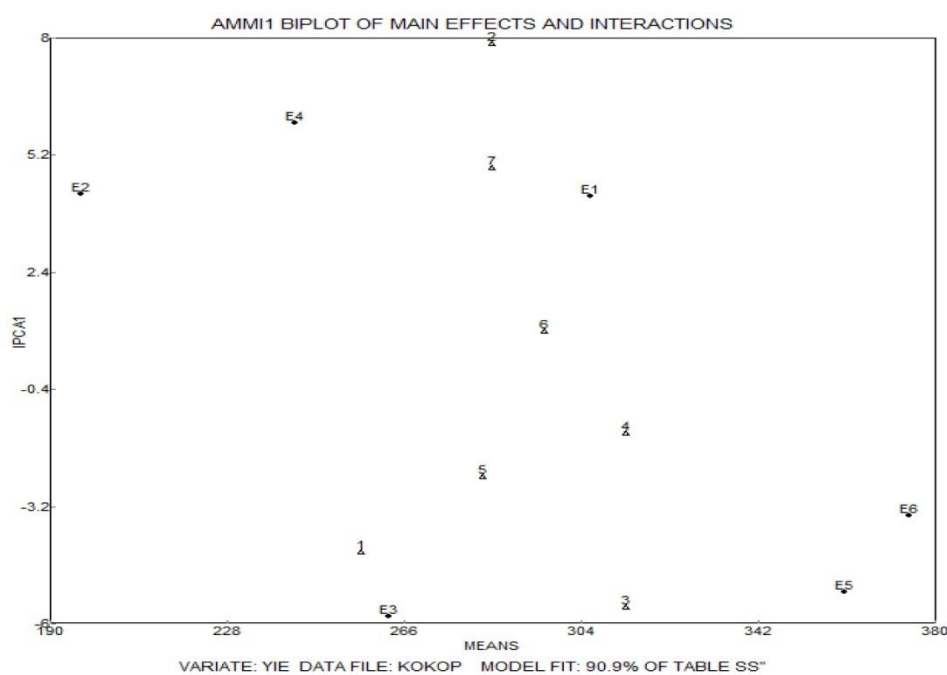
Table 3. First and second components amounts for Lines.

مؤلفه دوم IPCA2	مؤلفه اول IPCA1	میانگین عملکرد (گرم بر مترمربع) Mean yield (gr m ²)	لاین‌ها Lines
2.51	-4.26	256.9	1
-2.48	7.86	284.9	2
-2.49	-5.60	313.5	3
1.59	-1.43	313.6	4
-5.89	-2.47	282.8	5
7.50	1.01	296	6
-0.74	4.90	285	7

جدول ۴- مقادیر مؤلفه‌های اول و دوم برای ۶ محیط.

Table 4. First and second components amounts to 6 environment.

مؤلفه دوم IPCA2	مؤلفه اول IPCA1	میانگین عملکرد Mean yield	محیط Environment (E)
-0.15	4.21	306	E1 (گرگان، ۹۷-۹۶) E1 (Gorgan 2017-2018)
-1.46	4.27	196.5	E2 (گرگان، ۹۸-۹۷) E2 (Gorgan 2018-2019)
-8.07	-5.82	262.7	E3 (تهران، ۹۷-۹۶) E3 (Tehran 2017-2018)
0.33	5.98	242.5	E4 (تهران، ۹۸-۹۷) E4 (Tehran 2018-2019)
5.59	-5.22	360.4	E5 (کرمانشاه، ۹۷-۹۶) E5 (Kermanshah 2017-2018)
3.76	-3.41	374.4	E6 (کرمانشاه، ۹۸-۹۷) E6 (Kermanshah 2018-2019)



شکل ۱- بای پلات میانگین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و مقادیر اولین مؤلفه اصلی آنها (مدل AMMI1).

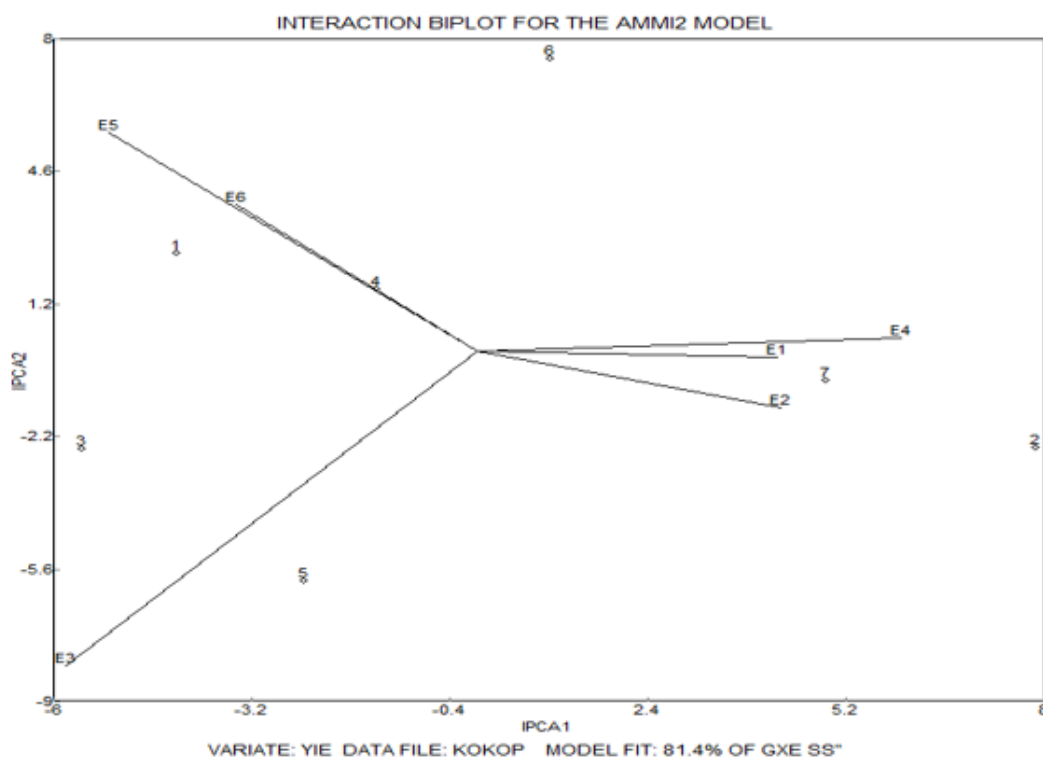
Fig. 1. Genotypes and environments biplot and values of their first components (Model AMMI1).

مؤلفه اصلی اول و دوم نقطه‌یابی می‌شوند و ژنوتیپ‌ها با نقاط کوچک و محیط‌ها به شکل بردار نمایش داده شده‌اند. گاج (۱۹۹۲) معتقد است که دو مؤلفه اصلی اول کافی است زیرا قسمت بیش‌تری از تغییرات را توضیح می‌دهد (۸). قرارگیری ژنوتیپ در مرکز محور

مؤلفه اول ۵۰/۵۹ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را توجیه کرد، بنابراین برای به‌دست آوردن اطلاعات و نتایج مطمئن‌تر از مؤلفه دوم نیز استفاده شد (۸) (مدل AMMI2، شکل ۲). در مدل دوم AMMI ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها براساس مقادیر دو

مقادیر IPCA1 و IPCA2 لاین‌های L2 و L6 بیش‌ترین فاصله را از مرکز بای‌پلات دارد و به عنوان لاین‌های ناپایدار انتخاب و از این میان لاین L6 (به دلیل میانگین عملکرد دانه بیش‌تر از میانگین کل) به عنوان لاینی با عملکرد بالا و ناپایدار معرفی می‌شود. بر اساس هر دو مدل AMMI1 و AMMI2 لاین L4 به عنوان لاین پایدار با عملکرد بالا معرفی می‌شود. بر اساس مدل AMMI2 لاین L2 با محیط‌های E1، E2 (منطقه گرگان) و E4 و لاین‌های L3 و L5 با محیط E3 و لاین L1 با محیط‌های E5 و E6 (منطقه کرمانشاه) دارای سازگاری خصوصی بودند.

مختصات بای پلات AMMI2 به این معنی است که آن ژنوتیپ دارای سازگاری عمومی بالا با محیط می‌باشد (۴). هر چه ژنوتیپ از مرکز بای‌پلات دورتر باشد یعنی طول بردار ژنوتیپی بلندتر باشد، آن ژنوتیپ ناپایدارتر و با محیط‌ها دارای اثر متقابل بیش‌تری است (۲۹). بنابراین بر اساس مقادیر مؤلفه اول و دوم IPCA لاین‌های L4 و L7 در کم‌ترین فاصله از مرکز بای‌پلات قرار گرفته و به عنوان لاین‌های پایدار معرفی می‌شوند زیرا اثرات متقابل لاین × محیط آن‌ها هم در IPCA1 و هم در IPCA2 معنی‌دار نیست و به دلیل میانگین بیش‌تر از میانگین کل، این لاین‌ها دارای سازگاری عمومی بالا نیز می‌باشد. بر اساس



شکل ۲- بای پلات مقادیر مؤلفه اصلی اول ارقام و محیط‌ها در برابر مؤلفه اصلی دوم آن‌ها (AMMI2).

Fig. 2. Biplot the values of the first principal component of the varieties and environments against their second principal component (AMMI2).

بالاترین مقدار GSI را داشتند و بر اساس این شاخص به عنوان لاین‌های ناپایدار با عملکرد نامطلوب معرفی شدند. لازم به ذکر است بر اساس نتایج حاصل از دو شاخص ASV و GSI لاین ۴ به‌عنوان لاین پایدار و لاین ۲ به عنوان ناپایدار معرفی شدند. سایر لاین‌ها نیز به عنوان لاین‌های با پایداری متوسط معرفی شدند. بر اساس آماره اکووالانس ریک لاین‌های L4، L7 و L3 به ترتیب با مقادیر ۳۸۴۱/۴۴، ۱۱۳۸۴/۵۷ و ۱۷۴۲۴/۰۳ با داشتن کم‌ترین مقادیر این پارامتر و هم‌چنین عملکرد بالاتر از میانگین کل به عنوان پایدارترین لاین‌ها با عملکرد بالا شناخته شدند. لاین‌های L2 و L6 به‌ترتیب با مقادیر ۳۱۳۵۶/۵۱ و ۲۲۸۵۴/۵۶ با بیش‌ترین مقادیر اکوالانس ریک لاین‌های ناپایدار معرفی می‌شوند. نجفیان و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی از مدل AMMI2 برای بررسی پایداری عملکرد و اختصاص دادن ژنوتیپ‌های دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های مورد مطالعه استفاده کردند (۳۰).

براساس نتایج حاصل از ASV، ژنوتیپ‌های دارای کم‌ترین مقدار این آماره به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف معرفی می‌شوند. بنابراین لاین‌های L4 و L5 به ترتیب با مقادیر ۲/۸۳ و ۷/۱۵ کم‌ترین مقدار ASV را داشتند و به عنوان لاین‌های پایدار معرفی می‌شوند و از این دو، لاین L4 به دلیل عملکرد دانه بیش‌تر از میانگین کل به عنوان پایدارترین لاین با عملکرد بالا انتخاب شد و لاین‌های L2 و L3 با داشتن بیش‌ترین مقدار ASV به ترتیب با مقادیر ۱۳/۱۶ و ۹/۵۳ به عنوان ناپایدارترین لاین‌ها معرفی شدند. برخی از پژوهش‌گران در بررسی اثر متقابل $G \times E$ پارامتر ASV را به علت دقت بیش‌تر نتایج به عنوان یک پارامتر مهم معرفی نموده‌اند (۱۳). بر اساس شاخص GSI نیز هرچه مقدار این شاخص کم‌تر باشد، ژنوتیپ پایدارتر با عملکرد بالاتر است. بنابراین براساس جدول ۵ لاین‌های L4 و L6 کم‌ترین مقدار GSI را به ترتیب با مقادیر ۲ و ۷ داشتند و به‌عنوان لاین‌های پایدار با عملکرد بالا معرفی شدند. لاین‌های L2 و L1 نیز به ترتیب با مقادیر ۱۲ و ۱۰

جدول ۵- مقادیر ارزش پایداری امی (ASV)، شاخص انتخاب ژنوتیپ (GSI) و اکوالانس ریک (W_i^2).

Table 5. AMMI stability value (ASV), Genotype Selection Index (GSI) and Wricke equivalence (W_i^2).

اکووالانس ریک W_i^2	شاخص انتخاب ژنوتیپ GSIi	رتبه ارزش پایداری امی RASVi	رتبه عملکرد Ry_i	ارزش پایداری امی ASVi	میانگین عملکرد Mean yield (g)	لاین‌ها Lines
19950.77	10	3	7	7.44	256.9	1
31356.51	12	7	5	13.16	284.9	2
17424.03	8	6	2	9.53	313.5	3
3841.444	2	1	1	2.83	313.6	4
17526.46	8	2	6	7.15	282.8	5
22854.56	7	4	3	7.68	296	6
11384.57	9	5	4	8.09	285	7

نتیجه‌گیری کلی

است که اصلاح‌کنندگان اطلاعات زیادی درباره ژنوتیپ‌ها و نیز محیط‌ها داشته باشند. به‌طور کلی براساس تمامی روش‌های مورد بررسی لاین L4 بیش‌ترین پایداری عمومی را به محیط‌های مورد ارزیابی داشت و به عنوان لاین پایدار با عملکرد بالا معرفی شد. بنابراین می‌توان این لاین را برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی آتی جهت معرفی ارقام جدید پیشنهاد نمود و L2 به عنوان ناپایدارترین لاین با عملکرد نامطلوب معرفی می‌شود بنابراین برای کشت در محیط‌های مورد آزمایش توصیه نمی‌شود. بر اساس هر دو مدل AMMI1 و AMMI2 لاین L2 با محیط‌های E1 و E4 و لاین‌های L3 و L5 با محیط E3 بیش‌ترین سازگاری خصوصی را داشتند.

در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل، اگر علت اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، عوامل قابل پیش‌بینی مثل نوع خاک، عملیات کشت باشد، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را می‌توان با انتخاب ژنوتیپ‌های دارای سازگاری خصوصی با محیط‌ها و اختصاص دادن آن‌ها به محیط‌ها، کاهش داد و حداکثر تولید را داشت. اگر عوامل محیطی غیرقابل پیش‌بینی علت اثر متقابل ژنوتیپ × محیط باشند (مثل تغییرات سال به سال در متغیرهای آب و هوایی)، در آن صورت برای کاهش اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و تولید حداکثر نیاز به روش‌های دیگری است که یکی از آن‌ها انتخاب ارقام دارای وضعیت پایدار با عملکرد بالا در شرایط متفاوت است (۲۷). برای پی بردن به علت‌های اثر متقابل ژنوتیپ × محیط مانند تنش‌های متعدد لازم

منابع

- Ghodrati-Niari, F. and Abdolshahi, R. 2014. Evaluation of yield stability of 40 bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes using additive main effects and multiplicative interaction (AMMI). *J. Crop Sci.* 16: 4. 322-333. (In Persian)
- Mohammadi, R., Haghparast, R., Amri, A. and Ceccarelli, S. 2010. Yield stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi-environment trials. *J. Crop Pasture Sci.* 61: 92-101.
- Gauch, H.G. and Zobel, R.W. 1996. AMMI analyses of yield trials. In Kang, M.S., and Gauch, H.G. (Eds.), *Genotype by Environment Interaction*. CRC. Boca Raton, Florida, pp. 85-122.
- Farshadfar, E. 2015. The interaction effect of genotype and environment in plant breeding. first volume. Islamic Azad University Press. Kermanshah. (In Persian)
- 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. *J. Plant and Seed.* 21: 561-576. (In Persian)
- Phoelman, J.M. and Sleper, D.A. 1996. *Breeding Field Crops* (4th edition). Iowa State University Press, Ames, USA.
- Croosa, J., Gauch, H.G. and Zobel, R.W. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of international maize cultivar trials. *J. Crop Sci.* 30: 493-500.
- Gauch, H.G. 1992. *Statistical analysis of regional trials. AMMI analysis of factorial designs*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands. 287p.
- Roustaei, M., Sadegh Zadeh Ahari, D., Hesami, A., Soleimani, K., Pashapour, H., Nader Mahmoudi, K., Pour Siyah Bidi, M.M., Ahmadi, M.M., Hasanpour Hasani, M. and Abedi Asl, Gh. 2003. Checking compatibility and performance stableness of, bread wheat genotypes in cold and temperate dry regions. *J. Plant and Seed.* 2: 263-280. (In Persian)
- Dohlert, D.C., Mc Mullen, M.S. and Hammond, J.I. 2001. Genotypic and environmental effects on grain yield and quality of oat grown in North Dakota. *J. Crop Sci.* 41: 1066-1072.

11. Farshadfar, E. 2010. New argument in biometry genetic. Islamic Azad university publication.
12. Yan, W. and Hunt, L.A. 2001. Interpretation of genotype \times environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *J. Crop Sci.* 41: 656-663.
13. Hayward, M., Bosemark, D. and Romagosa, L. 1993. Plant breeding. London: Chapman and Hall, U. K.
14. Ebdon, J.S. and Gauch, H.G. 2002. AMMI analysis of national turfgrass performance trials. II. Genotype recommendation. *J. Crop Sci.* 42: 497-506.
15. Farshadfar, E. 2008. In corporation of AMMI stability value and grain yield in a single Non- parametric Index (GSI) in Bread wheat. *Pakistan J. Biol. Sci.* 11: 14. 1791-1796.
16. Wricke, G. 1962. Uber eine method zur Erfassung der okologischen Streubreite in Feldversuchen. *Z. Pflanzenzuchtg.* 47: 92-96.
17. Kendal, E., Karamian, M., Tekdal, S. and Dogan, S. 2019. Analysis of promising barley (*Hordeum vulgare* L.) lines performance by AMMI and GGE BILOT in multiple traits and environment. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 17: 2. 5219-5233.
18. Homma, S. 2015. AMMI, stability and GGE biplot analysis of durum wheat grain yield for genotypes tested under some optimum and high moisture areas of Ethiopia. *Acad. J. Entomol.* 8: 3. 132-139.
19. Moayedi, A.A., Najafi Mirak, T., Taherian, M., Sasani, S. and Azarm, A. 2020. Evaluation of grain yield stability of durum wheat promising lines in moderate regions of Iran. *J. Agron.* 12: 2. 365-378. (In Persian with English Summary)
20. Badooei Delfard, R., Mostafavi, Kh. and Mohammadi, A. 2016. Genotype-environment interaction and yield stability of winter barley varieties (*Hordeum vulgare* L.). *J. Crop Breed.* 8: 20. 99-106. (In Persian)
21. Schoeman, L.J. 2003. Genotype \times environment interaction in sunflower (*Helianthus annuus*) in South Africa. MSc. Thesis, Department of Agronomy, University of the Free State, Bloemfontein, 84p.
22. Albert, M.J.A. 2004. A comparison of statistical methods to describe genotype \times environment interaction and yield stability in multi- location maize trials. MSc. Thesis. Department of Plant Sciences. The University of the Free State. Bloemfontein. 100p.
23. Gauch, H.G. and Zobel, R.W. 1989. Accuracy and selection success in yield trials analysis. *J. Theor. Appl. Genet.* 77: 443-481.
24. Purchase, J.L. 1997. Parametric analysis to describe G \times E interaction and yield stability in winter wheat. Ph.D. Thesis. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of the Orange Free State, Bloemfontein, South Africa.
25. Kang, M.S., Gorman, D.P. and Pham, H.N. 1991. Application of a stability statistic to international maize yield trials. *J. Theor. Appl. Genet.* 81: 162-165.
26. Barati, A., Tabatabae, S.A., Mahlooji, M. and Saberi, M.H. 2018. Assessment of grain yield stability of barley (*Hordeum vulgare* L.) promising lines under salinity stress using non-parametric and AMMI analysis methods. *J. Crop Sci.* 20: 3. 209-221. (In Persian with English Abstract)
27. Gauch, H.G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *J. Crop Sci.* 46: 1488-1500.
28. Romagosa, M. and Fox, P.N. 1993. Integration of statistical and physiological adaptation in barley cultivars. *J. Theor. Appl. Genet.* 86: 822- 826.
29. Nachit, M.M., Nachit, G., Ketata, H., Gauch, H.G. and Zobel, R.W. 1992. Use of AMMI and linear regression models to analyze genotype- environments interaction in Durum wheat. *J. Theor. Appl. Genet.* 83: 597-601.
30. Najafian, G., Kaffashi, A.K. and Jafar-Nezhad, A. 2010. Analysis of grain yield stability in hexaploid wheat genotypes grown in temperate regions of Iran using additive main effects and multiplicative interaction. *J. Agri. Sci.* 12: 213-222.

