تجزیه پایداری عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گلرنگ

Stability analysis of seed yield in safflower genotypes

مسعود اسکندری تربقان[۱] ، سید حسین نعمتی*[۲]، علی تهرانی[۳] لیلا سمیعی [۴]

۱. دانشجوی دکتری دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه علوم باغبانی
۲. سید حسین نعمتی، دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه علوم باغبانی ، (نگارنده مسئول)
۳. استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه علوم باغبانی
۴. استادیار، دانشگاه فردوسی مشهد، پژوهشکده علوم گیاهی، گروه پژوهشی گیاهان زینتی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۱۰

چکیده

اسکندری تربقان، م.، نعمتی، س. ح.، تهرانی فر، ع.، سمیعی، ل.، تجزیه پایداری عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گلرنگ
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره۲۹ - شماره ٤ - پیاپند ۱۱۳ زمستان ۹۵: ۱۱۸-۱۰۶

هدف از این تحقیق بررسی پایداری عملکرد دانه ۳۰ ژنوتیپ گلرنگ با استفاده از تجزیه مدل آثار اصلی افزایشی و ضرب پذیر (AMMI) و آماره‌های پایداری و اکووالانس ریک می باشد. آزمایشات در شش محیط (دو شهرستان طی سه سال زراعی ۹۳-۱۳۹۱) اجرا شدند. نتایج حاصل از تجزیه امی نشان داد که آثار اصلی ژنوتیپ، محیط، آثار متقابل (E×G) و چهار مولفه اول اثر متقابل معنی‌دار بودند. نمودار بای‌پلات قادر به تفکیک ژنوتیپ های پایدار و محیط‌های با قدرت تفکیک بالا از محیط‌های ضعیف بود. براساس نتایج تجزیه امی و پارامترهای پایداری مورد بررسی ژنوتیپ‌های ۲ و ٤ با میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل دارای پایداری مطلوب بودند در صورتی که ژنوتیپ‌های ۲۰ و ۲۱ با بیشترین تاثیر در اثر متقابل ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند.

واژه های کلیدی: آثار متقابل ژنوتیپ × محیط، تجزیه امی، سازگاری

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: nematish@yahoo.com

مقدمه

وجود اثر متقابل ژنوتیپ × محیط مهمترین چالش فرا روی به‌نژادگران گیاه می باشد. تفسیر آثار متقابل، شناسایی محیط‌های هدف و معرفی ژنوتیپ‌های مناسب با سازگاری خصوصی و عمومی برای محیط‌های مورد مطالعه و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار در سال‌های مختلف از اهداف مهم در بررسی ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های مختلف می‌باشد. پدیده اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به اصلاحگران نبات کمک می کند تا در ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، مکان‌های غیر ضروری را حذف نموده و در نتیجه موجب کاهش عمده هزینه‌ها شوند (Shafii *et al*. 1992; Kang and Magari, 1996; Basford and Cooper, 1998). پارامترهای زیادی برای تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ – محیط ارائه شده است. استفاده از روش مبتنی بر رگرسیون در زمره اولین روش‌های مورد استفاده است (Finlay and Wilkinson, 1963; Eberhart and Russell, 1966). سایر روش‌های آماری از جمله روش امی (AMMI)، روش شم (Shifted Multiplicative Model) یا مدل ضرب پذیر متغیر و مدل SREG یا GGE biplot نیز زیاد مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Gauch & Zobel, 1996; Cornelius *et al*, 1996; Crossa *et al*, 1996; Yan, 2001). ضمن این که برای تعیین پایداری، معیارهای ناپایداری هان که مبتنی بر تغییر رتبه ارقام می‌باشند(Huhn, 1996) و روش مجموع رتبه Kang که از جمله روش‌های ناپارامتری هستند می‌توانند معیارهای معتبری برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر باشند (Kang, 1993; Kang, 1998).

روش امی، یک روش چند متغیره آماری می باشد که آثار جمع پذیر ژنوتیپ، محیط و آثار ضرب پذیر ژنوتیپ × محیط را توجیه نموده و تفسیر خوبی از اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ارائه می نماید (Ebdon & Gauch, 2002). اگر از جزء جمع پذیر مدل، بدون در نظر گرفتن اثر متقابل برای توجیه واریانس آزمایشات استفاده شود، مدل مذکور را امی صفر و اگر از جزء ضرب‌پذیر امی که اثر متقابل را نیز در نظر می‌گیرد استفاده شود بسته به اینکه از کدام مولفه استفاده شود، مدل امی ۱ تا امی F نامیده می‌شود (Gauch and zobel, 1996). مولفه‌های امی معیار معتبری برای بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها و ارتباط بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها می‌باشند. اگر چندین مولفه از مولفه‌های اثر متقابل در مدل امی از لحاظ آماری معنی‌دار باشند، نشان دهنده وجود اثر متقابل پیچیده ژنوتیپ × محیط می باشد (Gauch & Zobel, 1996).

با استفاده از مدل امی یک پارامتر پایداری معتبر برای پایداری ژنوتیپ ها ارائه شد که آن را ارزش پایداری امی (AMMI stability value = ASV) می نامند و در آن از دو مولفه اول امی برای این روش استفاده می‌گردد (Purchase, 1997). همچنین از اکووالانس ریک به منظور تعیین سهم محیط‌ها در اثر متقابل می توان استفاده نمود (Isik and Kleinschmit, 2005). در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ× محیط و برای تعیین پایداری هیبرید های ذرت، روش‌های مختلف تعیین پایداری با هم مقایسه شد و در نهایت مدل AMMI مناسب‌ترین روش برای

تجزیه پایداری معرفی گردید (Albert, 2004).

برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در آفتابگردان از روش های مختلف پایداری استفاده و بیان شد که مدل AMMI نه تنها پایدار ترین ژنوتیپ ها را معرفی می‌کند، بلکه می تواند بیانگر سازگاری خصوصی ارقام نیز باشد (Schoeman, 2003).

در یک تحقیق، ۱۵ ژنوتیپ گلرنگ طی سه سال متوالی در سه مکان بررسی و مشاهده شد که در مدل امی، شش مولفه اصلی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی دار بود و در نهایت چهار ژنوتیپ برتر گلرنگ را به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و سازگار گزینش کردند (Jamshid Moghaddam *et al*, 2014). هدف از این پژوهش تعیین و انتخاب ژنوتیپ یا ژنوتیپ‌های گلرنگ پایدار به محیط‌های مورد مطالعه با استفاده از روش های چند متغیره و تک متغیره می باشد.

مواد و روش ها

در این بررسی ۳۰ ژنوتیپ گلرنگ طی سال‌های زراعی ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ در دو ایستگاه تحقیقات کشاورزی شیروان و سیساب (استان خراسان شمالی) مورد بررسی قرار گرفتند. هر آزمایش در هر محیط در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در زمینی که در سال قبل به صورت آیش بوده، اجرا شد.

هر کرت آزمایشی ۹ متر مربع و شامل ۶ ردیف ۵ متری با فاصله ردیف ۳۰ سانتیمتر و فاصله بوته روی ردیف ۵ سانتیمتر بود. مقدار کود مصرفی بر اساس آزمایش خاک و برای شرایط آبی ۱۰۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم و ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار بود که هم زمان با کاشت استفاده شد. کشت در کلیه محیط‌ها در نیمه دوم مهر ماه انجام گرفت. مقدار بذر برای هر ژنوتیپ براساس ۶۶ دانه در متر مربع و با توجه به وزن هزار دانه ژنوتیپ‌ها محاسبه شد.

برداشت از ۴ ردیف میانی با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای کرت صورت گرفت. به منظور مبارزه با آفات کرم غوزه خوار، سرخرطومی و مگس گلرنگ، از سموم دیازینون و متاسیستوکس به نسبت ۲ در هزار استفاده شد. در طول دوره رشد و پس از آن از صفاتی نظیر تعداد روز تا جوانه‌زنی، درصد سبز و خسارت احتمالی سرما، تعداد روز تا گلدهی، رنگ گل، وضعیت خار، ارتفاع بوته، در صد خسارت آفات و بیماری‌ها، تعداد روز تا رسیدن، تعداد قوزه در بوته، تعداد دانه در قوزه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و درصد روغن یادداشت برداری به عمل آمد، ولی فقط از داده های مربوط به عملکرد دانه برای تجزیه پایداری استفاده شد.

قبل از تجزیه امی، یکنواختی واریانس خطای آزمایش‌ها با آزمون لون (Leven's test) آزمون گردید و سپس تجزیه امی روی عملکرد دانه ژنوتیپ ها در محیط های مختلف با استفاده از نرم افزار GenStat انجام شد. جهت تجزیه پایداری عملکرد لاین‌ها و ارقام گلرنگ مورد بررسی از مدل امی و از مولفه های اثر متقابل اول و دوم امی (IPCA 1, IPCA 2) به عنوان پارامترهای پایداری برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها استفاده گردید (Annicchiarico, 1997). همچنین از مدل بای‌پلات AMMI جهت بررسی واکنش ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها استفاده شد. بای‌پلات ها

به دلیل نمایش گرافیکی واکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در پدیده اثر متقابل ابزار مفیدی جهت شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار به محیط‌های ویژه می باشند (Suadric *et al*, 2006). به منظور تحلیل بهتر آثار متقابل از آماره‌های پایداری امی (ASV) و اکووالانس ریک (W^2_i) استفاده گردید (Purchase *et al*, 2000; Wricke, 1962). آماره ASV به دلیل اینکه آثار دو مولفه اول اثر متقابل را به طور همزمان مورد بررسی قرار می‌دهد نقش مهمی در تفسیر نتایج تجزیه امی دارد. ژنوتیپ و محیط‌های با مقادیر کم پارامتر ASV پایدار و با مقادیر بیشتر ناپایدار خواهند بود (Purchase *et al*, 2000). پارامتر پایداری اکووالنس ریک (W^2_i) که کمتر بودن آن برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها نشان دهنده پایداری بیشتر آنها و سهم کمتر در اثر متقابل می‌باشد، جهت کمک در تفسیر نتایج امی مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

از آنجا که واریانس اشتباه آزمایش‌ها، همگن بود، تجزیه واریانس مرکب داده‌ها برای دو مکان طی سه سال انجام و نتیجه نشان داد که اثر ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، یعنی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در مکان‌ها و سال‌های مختلف، عملکرد متفاوتی را نشان داده‌اند. همچنین اثر محیط و اثر متقابل ژنوتیپ x محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن اثر محیط نشان می‌دهد که محیط‌ها از نظر عملکرد با هم اختلاف دارند. معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپx محیط نیز نشان دهنده این است که عملکرد ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیط دیگر متفاوت است. با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپx محیط، برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار از روش امی استفاده شد.

تجزیه آثار اصلی افزایشی و ضرب‌پذیر برای عملکرد دانه با استفاده از مدل امی:

نتایج تجزیه واریانس امی برای آثار اصلی افزایشی و ضرب پذیر در جدول یک آورده شده است. تجزیه واریانس آثار افزایشی نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها و اثر متقابل ژنوتیپ x محیط در سطح احتمال یک درصد وجود داشت.

در این مدل بزرگی آثار اصلی افزایشی برای ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپx محیط به ترتیب ۵۵/۹۱ ، ۲۸/۷۰ و ۱۵/۳۹ درصد مجموع مربعات کل بود (جدول ۱). بزرگی آثار ژنوتیپ و محیط بیانگر متفاوت بودن ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها بوده که باعث ایجاد تنوع در عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها شده است. محققین در بررسی پایداری عملکرد ۱۷ ژنوتیپ گلرنگ بهاره در ۲۶ محیط مشاهده نمودند که ۸۳ درصد از کل مجموع مربعات به اثر محیط و به ترتیب ۱ و ۱۵ به ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ x محیط مربوط بود (Pourdad and Mohammadi, 2008). به علت تفاوت در میزان اختلاف بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در آزمایش‌های متفاوت و اختلاف بین محیط‌ها و سال‌های آزمایش، درصد سهم هر یک از منابع ایجاد تغییرات در تحقیقات مختلف، متفاوت است.

نتایج آزمون معنی‌داری مولفه‌های اثر متقابل نیز نشان داد که چهار مولفه اول اثر متقابل مدل

امی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. نتایج تجزیه واریانس غیر افزایشی نشان داد که اولین مولفه اثر متقابل ۶۳/۱۷ درصد، دومین مولفه ۲۰/۴ درصد و مولفه های اثر متقابل سوم و چهارم نیز به ترتیب ۸/۸۷ و ۵/۳۴ درصد از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ و محیط را توجیه می‌کنند. این چهار مولفه از لحاظ آماری در توجیه آثار متقابل معنی‌دار بودند. بنابراین مدل دوم امی (AMMI 2) که شامل دو مولفه اول اثر متقابل و آثار اصلی افزایشی ژنوتیپ و محیط می باشد و ۹۷/۸ درصد مجموع مربعات تیمار را توجیه نمود در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. به عبارت دیگر استفاده از مدل دوم امی (AMMI 2) به خوبی در تفسیر نتایج مفید می باشد و برازش خوب مدل امی با داده‌ها را نشان می‌دهد و از این لحاظ با نتایج دیگر محققین مطابقت دارد (Pourdad and Mohammadi, 2008; Jamshid Moghaddam *et al*, 2014).

از آنجا که ۴ مولفه اول بیش از ۹۰ درصد تغییرات کلی را توجیه کردند، از این نظر با نتایج تحقیقات برخی از محققین هم‌سو نمی‌باشد (Farshadfar, 2008; Mohammadi *et al*, 2008).. محققان دیگری نیز برای تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در ژنوتیپ‌های بدون خار گلرنگ از روش امی و ضرایب مولفه‌های اصلی اثر متقابل (IPCA) استفاده کرده‌اند. آنها مشاهده نمودند که ۶ مولفه اصلی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط معنی‌دار شد. همچنین ارقام گلرنگ ایرانی ۴۱۱، داراب ۲، داراب ۴ و ۴۷ از نظر پایداری و عملکرد، برتر بودند (Jamshid Moghaddam *et al*, 2014). ژنوتیپ شماره ۲ این بررسی (ژنوتیپ ۴۱۱) در تحقیق حاضر نیز از نظر پایداری و عملکرد، برتر بود و نتایج این دو بررسی موید یکدیگر هستند. این ژنوتیپ یک رقم گلرنگ بدون خار با گل‌هایی به رنگ نارنجی و قرمز می‌باشد که اخیراً با نام فرامان، برای کشت در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در مناطق معتدل سرد ایران معرفی شده است.

به منظور بررسی روابط ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها از نمایش گرافیکی بای‌پلات استفاده شد (شکل ۱). در این بای‌پلات محور افقی نمایانگر آثار اصلی جمع پذیر یا میانگین عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار و محور عمودی آثار متقابل ضرب‌پذیر یا مقادیر اولین مولفه اصلی (IPCA 1) یعنی ضرایب عامل برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به طور جداگانه می‌باشد. در بای‌پلات مذکور دو جفت از داده ها روی محور نمایش داده شده‌اند. اولین جفت مربوط به میانگین عملکرد هر رقم (محور افقی) و مقادیر اولین مولفه اصلی هر ژنوتیپ (محور عمودی) و دومین جفت مربوط به میانگین عملکرد هر محیط (محور افقی) و مقادیر اولین مولفه اصلی هر محیط (محور عمودی) می‌باشد. بررسی بای‌پلات شکل ۱ نشان می دهد که ژنوتیپ ۲۱ و همچنین محیط ۵ دارای اثر متقابل بزرگ و بیشترین تاثیر را در ایجاد اثر متقابل دارند.

ژنوتیپ‌هایی که در مرکز بای‌پلات قرار گرفته‌اند، اثر متقابل نزدیک به صفر دارند و دارای پایداری عمومی بیشتری هستند، لذا برای اکثر محیط‌ها قابل توصیه می‌باشند، ژنوتیپ‌هایی

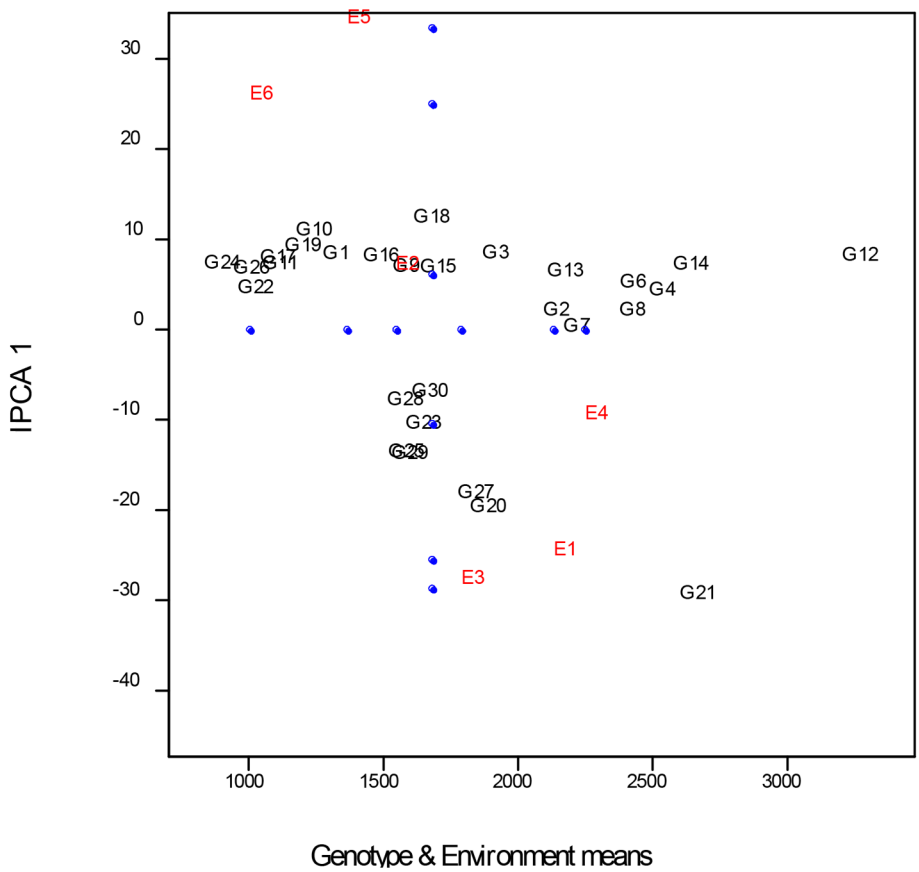
جدول ۱- تجزیه واریانس آثار اصلی افزایشی و ضرب پذیر برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گلرنگ در ۶ محیط

Table 1. Analysis of variance of additive and multiplicative main effects for safflower genotypes grain yield

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	مجموع مربعات Sum of Squares	F	واریانس توضیح داده شده ٪ Variance explained %
کل Total	539	364470683	-	-
ژنوتیپ Genotype	29	195100897	157.41**	55.91
محیط Environment	5	100147635	364.99**	28.70
اثر متقابل Interaction	145	53690429	8.66**	15.39
IPCA1	33	33917008	24.05**	63.17
IPCA2	31	10953445	8.27**	20.40
IPCA3	29	4761656	3.84**	8.87
IPCA4 باقیمانده	27	2870211	2.49**	5.34
Residuals خطا	25	1188109	1.11ns	2.21
Error	348	14873195	-	4.08

** معنی دار در سطح احتمال ۱٪ ، ns: غیر معنی دار

** Significant at the 1% level of probability; ns: non-significant



شکل ۱- نمودار بای‌پلات اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بر اساس مولفه اول

Figure 1. Genotype and environment interaction biplot based on first component

که دور از مرکز قرار می‌گیرند دارای پایداری خصوصی می‌باشند (Gauch and zobel, 1996). لذا چنین نتیجه گرفته شد که ژنوتیپ‌های شماره ۱۵، ۱۶، ۳۰، ۲۸، ۲، ۱۳، ۳ و ۷ کمترین فاصله را از مرکز بای‌پلات داشتند و دارای اثر متقابل کم بودند، ولی از بین آنها ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۷ و ۱۳ به علت داشتن میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل می توانند به عنوان ژنوتیپ‌های با پایداری و عملکرد مطلوب مورد توجه قرار گیرند.

تجزیه‌ی پایداری ژنوتیپ ها

مقادیر پارامترهای ژنوتیپی و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس این پارامترها در جداول ۲ و ۳ آمده است. ضرایب دو مولفه اول آثار متقابل به عنوان ساده‌ترین پارامترهای پایداری جهت انتخاب ژنوتیپ‌ها قبلاً مورد استفاده قرار گرفته است (Annichiarico, 1997; Grausgruber *et al*., 2000; purchase *et al*., 2000).

در مورد گیاه گلرنگ نیز از ضرایب مولفه‌های اصلی اثر متقابل (IPCA) جهت گزینش ژنوتیپ‌های پایدار این گیاه استفاده شده است (Mohammadi *et al*, 2008). ژنوتیپ‌هایی که مقدار اولین مولفه اصلی (IPCA 1) آن‌ها بزرگ (مثبت یا منفی) باشد اثر متقابل زیادی با محیط دارند درحالی‌که ژنوتیپ‌ها یا محیط‌های دارای اولین مولفه اصلی نزدیک به صفر دارای اثر متقابل پایینی هستند. در این پژوهش کمترین مقادیر IPCA 1 برابر با ۰/۷۶- ، ۰/۹۹، ۱/۰۲، ۳/۲۶، ۴/۱۳ و ۵/۳۵ به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۷، ۲، ۸، ۴، ۶ و ۱۳ بود که میانگین عملکرد دانه این ژنوتیپ‌ها نیز بیشتر از میانگین کل است و درنتیجه به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار دارای سازگاری عمومی بالا شناخته می‌شوند (جدول ۲). بیشترین میزان IPCA 1 مربوط به ژنوتیپ‌های ۲۱، ۲۰ و ۲۷ با میانگین عملکرد بیشتر از میانگین کل (۱۶۸۰ کیلو) بود. همچنین، کمترین مقدار IPCA 2 مربوط به ژنوتیپ‌های ۹، ۱۶، ۲، ۱۱، ۱۵ و ۱۰ و بیشترین ضرایب IPCA2 مربوط به ژنوتیپ‌های ۲۱، ۸، ۷، ۶، ۱۲ و ۲۰ با میانگین عملکرد بیشتر از میانگین کل و ژنوتیپ‌های ۲۵، ۵ و ۲۹ با میانگین عملکرد کمتر از میانگین کل بود.

ژنوتیپ‌های شماره ۷، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۲۷، ۲۸، ۲۹ و ۳۰ دارای مقادیر IPCA 1 با علامت منفی اثر متقابل منفی ایجاد می‌کنند و بقیه ژنوتیپ‌های دارای مقادیر IPCA 1 با علامت مثبت، واکنش اثر متقابل مثبت ایجاد می‌کنند(جدول ۲). محققان، پارامتر ارزش پایداری امی (ASV) را برای انتخاب همزمان عملکرد و پایداری مناسب می‌دانند (Sabaghnia *et al*., 2008; Jamshid Moghaddam *et al*., 2014). در این مطالعه نیز نتایج استفاده از آماره پایداری امی (ASV)، نتایج بدست آمده از اولین مولفه اصلی (IPCA 1) را تایید کرد و نشان داد که ژنوتیپ‌های ۲، ۴، ۷ و ۸ با داشتن کمترین مقادیر ASV، به ترتیب ۱۳/۶۴، ۱۰۸/۲۰، ۱۴۲/۶۶ و ۱۵۶/۱۴ پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند و عملکرد آنها نیز از میانگین کل، بیشتر بود. در حالی که ژنوتیپ‌های ۲۱، ۲۰، ۲۷ و ۲۹ ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند (جدول ۳). بر اساس پارامتر پایداری اکووالانس ریک، ژنوتیپ های ۹، ۲، ۱۱ و ۴ با کمترین اکووالانس، پایدارترین ژنوتیپ‌ها

جدول ۲ - میانگین عملکرد ژنوتیپ ها، ضرایب مولفه‌های اول تا چهارم اثر متقابل و رتبه‌های ژنوتیپ ها بر اساس پارامترها

Table 2. Genotype yield means, interaction principal component coefficient and genotypes ranks based on parameters

کد ژنوتیپ Code	ژنوتیپ Genotype	میانگین Mean	رتبه Rank	IPCA 1	رتبه Rank	IPCA 2	رتبه Rank	IPCA 3	رتبه Rank	IPCA 4	رتبه Rank
1	Local Arak	1274 f-j	22	7.30	17	3.44	8	0.74	2	4.43	18
2	411	2091 b-e	9	0.99	2	-2.06	3	6.57	24	6.18	21
3	Esfahan 24	1865 c-f	10	7.38	18	-5.16	15	-4.26	15	8.23	24
4	Darab 7	2485 b	4	3.26	4	-2.51	7	5.36	21	0.12	1
5	PI 406012	626 k	30	9.66	22	9.03	25	-2.24	7	-3.16	16
6	PI 401479	2376 bc	5	4.13	6	-9.00	24	5.18	19	-0.84	4
7	PI 304442	2167 bcd	7	-0.76	1	-11.71	28	9.27	26	5.19	19
8	PI 304441	2374 bc	6	1.02	3	-12.09	29	11.88	28	1.22	8
9	PI 544059	1534 e-i	17	5.84	10	0.74	1	0.64	1	-1.11	7
10	47	1174g-k	23	9.88	23	2.45	6	-2.83	11	-2.33	13
11	PI 537618	1049 h-k	25	6.20	12	2.14	4	-3.80	13	2.92	15
12	PI 306599	3202 a	1	7.11	16	-8.80	23	5.05	18	-0.51	3
13	Disner	2107 b-e	8	5.35	7	-3.89	9	2.42	9	6.75	22
14	Sirin	2574 b	3	6.15	11	-6.63	18	5.71	22	-2.71	14
15	Goldasht	1634 d-h	13	5.79	9	-2.42	5	-1.53	4	-9.54	27
16	PI 239041	1422 f-j	21	7.03	15	-1.38	2	-3.91	14	-10/30	28
17	PI 250533	1041 h-k	26	6.88	14	5.80	17	1.63	5	2.10	12
18	PI 251268	1611 d-h	14	11.33	24	-6.86	19	-6.01	23	-9.20	26
19	PI 253515	1132 h-k	24	8.19	20	5.03	13	-1.46	3	-3.83	17
20	PI 253541	1821 c-f	11	-20.78	29	9.52	26	3.09	12	-12.01	30
21	PI 253559	2600 b	2	-30.38	30	-25.19	30	-16.14	30	-1.01	5
22	PI 253895	958 ijk	27	3.51	5	7.84	20	-9.74	27	-1.03	6
23	PI 235658	1579 d-h	16	-11.47	25	5.03	14	2.77	10	1.46	10
24	PI 262447	833 jk	29	6.27	13	4.72	11	-4.52	16	7.10	23
25	PI 613514	1516 e-i	19	-14.66	26	10.58	27	7.45	25	1.35	9
26	PI 304439	942 ijk	28	5.69	8	4.97	12	-16.00	29	5.80	20
27	Malkshan-e Dorosht	1774 c-g	12	-19.23	28	7.90	21	5.32	20	1.71	11
28	PI 306974	1513 e-i	20	-8.87	21	4.70	10	1.87	6	0.35	2
29	PI 544052	1529 e-i	18	-14.88	27	8.26	22	-4.82	17	11.41	29
30	PI- 306599	1604 d-h	15	-7.95	19	5.56	16	2.30	8	-8.75	25

جدول ۳ - میانگین عملکرد ژنوتیپ ها، آماره‌های امی، اکووالانس ریک و رتبه‌های ژنوتیپ ها بر اساس پارامترها

Table 3. Genotype yield means, AMMI values, Wricke ecovalence and genotypes ranks based on parameters

کد ژنوتیپ Code	ژنوتیپ Genotype	میانگین Mean	رتبه Rank	آماره پایداری امی ASV_i	رتبه Rank	اکووالانس ریک W^2_i	رتبه Rank	اکووالانس ریک (درصد) W^2_i (%)
1	Local Arak	1274 f-j	22	522.78	16	300708	13	1.75
2	411	2091 b-e	9	13.64	1	104952	2	0.61
3	Esfahan 24	1865 c-f	10	548.84	17	335964	14	1.96
4	Darab 7	2485 b	4	108.20	2	154657	4	0.90
5	PI 406012	626 k	30	976.26	23	625827	24	3.65
6	PI 401479	2376 bc	5	244.54	6	353364	15	2.06
7	PI 304442	2167 bcd	7	142.66	3	379093	18	2.21
8	PI 304441	2374 bc	6	156.14	4	447381	22	2.61
9	PI 544059	1534 e-i	17	327.56	9	66370	1	0.39
10	47	1174g-k	23	941.94	22	289600	12	1.69
11	PI 537618	1049 h-k	25	373.15	11	133932	3	0.78
12	PI 306599	3202 a	1	562.14	18	822411	25	4.79
13	Disner	2107 b-e	8	289.57	7	251330	9	1.46
14	Sirin	2574 b	3	406.60	13	374901	17	2.18
15	Goldasht	1634 d-h	13	327.29	8	188554	7	1.10
16	PI 239041	1422 f-j	21	475.76	14	251357	10	1.46
17	PI 250533	1041 h-k	26	487.49	15	188032	6	1.10
18	PI 251268	1611 d-h	14	1277.88	24	554895	23	3.23
19	PI 253515	1132 h-k	24	668.43	20	180423	5	1.05
20	PI 253541	1821 c-f	11	4230.86	29	1555423	29	9.06
21	PI 253559	2600 b	2	9483.84	30	4112302	30	23.9
22	PI 253895	958 ijk	27	179.59	5	269001	11	1.57
23	PI 235658	1579 d-h	16	1286.72	25	442920	21	2.58
24	PI 262447	833 jk	29	399.22	12	209692	8	1.22
25	PI 613514	1516 e-i	19	2172.57	26	1049772	27	6.12
26	PI 304439	942 ijk	28	335.13	10	441718	20	2.57
27	Malkshan-e Dorosht	1774 c-g	12	3608.03	28	1339187	28	7.80
28	PI 306974	1513 e-i	20	776.45	21	364490	16	2.12
29	PI 544052	1529 e-i	18	2191.18	27	986590	26	5.75
30	PI- 306599	1604 d-h	15	636.91	19	387263	19	2.26

بودند و به ترتیب با داشتن ۰/۳۹، ۰/۶۱، ۰/۷۸ و ۰/۹۰ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل، کمترین نقش را در اثر متقابل داشتند. در صورتی که ژنوتیپ‌های ۲۱ و ۲۰ بیشترین نقش را در اثر متقابل داشتند (جدول ۳). ژنوتیپ ۱۲ که بالاترین میزان عملکرد دانه را تولید کرد از نظر پایداری عملکرد، وضعیت مطلوبی نداشت ولی ژنوتیپ‌های ۲ و ۴ (شماره ۴۱۱ و داراب ۷) که در مقایسه میانگین‌ها با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن (در کلیه محیط‌ها) در رتبه دوم عملکرد قرار داشتند، از لحاظ پایداری هم وضعیت مطلوبی نشان دادند.

تجزیه پایداری محیط‌ها

مقادیر پارامترهای پایداری و رتبه‌بندی محیط‌ها بر اساس این پارامترها در جدول ۴ آمده است. بر اساس کمترین مقدار IPCA 1، محیط ۲ یعنی سیساب (سال اول) با کمترین پتانسیل عملکرد و محیط ۴ یعنی سیساب (سال دوم) با بیشترین پتانسیل عملکرد دارای بیشترین پایداری و کمترین نقش در اثر متقابل بودند یعنی این محیط‌ها، نسبت به محیط‌های دیگر پایداری عملکرد بهتری داشتند. محیط ۵ یعنی شیروان (سال سوم) با بیشترین IPCA 1 بیشترین نقش را در ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ و محیط داشت. کمترین IPCA 2 محیطی برای محیط‌های ۱ و ۴ که به ترتیب شیروان (سال اول) و سیساب (سال دوم) و بیشترین آن برای محیط‌های ۲ و ۶ که به ترتیب سیساب (سال اول) و سیساب (سال سوم) می‌باشند، مشاهده شد. جهت گزینش محیط‌های مناسب با قدرت بالا در تفکیک ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها بایستی دارای مقادیر IPCA1 بالا و IPCA2 پایین باشند. محیط ایده‌آل بر اساس IPCA1 بیشتر و IPCA2 کمتر محیط ۱ یعنی شیروان (سال اول) بود (جدول ۴). بر اساس این دو پارامتر در گندم و همچنین در ژنوتیپ‌های سازگار به محیط‌ها و همچنین محیط‌های با قدرت تفکیک ژنوتیپی بالا را از سایر محیط‌ها شناسایی نموده‌اند (Rajcan, 2002; Yan *et al*, 1999; Yan and Yan, 2000) . همچنین در گیاه گلرنگ، به

جدول ۴ – میانگین عملکرد محیط‌ها، ضرایب مولفه‌های اثر متقابل، آماره‌های امی، اکووالانس ریک و رتبه محیط‌ها بر اساس پارامترها

Table 4. Environments yield mean, interaction principal component axis, AMMI statistics, Wricke ecovalence and environments rank based on parameters

محیط Environment	سال زراعی Growing season	میانگین Yield mean	رتبه Rank	IPCA1	رتبه Rank	IPCA2	رتبه Rank	IPCA3	رتبه Rank	IPCA4	رتبه Rank	ASV_j	رتبه Rank	W^2_i
1	2012-13	2131	2	-25.48	4	0.06	1	7.68	2	3.97	2	6224.90	3	264201501
2	2012-13	1547	4	6.14	1	-31.56	6	-19.35	5	1.86	1	1357.50	2	285168145
3	2013-14	1788	3	-28.69	5	12.62	4	-4.03	1	13.74	5	8051.40	5	306000501
4	2013-14	2248	1	-10.42	2	-3.48	2	10.48	3	-24.87	6	1053.15	1	293905566
5	2014-15	1364	5	33.43	6	-4.53	3	21.14	6	10.95	4	10735.9	6	316519977
6	2014-15	1003	6	25.02	3	26.89	5	-15.92	4	-5.65	3	6725.24	4	275430898

جدول ۵- انتخاب چهار ژنوتیپ برتر به‌ترتیب اولویت در هر محیط (ترکیب سال و مکان) توسط روش امی

Table 5. Selection of four superior genotypes for each environment (combination of year and location) by AMMI method

شماره محیط No. of environment	میانگین Mean	اولین ژنوتیپ انتخابی 1st selective genotype	دومین ژنوتیپ انتخابی 2nd selective genotype	سومین ژنوتیپ انتخابی 3rd selective genotype	چهارمین ژنوتیپ انتخابی 4th selective genotype
1	1364	12	14	8	4
2	1003	12	14	4	6
3	1547	21	12	14	6
4	2248	21	21	14	4
5	2132	21	12	14	4
6	1788	21	12	27	20

منظور تجزیه بهتر آثار متقابل ژنوتیپ و محیط، پارامترهای پایداری را برای محیط‌ها استفاده نمودند (Mohammadi *et al*, 2008).

بر اساس آماره پایداری محیطی امی (ASV_j)، محیط ۴ یعنی سیساب (سال دوم) با بیشترین پتانسیل عملکرد دارای بیشترین پایداری و کمترین نقش در پدیده اثر متقابل بود و بعد از آن محیط ۲ یعنی سیساب (سال اول) با پتانسیل عملکرد متوسط قرار داشت در صورتی که محیط ۵ یعنی شیروان (سال سوم) با پتانسیل عملکرد پایین بیشترین ناپایداری را نشان داد. همچنین بر اساس پارامتر اکووالانس ریک، محیط ۵ یعنی شیروان (سال سوم) بیشترین نقش را در اثرمتقابل داشت (جدول ۴).

از مهم‌ترین کاربردهای روش AMMI تعیین سازگاری خصوصی ژنوتیپ‌ها و معرفی یک یا چند ژنوتیپ برای یک یا چند منطقه خاص است. جدول شماره ۵، چهار ژنوتیپی که انتخاب اول تا چهارم روش امی برای هر محیط (ترکیبی از سال و مکان) هستند را نمایش می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که برای منطقه شیروان دو ژنوتیپ ۱۲ و ۱۴ با میانگین عملکرد دانه ۳۲۰۲ و ۲۵۷۴ کیلوگرم در هکتار و برای منطقه سیساب نیز ژنوتیپ ۱۲ در مجموع سه سال مناسب بوده و به عنوان سازگارترین و برترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند.

نتیجه گیری کلی

بر اساس پارامترهای IPCA 1 و IPCA 2 ژنوتیپ‌های ایرانی ۲ و ۴ (رقم محلی داراب ۷ و شماره ۴۱۱) با میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل از پایداری مطلوبی نیز برخوردار بودند. این دو ژنوتیپ گلرنگ بدون خار و دارای گل‌های قرمز رنگ، بر اساس پارامترهای ارزش پایداری امی (ASV_i) و اکووالانس ریک نیز جزء پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. همچنین بای‌پلات امی نشان داد که ژنوتیپ شماره ۲ (ژنوتیپ ۴۱۱) با عملکرد بالاتر از میانگین کل می‌تواند به عنوان ژنوتیپی با پایداری و عملکرد مطلوب مورد توجه قرار گیرد. ژنوتیپ ۴۱۱ یک ژنوتیپ گلرنگ بی‌خار با گل‌هایی که ابتدا نارنجی رنگ و بعد از خشک شدن به رنگ قرمز در می‌آیند، می‌باشد که اخیراً با نام فرامان، برای کشت در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در مناطق معتدل سرد ایران معرفی شده است.

Referece

Albert, M.J.A. 2004. A comparison of statistical methods to describe genotype x environment interaction and yield stability in multi location maize trials. Ph.D. Diss., department of plant sciences (plant breeding), faculty of natural and agricultural sciences of University of the Free State. Bloemfontein, South Africa, pp: 7- 35.

Annicchiarico, P. 1997. Joint regression vs. AMMI analysis of genotype-environment interactions for cereals in Italy. Euphytica, 94: 53-62.

Basford, K.E., and Cooper, M. 1998. Genotype by environment interactions and some considerations of their implication for wheat breeding in Australia. Australian Journal of Agricultural Research, 49: 154-175.

Cornelius, P., Crossa, J., Seyedsadr, M., Kang, M., and Gauch, H. 1996. Statistical Tests and Estimators of Multiplicative Models for Genotype-by-environment Interaction. Genotype-by-environment Interaction. CRC Press, Boca Raton, FL, PP. 199-234.

Crossa, J., Franco, J., and Edmeades, G.O. 1996. Experimental designs and the analysis of multi-location trials of maize grown under drought stress. CIMMYT. Pp, 524-536.

Ebdon, J., and Gauch, H. 2002. Additive Main Effect and Multiplicative Interaction Analysis of National Turfgrass Performance Trials. I. Interpretation of Genotype × Environment Interaction. Crop Sciences, 42(2): 489-496.

Eberhart, S.A., and Russell, W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science, 6: 36-40.

Farshadfar, E. 2008. Incorporation of AMMI stability value and grain yield in a single non-parametric index (GSI) in bread wheat. Pakistan Journal of Biological Sciences, 11: 1791-1796.

Finlay, K.W., and Wilkinson, G.N. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. Australian Journal of Agricultural Research, 14: 742-754.

Gauch, H.G. and Zobel, R.W. 1996. AMMI analysis of yield trials. P. 85-122. In: Kang, M.S., Gauch, H.G. (eds.) Genotype by environment interaction, 1-14 pp., CRC press. Boca Raton.

Grausgruber, H., Oberforster, M., Werteker, M. Ruckenbauer, P., Vollmann, J. 2000. Stability of quality traits in Austrian-grown winter wheat's. Field Crops Research, 66: 257-267.

Huehn, M. (1996). Nonparametric analysis of genotype x environment interactions by ranks. Genotype by environment interaction. CRC Press, Boca Raton, FL, 213-228

Isik, K., Kleinschmit, J. 2005. Similarities and effectiveness of test environments in selecting and deploying of desirable genotypes. Theoretical and Applied Genetics, 110: 311-322.

Jamshid Moghaddam, M., Eskandari Torbaghan, M., Mirzaee, A. 2014. Analysis of genotype × environment interaction for seed yield in spineless safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes. Crop Breeding Journal, 4(1): 47-56.

Kang, M.S. 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: consequences for growers. Agronomy Journal, 85: 754-757.

Kang, M.S., Magari, R. 1996. New developments in selecting for phenotypic stability in crop breeding. In: M.S. Kang and H.G. Zobel (eds.) Genotype by environment interaction, 1-14 pp., CRC press. Boca Raton.

Mohammadi, R., Pourdad, S.S., and Amri, A. 2008. Grain yield stability of spring safflower. Australian Journal of Agricultural Research.

Pourdad, S.S., and Mohammadi, R. 2008. Use of stability parameters for comparing safflower genotypes in multi-environment trials. Asian Journal of Plant Sciences, 7(1): 100-104.

Purchase, J.L. 1997. Parametric analysis to describe genotype x environment interaction and yield stability in winter wheat. Ph. D. University of the Free State. South Africa.

Purchase, J.L., Hatting, H., and Van Deventer, C.S. 2000. Genotype x environment interaction of winter wheat in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. South Africa journal of plant and soil, 17(3): 101-107.

Sabaghnia, N., Dehghani, H., and Sabaghpour, H. 2008. The use of an AMMI model and its parameters to analyze yield stability in multi-environment trials. Journal of Agriculture Science, 146: 571-581.

Schoeman, L.J. 2003. Genotype x environment interaction in sunflower in South Africa (M.Sc. thesis), University of Free State, Bloemfontein.

Shafii, B., Mahler, K.A., Price, W.J., and Auld, D.L. 1992. Genotype - environment interaction effects on winter rapeseed yield and oil content. Crop Science, 32: 922-927.

Suadric, A., Simic, D., and Vratric, M. 2006. Characterization of genotype by environment interactions in soybean breeding programmes of southeast Europe. Plant Breeding, 125: 191-125.

Wricke, G. 1962. Uber eine method zur refassung der okologischen streubretite in feldversuchen ,Flazenzenzuecht, 47: 92-96

Yan, W., and Rajcan, I. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. Crop Sciences, 42: 11-20.

Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q., and Szlavnics, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Sciences, 40: 597-605.

Yan, W. 2001. GGE biplot - a windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. Agronomy Journal, 93: 1111-1118.

Stability analysis of seed yield in safflower genotypes

M. Eskandari Torbaghan[1], S. H. Neamati*[2], A. Tehranifar[3], L. Samiei[4]

1. PhD student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2. Associated professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (Coresponding author)
3. Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
4. Assistant professor, Department of ornamental plants, Research center for plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad

Received: April 2017 Accepted: August 2017

Extended Abstract

Eskandari Torbaghan, M., Neamati, S. H., Tehranifar, A. L. Samiei, Stability analysis of seed yield in safflower genotypes
Applied Field Crops Research Vol 29, No. 4, 2016 25-27: 106-118 (in Persian)

Introduction: One of the greatest challenges encountered by plant breeders is the existence of interaction effects between genotype (G) and environment (E). Interpretation of the interaction, identification of target environments and introduction of suitable genotypes with narrow and broad sense adaptability as well as determining stable genotypes across different locations and years are of the important goals pursued in the studies concerning genotype-environment interaction. GE interaction phenomenon aids breeders in eliminating unnecessary testing locations, which results in a major cost reduction (Kang and Magari, 1996). Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) is an annual plant that is adapted for growth in hot and dry environments with a considerable drought resistance due to its deep roots. Safflower has been used for many purposes such as, a dye, food coloring, a medicinal, a vegetable side dish, hay and forage, birdseed, edible oil and both fresh-cut and dried flowers. Genetic variation is the most important factor in successful genotype selection and breeding programs. Therefore, evaluation of germplasm collections is one of the most important methods to recognize suitable genotypes, which can help breeders to release new varieties. Spatial variability is inherent in all field experiments. The relative performance of lines varies with environment, and this G×E interaction hampers selection of lines for cultivation over a wide region. The additive main effects and multiplicative Interaction (AMMI) model is

Email address of the corresponding author: nematish@yahoo.com

a multivariate statistical method that entirely justifies genotype and environment main effects as well as multiplicative G×E interaction effects. This method provides a clear interpretation of G×E interaction effect (Ebdon and Gauch, 2002). The objectives of this study were to analyze genotype by environment (GE) interactions on the seed yield of 30 safflower genotypes by AMMI model and to evaluate genotype (G), environment (E) and genotype × environment (GE) interactions using statistics parameter i.e. AMMI stability value (ASV) and ecovalence (W^2_i).

Materials and Methods: Thirty safflower genotypes were evaluated over a three-year period (2012-15) across two research stations in Iran. There were 6 growing environments in total. The individual trials were conducted using a randomized complete block design with 3 replications. The experiments were planted in early autumn of each year. Each genotypes was sown in plots (9 m^2) of 6 rows, 5-m long with spacing of 30-cm between rows. Normal agronomic operations like weed and pest control were done. Four rows of each plot were harvested leaving 50 cm on both ends of the rows in order to exclude border effects. Simple analyses of variance in all environments were done for seed yield, separately. Combined analysis of variance was performed assuming genotype effect as fixed, environment effect as random factor.

Results and Discussion: The results of combined analysis of variance showed that there were highly significant differences ($P<0.01$) among genotypes, environments and interaction effects for seed yield. The analysis of data from safflower trials showed that 28.70% of the total sum of squares was attributable to environmental effects, 55.91% to genotypic effects, and 15.39% to genotype × environment interaction effects. Main effects due to environment, genotype, and genotype × environment interactions as well as four first interaction principal components (IPCA1-4) were found to be significant, indicating that the agro-climatic environmental conditions were different, and that there was a differential response of the genotypes to the environments. The first two IPCA components of the GE interaction explained 83.57% of the GE interaction. Estimates of six genotypic parameters and their ranking for seed yields of safflower genotypes are given in Tables 2 and 3. According to IPCA1, G7 and G2 had the lowest scores and were the most stable genotypes whereas G21 and G20 with the highest scores were found to be unstable. The lowest ASV was observed for G2 and G4 that were the most stable genotypes whose mean yield was higher than the grand mean. However, the highest ASV scores were achieved by G21, G20 and G27. AMMI biplot was used to visualize mean seed yield performance and stability of safflower genotypes. AMMI biplot was able to distinguish stable genotypes with broad sense and narrow sense adaptation and environments with high and low genotype discrimination ability. The genotypes 2 and 4 with higher seed yield than the total mean were the most stable genotypes, while the genotypes 20 and 21 with the

highest contribution to GE interaction were the most unstable genotypes. Wricke's ecovalence stability parameter (W^2_i) showed that the genotypes G9, G2, G11 and G4 were the most stable genotypes.

Conclusion: In this study, according to the AMMI model, the G2 and G4 were the genotypes that exhibited the best adaptation and superiority in the all environments. These two genotypes with no thorns and red flowers were also determined as the most stable among the tested genotypes based on Wricke's ecovalence analysis. Moreover, AMMI biplot demonstrated that G2 (genotype 411), which produced yields greater than the grand mean, can be considered stable with the ability to produce sufficient yields.

Acknowledgements: I would like to thank E. Neyestani and other members of the Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Khorasan Shomali for their kind advice. The collaborations of A. Hakimi, M. Hakimi and A. Saburi at Shirvan Agricultural Research Station are greatly acknowledged.

Key words: Adaptability, GE interaction, AMMI analysis.

References:

Annicchiarico, P. 1997. Joint regression vs. AMMI analysis of genotype-environment interactions for cereals in Italy. Euphytica, 94: 53-62.

Ebdon, J., and Gauch, H. 2002. Additive Main Effect and Multiplicative Interaction Analysis of National Turfgrass Performance Trials. I. Interpretation of Genotype × Environment Interaction. Crop Sciences, 42(2): 489-496.

Gauch, H.G. and R.W. Zobel. 1996. AMMI analysis of yield trials. P. 85-122. In: Kang, M.S., Gauch, H.G. (eds.) Genotype by environment interaction, 1-14 pp., CRC press. Boca Raton.

Kang, M.S., Magari, R. 1996. New developments in selecting for phenotypic stability in crop breeding. In: M.S. Kang and H.G. Zobel (eds.) Genotype by environment interaction, 1-14 pp., CRC press. Boca Raton.

Mohammadi, R., S.S. Pourdad, and A. Amri. 2008. Grain yield stability of spring safflower. Australian Journal of Agricultural Research.