

آنالیز پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های ی (Hordeum vulgare L.) استفاده از الگوی به اثرات
اصلی جمع‌ر و اثرات متقابل ضرب (AMMI)
Analysis of yield stability of barley (Hordeum vulgare L.) genotypes- using
additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) model

رضا نیکخواه^۱، احمد یوسفی^۲ مهدی مرتضویان^۳ و محسن آرمجو^۴

چکیده

نیکخواه، ح. ر.، ا. یوسفی، س. م. مرتضویان و م. آرمجو. پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های (Hordeum vulgare L.) استفاده از الگوی تجزیه اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب (AMMI). مجله علوم زراعی ایران. ۳۳ (۳): ۳۰-۳۵.

وجود اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، از مشکلات عمده ارزیابی و معرفی ژنوتیپ‌های برتر می‌باشد. منظور شناسایی و معرفی ارقام پرمحصول و در عین حال پایدار و سازگار به شرایط محیطی مناطق معتدل کشور، آزمایش بررسی سازگاری و پایداری عملکرد لاین امیدبخش جو برای مناطق معتدل کشور در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقاتی طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۹۱ و ۱۳۹۱-۱۳۹۲ انجام و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس عملکرد نشان داد که اثر ژنوتیپ محیط و اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط دار بود. جهت تفسیر اثر متقابل از روش AMMI استفاده شد. با استفاده از روش چند متغیره AMMI، پنج مؤلفه اصلی اثر متقابل در سطح احتمال ۱٪ دار شد که ۱۰٪ از مربعات اثر متقابل را توجیه کردند. ژنوتیپ‌های شماره (L.B1/Cerbel//Alger-Ceres 5/3/Glorea"s") و شماره (L.131/Cerbel//Alger-Ceres/Kavir) از لحاظ IPC_1 و IPC_2 ، کمترین مقادیر را دارا بودند و به عنوان پایدارترین ژنوتیپ انتخاب داده شدند. دو بعدی ژنوتیپ‌ها بر اساس پارامترهای تجزیه AMMI به همراه عملکرد ژنوتیپ‌ها نشان داد که ژنوتیپ شماره (LB.Iran/Una8271//Gloria"s"/Come"s"-11M/3/Kavir) و ژنوتیپ شماره ۱۱ ژنوتیپ‌های مطلوب برای استفاده در محیط‌های نژادی می‌باشد.

کلمات کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط، AMMI، جو، عملکرد دانه، پایداری عملکرد، مناطق معتدل.

نتیجه‌گیری

در روش‌های مختلف اصلاح نباتات و ژنوتیپ‌های برتر، از مراحل پایانی برنامه‌های نژادی استفاده می‌شود. بنابراین انجام آزمایشات در قالب طرح‌های آماری تکراردار در مقیاس هدف معرفی ژنوتیپ برتر برای این مناطق مورد نظر می‌باشد ضروری است. اثر متقابل معنی‌دار برای صفاتی مثل عملکرد موجب کاهش پیشرفت در گزینش شده و توصیه ژنوتیپ‌ها برای مناطق مختلف را مشکل و محدود می‌سازد (Kang and Gaush, 1996). در عین حال با افزایش واریانس اثر متقابل، همبستگی بین مقادیر فنوتیپی و ژنوتیپی و در نهایت پاسخ به گزینش کاهش می‌یابد (Aastveti and Aastveti, 1993).

در شرایطی که بحث اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ ارقام وجود داشته باشد، سازگاری و پایداری ارقام مطرح می‌شود. سازگاری یک رقم ظرفیت ژنتیکی رقم برای تولید عملکرد بالا و پایداری در محیط‌های متفاوت (فرشادفر، ۱۳۹۳).

نظر به اینکه ارقام در محیط‌های مختلف دارای سازگاری متفاوتی هستند، سازگاری را به سازگاری عمومی و سازگاری خاص تقسیم می‌کنند. ارقامی که دارای سازگاری عمومی هستند در اکثر محیط‌ها عملکرد مشابهی دارند و عملکرد آن‌ها در غالب ارقامها قابل قبول است. ولی ممکن است عملکرد آن‌ها حداکثر در یک ارقام خاص است. اما ارقامی که دارای سازگاری خصوصی هستند در یک یا چند محیط خاص واجد حداکثر عملکرد هستند و با آن محیط‌های خاص سازگاری نشان داده‌اند، اما در سایر محیط‌ها عملکرد قابل قبولی ندارند (فرشادفر، ۱۳۹۳).

واکنش ژنوتیپ‌های مختلف به شرایط محیطی متفاوت می‌تواند به صورت یک رابطه چند متغیره باشد که در فضایی چند بعدی قابل توصیف است (شاه‌محمدی، ۱۳۹۳). تجزیه پایداری با استفاده از آماره‌های چند متغیره، در روش‌های گوناگونی به کار

گرفته شده است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به روش‌های تجزیه‌ای، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب (Additive Main effects and Multiplicative Interaction=AMMI) اشاره کرد. مدل AMMI برای سایر روش‌ها کاراتر و معتبرتر است و در آن به نوعی از تجزیه‌ای اصلی و همچنین تجزیه خوشه‌ای در قالب تجزیه الگوی (Pattern Analysis) واکنش ژنوتیپی استفاده می‌شود. مدل AMMI اثرات اصلی افزایشی حاصل از تجزیه واریانس را با تجزیه به مؤلفه‌های اصلی اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ ارقام (Kang and Gaush, 1996).

از روش AMMI برای انتخاب الگوهای سازگاری و پایداری عملکرد در محصولات متفاوت و توسط ارقام مختلف استفاده شده است: کروسا و همکاران (Crossa et al., 1990) با استفاده از مدل AMMI در تجزیه داده‌های حاصل از دو سری آزمایشات بین‌المللی ارقام ذرت، ضمن تفسیر اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط، از آن جهت پیش‌بینی عملکرد ژنوتیپ‌ها استفاده کردند. نتایج حاکی از آن بود که مدل AMMI دقت تخمین عملکرد را معادل دقت حاصل از افزایش تعداد تکرار افزایش می‌داد.

نایت و همکاران (Nachit et al., 1992) در تجزیه پایداری عملکرد ژنوتیپ گندم دوروم در ارقام مدیترانه‌ای نیمه مرطوب در سال زراعی ۱۳۸۵-۱۳۸۶ میلادی، از مدل رگرسیون خطی و AMMI استفاده کردند. با استفاده از مدل AMMI پنج محور مؤلفه اصلی اثر متقابل معنی‌دار به دست آمد. در این مطالعه تجزیه پایداری با استفاده از روش AMMI دقیق‌تر از روش رگرسیون بود.

انیکچاریکو (Annicchiarico, 1997) در مقایسه مدل رگرسیونی خطی و AMMI در تفسیر اثر متقابل داده‌های سه آزمایش گندم دوروم، دو آزمایش ذرت و یک آزمایش گندم نان و یولاف، دریافت که توانایی بیشتر

نان را به همراه رقم سرداری به مدت ۱ سال در دو شرایط آبی و دیم در کرمانشاه مورد ارزیابی قرار دادند. پس از انجام تجزیه به مؤلفه های اصلی روی ماتریس باقی مانده، سه مؤلفه اصلی نخست معنی دار شد و مدل AMMI χ^2 در صد از تغییرات اثر متقابل را توضیح داد. اساس نمایش دو بعدی مدل، لاین های پایدار و لاین های با سازگاری خصوصی شناسایی شدند و گروه بندی ژنوتیپ ها و محیط ها بر این اساس صورت گرفت.

با وجود تحقیقات متعدد در زمینه پایداری عملکرد و اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط، تفاوت های ژنتیکی و شرایط محیطی هر آزمایش، مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط را در شرایط اختصاصی آن آزمایش الزامی می نماید. عبارت دیگر انجام مطالعات پایداری عملکرد و اثر متقابل در هر آزمایش به هیچ عنوان پاسخ گوی این نیاز در آزمایشات مستقل دیگر نیست. بنابراین با توجه به نیاز شدیدی که به وجود ارقام با عملکرد بالا و در عین حال پایدار جو در مناطق معتدل کشور وجود دارد، نیاز به مطالعاتی را در محصول جو ضروری می نماید. سطح زیر کشت جو آبی در مناطق معتدل کشور حدود ۱۰۰ هزار هکتار و با تولید بیش از یک میلیون تن محصول دانه جو اهمیت این محصول را در این مناطق نشان می دهد. با توجه به موارد مذکور شناسایی ژنوتیپ ها با سازگاری عمومی برای اقلیم معتدل کشور و ارزیابی سازگاری خصوصی آن ها برای زیر منطقه های این اقلیم از اهداف این تحقیق بود.

مواد و روش ها

به منظور معرفی ژنوتیپ های پر محصول، سازگار و با عملکرد پایدار جو برای مناطق معتدل کشور، آزمایش یکنواخت سراسری لاین های امیدبخش جو با استفاده از ۱۰ ژنوتیپ (جدول ۱) در ایستگاه منطقه معتدل کشور شامل کرج، اصفهان، کرمان، یزد، بیرجند، زرقان، نیشابور، کلاردشت و ورامین در سال های زراعی ۱۳۸۵-۱۳۸۶

مدل AMMI محدود به گیاه خاصی نیست بلکه در شرایطی که محدودیت های محیطی تاثیر بیشتری بر پاسخ ژنوتیپ ها گذارد این روش کار آیی بیشتری داشت.

اسنلر و همکاران (Sneller et al., 1997) در مطالعه پارامترهای پایداری عملکرد و تکرارپذیری آن ها در گیاه سویا در سال های ۱۹۹۰-۱۹۹۵ میلادی پارامترهای S^2di و δ_i^2 نه پارامتر پایداری AMMI را محاسبه کردند. نتایج آماره های پایداری مشتق از مدل AMMI نتایج حاصل از آماره های S^2di و δ_i^2 مشابه بود. تکرارپذیری دو آماره ضریب رگرسیون و یک آماره AMMI به خصوص برای تخمین های محیطی در طی دو سال، متوسط بود.

ویکای و (Weikai and Hunt, 2001) در مطالعه آزمایشات عملکرد گندم زمستانه در انتاریو در کانادا در خلال سال های ۱۹۹۰-۱۹۹۵ میلادی، از تجزیه به مقادیر منفرد استفاده کردند. آن ها گزارش کرد که ارتفاع گیاه و رسیدگی دو عامل ژنتیکی اساسی ایجاد کننده اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط و سرما در فصل زمستان و گرما در تابستان عوامل اصلی محیطی ایجاد کننده اثر متقابل مذکور بودند.

شاه محمدی (۱۳۸۵) در ارزیابی پایداری ژنوتیپ جو در ده ایستگاه منطقه سرد کشور به مدت سه سال پارامترهای مختلف پایداری را محاسبه و ژنوتیپ های پایدار را با استفاده از روش را $SIPC_1$ و $AMGE_1$ (با استفاده از معیارهای AMMI $SIPC_1$ = Sum of the value of IPC Scores و $AMGE_1$ = Sum across environments of GEI و EV_1 = Eigen Vector values) و استفاده از تجزیه واکنش ژنوتیپی ارقام با سازگاری عمومی و خصوصی مشخص شدند و نتایج همبستگی معیارهای پایداری نشان داد که $SIPC_1$ و $AMGE_1$ دارای داشتند.

نژاد و فرشاده (۱۳۸۵) به منظور مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و تجزیه پایداری، لاین گندم

ایاری به مقدار کافی برای تمام دوره رشد و نمو انجام گردید. در پایان سال زراعی محصول کرت‌های آزمایشی به‌طور جداگانه برداشت و توزین شد و عملکرد دانه کرت‌ها اندازه‌گیری شدند.

پیش از انجام تجزیه واریانس مرکب از مون و واریانس خطاهای آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت انجام شد. جهت بهره‌گیری از اطلاعات گسترده تجزیه پایداری به روش‌های چند متغیره از روش AMMI استفاده شد. و ضمن تجزیه واریانس بر این اساس، مقادیر مؤلفه‌های اصلی اثر متقابل برای هر ژنوتیپ و مکان استخراج شد، و با استفاده از پارامترهای پایداری AMMI و نمایش دو بعدی، سازگاری عمومی و خصوصی ژنوتیپ‌ها مورد مطالعه قرار گرفت.

و -۱۱ (به مدت دو سال) با استفاده از طرح بلوک‌های تصادفی با سه تکرار انجام شد. ژنوتیپ‌های لاین امید بخش جدید جو همراه با دو شاهد (رقم ریحان و لاین MB73-6 یا کارون × ۱۱۱۱۱) بود. کرت‌های آزمایشی شامل دو پشته و روی هر پشته سه به طول شش متر بود. پهنای هر پشته برابر ۱۱ متر و عرض هر کرت برابر ۱۱/۱۱ متر بود. $11/11 \times 11 = 133$ مربع بود که پس از حذف نیم متر از بالا و پایین هر کرت مساحت برداشت هر کرت $11/11 \times 11 = 121$ مربع گردید. میزان بذر بر اساس دانه در هر مترمربع منظور شد. در سال‌های اجرای آزمایش عملیات تهیه زمین طبق عرف معمول انجام گرفت. تعداد دفعات ایاری براساس نیاز گیاه و به شرایط محیطی هر ایستگاه انجام شد. در کلیه مناطق

جدول ۱- شجره ژنوتیپ‌های

Table 1. Pedigree of barley genotypes

Entry	Parents/Pedigree
1	Check-1(Rihane)
2	Karoon/CS.53/Hiproly/Productive
3	Suifu/Walfajre/Desnud Navaro
4	C.C.89/VA 88-11-7
5	Th.Unk.48/Badia
6	Composit-1-92-6
7	Rihane//Aths/Bc
8	LB.Iran/Una 8271//Gloria"S"/3/Kavir
9	LB.Iran/Una 8271//Gloria"S"/Come"s"-11M/3/Kavir
10	Kavir/IFB
11	AS 46/Aths*2/(CM67/Centeno/Rubur)
12	Comp89-9CR-79-07/Atem//APM/HC1905//Rubur
13	Walfajre/Miraj1
14	Walfajre//Antares/Izmir252 2
15	Ashar/Rojo
16	L.131/Cerbel//Alger-Ceres/3/Gloria"s"- Copal"s"
17	L.131/Cerbel//Alger-Ceres/3/Kavir
18	Delisa/Alger-Ceres//Jeferson/PI1245
19	L.640/Productive
20	Check-2 (Karoon/Kavir)

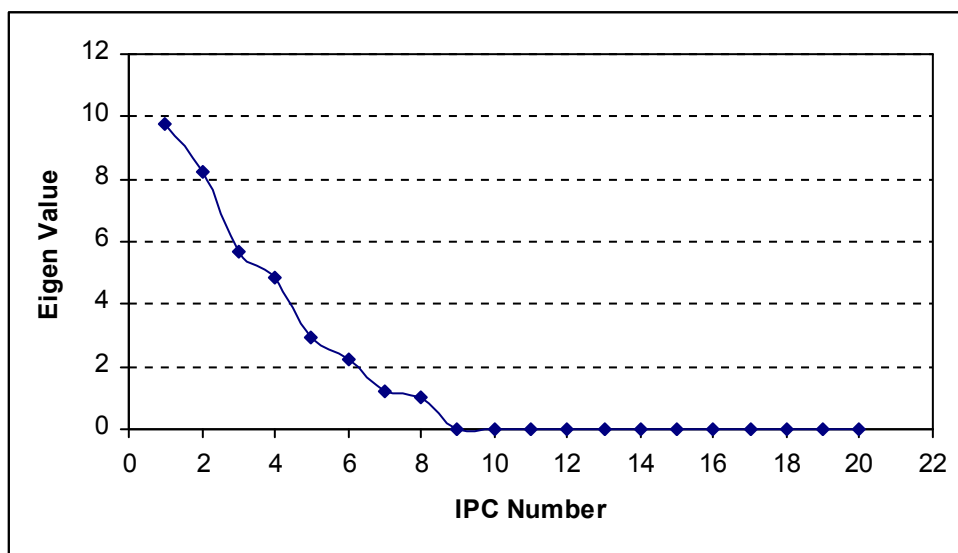
واریانس خطای آزمایشات در سطح %
رد نشد.

نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه بر مبنای روش AMMI در جدول آورده شده است. χ^2 ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط و مؤلفه اول از ترکیب χ^2 مؤلفه اصلی اثر متقابل در سطح احتمال % χ^2 دار بود. پانزده χ^2 باقیمانده اثر متقابل (Noise) ادغام شدند و در آزمون کارآیی مدل بکار رفتند. نمودار رتبه بندی χ^2 های اصلی که در آن محور افقی نشان دهنده شماره χ^2 های اصلی و محور عمودی بیانگر ریشه های χ^2 باشند ترسیم گردید (شکل ۱). χ^2 طوریکه مشاهده می شود χ^2 مؤلفه اصلی اثر متقابل، بیشترین سهم را در بیان اثر متقابل ژنوتیپ و محیط داشتند و بیش از هفتاد درصد تغییرات کلی را توجیه کردند. χ^2 بودن F مدل بیانگر برآزش خوب مدل AMMI χ^2 داده ها بود.

پارامترهای پایداری مدل AMMI χ^2 SIPC (Sum of the value of IPC Scores) به عنوان مجموع قدر مطلق مقادیر IPC (χ^2 کفه اصلی اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ χ^2 ژنوتیپ ها و EV (Eigen Vector values) عنوان میانگین مربعات بردارهای ویژه ژنوتیپی نیز محاسبه و نمودارهای دو بعدی مربوط به این پارامترها و میانگین عملکرد برای ژنوتیپ ها و مکان ها رسم و ژنوتیپ های پرمحصول، سازگار و با عملکرد پایدار بر این اساس معرفی χ^2 .

نتیجه و بحث

پیش از انجام تجزیه واریانس مرکب، به منظور آزمون χ^2 واریانس خطاهای آزمایشی، آزمون بارتلت انجام شد. با توجه به این که آماره χ^2 درجه آزادی χ^2 از مقدار آن در جدول χ^2 سطح احتمال % χ^2 تر بود، بنابراین فرض χ^2



شکل ۱- نمودار رتبه بندی χ^2 های اصلی اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط

Figure 1. GEI principle component screegraph for G * E interaction

سهم اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط از درجه آزادی کل χ^2 بود. در مدل AMMI سهم اولین مؤلفه اصلی

اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط در حدود % χ^2 مجموع مربعات کل را به خود اختصاص داد. χ^2

AMMI5 باقیمانده اثر متقابل α/α از مجموع مربعات
اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط و α/α از تغییرات کل را
تشکیل داد.

از مجموع مربعات اثر متقابل $G \times E$ بود و α/α
اول در مجموع α/α از مجموع مربعات اثر
متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط را تبیین کردند. در مدل

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد دانه ۲۰ ژنوتیپ بر مبنای روش AMMI

Table 2. Analysis of variance of grain yield for 20 barley genotypes in 18 environments- using AMMI

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)	آزمون F
Genotype (G)	ژنوتیپ	19	3.67	6.07**
Env. (E)	محیط	17	92.19	152.46**
G $\times$ E	ژنوتیپ $\times$ محیط	323	1.06	1.76**
Model	مدل	361	5.49	9.08**
IPCA 1	مؤلفه اول	34	2.25	3.72**
IPCA 2	مؤلفه دوم	32	2.01	3.32**
IPCA 3	مؤلفه سوم	30	1.52	2.52**
IPCA 4	مؤلفه چهارم	28	1.43	2.37**
IPCA 5	مؤلفه پنجم	26	1.11	1.84**
Noise	باقیمانده اثر متقابل	173	0.50	0.83 ^{ns}
Error	خطا	718	0.60	

* و **: α/α دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ درصد می باشد.

پایدار بودند. ژنوتیپ های
(LB.Iran/Una 8271//Gloria"S"/3/Kavir)
(C.C.89/VA 88-11-7) با بیشترین مقدار مؤلفه اول،
بیشترین نقش را در مؤلفه اول اثر متقابل داشتند و از این
لحاظ ناپایدارترین بودند. بر اساس دومین مؤلفه اصلی
اثر متقابل که بعد از اولین مؤلفه بیشترین توجیه را برای
اثر متقابل به خود اختصاص داده بود، ژنوتیپ های
(Kavir/IFB) و (L.131/Cerbel//Alger-)
(Ceres/3/(Gloria"s"Copal"s") با کمترین مقدار
پایدارترین ژنوتیپ ها بودند (جدول ۲). همچنین از لحاظ
مقادیر مؤلفه اول اثرات متقابل برای محیط ها، زرقان و
یزد کمترین مقدار و کرج و اصفهان بیشترین مقدار را
دارا بودند (جدول ۲).

جهت انجام تجزیه AMMI و تعیین مقادیر
های اصلی هر یک از ژنوتیپ ها و محیط ها
و همچنین محاسبه پارامترهای پایداری AMMI
بردارهای ویژه ژنوتیپ α/α بردار ویژه محیط
(η_j)، مقادیر ویژه مؤلفه ها و مقادیر مؤلفه های اصلی
اثر متقابل (IPC) برای ژنوتیپ (جدول ۲) و محیط
(جدول ۲) بر اساس اولین مؤلفه اصلی
اثر متقابل، بدون در نظر گرفتن علامت، ژنوتیپ
شماره ۱ (AS 46/Aths*2/(CM67/Centeno/Rubur)
کمترین مقدار (۰-۱) پایدارترین ژنوتیپ بود.
پس از این ژنوتیپ، ژنوتیپ های
(L.131/Cerbel//Alger-Ceres/3/Kavir) و
(Karoony/CS.53/Hiproly//Productive) جزء ژنوتیپ های

جدول ۳- مقادیر ویژه و مؤلفه های اصلی اثر متقابل اول تا پنجم بر مبنای مدل AMMI5 برای ژنوتیپ ها

Table 3. Genotypic Eigen values and principle components of first to fifth interactions based on AMMI5

ژنوتیپ (Genotype)	اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل ژنوتیپ × مکان (IPC ₁)	دومین مؤلفه اصلی اثر متقابل ژنوتیپ × مکان (IPC ₂)	سومین مؤلفه اصلی اثر متقابل ژنوتیپ × مکان (IPC ₃)	چهارمین مؤلفه اصلی اثر متقابل ژنوتیپ × مکان (IPC ₄)	پنجمین مؤلفه اصلی اثر متقابل ژنوتیپ × مکان (IPC ₅)
مقادیر ویژه (Eigen value)	9.7669	8.2084	5.6516	4.8366	2.9604
13	0.676	-0.357	-0.261	-0.489	-0.171
14	0.668	0.256	0.563	0.190	0.149
12	0.625	0.462	0.306	0.497	0.012
15	0.606	-0.538	0.010	-0.268	0.322
10	-0.527	0.011	-0.447	0.482	0.061
7	-0.665	-0.507	0.350	0.240	-0.278
4	-0.713	-0.232	-0.138	-0.065	0.398
8	-0.800	-0.455	0.137	0.142	0.236
1	-0.211	0.736	0.421	-0.260	-0.189
11	-0.009	0.670	-0.352	0.221	0.573
9	-0.532	0.669	0.051	-0.200	0.278
2	-0.039	0.623	-0.602	0.415	-0.057
6	-0.296	-0.654	0.250	-0.360	0.037
5	0.237	-0.692	0.335	0.494	0.128
18	0.557	-0.151	-0.694	0.356	0.024
16	-0.272	0.025	-0.715	-0.018	-0.544
17	0.020	-0.130	-0.761	-0.091	-0.366
19	-0.075	0.419	0.332	-0.772	-0.029
3	0.306	0.116	0.636	0.133	-0.645
20	0.064	0.198	-0.208	-0.617	-0.201

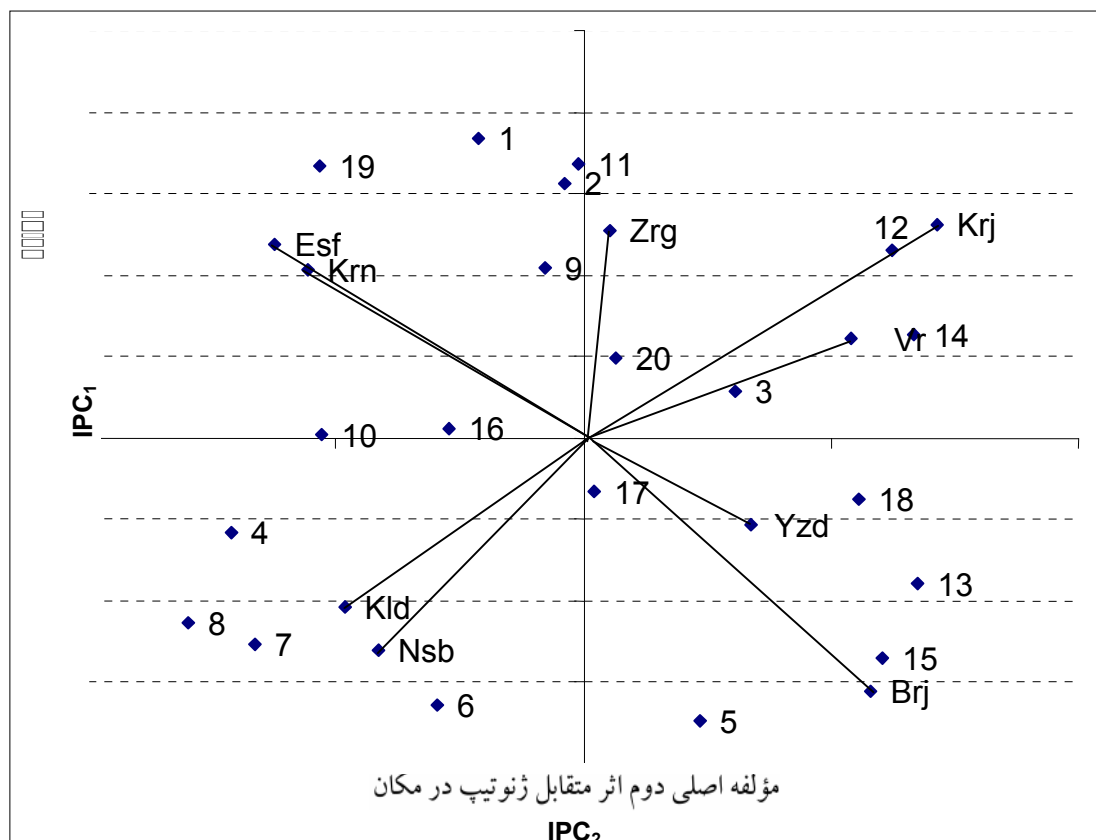
جدول ۴- مقادیر ویژه و مؤلفه های اصلی اثر متقابل اول تا پنجم بر مبنای مدل AMMI5 برای مکان ها

Table 4. Location eigen values and principle components of first to fifth interactions based on AMMI5

مکان (Location)	اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل ژنوتیپ × مکان (IPC ₁)	دومین مؤلفه اصلی اثر متقابل ژنوتیپ × مکان (IPC ₂)	سومین مؤلفه اصلی اثر متقابل ژنوتیپ × مکان (IPC ₃)	چهارمین مؤلفه اصلی اثر متقابل ژنوتیپ × مکان (IPC ₄)	پنجمین مؤلفه اصلی اثر متقابل ژنوتیپ × مکان (IPC ₅)
مقادیر ویژه (Eigen value)	9.767	8.208	5.652	4.837	2.961
Esfahan (2)	-0.623	0.475	-0.023	-0.072	-0.194
Kerman (5)	-0.556	0.414	0.094	0.375	-0.452
Yazd (3)	0.339	-0.213	-0.237	-0.789	-0.197
Karaj (1)	0.713	0.524	0.164	-0.291	-0.017
Zarghan (7)	0.052	0.510	0.054	0.311	0.733
Birjand (6)	0.578	-0.620	0.007	0.453	-0.176
Klardasht (9)	-0.482	-0.414	-0.714	-0.072	0.176
Neishabour (4)	-0.415	-0.522	0.703	-0.183	0.136
Varamin (8)	0.539	0.240	-0.198	0.358	0.094

نمودار دو بعدی محور عمودی اثرات متقابل ضربی یا مقادیر اولین مؤلفه اصلی و محور افقی نمایانگر اثرات متقابل ضربی یا مقادیر دومین مؤلفه اصلی می باشد.

به منظور ارزیابی تغییرات محیطها و همچنین ارتباط دادن ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار در شرایط های مختلف از نمودار دو بعدی استفاده گردید (Figure 2).



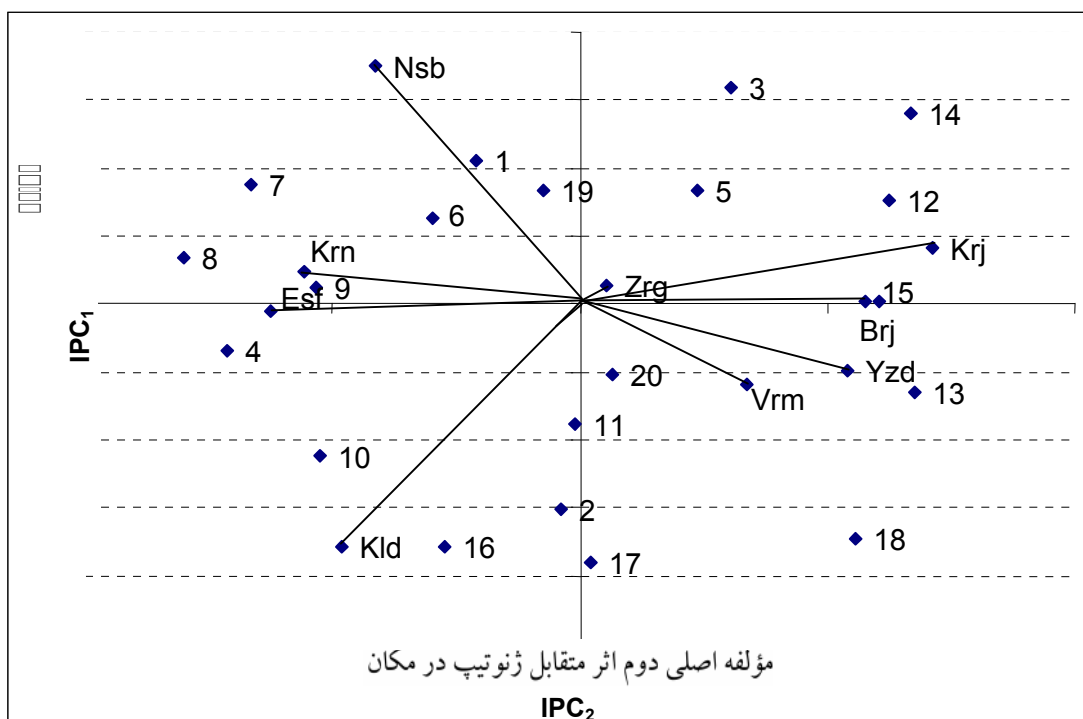
شکل ۲- نمودار دو بعدی، دو مؤلفه اصلی اول و دوم اثر متقابل ژنوتیپ * مکان
Fig. 2. GEI Biplot using first and second principle components

مکان‌های بیرجند (Brj) و یزد (Yzd) بودند. بر اساس روند تغییرات محیطی در دو مکان (Brj) و یزد (Yzd) دلیل زاویه حاده بین این دو بردار محیطی همسو و با دلیل زاویه عمود مکان‌های نیشابور (Nsb) و کلاردشت (Kld) مستقل از آن است. بنابراین با توجه به اینکه مکان‌ها به چهار گروه تقسیم شدند. طوریکه ایستگاه‌های کرج و ورامین و تا حدودی زرقان در یک گروه، بیرجند و یزد، کلاردشت و نیشابور، و اصفهان و کرمان با هم در گروه‌های دیگر قرار می‌گیرند. بر اساس نمودار دو بعدی دو مؤلفه اول و دوم (ژنوتیپ‌های شماره ۱ تا ۲۰ و ۱ تا ۱۰)

با توجه به نمودار دو بعدی (Figure 2) دو مؤلفه اول که بیشترین تغییرات را نشان می‌دهند (حدود ۳۰٪ از کل مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را توجیه می‌دهند)، ژنوتیپ‌هایی که در مجاورت مکان‌های هم جوار قرار می‌گیرند دارای سازگاری خصوصی و ژنوتیپ‌هایی که در نزدیکی خطوط مؤلفه اصلی متقابل قرار گرفته‌اند دارای سازگاری عمومی می‌باشند. بنابراین ژنوتیپ‌های ۱ تا ۱۰ و ۱۱ تا ۲۰ مکان‌های کرج (Krj) و ورامین (Vrm) و ژنوتیپ‌های ۱ تا ۱۰ و ۱۱ تا ۲۰ مکان‌های نیشابور (Nsb) و کلاردشت (Kld) و ژنوتیپ‌های ۱ تا ۱۰ و ۱۱ تا ۲۰ دارای سازگاری خصوصی با

همراه نباشد که به نظر می رسد که این به ان دلیل است IP_1 و IP_2 های مختلف، ابعاد متفاوت و متعامدی از اثر متقابل را کمی می سازند، بنابراین IP_1 و IP_2 سازگاری خصوصی در نمودارهای دو بعدی (IP_1 و IP_2) تا حدی متفاوت است. به هر حال جهت تعیین سازگاری خصوصی، نمودار دو بعدی IP_1 و IP_2 چون با توجیه درصد بیشتری از تغییرات، را توضیح دهد، قابل اسنادتر می باشد.

جزء پایدارترین ژنوتیپ ها بودند. ولی براساس نمودار دو بعدی دو مؤلفه اول و سوم (IP_1 و IP_3) ژنوتیپ $LB.Iran/Una\ 8271//Gloria"S"/Come"s$ (-) (11M/3/Kavir) روی محور قرار گرفته که نشان می دهد حداقل تغیرات را تحت شرایط مختلف اوقات بارا بوده است. ممکن است مقایسه نتایج دو نمودار، نتایج کاملاً مشابهی برای سازگاری ژنوتیپ های مختلف به خاص



شکل ۳- نمودار دو بعدی با دو مؤلفه اصلی اول و سوم اثرات متقابل ژنوتیپ در مکان

Fig. 3. GEI Biplot using first (IP_1) and third (IP_3) principle components

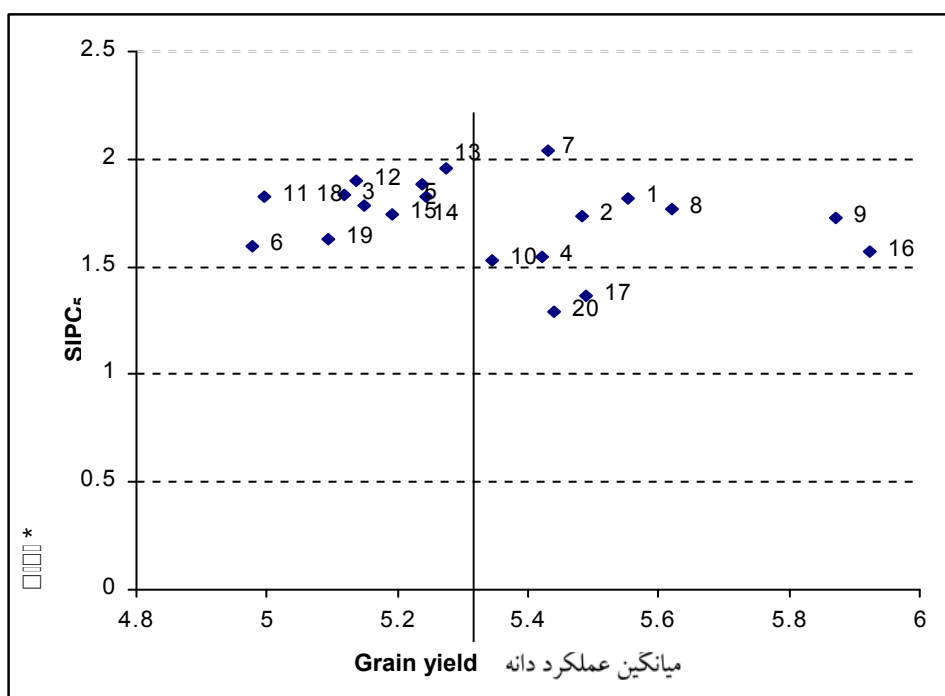
صفر حاکی از عدم اثر متقابل ژنوتیپ در محیط برای ژنوتیپ مربوطه است و مقادیر بزرگ: نشان دهنده وجود اثر متقابل است. بنابراین برای IP_1 و IP_2 ژنوتیپ با عملکرد پایدار و برتر، تجزیه الکوی واکنش ژنوتیپی (نمودار دو بعدی) بر مبنای آماره پایداری $SIPC_5$ و میانگین عملکرد ژنوتیپ (IP_1 و IP_2) و EV_5 و میانگین عملکرد ژنوتیپ (IP_1 و IP_2) انجام شد.

به منظور بررسی دقیق تر پایداری ژنوتیپ ها از دو پارامتر مدل AMMI استفاده شد. این پارامترها شامل $SIPC_5$ به عنوان مجموع قدر مطلق مقادیر IP_1 ژنوتیپ و EV_5 به عنوان میانگین مربعات مقادیر بردار ویژه ژنوتیپی برای مؤلفه اول، که توسط مدل AMMI₅ توصیه شده است، بودند (جدول ۱). اساس دو معیار $SIPC_5$ و EV_5 ، قدر مطلق مقادیر کوچک و نزدیک

جدول ۵- بین عملکرد دانه و پارامترهای برآورد شده اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در مدل AMMI5

Table 5. Means of grain yield and estimated parameters of GEI based on AMMI5

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه تن در هکتار Grain yield (t/ha)	میانگین مربعات بردارهای ویژه ژنوتیپی EV ₅	مجموع قدر مطلق مقادیر پنج مؤلفه اصلی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط SIPC ₅
13	5.275	0.02596	1.9538
14	5.244	0.02435	1.8254
12	5.136	0.02676	1.9029
15	5.191	0.02181	1.7429
10	5.345	0.02249	1.5267
7	5.430	0.02522	2.0397
4	5.420	0.01909	1.5448
8	5.621	0.02193	1.7689
1	5.553	0.02466	1.8169
11	4.997	0.03090	1.8243
9	5.870	0.02165	1.7300
2	5.484	0.02955	1.7352
6	4.978	0.01985	1.5969
5	5.239	0.02755	1.8859
18	5.150	0.02920	1.7815
16	5.922	0.03186	1.5733
17	5.488	0.02681	1.3685
19	5.093	0.03298	1.6269
3	5.119	0.03450	1.8357
20	5.439	0.02001	1.2889



شکل ۴- نمودار دو بعدی بین عملکرد ژنوتیپ و SIPC5

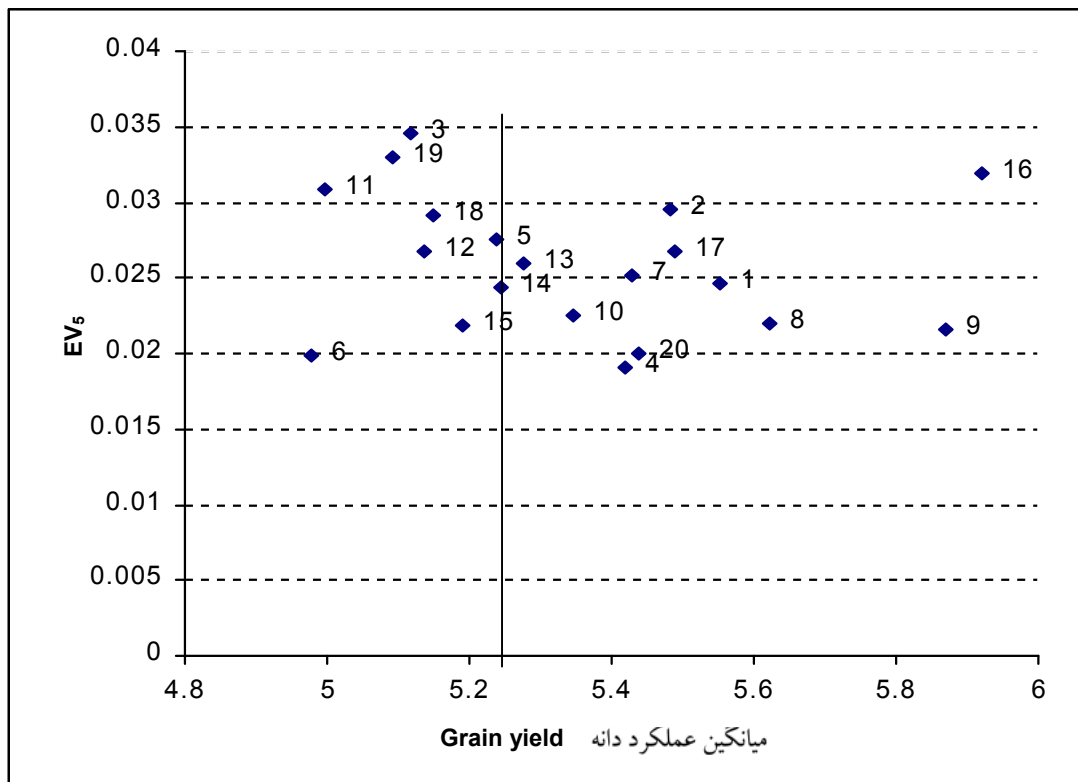
Fig. 4. Biplot of Mean grain genotypes vs. SIPC5

طی سه سال و هشت مکان استفاده کرده و نشان دادند که در مدل AMMI، شش مؤلفه اصلی اثر متقابل (IPC) دار بود. با ترسیم نمودار دو بعدی میانگین عملکرد و IPC_1 ، و مؤلفه های اول (IPC_1) و دوم (IPC_2) اثر متقابل برای ژنوتیپ ها و مکان ها، انواع ژنوتیپ ها را با سازگاری خصوصی به مکان های مختلف معرفی کردند و نشان دادند که پارامتر $SIPC_1$ حاصل از مدل AMMI وجود تکرارپذیری متوسط، ارزیابی جنبه های دیگری از بایرداری ارقام و مکان ها و انتصاب آن را به یکدیگر سازد.

کامرانفر (۱۳۹۹) در مطالعه ژنوتیپ جو در ایستگاه منطقه سرد کشور به مدت دوسال آماره های مختلف پایداری عملکرد از جمله آماره های مدل AMMI را محاسبه کرد و نشان داد که شش مؤلفه اصلی اثر متقابل بین مکان ها و مکان ها ۱۰٪، ۱۰٪، ۱۰٪، ۱۰٪، ۱۰٪، ۱۰٪ از

بر مبنای نمودار دو بعدی پارامتر $SIPC_1$ و میانگین عملکرد دانه، ژنوتیپ های (L.131/Cerbel//Alger-Ceres/3/Gloria"s"-Copal"s") ژنوتیپ ماندگار و عملکرد بالا و ژنوتیپ های ژنوتیپ و ژنوتیپ های دارای عملکرد پایدار تشخیص داده شد (۱۳۹۹).

تعدادی از محققین با استفاده از روش تجزیه AMMI و پارامترهای پایداری AMMI $SIPC_1$ و EV و AMGE و رسم نمودار دو بعدی در گیاه جو به ارزیابی وضعیت سازگاری و پایداری عملکرد ژنوتیپ های متفاوت پرداختند و این روش را با سایر روش های تجزیه پایداری مقایسه کردند. فتاحی و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی تعدادی از پارامترهای پایداری در جو و تکرارپذیری آن از داده های آزمایشات یکنواخت سراسری جو در منطقه معتدل شامل ژنوتیپ جو در



شکل ۵- نمودار دو بعدی بین عملکرد ژنوتیپ ها و EV_5

Fig. 5. Biplot of Mean grain genotypes vs. EV_5

مجموع مربعات اثر متقابل را توجیه کردند. در مجموع آنان روش AMMI را ده برابر قوی از مدل رگرسیونی در توضیح اثر متقابل بود و در نهایت ژنوتیپ (EBYTC80-13) از لحاظ IPC_1 و IPC_2 و اماره پایداری مدل AMMI $SIPC_6$ EV6 و $AMGE_6$ به عنوان پایدارترین و برترین ژنوتیپ معرفی نمود. بر مبنای نمودار دو بعدی پارامتر EV_3 و مباین عملکرد، ژنوتیپ (LB.Iran/Una8271//Gloria"S"/) (Come"s"-11M/3/Kavir) ژنوتیپ پر محصول و با عملکرد پدار و ژنوتیپ های (C.C.89/VA 88-11-7) و () به عنوان ژنوتیپ با عملکرد پدار تشخیص داده شدند. در نهایت با توجه به بررسی های انجام شده و پارامترهای مورد بررسی دو ژنوتیپ شماره و شماره انتخاب شدند.

References

منابع مورد استفاده

- آبادی، ن. و ع. ا. فرشادفر. ۱۳۹۳. مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در لاین های گندم نان با استفاده از مدل AMMI و تجزیه الگو. چکیده مقالات هشتمین کنفرانس علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. ص ۴۴.
- شاه محمدی، م. ۱۳۹۳. تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در ارقام جو به روش AMMI و مقایسه آن با سایر روش ها. پایان نامه کارشناسی ارشد اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.
- فتاحی، ف. م. مقدم، ع. گرامی، و ا. ۱۳۹۳. ارزیابی تکرار پذیری پارامترهای پایداری در زیر گروه های مختلف محیطی توسط معیار ضرایب هماهنگی کندال در گیاه جو (*Hordeum Vulgare* L.). چکیده مقالات ششمین کنفرانس علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. ص ۴۴.
- فرشادفر، ع. ا. ۱۳۹۳. کاربرد ژنتیک کمی در اصلاح نباتات. جلد دوم. انتشارات باغ بستان.
- کامرانفر، ا. ۱۳۹۳. بررسی پارامترهای پایداری عملکرد لاین های امیدبخش جو اقلیم سرد و ارزیابی صفات مختلف. پایان نامه کارشناسی ارشد اصلاح نباتات. دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.
- Aastveti, A. H. and K. Aastveti. 1993. Effects of genotype – environment interactions on genetic correlations. Theor. Appl. Genet. 86: 1007-1013.
- Annicchiarico, P. 1997. Joint regression vs AMMI analysis of genotype-environment interactions for cereals in Italy. Euphytica 94: 53-62.
- Crossa, J., H. G. Gauch and R. W. Zobel. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar's trials. 30: 493-500.
- Kang, M. S. and H. G. Gauch. 1996. Genotype-by-environment interaction. CRC press.
- Nachit, M. M., G. Nachit, H. Ketata, H. G. Gauch and R. W. Zobel. 1992. Use of AMMI and liner regression model to analyze genotype-environment interaction in Durum wheat. Theor. Appl. Genet. 83: 597-601.
- Sneller, C. H., L. Kilgore-Norquest and D. Dombek. 1997. Repeatability of yield stability statistics in soybean. Crop Sci. 37: 383-390.
- Vargas, M., J. Crossa, F. A. Van Eeuwijk, M. E. Ramirez and K. Sayre. 1999. Using partial least squares regression, factorial regression and AMMI models for interpreting genotype $\times$ environment interaction. Crop Sci. 39: 955-967.
- Weikai, Y., L. A. Hunt. 2001. Interpretation of genotype $\times$ environment interaction for winter wheat yield. Crop Sci. 40: 597-605.

Analysis of yield stability of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes- using additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) model

Nikkhah¹, H. R., A. Yousefi², S. M. Mortazavian³ and M. Arazmjoo⁴

ABSTRACT

Nikkhah, H. R., A. Yousefi, S. M. Mortazavian and M. Arazmjoo. 2007. Analysis of yield stability of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes- using additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) model. Iranian Journal of Crop Sciences. 9 (1): 1-13.

Significant genotype $\times$ environment ($G \times E$) interactions effects in a major constraint in evaluation and release of new cultivars. To achieve this goal and in order to evaluate and advance towards new high-yielding and stable/adaptable cultivars suitable for the temperate agro-ecological zone in Iran, a set of yield trials was conducted with 20 elite barley lines using a Randomized Complete Block Design (RCBD) with three replicates at nine different experimental field stations during two successive years (1380-1382). Grain yield was studied and the results obtained from the combined analysis of variance revealed significance of all effects i.e. genotype, environment and genotype $\times$ environment interactions. Genotypes mean showed that the entries No. 9 (L.B.Iran/Una8271//Gloria"S"/Come"s"-11M/3/Kavir) and No. 16 (L.131/Cerbel//Alger-Ceres/3/Gloria"s"-Copal"s") had the highest grain yield. To have a better interpretation of $G \times E$ interaction multivariate AMMI method was used, which resulted in five main principle components that explained 74.68% of the interaction mean square. Additionally, the genotypes No. 16 (L.131/Cerbel//Alger-Ceres/3/Gloria"s"-Copal"s") and No. 17 (L.131/Cerbel//Alger-Ceres/3/Kavir) had the lowest IPC_1 and IPC_2 and the highest levels of stability. Using the results of biplot and AMMI analysis, parameters integrated with those of grain yield, the entries 9 and 16 were selected as candidates lines with both best performance and grain yield stability.

Key words: Genotype $\times$ Environment Interaction, Barley, Grain yield, AMMI analysis, Temperate agro-ecological zone.

Received: December, 2006

1- Faculty member, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. (Corresponding authors)

2- Researcher, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran.

3- Ph-D. Student, Agriculture and Natural Resources Campus, The University of Tehran, Karaj, Iran.

4- Researcher, Agricultural and Natural Resources Research Center of Southern Khorsan, Birjand, Iran. +