

تجزیه پایداری در ارقام یولاف با استفاده از روش تجزیه اثرات اصلی جمع‌بذر و (AMMI) اثرات متقابل ضرب‌بذر

محمد ربیعی^{*}، لیلا اکبری^۲ و محمود خدامباشی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۲۴)

چکیده

بررسی پایداری و سازگاری یک ژنوتیپ در شرایط محیطی متفاوت جهت معرفی آن برای کاشت در شرایط شناخته شده مفید بوده و جزء نیازهای اصلی برنامه‌های اصلاح نباتات می‌باشد. با توجه به تنوع شرایط آب و هوایی مناطق مختلف کشور مطالعه و شناخت برهمکنش ژنوتیپ × محیط دارای اهمیت زیادی است. در این تحقیق عملکرد ۱۰ ژنوتیپ یولاف در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و در ۶ شرایط زراعی مختلف در ۲ سال مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تفسیر بهتر برهمکنش ژنوتیپ × محیط، از روش AMMI استفاده شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه تفاوت‌های معنی داری بین ژنوتیپ‌ها نشان داد. با استفاده از روش AMMI مشخص شد که آثار ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ × محیط بسیار معنی دار هستند و ۴ مؤلفه اول در مجموع بیش از ۷۷ درصد از مجموع مربعات برهمکنش‌ها را توجیه نمودند. براساس بای پلات حاصل از اولین مؤلفه اصلی و میانگین در روش AMMI، ژنوتیپ‌های ریگودون، پیسلی و سوئیکس پایدارترین واکنش را نشان دادند و کمترین IPC1 متعلق به ژنوتیپ سوئیکس بود در حالی که ژنوتیپ پیسر ناپایدارترین تلقی گردید.

واژه‌های کلیدی: برهمکنش، ژنوتیپ × محیط، پایداری، مؤلفه اصلی، بای پلات

۱ و ۲ و ۳. به ترتیب استادیار، دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: k_rabiei@yahoo.com

مقدمه

داده‌های مدل ساز و داده‌های اعتبار نظریه و در ضمن مقایسه داده‌های مورد انتظار به دست آمده از طریق مدل با داده‌های اعتباری صورت می‌گیرد (۵ و ۹). مدل آمیز به صورت زیر است:

$$Y_{ijk} = \gamma + g_i + e_j + \sum_{n=1}^N u_n' i n Y_{jn} + \epsilon_{ijk} + v_{ijk} \quad (1)$$

در این فرمول، Y_{ijk} عملکرد ژنتیک در محیط j و در تکرار k ، u_n میانگین کل، g_i اثر اصلی ژنتیک (اختلاف میانگین یک ژنتیک از میانگین ژنتیک‌ها) e_j اثر اصلی محیط (اختلاف میانگین یک محیط از میانگین محیط‌ها)، ϵ_{ijk} مقدار منفرد مربوط به n امین مؤلفه اصلی باقی‌مانده در مدل که برابر با جذر ریشه مشخصه مربوط به همان مؤلفه اصلی است، N تعداد مؤلفه‌های اصلی برهمکنش (IPC) در مدل AMMI که $(e-1), N \min(g-1), in$ بردار مشخصه برای α امین ژنتیک از n امین مؤلفه اصلی برهمکنش، u_n بردار مشخصه برای β امین محیط از n امین مؤلفه اصلی برهمکنش، $i j$ عبارت مربوط به مقدار باقی‌مانده (نویز) و v_{ijk} عبارت مربوط به خطاست (۸).

محمدی نژاد و رضایی (۱۵) از روش امی به منظور تعیین پایداری ۹ ژنتیک یولاف در ۶ محیط (شرایط مختلف رشد و نمو، شامل ۳ تاریخ کاشت و ۳ تراکم کاشت متفاوت) استفاده کردند. طبق نتایج به دست آمده از این مطالعه ۷۰٪ از مجموع مربعات توسط دو مؤلفه اصلی اول تبیین شد. رانگ ژی و همکاران (۱۸) نیز با استفاده از روش امی به مطالعه پایداری ارقام یولاف پرداختند و ژنتیک‌های دارای بهترین و کمترین پایداری را مشخص نمودند. آقا خانی آبادی و همکاران (۱) بیست لاین امید بخش یولاف را به منظور ارزیابی و مقایسه عملکرد و تعیین بهترین ارقام پرمحصول و سازگار مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تجزیه واریانس مرکب حاکی از وجود تفاوت‌های معنی‌دار بین سال‌های آزمایش و همچنین اثر متقابل ژنتیک‌ها در دو سال بود. برای معرفی پایدارترین ژنتیک از آزمون‌های غیرپارامتری استفاده گردید. این تجزیه نشان داد که ژنتیک ۵ دارای بیشترین شاخص عملکرد بود. کوکس (۵)

برهمکنش ژنتیک × محیط موضوعی دیرینه و عمومی است که به کلیه موجودات زنده مربوط است. برهمکنش ژنتیک‌ها و محیط یکی از اجزای متشکله فنوتیپ است (۹). روش‌های زیادی برای تجزیه برهمکنش ژنتیک × محیط وجود دارد، این روش‌ها به دو دسته اصلی تک متغیره و چند متغیره تقسیم می‌شوند (۱۷). برای درک همه جنبه‌های مختلف برهمکنش ژنتیک × محیط استفاده از روش‌های آماری تجزیه چند متغیره ضروری است. روش‌های چند متغیره برخلاف روش‌های پارامتری تک متغیره که سعی دارند پاسخ و عکس العمل ژنتیک‌ها به محیط‌ها را از طریق محاسبه یک شاخص پایداری نشان دهند، پاسخ را به صورت چند متغیره مورد بررسی قرار می‌دهند (۷). روش‌های چند متغیره اکنون به میزان زیادی در اصلاح نباتات به کار گرفته می‌شوند. به عنوان مثال پرکینز (۱۶) از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و لین و تامسون (۱۱) از تجزیه خوش‌های برای گروه‌بندی ژنتیک‌ها و محیط‌ها از حیث پایداری بهره گرفته‌اند. یکی از آماره‌های پارامتری چند متغیره، مدل تجزیه اثرات اصلی جمع‌پذیر و برهمکنش ضرب‌پذیر (AMMI) است که ایزاری بسیار قوی را در تجزیه و تفسیر ماتریس‌های بزرگ ژنتیک × محیط فراهم می‌کند. روش اثرات اصلی افزایشی و برهمکنش ضرب‌پذیر (AMMI) با قابلیت پیش‌بینی برای جداول تجزیه دوطرفه پیشنهاد شد (۸). در این روش برخلاف تجزیه به مؤلفه‌های اصلی محاسبات به جای داده‌های اصلی بر روی مقادیر برهمکنش‌ها صورت می‌گیرد. به منظور تفکیک بین AMMI و PCA پارامترهای ضرب‌پذیر AMMI را با IPCA نشان می‌دهند. با امکان نمودار پلات دوگانه تجزیه AMMI هر دو ژنتیک‌ها و مکان‌ها در یک اسکلت‌گرام نمایش داده می‌شوند و تفسیر برهمکنش‌های ژنتیک × مکان خاص میسر می‌گردد. در اصلاح نباتات این روش روی دقت برآوردهای عملکرد ژنتیکی در آزمایش‌های چند مکانی مرکز شده است. این برآورد دقیق به صورت ارزیابی و عملیات پیشگویی کننده از طریق تفکیک داده‌ها به

جدول ۱. محیط‌های مختلف مورد استفاده در آزمایش

اسفند- بدون تنش- سال اول (ena)	آبان- بدون تنش- سال اول (ana)	مهر- بدون تنش- سال اول (mna)
اسفند- تنش- سال اول (esa)	آبان- تنش- سال اول (asa)	مهر- تنش- سال اول (msa)
اسفند- بدون تنش- سال دوم (end)	آبان- بدون تنش- سال دوم (and)	مهر- بدون تنش- سال دوم (mnd)
اسفند- تنش- سال دوم (esd)	آبان- تنش- سال دوم (asd)	مهر- تنش- سال دوم (msd)

از روش AMMI، مؤلفه‌های ژنتیپ، محیط و برهمکنش ژنتیپ × محیط بسیار معنی‌دار گردیدند. در آزمایش‌های اول و دوم به ترتیب ۵ و ۴ مؤلفه اصلی معنی‌دار بودند. اولین مؤلفه اصلی این مدل بیش از ۵۴/۶٪ از مجموع مرباعات برهمکنش را تبیین کرد. از اهداف این مطالعه برآورده برهمکنش ژنتیپ‌ها با شرایط محیطی مختلف (تاریخ کشت‌های مختلف و اعمال تنش) از نظر عملکرد دانه و تجزیه پایداری عملکرد ۱۰ ژنتیپ یولاف و معرفی پایدارترین ژنتیپ‌ها بر اساس آماره‌های پایداری بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار با در نظر گرفتن شرایط تنش و بدون تنش رطوبتی به عنوان عامل فرعی و ۳ تاریخ کاشت به عنوان عامل اصلی طی دو سال زراعی به منظور بررسی برهمکنش بین ژنتیپ‌های یولاف در شرایط اقلیمی متفاوت در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی انجام گرفت. در کل دو تیمار تنش و بدون تنش و سه تاریخ کاشت مهر، آبان و اسفند برای ایجاد محیط‌ها لحاظ شدند (جدول ۱).

مواد مورد بررسی شامل ۱۰ رقم یولاف پیسر (C1)، ریگودون (C2)، پیسلی (C3)، سوئیکس (C4)، دربای (C5)، آکسفورد (C6)، کالیر (C7)، لاین شماره ۳۶ (C8)، بویر (C9) و دونالد (C10) می‌باشند که منشاء لاین شماره ۳۶ ترکیه (BL36) و منشاء ۹ لاین دیگر کانادا است. عملیات تهیه

پایداری ژنتیپ‌های یونجه یک ساله از نظر تولید بذر را در چهار مکان در کشورهای سوریه و اردن ارزیابی نمود. در این مطالعه برهمکنش ژنتیپ × محیط با استفاده از تجزیه واریانس، تجزیه رگرسیون خطی فینلی و ویلکینسون و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به عنوان بهترین روش شناخته شد. در آزمایشی دیگر (۶) که در مرکز بین‌المللی اصلاح گندم و ذرت (سیمیت) برای ارزیابی ژرم پلاسم ذرت با استفاده از روش AMMI با دو تکرار صورت گرفت، دقت آزمایش مشابه اجرای طرح به صورت بلوک‌های کامل تصادفی با ۵ تکرار برآورد شد. محفوظی و همکاران (۱۲) به منظور بررسی اثر متقابل ژنتیپ × محیط و تعیین سازگاری و پایداری عملکرد دانه لاین‌های جدید گندم نان با استفاده از معیارهای مختلف تعیین پایداری در دو شرایط محدودیت آب و آبیاری معمولی، تعداد ۲۰ لاین جدید و رقم پیشرفته را به مدت دو سال زراعی ارزیابی کردند. بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب، در هر دو شرایط (تنش خشکی و آبیاری معمول) اثر متقابل سال × مکان و ژنتیپ × مکان معنی‌دار بود. اثر متقابل سال × مکان × ژنتیپ فقط در شرایط تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بر اساس نتایج حاصل از کلیه روش‌ها و معیارهای پایداری مختلف، چهار لاین به عنوان لاین‌های پایدار و پر محصول در شرایط تنش خشکی تعیین شدند. گاج و زوبل (۹) از آزمایش‌های چند مکانی در مرکز تحقیقات ذرت و گندم سیمیت استفاده نمودند. در آزمایش اول، عملکرد دانه ۱۷ ژنتیپ ذرت در ۳۶ محیط و در آزمایش دوم عملکرد دانه ۹ ژنتیپ در ۳۸ محیط ارزیابی شد. در هر دو آزمایش با استفاده

بارتلت به منظور یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی، هم برای آزمایشات جداگانه سال‌ها و هم برای کل آزمایش در کلیه محیط‌ها انجام گرفت. برای عملکرد ارقام تجزیه واریانس مرکب در ۱۲ محیط صورت گرفت. سپس با استفاده از مدل AMMI برهمکنش‌های ژنتیپ × محیط تجزیه و تعیین شد. هم‌چنان تجزیه الگوی واکنش ژنتیپی بر مبنای مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول تا سوم و آماره‌های پایداری مدل AMMI4 انجام شد. در نهایت ترسیم نمودار دو بعدی (بای‌پلات) IPC2-IPC1، IPC3-IPC2، IPC3-IPC1، IPC1 برهمکنش‌های ژنتیپ در محیط و انتخاب ژنتیپ‌های با سازگاری خاص به نواحی خاص ترسیم شد. در ترسیم بای‌پلات (نمودار دو بعدی) برای اولین مؤلفه اصلی، محور افقی مربوط به میانگین اثر اصلی (عملکرد) ژنتیپ‌ها و محیط‌ها و محور عمودی مربوط به مقادیر اولین مؤلفه اصلی ژنتیپ‌ها و محیط‌ها است. در این پژوهش برای محاسبات آماری از نرم افزار SAS استفاده شد.

نتایج و بحث

با توجه به اینکه آماره^۲ آزمایش کل با درجه آزادی ۱۱ و برای آزمایشات جداگانه سال‌ها با درجه آزادی ۵ از مقدار جدول در سطح ۱٪ کوچکتر بود، لذا فرض یکنواختی واریانس خطای آزمایشات رد نشد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب عملکرد ژنتیپ‌ها در سال‌های جداگانه نشان داد که اثر ژنتیپ، مکان و برهمکنش ژنتیپ × محیط در هر دو سال معنی دار شد، که بر تنوع تمامی آنها و وجود برهمکنش دلالت دارد (مشاهدات نشان داده نشده‌اند). نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه بر مبنای روش امی (مدل تجزیه آثار اصلی جمع‌پذیر و آثار متقابل ضرب‌پذیر) در جدول ۲ آورده شده است. منابع ژنتیپ، محیط و برهمکنش بسیار معنی دار بودند و چهار مؤلفه اول در سطح احتمال یک درصد معنی دار گردیدند که در مجموع ۷۷ درصد از اثرات را توجیه نمودند. پنج مؤلفه غیر معنی دار باقی‌مانده با نویز ادغام شدند.

جدول ۲. تجزیه واریانس عملکرد دانه ۱۰ ژنتیپ یولاف در ۱۲ محیط بر مبنای روش امی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
ژنتیپ	۹	۶/۰۷	۱۰۶/۳۸**
محیط	۱۱	۵۳/۲۳	۹۳۳/۲۶**
ژنتیپ × محیط	۹۹	۰/۵۸۱	۱۰/۱۹**
AMMI I	۱۹	۱/۲۹	۲۲/۶۳**
AMMI II	۱۷	۰/۹۷	۱۷/۰۱**
AMMI III	۱۵	۰/۴۵	۷/۸۹**
AMMI IV	۱۳	۰/۳۸	۶/۶۶**
نویز	۳۵	۰/۱۲	۲**
خطا	۲۱۶	۰/۰۵۷	-

* و ** به ترتیب در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ معنی دار می‌باشد.

زمین شامل شخم و دیسکزنی، قبل از کاشت صورت گرفت. هر واحد آزمایشی (کرت) شامل ۵ ردیف به طول ۳ متر با فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله کاشت روی ردیف‌ها به طور متوسط ۲/۵ سانتی‌متر (۴۰ بذر در هر متر از ردیف‌های کاشت) در نظر گرفته شد. در هنگام تهیه زمین معادل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات آمونیوم به زمین اضافه شد. جهت جبران کمبود احتمالی ازت، مقداری کود اوره معادل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و به نسبت مساوی برای هر واحد آزمایشی به صورت سرک اضافه شد. آبیاری برای سه تاریخ کاشت مختلف تا زمان ساقه دهی به طور مشابه انجام شد و از آن به بعد تیمارها برای شرایط تنش و بدون تنش اعمال شد. برای تعیین درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده خاک به طور کلی ۱۸ بلوک گچی در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک قرار داده شد، به طوری که در هر تکرار در هر آزمایش یک بلوک گچی نصب شد. اندازه‌گیری میزان مقاومت الکتریکی بلوک‌های گچی و ارتباط بین مقاومت الکتریکی و میزان رطوبت خاک، درصد رطوبت قابل استفاده تعیین و زمان آبیاری مشخص می‌گردید. تجزیه واریانس ساده برای عملکرد دانه انجام شد و آزمون

جدول ۳. مقادیر بردارهای ویژه ژنوتیپ برهمنکنش ژنوتیپ × محیط برای مدل ۴ AMMI

ژنوتیپ	۱	۲	۳	۴
پیسر	۰/۸۶۹	۰/۰۹۱	۰/۰۵۳	۰/۳۵۳
ریگودون	۰/۱۰۰	۰/۰۵۲	-۰/۰۹۷	-۰/۴۱۵
پیسلی	۰/۰۸۲	-۰/۱۸۳	۰/۱۰۵	-۰/۴۸۶
سوئیکس	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۹	-۰/۰۸۹	-۰/۲۳۰
دربای	-۰/۱۵۹	-۰/۲۳۳	-۰/۱۲۱	۰/۰۱۸
آکسفورد	-۰/۱۷۷	۰/۵۷۵	-۰/۰۲۱	-۰/۱۶۸
کالیبر	-۰/۰۸۲	۰/۲۴۸	-۰/۱۹۵	۰/۰۰۱
لاین شماره ۳۶	-۰/۲۰۷	-۰/۲۵۴	-۰/۶۳۴	۰/۴۲۴
بویر	-۰/۳۳۱	۰/۳۳۳	۰/۴۶۳	۰/۴۳۳
دونالد	-۰/۱۱۲	-۰/۵۲۲	۰/۵۳۶	۰/۰۷۰

۱ تا ۴ به ترتیب بردارهای ویژه ژنوتیپی برای اولین تا چهارمین، مؤلفه اصلی برهمنکنش می‌باشند.

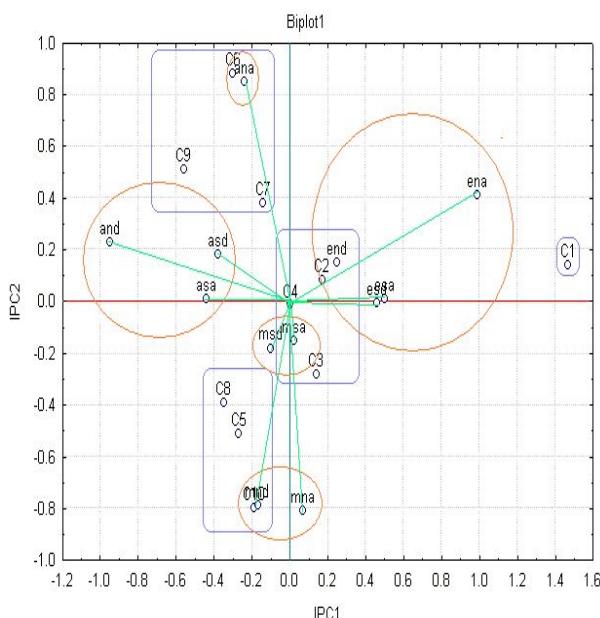
جدول ۴. مقادیر بردارهای ویژه محیطی برهمنکنش ژنوتیپ × محیط برای مدل ۴ AMMI

محیط	۱	۲	۳	۴
مهر - نرمال - سال اول	۰/۰۴۲	-۰/۰۵۹	-۰/۳۴۹	-۰/۳۲۷
مهر - نرمال - سال دوم	-۰/۱۰۱	-۰/۰۱۶	-۰/۲۶۰	۰/۴۵۱
مهر - تنش - سال اول	۰/۰۱۳	-۰/۰۹۸	۰/۳۶۵	-۰/۳۸۹
مهر - تنش - سال دوم	-۰/۰۵۹	-۰/۱۱۷	۰/۰۵۲	۰/۰۲۷
آبان - نرمال - سال اول	-۰/۱۴۲	۰/۰۵۵	-۰/۳۸۲	-۰/۰۵۳
آبان - نرمال - سال دوم	-۰/۰۵۶	۰/۱۵۰	-۰/۲۵۲	-۰/۰۷۱
آبان - تنش - سال اول	-۰/۰۶۰	۰/۰۰۵	۰/۱۸۶	-۰/۱۴۲
آبان - تنش - سال دوم	-۰/۰۲۵	-۰/۱۱۷	۰/۳۲۵	۰/۴۱۶
اسفند - نرمال - سال اول	۰/۰۵۸۶	۰/۲۶۷	-۰/۰۴۸	۰/۲۱۲
اسفند - نرمال - سال دوم	۰/۱۴۸	۰/۰۹۸	-۰/۰۷۸	۰/۰۸۰
اسفند - تنش - سال اول	۰/۰۲۶۹	۰/۰۰۵	-۰/۰۱۶	-۰/۴۶۹
اسفند - تنش - سال دوم	۰/۰۲۷۲	-۰/۰۰۴	-۰/۰۴۶	۰/۲۶۵

۱ تا ۴ به ترتیب بردارهای ویژه محیطی برای اولین تا چهارمین، مؤلفه اصلی برهمنکنش می‌باشند.

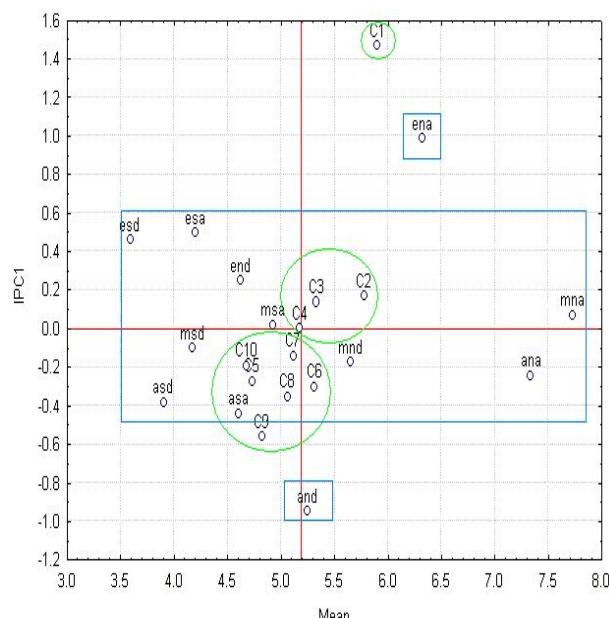
بر این تا ۴ به ترتیب بردارهای ویژه ژنوتیپی برای اولین تا چهارمین، مؤلفه اصلی برهمنکنش می‌باشند. در بایپلات اول ژنوتیپ‌های ریگودون، پیسلی و سوئیکس و محیط‌های (مهر- تنش- سال اول و مهر- تنش- سال دوم) در گروه ۱ با IPC1 و ۲ کوچک قرار گرفتند که دارای کمترین برهمنکنش بودند

پارامترهای برهمنکنش ژنوتیپ × محیط در مدل ۴ AMMI برای ژنوتیپ‌ها در جدول ۳ و برای محیط‌ها در جدول ۴ نشان داده شده‌اند. این مقادیر برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در نمودار دو بعدی (بایپلات) و همچنین برای محاسبه پارامترهای پایداری مدل امی به کار گرفته شدند. علاوه



شکل ۲. نمودار پراکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها بر اساس مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم

جفت مربوط به میانگین عملکرد هر رقم (محور افقی) و مقادیر اولین مؤلفه اصلی هر ژنوتیپ (محور عمودی) و دومین جفت اولین مؤلفه اصلی هر محیط (محور افقی) و مقادیر اولین مؤلفه اصلی هر محیط (محور عمودی) می باشد (شکل ۱). همچنین با توجه به شکل ۲ سهم مؤلفه اصلی اول در دستجات مذکور بیشتر از سهم مؤلفه اصلی دوم است. بر اساس مقادیر مؤلفه های اصلی اول و سوم برهمکنش ژنوتیپ ها و محیط ها (شکل ۳) ژنوتیپ های آکسفورد، دربای، سوئیکس، پیسلی، ریگودون و کالیبر به عنوان ارقام پایدار معرفی شدند. تجزیه الگوی واکنش ژنوتیپی بر اساس مؤلفه های دوم و سوم (شکل ۴)، ژنوتیپ های ریگودون، سوئیکس، پیسر و کالیبر را پایدارتر از بقیه نشان داد. در تمام بای پلات ها رقم ریگودون به عنوان رقمی پایدار با مطلوب ترین عملکرد شناخته شد. مقایسه بای پلات های ترسیم شده برای مدل AMMI نشان داد که در تمامی نمودارهای بای پلات بر مبنای بردارهای مؤلفه های اصلی و تجزیه الگوی واکنش ژنوتیپی ترسیم شده، ژنوتیپ های ریگودون و به خصوص سوئیکس واکنش پایداری عمومی بسیار خوبی، را از خود نشان دادند که ریگودون به دلیل

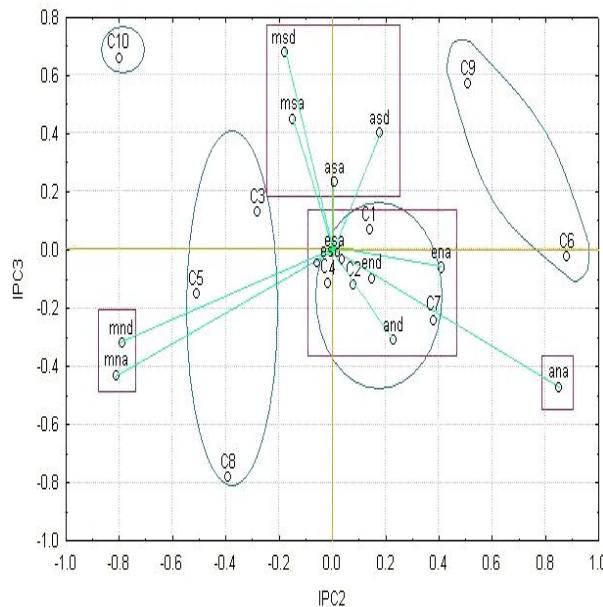


شکل ۱. نمودار پراکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها بر اساس مقادیر اولین مؤلفه اصلی و میانگین

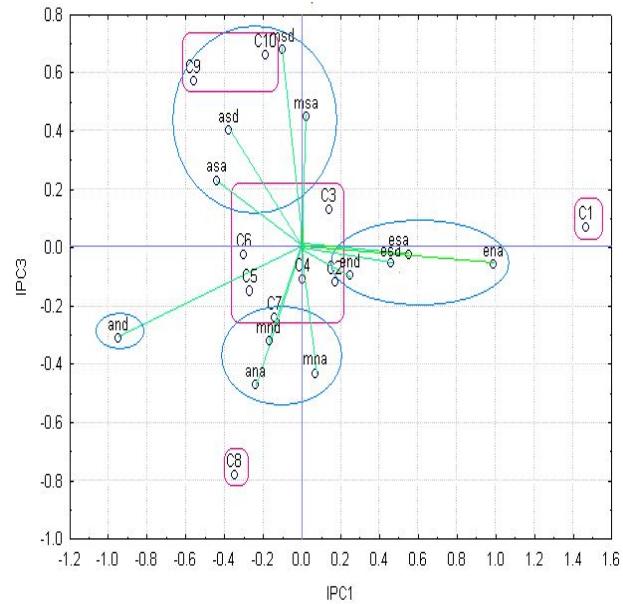
و سایر گروه‌ها با فاصله از دو محور قرار داشته و در نتیجه با واکنش نایابداری همراه هستند.

در مطالعه باراک و بروکلی (۴) نیز که چهارده هیبرید تجاری ذرت آمریکایی را در سه مکان ارزیابی کردند، طول خط رقم منعکس کننده مقدار برهمکنش برای هر رقم و ارقام دارای بیشترین برهمکنش دارای بلندترین طول شدند. زاویه بین خطوط رقم مرتبط با برهمکنش باقیمانده‌ها معرفی شد و ژنتیپ‌های نزدیک‌تر به مرکز نمودار دو بعدی پایدارتر مطرح گردیدند.

بر اساس تجزیه الگوی واکنش ژنوتیپی بر مبنای IPC_1 میانگین (شکل ۱) مشاهده شد که ژنوتیپ‌های پیسلی، ریگودون و آکسفورد دارای کمترین برهمکنش ژنوتیپ \times محیط هستند و از بین این ژنوتیپ‌ها ریگودون با IPC_1 نزدیک به صفر و عملکرد بالاتر از میانگین به عنوان پایدارترین ژنوتیپ پر محصول شناسایی شد. در ضمن ژنوتیپ سوئیکس با IPC_1 صفر تنها از نظر پایداری عملکرد مطلوب‌ترین تعیین گردید. در نمودار دو بعدی میانگین عملکرد و پارامتر IPC_1 جفت از داده‌ها بر روی محورها نمایش داده شده‌اند که اولین



شکل ۴. نمودار پراکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها بر اساس مقادیر مؤلفه‌های اصلی دوم و سوم



شکل ۵. نمودار پراکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها بر اساس مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و سوم

ژنوتیپ‌ها و مکان‌های دارای علامت یکسان واکنش ضربی (برهمکنش) همسو و با علامت مختلف دارای واکنش برهمکنش منفی می‌باشند. طبق گزارش محمدی‌نژاد و رضایی (۱۵) ارقام بویر، کالیبر و لاین ۲۸ در تاریخ کاشت‌ها (۲۰ مهر، ۱۰ آبان و ۳۰ آبان) و تراکم کاشت‌های مختلف (۳۷۵، ۳۰۰ و ۴۵۰ بذر در مترمربع) پایدارترین واکنش را داشتند که از این بین، رقم بویر کمترین IPC را نشان داد. محمدی و همکاران (۱۴) با انجام تجزیه امی نشان دادند که بای‌پلات امی قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های با سازگاری ویژه و عمومی و محیط‌های با قدرت تفکیک بالا از محیط‌های ضعیف می‌باشد. آفارخ (۲) در مطالعه ۹ ژنوتیپ یولاف در ۱۶ محیط و طی ۲ سال، از تجزیه علیت به روش تای و روش‌های پارامتری چند متغیره از جمله امی استفاده کرد. در مدل امی، سه مؤلفه اول در مجموع ۸۱٪ از مجموع مرباعات اثر متقابل را توجیه نمود و با گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و همچنین تجزیه الگوی واکنش ژنوتیپی، لاین ۳۶ و رقم بویر پایدار معرفی شدند. روش تای نیز رقم بویر را پایدارترین ژنوتیپ پر محصول معرفی کرد. در مطالعه‌ای که کرسای و پونی (۱۰) در ارزیابی پنج اینبرد لاین تباکو در هفت

دارا بودن عملکرد بیش از میانگین واجد سازگاری عمومی مطلوب می‌باشد. ارقام بویر و دونالد به دلیل عملکرد خیلی پایین، ارقامی با سازگاری عمومی ضعیف در نظر گرفته شدند و رقم پیسر با بالاترین عملکرد واکنش پایداری ضعیفی را از خود نشان داد. تفسیرهای ارائه شده بر مبنای بای‌پلات‌های فوق به دلیل توجیه سهم‌های متفاوت هر بای‌پلات از برهمکنش ژنوتیپ × محیط تا حدودی متفاوت بود. این تفاوت در بای‌پلات‌های با درجه بالاتر به دلیل در برداشتن سهم کمتر برهمکنش بیشتر بود ولی در اکثر بای‌پلات‌ها بویر و دونالد به عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها تشخیص داده شدند و سایر ژنوتیپ‌ها واکنشی بین ناپایداری تا پایداری ضعیف را نشان دادند. بر اساس نمودار دو بعدی الگوی پراکنش، ژنوتیپ و محیط‌های نزدیک خط افقی (محور IPC) دارای کمترین برهمکنش‌های ضربی و واکنش مشابه ژنوتیپ‌ها و محیط‌های نزدیک خط عمودی (میانگین عملکرد) دارای واکنش اثرات اصلی جمع‌پذیر مشابه و متوسط بودند. از آنجا که ژنوتیپ‌ها و محیط‌های دارای IPC بزرگ منفی و مثبت دارای بیشترین برهمکنش‌ها می‌باشند لذا ناپایدارترین‌ها محسوب می‌گردند.

مکان بهترتب ۷۶ و ۷۹ درصد از تنوع کل در ارقام زودرس و دیررس را شامل می‌شد. درون هر مجموعه اثر رقم و برهمکنش رقم در مکان معنی دار بود. یان و هانت (۱۷) نیز با استفاده از روش AMMI در تجزیه برهمکنش ژنتیپ × محیط ارقام گندم ZMSTANE نشان دادند که مقادیر مؤلفه‌های اصلی ژنتیپی₂ IPC به طور معنی داری در ارتباط با یک یا چند صفت زراعی در طی سال‌ها می‌باشند.

نتایج حاصل از این پژوهش در مجموع ژنتیپ C4 (سوئیکس) را به عنوان پایدارترین ژنتیپ و ژنتیپ C2 (ریگودون) را از جنبه پایداری و میانگین عملکرد به طور هم‌زمان به عنوان بهترین رقم تشخیص داد.

محیط بر اساس مدل AMMI انجام دادند، نسبت بالایی از مجموع مربعات برهمکنش ژنتیپ × محیط به وسیله دو مؤلفه اصلی اول توجیه می‌گردند و مقادیر باقی‌مانده معنی دار نمی‌باشند. مانریک و هرمان (۱۳) در بررسی برهمکنش ژنتیپ × محیط روی عملکرد ریشه و محتوی بتا کاروتین ۹ رقم و کلون اصلاحی سیب زمینی شیرین گزینشی در چهار مکان مختلف از مدل AMMI استفاده کردند. تنها دو مؤلفه اول معنی دار بود که برای دو صفت مذکور به ترتیب ۹۱٪ و ۸۸٪ تنوع کل را نشان می‌داد اما در بررسی آنها هیچ‌یک از ارقام پر عملکرد پایداری مطلوبی نداشت. در مطالعه آجیباد و همکاران (۳) با استفاده از مدل AMMI برای تجزیه داده‌های حاصل از دو مجموعه ارقام ذرت زودرس و دیررس اثرات

منابع مورد استفاده

1. Aghakhani N., B. Sorkhi and SH. Nakhjavani. 2011. Non-parametric stability analysis and yield comparison of promising oat lines in Karaj region. In: Proceedings of the First Regional Conference on Ecophysiology of Crop Plants. Islamic Azad University of Shushtar. Shushtar, Iran. pp. 148-152. (In Farsi).
2. Agharokh, M. 2002. Evaluation of stability analysis methods in Oat (*Avena sativa* L.) genotypes. MSc. Thesis. Isfahan University of Technology. Isfahan, Iran. (In Farsi).
3. Ajibade, S. R., B. A. Ogundede and B. A. Oyejola. 2003. AMMI analysis of genotype × environment interaction of open pollinated maize varieties evaluated in the major agro ecologies of Nigeria. *Maize Revolution in West and Central Africa* 130-141.
4. Burak, R. and A. M. Broccoli. 2000. Genotype by environment interaction on popping expansion and yield in popcorn hybrids cultivated in Argentina. *Maize Genetics Cooperation Newsletter* pp: 44.
5. Cocks, P. 1995. Genotype x site interactions in seed production, hard seed breakdown and regeneration of annual medics (*Medicago spp.*) in west Asia. *Journal of Agricultural Science-Cambridge* 125: 199-209.
6. Cooper, M., D. R. Woodruff, I. G. Phillips, K. E. Basford and A. R. Gilmourpp. 2001. Genotype-by-management interactions for grain yield and grain protein concentration of wheat. *Field Crops Research* 69: 47-67.
7. Farshadfar, E. 1997. Application of Quantitative Genetics in Plant Breeding. Tagh Bostan, Kermanshah. pp: 528. (In Farsi).
8. Gauch, H. G. and R. W. Zobel. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. *Theoretical and Applied Genetics* 76: 1-10.
9. Gauch, H. G. and R. W. Zobel. 1996. Optimal replication in selection experiments. *Crop Science* 36: 838-843.
10. Kearsay, M. J. and H. S. Pooni. 1996. The Genetical Analysis of Quantitative Trait, Chapman and Hall, London. pp. 241-265.
11. Lin, C. S. and B. Thompson. 1975. An empirical method of grouping genotypes based on a linear function of the genotype-environment interaction. *Heredity* 34: 255-263.
12. Mahfouzi, S., A. Amini, M. Chaychi, S. Jasmi, S. M. Nazeri, M. S. Abedi, GH. R. Aminzadeh and M. Rezayi, 2008. Study on grain yield stability and adaptability of winter wheat genotypes using different stability indices under terminal drought stress conditions. *Seed and Plant Improvement Journal* 1-25 (1): 65-82. (In Farsi).
13. Manrique, K. and M. Hermann. 1999-2000. Effect of G × E interaction on root yield and betacarotene content of selected sweet potato (*Ipomoea batatas*. L.) varieties and breeding clones. CIP Program Report. Lima, Peru. pp: 281-287.
14. Mohammadi R., D. Sadeghzadeh, M. Armion and M. Ahamadimalek. 2010. Analysis of stability and adaptability of grain yield in durum wheat geneotypes. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)* 91: 70-78. (In Farsi).

15. Mohammadinejad, G. and A. M. Rezai. 2005. Analysis of genotype × environment interaction and study of oat (*Avena sativa L.*) genotypes pattern. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 9(2) :77-89. (In Farsi).
16. Perkinz, J. M. 1972. The principal component analysis of genotype environmental interactions and physical measures of the environment. *Heredity* 29:51-70.
17. Yan, W. and L. A. Hunt. 2001. Interpretation of genotype × environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Science* 41: 19-25.
18. Zhang zhi, F., F. Fuxiao, Q. Jun, SH. Yang hai, Y. Chai, L. Feng bai and Q. Chen. 2010. Analysis on Site Discrimination and Yield Stability of Oat Varieties. *Journal of Triticeae Crops* 3: 515-519.