

تجزیه الگوی اثر متقابل ژنوتیپ و سال برای عملکرد دانه در رگه‌های جهش یافته برنج با استفاده از روش چند متغیره AMMI

علی اکبر عبادی^{۱*}، شاپور عبداللهی^۲ مبرهن^۲ و حیدر عزیزی^۳

۱ و ۲. استادیار و محقق، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران
۳. استادیار، بخش تحقیقات چغندررقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۱۸ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۵)

چکیده

وجود اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ایجاب می‌کند که عملکرد ژنوتیپ‌ها در دامنه گسترده‌ای از شرایط محیطی آزمایش شوند. تا اطلاعات به دست آمده بتواند کارایی مربوط به گزینش و معرفی آن‌ها را افزایش دهد. در این بررسی به منظور تعیین پایداری عملکرد و تجزیه الگوی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، ۶۶ رگه (لاین) جهش یافته (موتانت) برنج همراه با پنج رقم شاهد به مدت سه سال زراعی (۱۳۹۱-۱۳۹۳)، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار ارزیابی شدند. تجزیه اثر اصلی جمع‌پذیر و اثر متقابل ضرب‌پذیر (AMMI) نشان داد که اثر ژنوتیپ، سال و اثر متقابل بین آن‌ها بسیار معنی‌دار بود. مجموع مربعات اثر متقابل توسط روش AMMI به یک مؤلفه اصلی اثر متقابل (IPCA) معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و باقیمانده (نویز) جداسازی شد. مؤلفه اصلی اول ۵۷/۵۷ درصد از کل مجموع مربعات اثر متقابل را توجیه کرد. نمودار دووجهی (بای‌پلات) نخستین مؤلفه اصلی و میانگین عملکرد با روش AMMI برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌های (سال‌های) مورد بررسی مشخص کرد که ژنوتیپ‌های G7، G41 و G69 با داشتن کمترین اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (سال) و داشتن عملکرد بالا پایداری بیشتری دارند و ژنوتیپ‌های G63، G20 و G33 با عملکرد پایین‌تر از میانگین به‌عنوان ژنوتیپ‌های ناپایدار شناخته شدند.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، برنج، تجزیه AMMI.

Pattern analysis of genotype and year interaction for grain yield in mutant lines of rice (*Oryza sativa* L.) using AMMI multivariate method

Ali Akbar Ebadi^{1*}, Shapour Abdollahi² and Heydar Azizi³

1. Assistant Professor and Researcher, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
2. Assistant Professor, Sugar Beet Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Urmia, Iran
3. Assistant Professor, Sugar Beet Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Urmia, Iran

(Received: Nov. 9, 2015 - Accepted: Feb. 14, 2016)

ABSTRACT

The existence of genotype × environment interaction necessitate the assessment of genotypes yields in wide range of environmental conditions, so that obtained information could increase their selection and introduction efficiency. In this study to determine the yield stability and analysis of genotype × environment interaction pattern, 66 mutant lines of rice with 5 check cultivars were evaluated using a randomized block design with three replications for three years (2012-2014). Analysis of additive main effects (analysis of variance) and multiplicative interaction effects (principal components analysis) revealed that the effects of genotype, year, and interaction between of them were highly significant. Total interaction effect was divided into one significant interaction principal component at 5% probability level and residual (noise) via AMMI model. The first principal component explained 57.57% of the total variation. Biplot of the first principal component and mean yields (AMMI₁ model) for evaluated genotypes and environments (years) revealed that high yielding genotypes of G7, G41 and G69 with the least genotype × environment interaction effect were more stable genotypes and G63, G20 and G33 with yield lower than average recognized as unstable genotypes.

Keywords: AMMI analysis, genotype environment interaction, rice.

مقدمه

محصول گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) به عنوان غذای اصلی ۲/۵ میلیارد نفر از جمعیت جهان بوده (Kanbar *et al.*, 2011) و در دامنه گسترده‌ای از شرایط اقلیمی، بین عرض جغرافیایی ۴۵ درجه شمالی تا ۴۰ درجه جنوبی کشت می‌شود (Grist, 1986). از چهار دهه پیش تاکنون تحقیقات برنج پیشرفت‌های شایان توجهی در زمینه اصلاح رقم‌ها و افزایش بهره‌وری در مدیریت منابع و نهاده‌های کشاورزی داشته است. در این زمینه معرفی رقم‌ها و ژنوتیپ‌های جدید از دلایل عمده افزایش عملکرد محصولات زراعی در دهه‌های اخیر بوده است. به طوری که توانسته تحولی عظیم در افزایش تولید، تنوع محصول و افزایش درآمد کشاورزان داشته باشد (Mahaboub, 2005). بنابراین، معرفی رقم‌های برنج با کمیت و کیفیت مطلوب از هدف‌های اصلی اصلاح برنج بوده و اهمیت فراوان دارد (Khush, 2000).

بروز صفات به‌ویژه صفات کمی، ناشی از تأثیر عامل‌های ژنتیکی، محیطی و اثر متقابل (IPCA)^۱ بین آن‌هاست (Ali Hussein *et al.*, 2000; Allard & Bradshaw, 1964) که این اثر متقابل ناشی از واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها به تغییرپذیری‌های محیطی است. وجود اثر متقابل موجب پیچیده شدن ارزیابی ژنوتیپ‌ها، کاهش وراثت‌پذیری صفات و بازده ناشی از انتخاب می‌شود (Vargas *et al.*, 2001). بنابراین بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در برنامه‌های اصلاحی بسیار مهم و ضروری به نظر می‌رسد.

روش‌های زیادی برای تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ در محیط ارائه شده است. این روش‌ها به دو دسته اصلی تک متغیره و چند متغیره تقسیم می‌شوند (Lin *et al.*, 1986). از روش‌های تک‌متغیره روش Lin & Binns (1988) و روش Eberhart & Russell (1966) عمومیت بیشتری دارند و از روش‌های چند متغیره، روش اثر اصلی جمع‌پذیر و اثر متقابل ضرب‌پذیر AMMI^۲ امروزه در سطح گسترده‌ای استفاده می‌شود (Aduana & Labuschagne, 2002; Akcura *et al.*,)

(2005). علت استفاده گسترده از روش AMMI این است که این مدل بخش بزرگی از مجموع مربعات اثر متقابل را توجیه می‌کند و اثر اصلی و اثر متقابل را از یکدیگر جداسازی می‌کند (Ebdon & Gauch, 2002). همچنین از نتایج به‌دست‌آمده از این روش برای پایه‌ریزی در برنامه‌های اصلاحی چون سازگاری خصوصی و انتخاب محیط مناسب استفاده می‌شود. Tarakanovas & Ruzgas (2006) روش AMMI را به عنوان روشی مؤثر برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط معرفی کرده و بیان داشتند که نتایج به‌دست‌آمده از نمودار دووجهی (بای‌پلات) آن می‌تواند رقم‌های مناسب را برای کشت در محیط‌های مختلف و یا شرایط محیطی ویژه مشخص و معرفی کند.

در روش AMMI در آغاز تجزیه واریانس معمولی روی داده‌های دوطرفه ژنوتیپ و محیط انجام شده و آنگاه اثر متقابل از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی تجزیه می‌شود (Gauch & Zobel, 1988). AMMI یک معیار چند متغیره است که در آن اثر جمع‌پذیر ژنوتیپ و محیط با تجزیه واریانس ساده برآورد می‌شود، ولی از آنجاکه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط اثر متقابل ضرب‌پذیر بوده و تجزیه واریانس قادر به تجزیه این اثرها نیست، این موضوع با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صورت می‌گیرد (Damavandi *et al.*, 2012; Yan *et al.*, 2007). در این روش با رسم نمودار دووجهی و نقطه‌یابی ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها می‌توان موقعیت ژنوتیپ‌ها را نسبت به هم و نسبت به محیط‌ها سنجید و پایداری عمومی و سازگاری اختصاصی ژنوتیپ‌ها را برآورد کرد.

آزمایش‌های مختلفی در زمینه تجزیه پایداری با استفاده از روش AMMI در ایران (Damavandi *et al.*, 2012; Mohammadi *et al.*, 2011; Karimzadeh *et al.*, 2008; Zali *et al.*, 2008) و خارج از کشور (Nassir & Ariyo, 2011; Kulsum *et al.*, 2014; Bose *et al.*, 2012) انجام شده است. همچنین تعیین سازگاری و پایداری عملکرد رقم (وارثه)‌های برنج در مناطق و سال‌های مختلف در کشور توسط محققان مختلف صورت گرفته است. Honarnejhad *et al.* (2007) در آزمایشی با هشت رگه (لاین) خالص برنج در سه سال

1. Interaction effect of Principle Component Analysis
2. Additive Main effects and Multiplicative Interactions

قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سه سال زراعی ۱۳۹۱، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج کشور در رشت به ترتیب با طول و عرض جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی با ارتفاع ۷- متر از سطح دریای آزاد و بافت خاک سیلتی‌رسی با pH حدود ۷ ارزیابی شدند. این رگه‌های جهش‌یافته به منظور تهیه رگه‌هایی با عملکرد بالاتر و ویژگی‌های زراعی و ریخت‌شناختی (مورفولوژیکی) برتر از والدین خود در پروژه‌ای مشترک با سازمان انرژی اتمی با پرتوتابی با دزهای مختلف اشعه گاما تهیه شدند. ویژگی‌های مواد گیاهی مورد بررسی در آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. به منظور این بررسی، بذرهاي رقم‌ها پس از ضدعفونی با قارچ‌کش بنومیل دو در هزار در سینی‌هایی به ابعاد ۳۰×۳۰×۶۰ سانتی‌متر خزانه‌گیری و نشاها پس از یک ماه به زمین اصلی منتقل شدند. همه عملیات تهیه زمین، کاربرد کودهای شیمیایی، مبارزه با علف‌های هرز، مبارزه با آفات و بیماری‌ها و آبیاری بنا بر عرف منطقه در همه سال‌ها به‌طور یکنواخت انجام شد.

عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها بر حسب تن در هکتار تعیین و در انجام تجزیه پایداری به روش AMMI و بر پایه مدل زیر استفاده شدند:

$$Y_{ger} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum_{n=1}^N \lambda_n Y_{gn} \sigma_{en} + \rho_{ge} + \varepsilon_{ger}$$

در این رابطه Y_{ger} ، عملکرد ژنوتیپ g ام در محیط e ام و در تکرار m است. μ میانگین کل آزمایش، α_g و β_e به ترتیب اثر اصلی ژنوتیپ و محیط، λ_n میزان منفرد برای محور مؤلفه اصلی n ام، Y_{gn} بردار ویژه ژنوتیپ برای محور اصلی n ام و σ_{en} بردار ویژه محیط برای محور n ام و ρ_{ge} میزان نویز (Noise)، ε_{ger} عبارت مربوط به خطا و n شمار مؤلفه اصلی اثر متقابل است که برابر با $((e - 1)(g - 1) \leq n)$ است. در بخش اول روش AMMI یعنی بخش جمع‌پذیر که از تجزیه واریانس معمولی استفاده می‌کند، میانگین کل با $(\bar{Y}_{..})$ ، اثر ژنوتیپی (α_g) به صورت انحراف ژنوتیپ از میانگین کل $(\bar{Y}_{.g} - \bar{Y}_{..})$ و اثر محیطی β_e به صورت انحراف محیطی $(\bar{Y}_{.e} - \bar{Y}_{..})$ برآورد می‌شود (Gauch, 1992).

و سه مکان و استفاده از روش ابرهات و راسل، یک رگه را به دلیل داشتن کوچک‌ترین انحراف از خط رگرسیون و شیب خط رگرسیون نزدیک به یک، به‌عنوان بهترین رگه گزارش کردند. Nahvi *et al.* (2000) با استفاده از روش لین و بینز در آزمایش‌های پایداری به مدت سه سال در سه منطقه، از بین هشت رگه خالص برنج، یک رگه را به‌عنوان رگه پایدار انتخاب کردند که بعدها به‌عنوان رقم درفک معرفی شد. با تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر عملکرد دانه دوازده ژنوتیپ پیشرفته گندم دوروم و دو رقم شاهد سرداری (گندم نان) و زردک (گندم دوروم) در سه ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی و در سه سال زراعی توسط *Mohammadi et al.* (2011) بر پایه روش AMMI، سه ژنوتیپ پایدار که سازگاری عمومی داشتند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر انتخاب و معرفی شدند. *Kulsum et al.* (2012) با بررسی پایداری و سازگاری عملکرد در سیزده رگه امیدبخش برنج دورگ (هیبرید) با استفاده از تجزیه AMMI، شمار دو رگه را به‌عنوان رگه‌هایی با عملکرد بالا و پایدار معرفی کردند. *Bose et al.* (2014) با بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط با استفاده از تجزیه AMMI در ۹ رگه امیدبخش برنج مقاوم به سرما در چهار محیط مختلف به‌منظور انتخاب رگه‌های مناسب برای کشت در مناطق سردسیر، اعلام کردند که تجزیه AMMI روشی مناسب برای انتخاب رگه‌های سازگار و پایدار با عملکرد بالا است به‌طوری‌که آنان توانستند دو رگه سازگار با عملکرد بالا را معرفی کنند.

هدف از این تحقیق، تجزیه الگوی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه رگه‌های جهش‌یافته (موتانت) برنج در شرایط آب و هوایی استان گیلان به‌منظور گروه‌بندی محیط‌ها (سال‌ها) و شناسایی رقم‌های و ژنوتیپ‌های سازگار به گروه‌های محیطی و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار بر پایه مدل AMMI بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، تعداد ۶۶ رگه جهش‌یافته برنج (جدول ۱) به همراه پنج رقم (سالاری، سنگ جو، حسن سرابی، خزر و سپیدرود) به ترتیب با کدهای G67، G68، G69، G70 و G71 به‌عنوان شاهد در

ژنوتیپ و محیط ($Z_{ij} = Y_{ij} - \bar{V}_i - \bar{V}_j + \bar{V}_0$)، ولی در مؤلفه‌های اصلی، محاسبه‌ها روی تفاضل داده‌های اصلی از میانگین کل داده‌ها ($Y_{ij} - \bar{V}_0$) انجام می‌شود (Gauch & Zobel, 1988).

بخش دوم، قسمت ضرب‌پذیر روش AMMI است که از روی تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به‌منظور تجزیه و تحلیل اثر متقابل ژنوتیپ و محیط به یک تا n مؤلفه اصلی استفاده می‌کند، اما باید توجه داشت که در روش AMMI، محاسبه‌ها روی مقادیر اثر متقابل

جدول ۱. ویژگی‌های مواد گیاهی مورد بررسی در این تحقیق

Table 1. Properties of plant materials studied in this review

Parent/Gamma Dose (Gray/s)	Mutant Line	Code	Parent/Gamma Dose (Gray/s)	Mutant Line	Code
Salari/200	65-M10-8-1-1	G34	Hasan-Saraie/100	1-M10-4-1	G1
Hasan-Saraie/100	31-M10-9-1	G35	Hasan-Saraie/100	2-M10-4-2	G2
Hasan-Saraie/100	32-M10-9-1-1	G36	Hasan-Saraie/100	3-M10-4-3	G3
Hasan-Saraie/100	33-M10-9-1-2	G37	Hasan-Saraie/100	4-M10-4-3-1	G4
Hasan-Saraie/100	34-M10-9-1-3	G38	Hasan-Saraie/100	5-M10-4-4	G5
Hasan-Saraie/100	35-M10-9-1-4	G39	Hasan-Saraie/100	6-M10-4-5	G6
Hasan-Saraie/100	36-M10-9-1-5	G40	Hasan-Saraie/100	7-M10-4-6	G7
Hasan-Saraie/100	37-M10-9-2	G41	Salari/300	8-M10-5-1	G8
Hasan-Saraie/100	38-M10-9-3	G42	SangeJou/200	9-M10-6-1	G9
Hasan-Saraie/100	39-M10-9-3-1	G43	SangeJou/300	10-M10-7-1	G10
Hasan-Saraie/100	40-M10-9-3-2	G44	SangeJou/300	69-M10-7-1-1	G11
Hasan-Saraie/100	41-M10-9-4	G45	SangeJou/300	11-M10-7-2	G12
Hasan-Saraie/100	42-M10-9-5	G46	SangeJou/300	12-M10-7-3	G13
Hasan-Saraie/100	43-M10-9-6	G47	SangeJou/300	13-M10-7-4	G14
Hasan-Saraie/100	44-M10-9-7	G48	SangeJou/300	14-M10-7-4-1	G15
Hasan-Saraie/100	45-M10-9-7-1	G49	SangeJou/300	15-M10-7-5	G16
Hasan-Saraie/100	46-M10-9-8	G50	SangeJou/300	16-M10-7-6	G17
Hasan-Saraie/100	47-M10-9-9	G51	SangeJou/300	17-M10-7-6-1	G18
SangeJou/100	48-M10-10-1	G52	SangeJou/300	67-M10-7-6-1-1	G19
SangeJou/300	49-M10-11-1	G53	SangeJou/300	18-M10-7-7	G20
SangeJou/300	50-M10-11-2	G54	SangeJou/300	19-M10-7-7-1	G21
SangeJou/300	51-M10-11-3	G55	SangeJou/300	20-M10-7-7-2	G22
SangeJou/300	52-M10-11-4	G56	SangeJou/300	21-M10-7-7-3	G23
SangeJou/300	53-M10-11-5	G57	SangeJou/300	22-M10-7-7-4	G24
SangeJou/300	54-M10-11-6	G58	SangeJou/300	23-M10-7-7-5	G25
SangeJou/300	55-M10-11-7	G59	SangeJou/300	24-M10-7-8	G26
SangeJou/300	56-M10-11-8	G60	SangeJou/300	25-M10-7-8-1	G27
SangeJou/300	57-M10-11-9	G61	SangeJou/300	68-M10-7-8-1-1	G28
SangeJou/300	58-M10-11-10	G62	SangeJou/300	26-M10-7-9	G29
SangeJou/300	59-M10-11-10-1	G63	SangeJou/300	27-M10-7-10	G30
SangeJou/300	60-M10-11-11	G64	SangeJou/300	28-M10-7-11	G31
SangeJou/300	66-M10-11-11-1	G65	SangeJou/300	29-M10-7-12	G32
SangeJou/300	61-M10-11-12	G66	Salari/200	30-M10-8-1	G33

تجزیه واریانس ساده برای هر یک از سال‌ها به‌عنوان محیط‌های آزمایشی به‌صورت جداگانه انجام شد و اختلاف بین ژنوتیپ‌ها در همه سال‌ها معنی‌دار بوده است که نشان‌دهنده تنوع بین این ژنوتیپ‌ها است. همچنین پیش از انجام تجزیه مرکب، آزمون بارتلت برای آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی معنی‌دار نشد که این امر نشان‌دهنده یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی در سال‌های مختلف بود. نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه مرکب معنی‌داری اثر سال و ژنوتیپ و همچنین معنی‌داری اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (سال) در سطح احتمال ۰/۰۱ را نشان داد. معنی‌دار بودن اثر سال نشان

به‌منظور ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها از مؤلفه اصلی اول و برای ارتباط دادن ژنوتیپ‌ها به محیط‌های (سال‌های) مختلف از نمودارهای نمودار دوجویی استفاده شد. در این تحقیق برای تجزیه AMMI از نرم‌افزار GenStat و برای رسم نمودار از نرم‌افزار Statistica استفاده شد.

نتایج و بحث

به‌طور معمول به‌نژادگران به دنبال انتخاب ژنوتیپ‌هایی هستند که اثر متقابل آن‌ها در محیط‌ها کم بوده و با انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار اثرگذاری محیط روی ژنوتیپ به کمترین مقدار برسد.

می‌دهد که سال‌های مورد آزمایش از نظر عملکرد ژنوتیپ‌ها با هم اختلاف دارند و معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان‌دهنده این است که تفاوت عملکرد نسبی بین ژنوتیپ‌ها از سالی به سال دیگر اختلاف دارد. با توجه به معنی‌دار بودن اثر سال و همچنین اثر متقابل ژنوتیپ × سال در این آزمایش، به‌منظور تعیین پایدارترین ژنوتیپ‌ها از روش چند متغیره AMMI استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه AMMI نشان داد که منابع تغییرپذیری ژنوتیپ و محیط

در سطح احتمال ۰/۰۱ و اثر متقابل ژنوتیپ × سال و نیز مؤلفه اصلی اول اثر متقابل IPCA برای سه سال آزمایش در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی‌دار بود (جدول ۲). بنابراین می‌توان گفت که اختلاف بین ژنوتیپ‌ها در سال‌های مختلف مورد آزمایش نوسان‌هایی از نظر عملکرد داشته که این موضوع نشان‌دهنده الگوهای متفاوت سازگاری ژنوتیپ‌ها در سال‌های مختلف است. به عبارتی وجود اختلاف‌های معنی‌دار بین سال‌ها نشان از تأثیر شرایط متفاوت آب‌وهوا بر عملکرد ژنوتیپ‌ها است.

جدول ۲. تجزیه AMMI برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی برنج در سال‌های مختلف

Table 2. AMMI analysis for rice studied genotypes in different years

S.O.V	df	Sum of square	Percentage Sum of square	Mean of squar
Total	638	328.8	--	--
Treat	212	193.9	--	0.915**
Genotype	70	99.6	51.27	1.42**
Environment (Year)	2	40.8	21.4	20.38**
Block/Year	6	5.0	2.58	0.835**
G * Year	140	53.5	27.59	0.382**
IPCA1	71	30.8	57.7	0.433**
Residual (Noise)	69	22.7	42.43	0.329 ^{n.s}
Integrated error	420	130.0	--	0.309

n.s, *, **: non-significant and significant at the 5% and 1%, respectively

ns, ** و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

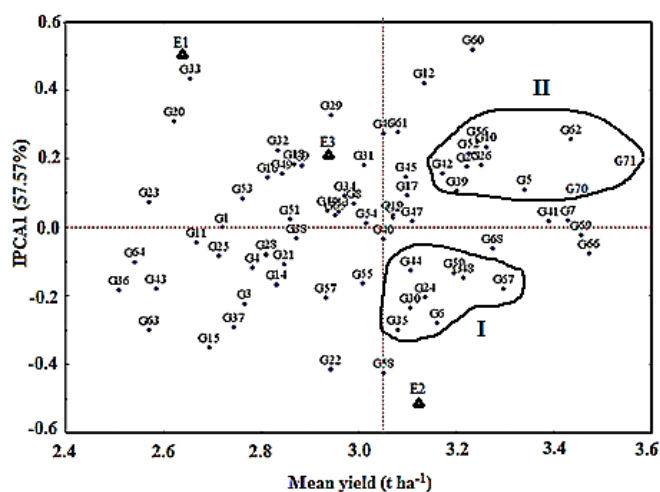
ژنوتیپ، محیط (سال) و اثر متقابل آن‌ها به ترتیب ۵۱/۳۷، ۲۱/۰۴ و ۲۷/۵۹ درصد از مجموع مربعات کل را توجیه کردند که سهم نسبی بالای اثر متقابل می‌تواند بیانگر اهمیت آن باشد. بنابراین به‌منظور تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، از F آزمون Gallob (1968) برای تعیین شمار مؤلفه‌های معنی‌دار استفاده شد که تنها مؤلفه اصلی اول با ۷۱ درجه آزادی و همچنین با توجیه ۵۷/۵۷ درصد از کل مجموع مربعات اثر متقابل، در سطح احتمال ۵ درصد ($P < 0.05$) معنی‌دار شد، درحالی‌که مؤلفه‌های اصلی باقی‌مانده در روش ۴۲/۴۳ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را تبیین کردند. از آنجایی‌که نویز یا باقی‌مانده معنی‌دار نشده است، یعنی استفاده از همه مؤلفه‌های اصلی، کمکی به اعتبار برآورد نکرده و بهترین روش برآوردشده با استفاده از یک مؤلفه اصلی (IPCA1) به دست آید. بنابراین روش AMMI با یک مؤلفه اصلی (AMMI₁) با توجیه

۵۷/۵۷ درصد از کل تغییرپذیری اثر متقابل مدنظر قرار گرفت (جدول ۲). بنا بر روش AMMI₁ ژنوتیپ‌های G7، G41 و G69 به دلیل داشتن میزان عملکرد بالا و همچنین کمترین اثر متقابل با سال‌های مورد آزمایش به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند. جدول ۳ عملکرد دانه (تن در هکتار) و میزان مؤلفه اصلی اول ژنوتیپ‌های برنج مورد بررسی را نشان می‌دهد. از مقادیر این جدول به‌منظور ارتباط دادن ارزش‌های ژنوتیپی و محیطی و همچنین بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها برای رسم نمودار دوجوهی استفاده شد (شکل ۱). برتری این نگره‌ها این است که رابطه بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها را قابل مشاهده می‌کند و بنابراین می‌توان ژنوتیپ‌های مختلف را برای محیط‌های ویژه‌ای معرفی کرد. Gauch & Zobel (1997)، Yan & Hunt (2001) و Kaya *et al.* (2002) نیز از همین روش برای شناسایی میزان پایداری یک ژنوتیپ در محیط‌های مختلف استفاده کرده‌اند.

جدول ۳. عملکرد دانه و مقادیر مؤلفه اصلی اول ژنوتیپ‌های برنج مورد بررسی

Table 3. Grain yield and IPCA1 amount of rice studied of genotypes

Genotype Code	IPCA1	Yield (t/ha)	Genotype Code	IPCA1	Yield (t/ha)
G1	-0.002	2.72	G37	-0.292	2.74
G2	0.028	3.07	G38	-0.033	2.87
G3	-0.223	2.77	G39	0.104	3.20
G4	-0.119	2.78	G40	-0.035	3.05
G5	0.109	3.34	G41	0.016	3.39
G6	-0.280	3.16	G42	0.157	3.17
G7	0.020	3.43	G43	-0.180	2.59
G8	0.068	2.99	G44	-0.127	3.11
G9	0.178	2.88	G45	0.147	3.10
G10	0.232	3.26	G46	0.282	3.05
G11	-0.045	2.67	G47	0.016	3.11
G12	0.420	3.13	G48	-0.149	3.21
G13	0.044	2.96	G49	0.154	2.84
G14	-0.167	2.83	G50	0.047	2.94
G15	-0.135	2.69	G51	0.022	2.86
G16	0.145	2.81	G52	0.125	3.23
G17	0.092	3.10	G53	0.083	2.76
G18	0.183	2.78	G54	0.011	3.02
G19	0.035	3.07	G55	-0.165	3.01
G20	0.307	2.63	G56	0.249	3.24
G21	-0.109	2.85	G57	-0.207	2.93
G22	-0.145	2.94	G58	-0.425	3.05
G23	0.073	2.57	G59	0.133	3.20
G24	-0.205	3.14	G60	0.516	3.23
G25	-0.085	2.17	G61	0.276	3.08
G26	0.181	3.25	G62	0.255	3.44
G27	0.175	3.22	G63	-0.300	2.57
G28	-0.080	2.81	G64	-0.102	2.54
G29	0.326	2.94	G65	0.035	2.95
G30	-0.236	3.11	G66	-0.077	3.47
G31	0.180	3.01	G67	-0.180	3.30
G32	0.224	2.84	G68	-0.063	3.27
G33	0.431	2.66	G69	-0.024	3.46
G34	0.019	2.97	G70	-0.463	3.47
G35	-0.229	3.08	G71	-0.360	3.54
G36	-0.184	2.51	-	-	-



شکل ۱. نمودار دووجهی میانگین ژنوتیپ‌ها و سال‌ها و مقادیر نخستین مؤلفه اصلی آن‌ها (روش AMMI₁)
Figure 1. Biplot of genotypes and year means and the first principal component values (AMMI₁ model)

ضرب‌پذیر یا مقادیر نخستین مؤلفه اصلی IPCA یعنی ضرب‌های عاملی است. همچنین در این نمودار دووجهی، ژنوتیپ‌ها با کدهای G1، G2، ... و G71 و

در نمودار دووجهی شکل ۱، محور افقی نمایانگر اثرگذاری اصلی جمع‌پذیر یا میانگین عملکرد دانه بر حسب تن در هکتار و محور عمودی اثر متقابل

پایداری برای ارزیابی ژنوتیپها پیشتر نیز استفاده شده‌اند (Mohammadi *et al.*, 2008; Grausgruber *et al.*, 2000). همچنین در تحقیق Shahmohammadi *et al.* (2004) نیز اگرچه دو مؤلفه اول سهم ناچیزی از اثر متقابل را به خود اختصاص دادند، ولی از تفسیر نمودار دووجهی AMMI برای ژنوتیپهای پایدار استفاده شد. در تحقیق دیگری که توسط Koocheki *et al.* (2013) به منظور بررسی پایداری ژنوتیپهای امیدبخش جو با استفاده از تجزیه AMMI انجام شد، نتایج به دست آمده از تجزیه AMMI نشان داد که اثر اصلی ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و چهار مؤلفه اصلی اول اثر متقابل در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بودند و از دو مؤلفه اصلی اول و دوم برای رسم نمودار دووجهی استفاده شد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی از این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که روش AMMI، با توجه به اینکه با شمار کمی از مؤلفه تغییر زیادی از اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه می‌کند، روش مناسبی برای تجزیه پایداری ژنوتیپها بوده است. در روش AMMI که به تنهایی ۵۷/۵۷ درصد از تغییرپذیری اثر متقابل را توجیه می‌کند، ژنوتیپهای G7، G41 و G69 که ضمن داشتن کمترین اثر متقابل بیشترین عملکرد را نیز داشتند، به‌عنوان ژنوتیپهای پایدار و پر محصول معرفی می‌شوند.

سپاسگزاری

از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و مؤسسه تحقیقات برنج کشور که هزینه اجرای این پژوهش را تقبل کرده‌اند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

سال‌ها با کدهای E1، E2 و E3 نمایش داده شده‌اند. با توجه به شکل ۱، محور عمودی که از میانگین کل ژنوتیپها می‌گذرد، ژنوتیپها را به دو گروه ژنوتیپهای با عملکرد بیشتر از میانگین کل و کمتر از میانگین کل تقسیم کرد. محور افقی که از نقطه صفر محور IPCA رد شده است، نمودار را به دو قسمت تقسیم کرد. ژنوتیپهایی که در قسمت بالای این محور قرار گرفتند، به‌عنوان ژنوتیپهای با اثر متقابل مثبت شناخته شدند و ژنوتیپهایی که در پایین این محور قرار گرفتند، اثر متقابل منفی داشتند. بر این پایه ژنوتیپهای G20، G23 و G33 اثر متقابل مثبت و ژنوتیپهای G36، G63 و G64 اثر متقابل منفی داشتند و به دلیل پایین بودن میانگین عملکرد این ژنوتیپها، به‌عنوان ژنوتیپهای ناپایدار و با عملکرد پایین معرفی شدند. ژنوتیپهایی که در مرکز نمودار دووجهی قرار گرفته‌اند اثر متقابل نزدیک به صفر دارند و بنابراین پایداری عمومی دارند. همچنین نمودار دووجهی مؤلفه اصلی اول و عملکرد ژنوتیپها نشان داد که ژنوتیپهای واقع در گروه I اثر متقابل بزرگ و منفی داشته و عملکرد آنها بزرگ‌تر از میانگین کل آزمایش بود. ژنوتیپهای موجود در گروه II (به‌ویژه ژنوتیپهای G70 و G71 به‌عنوان رقم‌های شاهد در این آزمایش) دارای اثر متقابل بزرگ و مثبت و همچنین عملکرد آنها بیشتر از میانگین کل آزمایش بود. بنابراین همه ژنوتیپهای دو گروه یادشده در گروه ژنوتیپهای با پایداری کم قرار گرفتند. با توجه به اینکه ژنوتیپهای G7، G41 و G69 دارای اثر متقابل کوچک و همچنین میانگین عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد کل بودند، بنابراین بر پایه این روش جز پایدارترین ژنوتیپها معرفی شدند. ضریبهای مؤلفه اول اثر متقابل به‌عنوان ساده‌ترین فراسنجه‌های

REFERENCES

1. Adugna, W. & Labuschagne, M. T. (2002). Genotype- environment interactions and phenotypic stability analysis of linseed in Ethiopia. *Plant Breeding*, 121, 66- 71.
2. Akcura, M., Kaya, Y. & Taner, S. (2005). Genotype-environment interaction and phenotypic stability analysis for grain yield of durum wheat in the central Anatolian region. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29, 369-375.
3. Ali Hussein, M., Bjornstad, A. & Astveit, A. H. (2000). SAS G×E STAB: A SAS program for computing genotype×environment stability statistics. *Agronomy journal*, 92, 454-459.

4. Allard, R. W. & Bradshaw, A. D. (1964). Implications of genotype- environment interactions in applied plant breeding. *Crop Science*, 4, 503-508.
5. Bose, K. L., Jambhulkar, N. N. & Pande, K. (2014) Genotype by Environment interaction and stability analysis for rice genotypes under Boro condition. *Genetika*, 46(2), 521-528.
6. Damavandi Kamali, S., Babaian Jelodar, N. & Aalishah, E. (2012). The assessment of adaptability and stability of yield in cotton cultivars by using uniparametric, non-parametric and AMMI methods. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 42(2), 397- 407. (in Farsi)
7. Ebdon, J. S. & Gauch, H. G. (2002). Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turf grass performance trials. II Cultivar recommendations. *Crop Science*, 42, 497-506.
8. Eberhart, S. A. & Russell, G. N. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1), 36-40.
9. Gallob, H. F. (1968). A statistical model which combine features of factor analysis and analysis of variance techniques. *Psychometrika*, 33, 73-115.
10. Gauch, H. G. & Zobel, R. W. (1988). Predictive success of statistical analysis of yield traits. *Theoretical and Applied Genetics*, 76, 1-10
11. Gauch, H.G. (1992). Statistical analysis of regional trials. AMMI analysis of factorial designs. Elsevier Pub. Amsterdam, Netherlands.
12. Grausgruber, H., Oberforster, M., Werteker, M., Ruckenbauer, P. & Vollmann, J. (2000). Stability of quality traits in Austrian-grown winter wheats. *Field Crops Research*, 66, 257-267.
13. Grist, D. H. (1986). *The origin and history of rice*. In: Grist, D. H. (Ed.), Rice. Longman, Singapore. pp. 1-9.
14. Guach, H.G. & Zobel, R.W. (1997). Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science*, 37, 311-326.
15. Honarnejad, R., Dorosti, H., Mohammadsalehi, M. & Tarang, A. (2007). Assessment of stability and adaptability in rice varieties in different environmental conditions. *Plant Seed Journal*, 4(13), 32-42. (in Farsi)
16. Kanbar, A., Katsuhiko, K. & Shashidhar, H. E. (2011). Comparative efficiency of pedigree, modified bulk and single seed descent breeding methods of selection for developing high-yielding lines in rice (*Oryza sativa* L.) under aerobic condition. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 2(2), 184-193.
17. Karimzadeh, R., Dehghani, H. & Dehghanpour, Z. (2008). Use of AMMI method for estimating genotype environment interaction in early maturing corn hybrids. *Seed and Plant Improvement Journal*, 23(4), 537-546. (in Farsi)
18. Kaya, Y., Palta, C. & Taner, S. (2002). Additive Main Effect and Multiplicative Interactions Analysis of Yield Performances in Bread Wheat Genotypes across Environments. *Turkish Journal of Agriculture*, 26, 275-279.
19. Khush. G. S. & Virk, P. S. (2000). Rice breeding: achievements and future strategies. *Crop Improvement*, 27, 115-144.
20. Koocheki, A. R., Sorkhi, B. & Eslamzadeh Hesari, M. R. (2013). Study on Stability of Elite Barley (*Hordeum vulgare* L.) Genotypes for Cold Regions of Iran Using AMMI Method. *Cereal Research*, 2(4), 249- 261.
21. Kulsum, M. U., Sarker, U., Karim, M. A. & Mian, M. A. K. (2012). Additive Main Effects and Multiplicative Interaction (AMMI) Analysis for Yield of Hybrid Rice in Bangladesh. *Tropical Agriculture and Development*, 56(2), 53-61.
22. Lin, C. S., Binns, M. R. & Lefcovitch, L. P. (1986). Stability analysis: where do we stand?. *Crop Science*, 26, 894- 900.
23. Lin, C. S. & Binns, M. R. (1988). A superiority measure of cultivar performance for cultivar× location data. *Canadian Journal of Plant Science*, 68(1), 193-198.
24. Mahaboub, H. (2005). Dose rice research reduces poverty in Asia?. *Rice Today*, 5 (1), 37.
25. Mohammadi, R., Armion, M. & Ahmadi, M. M. (2011). Genotype × environment interactions for grain yield of durum wheat genotypes using AMMI model. *Seed and Plant Improvement Journal*, 27(2), 183-198. (in Farsi)
26. Mohammadi, R., Pourdard, S. S. & Amri, A. (2008). Grain yield stability of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Australian Journal of Agricultural Research*, 59, 546-553.
27. Nahvi, M., Allahgholipour, M. & Mohammadsalehi, M. (2000). Study of adaptability and stability in rice in different regions of Guilan. *Plant Seed Journal*, 1(18), 1-13. (in Farsi)
28. Nassir, A. L. & Ariyo, O. J. (2011). Genotype × environment interaction and yield- stability analysis of rice grown in tropical swamp. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 39(1), 220-225.

29. Shahmohammadi, M., Dehghani, H. & Yossefi, A. (2004). Additive main effect and multiplicative interaction analysis (AMMI) in barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. *Seed and Plant*, 20 (4), 405-416. (in Farsi)
30. Tarakanovas, P. & Ruzgas, V. (2006). Additive main effect and multiplicative interaction analysis of grain yield of wheat varieties in Lithuania. *Agronomy Research*, 4, 91-98.
31. Vargas, W., Crossa, J., Van Eeuwijk, F. A., Sayre, K. & Reynolds, M. P. (2001). Interpreting treatment×environment interaction in agronomy trials. *Agronomy Journal*, 93, 949-960.
32. Yan, W. & Hunt, L.A. (2001). Interpretation of genotype×environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Science*, 41, 19-25.
33. Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods, S. & Cornelius, P. L. (2007). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by- environment data. *Crop Science*, 47, 643-655.
34. Zali, H., Sabaghpour, S. H., Farshadfar, E., Pezeshkpour, P., Safikhani, M., Sarparast, R. & Hashembeygi, A. (2008). Stability analysis of yield in chickpea genotypes by additive main effects and multiplicative interaction (AMMI). *Journal of Scientific and Technological Agriculture Resources*, 42, 173-180. (in Farsi)