

اثر متقابل ژنوتیپ X محیط برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم با استفاده از مدل AMMI

Genotype × Environment Interactions for Grain Yield of Durum Wheat Genotypes Using AMMI Model

رضا محمدی^۱، محمد آرمیون^۲ و ملک مسعود احمدی^۳

۱- استادیار، معاونت موسسه تحقیقات کشاورزی دیم، سرارود، کرمانشاه

۲- مربی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی ایلام

۳- مربی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان شمالی، شیروان

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۵/۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۰/۳۰

چکیده

محمدی، ر.، آرمیون، م.، و احمدی، م. ۱۳۹۰ اثر متقابل ژنوتیپ X محیط برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم با استفاده از مدل AMMI. مجله به‌نژادی نهال و بذر ۱-۲۷: ۱۹۸-۱۸۳.

اثر متقابل ژنوتیپ X 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 با شرایط آب و هوایی معتدل سرد، گرم و سرد در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی و در سه سال زراعی (از ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۸) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه AMMI نشان داد که اثر اصلی ژنوتیپ، محیط، اثر متقابل ژنوتیپ X محیط و چهار مولفه اول اثر متقابل، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بودند. بای پلات AMMI قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های با سازگاری خصوصی و عمومی بود و واکنش ژنوتیپ‌ها در محیط‌های دیم از واکنش آن‌ها در محیط‌های آبیاری تکمیلی متفاوت بود. واکنش ژنوتیپ‌ها در سال‌های اول و سوم اجرای پروژه در محیط‌های معتدل و گرم مشابه و متفاوت از سال دوم اجرای آن بود. در محیط‌های سرد واکنش ژنوتیپ‌ها در سه سال اجرای پروژه مشابه بود. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه AMMI ارقام شاهد واکنش بهتری نسبت به شرایط دیم در بیشتر مکان‌ها داشتند. در صورتی که ژنوتیپ‌های G2، G7، G8، G4 و G6 واکنش بهتری نسبت به شرایط آبیاری تکمیلی داشتند. بر اساس مدل امی و پارامترهای پایداری، ژنوتیپ‌های G3، G10 و G5 پایداری و دارای سازگاری عمومی به محیط‌های مورد بررسی بودند.

واژه‌های کلیدی: گندم دوروم، اثر متقابل ژنوتیپ X محیط، تجزیه AMMI، پارامترهای پایداری.

مقدمه

وجود اثر متقابل ژنوتیپ X محیط مهم ترین چالش فراروی به نژادگران گیاهی است. تفسیر اثر 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 است. مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ X محیط به به نژادگران گیاهی کمک می‌کند تا در ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، مکان‌های غیرضروری را حذف کرده و در نتیجه موجب کاهش عمده هزینه‌ها شوند (Basford and Cooper, 1998; Shafii et al., 1992; Kang and Magari, 1996). پارامترهای زیادی برای تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ X محیط ارائه شده‌اند. از جمله این پارامترها می‌توان به روش بیتز و کوکران (Yates and Cochran, 1938)، روش ابره‌سارت و راسل (Eberhart and Russell, 1966) و فیلی و ویلکینسون (Finlay and Wilkinson, 1963)، اکووالانس ریک (Wricke, 1962)، واریانس پایداری شوکلا (Shukla, 1972)، آماره‌های ناپارامتری نـسار و هـان (Nassar and Huhn, 1987) و مدل امی گوج و زوبل (Gauch and Zobel, 1988) اشاره کرد. این روش‌ها به دو دسته اصلی تک‌متغیره و چندمتغیره تقسیم می‌شوند (Lin et al., 1986).

از روش‌های چندمتغیره مدل امی (AMMI) دارای اعتبار بیشتری است و در حال حاضر در سطح وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Adunga and Labuschagne, 2003; Moreno-Gonzalez et al., 2004; Flores et al., 1998; Annicchiarico et al., 2006).

مدل امی ترکیبی از دو تجزیه اثر اصلی افزایشی و متقابل ضرب‌پذیر در ماتریس‌های دو بعدی ژنوتیپ و محیط است. امی مدلی است که به طور واضح اثر اصلی و متقابل ژنوتیپ و محیط را جدا کرده و یک برآورد قابل اطمینان از عملکرد را در اختیار قرار می‌دهد (Gauch, 1992). مدل تجزیه امی نسبت به روش‌های متداول تجزیه ماتریس‌های دو بعدی ژنوتیپ X محیط مؤثرتر است (Gauch and Zobel, 1996) مدل امی دارای مزایای زیادی است، اولاً کم هزینه است، زیرا مدل شامل تعداد کمی درجه آزادی اثر متقابل است. ثانیاً یک مدل موثر به شمار می‌آید زیرا شامل بیشترین مجموع مربعات اثر متقابل است که باعث اعتبار بیشتر مدل می‌شود و حذف اثر باقیمانده که در خطا موثر است باعث ایجاد دقت و صحت اعتبار آماری مدل می‌شود (Ebdon and Gauch, 2002b; Gauch, 1992; Gauch and Zobel, 1996). ثالثاً در تجزیه محیط‌ها و تقسیم‌بندی آن‌ها به گروه‌های محیطی دارای تشابه زیاد بسیار موثر است (Gauch and Zobel, 1997). تجزیه امی همچنین می‌تواند توصیه ژنوتیپ‌ها برای

بای پلات روابط بین ژنوتیپ‌ها با محیط‌ها و اثر متقابل آن‌ها را نشان می‌دهد (Yan and Rajcan, 2002). هدف از این تحقیق تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه گندم دوروم در شرایط آب و هوایی مختلف به منظور گروه‌بندی محیط‌ها و شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار به گروه‌های محیطی و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار بر اساس مدل تجزیه امی و آماره‌های پایداری تک متغیره بود.

مواد و روش‌ها

در این بررسی دوازده لاین پیشرفته گندم دوروم انتخاب شده از برنامه به‌نژادی گندم دوروم موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور به همراه دو رقم زردک (شاهد گندم دوروم) و سرداری (شاهد گندم نان) در چهارده محیط با شرایط آب و هوایی مختلف ارزیابی شدند. آزمایش‌ها در سال‌های زراعی ۸۵-۱۳۸۴، ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۸-۱۳۸۷ در سه ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم کشور در استان‌های کرمانشاه (ایستگاه سرارود، با شرایط آب و هوایی معتدل سرد)، ایلام (ایستگاه شیروان چرداول، با شرایط آب و هوایی معتدل گرم) و خراسان شمالی (ایستگاه شیروان، با شرایط آب و هوایی سرد) در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی مورد بررسی قرار گرفتند. در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ با توجه به پدیده خشکسالی نتایج مطلوبی از آزمایش‌ها به دست نیامد و آزمایش‌ها در سال

گروه‌های محیطی را از طریق کاهش تعداد ژنوتیپ‌های برتر با توجه به دقت و صحت مدل (Ebdon and Gauch, 2002a, b)؛ مکان‌های مختلف در آزمایش‌های چند محیطی به گروه‌های محیطی با ژنوتیپ‌های مشابه (Zobel, 1997؛ Brown *et al.*, 1983)؛ Peterson and Pfeiffer, 1989)؛ (Ebdon and Gauch, 2002 a,b) آسان‌تر کند.

بای پلات تجزیه امی یک ابزار موثر برای تعیین الگوهای گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به شمار می‌رود. مدل امی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را در بیشتر از یک بعد توصیف کرده و فرصت‌های بهتری را برای مطالعه و تفسیر اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نسبت به تجزیه واریانس و رگرسیون در اختیار قرار می‌دهد (Vargas *et al.*, 2001). بای پلات‌ها به دلیل نمایش گرافیکی واکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در پدیده اثر متقابل ابزارهای مفیدی جهت شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار به محیط‌های ویژه است (Yan *et al.*, 2000؛ Suadric *et al.*, 2006). نتایج حاصل از تجزیه امی در هدایت برنامه‌های به‌نژادی مفید بوده و به‌نژادگر را در انتخاب محیط‌ها و ژنوتیپ‌های سازگاری خصوصی و عمومی کمک می‌کند (Gauch and Zobel, 1988). معمولاً نتایج حاصل از امی به صورت یک گراف متداول که بای پلات نامیده می‌شود، نشان داده می‌شود.

اثر متقابل نقش کمتری در اثر متقابل داشته و هر چه میزان ضرایب مولفه‌های اثر متقابل به صفر نزدیک‌تر باشد بیانگر پایداری ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها است. محیط‌های با مقادیر بیشتر مولفه اول و کمتر مولفه دوم اثر متقابل قابلیت بالایی در شناسایی ژنوتیپ‌های با سازگاری خصوصی دارند و محیط‌هایی که چنین خصوصیتی را از نظر دو مولفه اثر متقابل نداشته باشند در تفکیک بین ژنوتیپ‌ها از نقش ضعیفی برخوردارند (Yan and Rajcan, 2002)؛ Yan et al., 2000). از مدل بای‌پلات AMMI2 نیز جهت بررسی واکنش ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها استفاده شد

به منظور تحلیل بهتر اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط و تعیین سهم ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در اثر متقابل از آماره‌های ضریب رگرسیون (bi) و واریانس انحراف از رگرسیون (Eberhart and Russell, 1966) (S^2_{di}) ضریب تغییرات (CV) (Francis and Kannenberg, 1978) و اکووالانس ریک (W^2_i) (Wricke, 1962) استفاده شد. ژنوتیپ‌های با ضرایب رگرسیون بیشتر از یک ($b > 1$) به شرایط مطلوب سازگاری بیشتر، ژنوتیپ‌های با ضرایب رگرسیون کمتر از یک ($b < 1$) به شرایط نامطلوب سازگارتر و ژنوتیپ‌های با ضرایب رگرسیون $b = 1$ دارای واکنش متوسط به محیط‌ها و پایداری هستند (Lin and Binns, 1985)؛ Finlay and Wilkinson, 1963). ژنوتیپ‌های

زراعی ۸۸-۱۳۸۷ تکرار شدند. آزمایش‌های آبیاری تکمیلی در سه سال متوالی در ایستگاه سرارود و سال‌های دوم و سوم اجرای پروژه در ایستگاه ایلام اجرا شدند. در ایستگاه شیروان آزمایش‌ها تنها در شرایط دیم انجام شدند. در هر محیط آزمایش‌ها در زمینی که سال قبل به صورت آیش بود اجرا شدند. هر آزمایش در هر محیط در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در چهار تکرار اجرا شد. هر ژنوتیپ در شش خط شش متری با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر کاشته شد. میزان کود مورد نیاز در هر سال بر اساس توصیه کارشناسان خاک و آب در هر ایستگاه استفاده شد. در شرایط آبیاری تکمیلی دو بار آبیاری (جمعاً ۵۰ میلی‌لیتر) از آغاز دوره گلدهی تا رسیدن اعمال شد. در طول فصل زراعی خصوصیات زراعی ژنوتیپ‌های مورد بررسی، اندازه‌گیری شدند اما در این مقاله با توجه به اهمیت عملکرد دانه، اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط تنها برای این صفت بررسی شد. از نرم‌افزار IRRISTAT نیز جهت تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط استفاده شد.

به منظور تجزیه و تحلیل سازگاری و پایداری عملکرد لاین‌ها و ارقام مورد بررسی از مدل امی (Zobel et al., 1988) و از مولفه‌های اثر متقابل اول و دوم امی (PC_1 , PC_2) به عنوان پارامترهای پایداری برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها استفاده شد (Grausgruber, 2000)؛ Annicchiarico, 1997). ژنوتیپ‌ها و محیط‌های با مقادیر کمتر مولفه‌های اول و دوم

بودند و به ترتیب ۱۰/۸، ۱۵/۶، ۴۹/۷، و ۹/۲٪ از مجموع اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه می کردند. دو مولفه اول اثر متقابل ۶۵/۳٪ از تغییرات کل اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند.

شکل ۱ تجزیه گرافیکی بای پلات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را نشان می دهد. در بای پلات، ژنوتیپ ها به صورت نقاط و محیط ها به صورت بردار نشان داده شده اند. زاویه بین دو بردار محیطی میزان همبستگی دو محیط را نشان می دهد (Yan and Kang, 2003). هر چه زاویه بین دو محیط کوچک تر باشد دو محیط همبستگی بالاتری داشته و نقش مشابهی در گزینش ژنوتیپ ها خواهند داشت. محیط های با زاویه ۹۰ درجه با یک دیگر همبستگی ندارند اما محیط های با زاویه بزرگ تر از ۹۰ درجه و به خصوص با زاویه ۱۸۰ درجه نقش متضادی در تعیین ژنوتیپ های سازگار دارند. محیط های E1، E3 و E5 نماینده کرمانشاه در شرایط دیم در طی سه سال زارعی متوالی بودند. روابط بین محیط ها در شرایط دیم در کرمانشاه نشان داد که E1 و E5 (سال های اول و سوم) شرایط مشابه تری از نظر اثر متقابل ژنوتیپ × محیط داشتند. این دو محیط نسبت به محیط E3 اثر کاملاً متفاوتی در اثر متقابل داشتند. به طوری که ژنوتیپ های G13 (زردک) و G14 (سرداری) که واکنش مناسبی به محیط های E1 و E5 داشتند در محیط E3 مناسب نبودند.

با واریانس انحراف از رگرسیون بیشتر ناپایداری و ژنوتیپ های با واریانس انحراف از رگرسیون کمتر پایداری تر می باشند (Eberhart and Russell, 1966). مقادیر کمتر اکووالانس ریگ (W²i) نشان دهنده پایداری بیشتر ژنوتیپ ها و سهم کمتر آن ها در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط است. ضریب تغییرات بیشتر نشان دهنده پایداری کمتر یک ژنوتیپ است.

نتایج و بحث

اطلاعات مورد نیاز مربوط به محیط های آزمایش در جدول ۱ و در مورد ژنوتیپ های گندم در جدول ۲ ارائه شده اند. تجزیه واریانس عملکرد دانه نشان داد که اختلاف معنی داری بین ژنوتیپ ها از نظر عملکرد دانه وجود دارد (جدول ۳). اثر محیط و اثر مقابل ژنوتیپ × محیط نیز در سطح احتمال ۱٪ معنی داری بود. بزرگی اثر اصلی برای محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به ترتیب ۹۲/۷٪، ۱٪ و ۶/۲٪ مجموع مربعات کل بود (جدول ۳). بزرگی اثر محیط بیانگر تنوع محیط هاست که باعث ایجاد تفاوت در عملکرد دانه ژنوتیپ ها شده است. نتایج حاصل از تجزیه اثر افزایشی و ضرب پذیر در این جدول نشان داد که اختلاف معنی داری بین ژنوتیپ ها، محیط ها و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط وجود دارد. تجزیه اثر ضرب پذیر مدل امی حاکی از آن بود که چهار مولفه اول اثر متقابل معنی دار

جدول ۱- مشخصات محیط‌های مورد بررسی
Table 1. Description of environments in the study

کد Code	Year	سال	Environment محیط		وضعیت	میزان بارندگی* Rainfall* (mm)	Temperature (°C)*		درجه حرارت* متوسط Ave.	
			Location مکان	Status			حداقل Min.	حداکثر Max.		
E1	2005-06	۱۳۸۴-۸۵	Kermanshah	کرمانشاه	Rainfed	دیم	515	-8.0	38.6	11.7
E2	2005-06	۱۳۸۴-۸۵	Kermanshah	کرمانشاه	Suppl. Irr.	آبیاری تکمیلی	515+50			
E3	2006-07	۱۳۸۵-۸۶	Kermanshah	کرمانشاه	Rainfed	دیم	551.8	-11.6	39.0	10.4
E4	2006-07	۱۳۸۵-۸۶	Kermanshah	کرمانشاه	Suppl. Irr.	آبیاری تکمیلی	551.8+50			
E5	2008-09	۱۳۸۷-۸۸	Kermanshah	کرمانشاه	Rainfed	دیم	288.3	-11.6	35.6	10.9
E6	2008-09	۱۳۸۷-۸۸	Kermanshah	کرمانشاه	Suppl. Irr.	آبیاری تکمیلی	288.3+50			
E7	2005-06	۱۳۸۴-۸۵	Ilam	ایلام	Rainfed	دیم	574	-	-	-
E8	2006-07	۱۳۸۵-۸۶	Ilam	ایلام	Rainfed	دیم	470.3	-2.8	41.0	13.9
E9	2006-07	۱۳۸۵-۸۶	Ilam	ایلام	Suppl. Irr.	آبیاری تکمیلی	470.3+50	-		
E10	2008-09	۱۳۸۷-۸۸	Ilam	ایلام	Rainfed	دیم	377.1	-5.6	39.0	14.1
E11	2008-09	۱۳۸۷-۸۸	Ilam	ایلام	Suppl. Irr.	آبیاری تکمیلی				
E12	2005-06	۱۳۸۴-۸۵	Shirvan	شیروان	Rainfed	دیم	208.3	-16.0	37.4	11.8
E13	2005-06	۱۳۸۵-۸۶	Shirvan	شیروان	Rainfed	دیم	284	-18.2	37.0	9.4
E14	2008-09	۱۳۸۷-۸۸	Shirvan	شیروان	Rainfed	دیم	238.6	-13.0	33.0	9.7

* From October to June

* از مهر تا خرداد

جدول ۲ - کد، نام و منشأ ژنوتیپ‌های گندم دوروم
Table 2. Code, name and the origin of durum whet genotypes

کد	Genotype	Origin
G1	Waha B53	ICARDA
G2	Arthur71/Bcr//Ch5	ICARDA
G3	Stj3/4/Stn//Hui/Somo/3/Yav/Fg//Roh	ICARDA
G4	Gidara-2	ICARDA
G5	Lgt3/4/Bcr/3/Ch1//Gta/Stk	ICARDA
G6	Aghrass-2	ICARDA
G7	Quadalete//Erp/Mal/3/Unk/4/Mrb3/Mna-1	ICARDA
G8	Stj3//Bcr/Lks4	ICARDA
G9	Bicredera-1	ICARDA
G10	Ossl-1/Stj-5	ICARDA
G11	Bcr//Memo/Goo/3/Stj7	ICARDA
G12	Saji	ICARDA
G13	Zardak	Iran
G14	Sardari	Iran

در حالی که G2، G7 و G8 در محیط E4 واکنش بهتری داشتند. نتایج حاصل نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ × سال نقش مهمی در گروه‌بندی محیط‌ها داشت. مقایسه محیط‌های دیم و آبیاری تکمیلی همچنین نشان داد که در سال‌های اول و سوم همبستگی بالایی بین واکنش ژنوتیپ‌ها در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی وجود نداشت.

محیط‌های E7، E8 و E10 نماینده محیط‌های دیم در ایلام به ترتیب در سال‌های اول، دوم و سوم اجرای پروژه بودند. همان‌طور

محیط‌های E2، E4 و E6 نماینده شرایط آبیاری تکمیلی در سال‌های اول، دوم و سوم اجرای پروژه در کرمانشاه بودند. همانند شرایط دیم محیط‌ها در سال‌های اول و سوم (E2 و E6) واکنش مشابهی در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط داشتند. زاویه بین این دو محیط با محیط E4 نزدیک ۱۸۰ درجه بود که نشان می‌دهد این دو گروه از محیط‌ها در کرمانشاه در شرایط آبیاری تکمیلی واکنش متضادی در گزینش ژنوتیپ‌ها داشتند به طوری که ژنوتیپ‌های G6 و G4 بهترین پاسخ را به محیط‌های E2 و E6 داشتند

در شیروان نداشت.

تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها

در جدول ۴ میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها و مقادیر آماره‌های پایداری برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی نشان داده شده است. ضرایب دو مولفه اول اثر متقابل به عنوان ساده‌ترین پارامترهای پایداری جهت ارزیابی ژنوتیپ‌ها قبلاً مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Mohammadi *et al.*, 2008; Annicchiarico, 1997; Grausgruber *et al.*, 2000). کمترین مقدار PC1 مربوط به ژنوتیپ‌های G1، G6، G3 و G10، کمترین مقدار PC2 مربوط به ژنوتیپ‌های G3، G10، G5 و G13 بود. بر اساس مقادیر PC1 و PC2، ژنوتیپ‌های G10 و G3 با عملکرد نسبتاً بالا جزء ژنوتیپ‌های پایدار بودند. ژنوتیپ‌های G11 و G12 با بیشترین عملکرد نسبتاً پایدار و ژنوتیپ‌های G13 (زردک) و سرداری (G14) با کمترین میزان عملکرد جزء ژنوتیپ‌های ناپایدار بودند. ژنوتیپ G8 نیز با بیشترین میزان عملکرد نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها ناپایدارتر اما نسبت به ارقام شاهد زردک و سرداری نسبتاً پایدار تر بود.

ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس مدل لین و بینز (Lin and Binns, 1985) نیز نشان داد که اکثر ژنوتیپ‌ها با ضرایب رگرسیون بین $1/3 < b < 0/7$ دارای واکنش متوسطی به محیط‌ها بودند. اما رقم سرداری (G14) با ضریب رگرسیون کمتر از $0/7$ نسبت به محیط‌های دیم سازگاری

که در شکل ۱ مشخص است محیط‌های E7 و E10 واکنش مشابهی داشتند و در ایجاد اثر متقابل از محیط E8 کاملاً متفاوت بودند. محیط‌های E7 و E10 نیز واکنش مشابهی با محیط‌های E1 و E5 دیم در کرمانشاه داشتند. محیط E8 ایلام با محیط E3 کرمانشاه نیز مشابه بودند. این نتایج نشان می‌دهد که در سال‌های اول و سوم اجرای پروژه محیط‌های کرمانشاه و ایلام در شرایط دیم واکنش‌های مشابهی در اثر متقابل داشتند. به عبارت دیگر اثر سال در سال دوم اجرای پروژه از اثر سال در سال‌های اول و سوم در ایلام و کرمانشاه کاملاً متفاوت بود. این نتایج نشان می‌دهد که سال نقش بیشتری نسبت به مکان در اثر متقابل داشته است. محیط‌های E9 و E11 نیز معرف آبیاری تکمیلی در سال‌های دوم و سوم اجرای پروژه در ایلام بودند، زوایه بین این دو محیط بیشتر از ۹۰ درجه بوده که نشان دهنده واکنش متفاوت این دو محیط در اثر متقابل ژنوتیپ X محیط بود. بهترین ژنوتیپ برای محیط E9، E5 و برای محیط E11، E1 و G1 بود. ژنوتیپ G3 نیز واکنش مناسبی در هر دو محیط مذکور داشت. محیط‌های E12، E13 و E14 نماینده شیروان (خراسان شمالی) در سال‌های اول، دوم و سوم اجرای پروژه در شرایط دیم بودند. هر سه محیط نقش مشابهی در ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ X محیط داشتند. بهترین ژنوتیپ‌های سازگار به این محیط‌ها ژنوتیپ‌های G14 و G10 بودند. نتایج نشان داد که عامل سال نقش موثری در ایجاد اثر متقابل

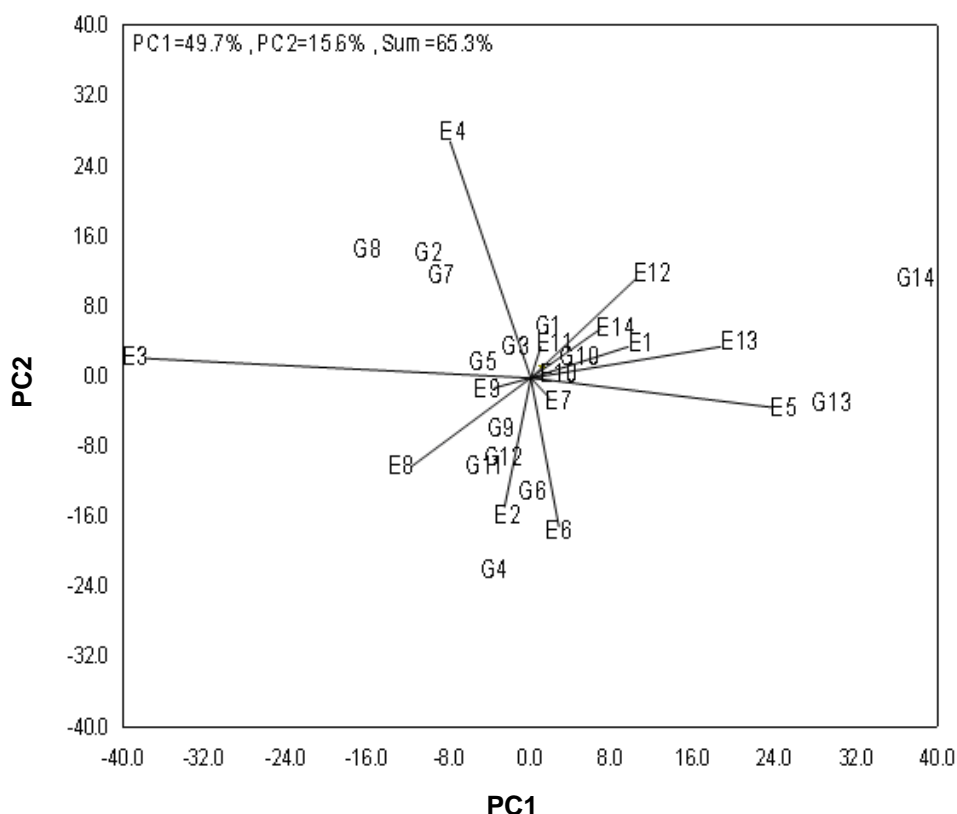
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر اصلی افزایشی و ضرب پذیر برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم در چهارده محیط

Table 3. Additive main effects and multiplicative interaction analysis for grain yield of durum wheat genotypes in fourteen environments

Source	منابع	درجه آزادی df.	مجموع مربعات SS	میانگین مربعات MS	درصد نسبت به مجموع مربعات کل %TSS	محیط X درصد نسبت به اثر متقابل ژنوتیپ % GE
Genotype	ژنوتیپ	13	2850300	219254*	1.0	
Environment	محیط	13	252127000	19394400**	92.7	
G×E	ژنوتیپ X محیط	169	16989500	100530**	6.2	
IPC1	اولین مولفه اثر متقابل	25	8440110	337604**		49.7
IPC2	دومین مولفه اثر متقابل	23	2646600	115070**		15.6
IPC3	سومین مولفه اثر متقابل	21	1829300	87109**		10.8
IPC4	چهارمین مولفه اثر متقابل	19	1564660	82350**		9.2
GxE Residual	باقیمانده	81	2508870			14.8
Total	کل	195	271967000			

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.

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



شکل ۱- بای پلات حاصل از اولین و دومین مولفه اثر متقابل در مدل AMMI2 برای ژنوتیپ‌های گندم دوروم در چهارده محیط

Fig.1. AMMI2 biplot derived from first two principal component axes based on durum wheat genotypes in fourteen environments
اطلاعات مربوط به محیط‌ها (E) و نام ژنوتیپ‌ها (G) در جدول‌های ۱ و ۲ درج شده است.
For details on environments (E) and genotypes (G) see Tables 1 and 2.

اکووالانس ریک (Wricke, 1962) ژنوتیپ‌های G1، G10 و G3 پایدارترین و ارقام شاهد سرداری (G14) و زردک (G13) ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۴). به عبارت دیگر ژنوتیپ‌های زردک و سرداری بیشترین نقش را در پدیده اثر متقابل ژنوتیپ و محیط داشتند. بیشترین مقدار ضریب تغییرات ژنوتیپی که ژنوتیپ‌ها را بر اساس واریانس فنوتیپی نسبت به میانگین عملکرد بررسی می‌کند در G2، G7، G3 و کمترین آن در

بیشتری داشت. همان‌طور که از شکل ۱ پیداست نتایج تجزیه بای پلات امی نیز این نتایج را تایید می‌کند. به طور کلی تجزیه بای پلات امی نشان داد ارقام شاهد زردک و سرداری (G13 و G14) به محیط‌های دیم واکنش بهتری نشان دادند. آماره پایداری واریانس انحراف از رگرسیون (S^2_{di}) نیز نشان داد که ارقام شاهد (G13 و G14) جزء ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های G1، G10، G12 و G13 جزء پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر اساس پارامتر پایداری

جدول ۴ - میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها، ضرایب مولفه های اثر متقابل و آماره های پایداری برای چهارده ژنوتیپ‌های گندم دوروم

Table 4. Mean yield of genotypes, principal component scores and stability measures for fourteen durum wheat genotypes

ژنوتیپ	میانگین عملکرد	ضرایب اولین مولفه	ضرایب دومین مولفه	ضریب رگرسیون bi	واریانس انحراف از رگرسیون S ² di	اکووالانس ریگ W ² i	ضریب تغییرات CV
Genotype	Mean yield	PC1	PC2	bi	S ² di	W ² i	CV
G1	2380abc	-0.38	4.38	0.987	2865	37643	49.5
G2	2378abc	-11.75	12.14	1.091	149654	62833	54.8
G3	2373abc	-1.76	2.37	1.073	96937	34957	53.7
G4	2484ab	-5.38	-22.13	1.103	191853	94853	53.5
G5	2451ab	-6.03	0.52	1.048	41646	80714	51.6
G6	2457ab	1.69	-12.44	0.961	27162	43876	46.8
G7	2378abc	-9.84	13.08	1.083	123474	90831	54.9
G8	2567a	-16.54	17.43	1.097	169086	120925	51.9
G9	2457ab	-4.88	-6.16	1.094*	158152	40550	52.9
G10	2450ab	-0.01	1.73	0.974	11765	35561	47.4
G11	2550a	-7.44	-10.28	1.038	26378	54186	48.7
G12	2540a	-3.58	-8.58	1.027	13245	51581	48.4
G13	2121c	27.44	-2.47	0.797*	741413	196555	47.6
G14	2208bc	38.48	10.43	0.625*	2528712	361826	38.1

میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی داری با هم ندارند

Means followed by common letters are not significantly different.

*: معنی دار در سطح احتمال ۵٪ نسبت به شیب خط رگرسیون برابر با واحد (b=1).

*: Significant at 5% level of probability relative to b=1.

For genotype names see Table 2.

برای نام ژنوتیپ‌ها به جدول ۲ مراجعه شود.

(شرایط آبیاری تکمیلی در ایلام)، E3 (شرایط دیم در کرمانشاه)، E2 (شرایط آبیاری تکمیلی در کرمانشاه) و کمترین میزان عملکرد محیطی مربوط به محیط‌های E12، E13 و E14 (شرایط دیم در شیروان) بود. برای گزینش محیط‌های مناسب با قدرت بالا در تفکیک

ژنوتیپ‌های G14 (سرداری)، G6 و G10 مشاهده شد.

در جدول ۵ میانگین پتانسیل عملکرد محیط‌ها و ضرایب مولفه‌های اول و دوم محیطی در تجزیه امی نشان داده شده است. بیشترین میزان عملکرد محیطی مربوط به محیط E9

جدول ۵- میانگین عملکرد و ضرایب مولفه های اثر متقابل محیطها

Table 5. Mean yield values and principal component scores for each testing environment

محیط Environment	میانگین عملکرد محیطی Mean yield of environments	ضرایب اولین مولفه PC1	ضرایب دومین مولفه PC2
E1	3316c	9.49	2.90
E2	3680ab	-2.54	-17.73
E3	3735ab	-39.07	3.26
E4	3560b	-7.75	25.29
E5	1322de	22.38	-4.59
E6	2477d	0.93	-18.31
E7	2464d	0.83	-2.61
E8	3282c	-14.72	-11.39
E9	3884a	-5.55	-0.88
E10	1584de	0.89	1.66
E11	2001de	0.29	3.85
E12	728e	9.48	10.45
E13	787e	18.16	3.69
E14	975e	7.17	4.40

میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی داری با هم ندارند.

Means followed by common letters are not significantly different.

؛Yan *et al.*, 2000؛Yan and Rajcan, 2000)؛
 (Yan , 1999). محیط‌های دیم E5 و E13 قادر
 به تفکیک ژنوتیپ‌های G13 و G14 از بقیه
 ژنوتیپ‌ها بودند و محیط E3 قادر به تفکیک
 ژنوتیپ‌های G2، G8 و G7 با عملکرد بالا بود.
 بر اساس نتایج حاصل از مطالعه اثر متقابل
 ژنوتیپ X محیط در این پژوهش، محیط
 مهم‌ترین عامل در ایجاد تغییرات بود. نتایج نشان
 داد که مدل امی در مطالعه اثر متقابل
 ژنوتیپ X محیط مفید بوده و قادر به تفکیک
 محیط‌ها به گروه‌های متفاوت بود به طوری که

ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها بایستی دارای مقادیر
 PC1 بالا و PC2 پایین باشند
 (Yan *et al.*, 2000؛Yan and Rajcan, 2000)؛
 (Yan, 1999). بر اساس PC1، محیط E7، E11،
 E10 و E6 با عملکرد نسبتاً پایین دارای کمترین
 مقادیر ضرایب PC1 و کمترین نقش در ایجاد
 اثر متقابل بودند. محیط E3 با عملکرد بالا و
 محیط‌های E5 و E13 با عملکرد پایین بیشترین
 ضرایب PC1 را داشتند. این سه محیط با
 بیشترین میزان PC1 و میزان PC2 کمتر بیشترین
 نقش را در تفکیک ژنوتیپ‌ها داشتند

ژنوتیپ‌های برتر بودند. محیط‌های با شرایط آب و هوایی متفاوت نقش متفاوتی در شناسایی ژنوتیپ‌های با سازگاری خصوصی داشتند. نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که امکان شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار به محیط‌های و با عملکرد بالا وجود دارد. مقایسه روش‌های تک متغیره با روش چند متغیره مدل امی نشان داد که روش‌های تک متغیره همانند مدل امی نقش مهمی در مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط دارند.

هر محیط یا گروه محیطی قادر به شناسایی و هوایی متفاوت نقش متفاوتی در شناسایی ژنوتیپ‌های با سازگاری خصوصی داشتند. نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که امکان شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار به محیط‌های و با عملکرد بالا وجود دارد. مقایسه روش‌های تک متغیره با

References

- Adugna, W., and Labuschagne, M. T. 2003.** Parametric and non-parametric measures of phenotypic stability in linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Euphytica* 129: 211-218.
- Annicchiarico, P. 1997.** Joint regression vs AMMI analysis of genotype-environment interactions for cereals in Italy. *Euphytica* 94: 53-62.
- Annicchiarico, P., Russi, L., Piano, E., and Veronesi, F. 2006.** Cultivar adaptation across italian locations in four turfgrass species. *Crop Science* 46: 264-272.
- 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.
- Brown, K. D., Sorrels, M. E., and Coffman, W. R. 1983.** A method for classification and evaluation of testing environments. *Crop Science* 23: 889-893.
- Ebdon, J. S., and Gauch, H. G. 2002a.** AMMI analysis of national turfgrass performance trials. I. Interpretation of genotype by environment interaction. *Crop Science* 42: 489-496.
- Ebdon, J. S., and Gauch, H. G. 2002b.** AMMI analysis of national turfgrass performance trials. II. Genotype recommendation. *Crop Science* 42: 497-506.
- Eberhart, S. A., and Russell, W. A. 1966.** Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6: 36-40.
- 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.
- Flores, F., Moreno, M. T., and Cubero, J. I. 1998.** A comparison of univariate and multivariate methods to analyze environments. *Field Crops Research* 56: 271-286.

- Francis, T. R., and Kannenberg, L. W. 1978.** Yield stability studies in short-season maize. I. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science* 58: 1029–1034.
- Gauch, H. G. 1988.** Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics* 44: 705–715.
- Gauch, H. G. 1990.** Full and reduced models for yield trials. *Theoretical and Applied Genetics* 80:153–160.
- Gauch, H. G. 1992.** *Statistical Analysis of Regional Yield Trials: AMMI Analysis of Factorial Designs.* Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Gauch, H. G. 1998.** *MATMODEL Version 2.1: AMMI and related analyses for two-way data matrices.* Microcomputer Power, Ithaca, NY.
- Gauch, H. G., and Zobel, R. W. 1988.** Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. *Theoretical and Applied Genetics* 76: 1–10.
- Gauch, H. G., and Zobel, R. W. 1996.** AMMI analysis of yield trials. pp. 85-122. In: Kang, M. S., and Gauch, H. G. (eds.) *Genotype by Environment Interaction.* CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Gauch, H. G., and Zobel, R. W. 1997.** Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science* 37: 311–326.
- Grausgruber, H., Oberforster, M., Werteker, M., Ruckebauer, P., and Vollmann, J. 2000.** Stability of quality traits in Austrian-grown winter wheats. *Field Crops Research* 66: 257–267.
- Kang, M. S., and Magari, R. 1996.** New developments in selecting for phenotypic stability in crop breeding. pp. 1-14. In: Kang, M. S., and Zobel, H. G. (eds.) *Genotype by Environment Interaction.* CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Lin, C. S., and Binns, M. R. 1985.** Procedural approach for assessing cultivar–location data: Pairwise genotype–environment interactions of test cultivars with checks. *Canadian Journal of Plant Science* 65: 1065–1071.
- Lin, C. S., Binns, M. R., and Lefcovitch, L. P. 1986.** Stability analysis: Where do we stand? *Crop Science* 26: 894–900.
- Mohammadi, R., Pourdada, S. S., and Amri, A. 2008.** Grain yield stability of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Australian Journal of Agricultural Research* 59: 546–553.

- Moreno-Gonzalez, J., Crossa, J., and Cornelius, P. L. 2004.** Genotype x environment interaction in multi-environment trials using shrinkage factors for AMMI models. *Euphytica* 137: 119–127.
- Nassar, R., and Huhn, M. 1987.** Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. *Biometrics* 43: 45–53.
- Peterson, C. J., and Pfeiffer, W. H. 1989.** International winter wheat evaluation: Relationship among test sites based on cultivar performance. *Crop Science* 29: 276–282.
- Shaffi, B., Mahler, K. A., Price, W. J., and Auld, D. L. 1992.** Genotype x environment interaction effects on winter rapeseed yield and oil content. *Crop Science* 32: 922–927.
- Shukla, G. K. 1972.** Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity* 29: 237–245.
- 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.
- Vargas, M., Crossa, J., van Eeuwijk, F., Sayre, K. D., and Reynolds, M. P. 2001.** Interpreting treatment x environment interaction in agronomy trials. *Agronomy Journal* 93: 949–960.
- Wricke, G. 1962.** Uber eine methode zur refassung der okologischen streubreite in feldversuchen, *Flazenzuecht* 47: 92–96.
- Yan, W. 1999.** A study on the methodology of yield trial data analysis—with special reference to winter wheat in Ontario. Ph.D. Thesis, University of Guelph, Ontario, Canada.
- Yan, W., Hunt, L. A., Sheng Q., and Szlavnic, Z. 2000.** Genotype evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science* 40: 597–605.
- Yan, W., and Kang, M. S. 2003.** GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Yan, W., and Rajcan, I. 2002.** Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science* 42: 11–20.

Yates, F., and Cochran, W. G. 1938. The analysis of groups of experiments. Journal of Agricultural Science (Cambridge) 28: 556-580.

Zobel, R. W., Wright, M. J., and Gauch, H. G. 1988. Statistical analysis of a yield trial. Agronomy Journal 80: 388-393.