مجله زراعت و اصلاح نباتات
جلد ۱۲، شماره ۳، پائیز ۱۳۹۵
صفحات ۱۳-۱

تجزیه پایداری عمکرد دانه و ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در ارقام آفتابگردان

Grain yield stability analysis and genotype-environment interaction study in sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars

علی خماری[۱]، خداداد مصطفوی*[۲] و عبداله محمدی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۸/۱۲

چکیده

تجزیه پایداری و بررسی اثر متقابل ژنوتیپ با محیط از لحاظ تولید و آزاد سازی ارقام حائز اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. بدین منظور دوازده ژنوتیپ آفتابگردان در پنج ایستگاه شامل اراک، بیرجند، شیراز، کاشمر و کرج به صورت طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹٤ مورد کاشت و ارزیابی قرار گرفتند. پس از تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه و معنی‌دار شدن اثر محیط و اثر متقابل ژنوتیپ با محیط، جهت تجزیه پایداری ارقام از روش‌های تک متغیره مبتنی بر تجزیه واریانس و تجزیه رگرسیون استفاده شد. بر مبنای نتایج آماره‌های واریانس پایداری شوکلا و اکووالانس ریک ژنوتیپ‌های Favorit و Progress از پایداری بالاتری برخوردار بودند. آماره‌های ضریب تغییرات محیطی فرانسیس و کانبرگ، واریانس درون مکانی لین و بینز و واریانس محیطی رومر نشان دادند که ژنوتیپ‌های Sor و Master دارای عملکردی بیشتر از میانگین و از پایداری بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند. بر اساس روش ابرهارت و راسل ژنوتیپ‌های Master و Sor با عملکرد نسبتا بالا و ضرایب رگرسیونی غیر معنی‌دار با یک به عنوان ژنوتیپ‌های با سازگاری عمومی بالا برای همه مناطق شناخته شدند. ژنوتیپ Zargol با عملکرد نسبتاً بالا دارای ضریب رگرسیونی معنی‌دار و بالاتر از یک بود که حاکی از بالا بودن اثر متقابل ژنوتیپ در محیط در این ژنوتیپ است و دلیلی بر سازگاری خصوصی این ژنوتیپ با محیط‌های مساعد بوده و با بهتر شدن شرایط عملکرد بالایی از خود نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: سازگاری، تجزیه واریانس، تجزیه رگرسیون.

مقدمه

آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) از جمله گیاهان دانه روغنی است که متعلق به خانواده کاسنی (Compositae) می‌باشد و به دلیل تولید روغن، استفاده از دانه به صورت آجیل و زیبایی گل‌ها در سراسر دنیا مورد کشت قرار می‌گیرد (Vollman and Rajcan, 2010).

منظور از پایداری عملکرد دانه، تولید ثابت محصول طی مکان‌ها و سال‌های مختلف می‌باشد (Fernandez, 1991) و اثر متقابل ژنوتیپ با محیط بدین مفهوم می‌باشد که چنانچه دو یا چند ژنوتیپ در محیط‌های مختلف کشت شوند ممکن است تفاوت هایی در عملکرد آن‌ها مشاهده شود (Peterson *et al.*, 1997). فرانسیس و کانبرگ (Francis and Kannenberg, 1978) معتقد بودند که چنانچه ژنوتیپ‌ها

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، باشگاه پژوهشگران و نخبگان جوان، کرج، ایران.
۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران.
۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران.
*- مکاتبه کننده E- mail: mostafavi@kiau.ac.ir

واکنش‌های متفاوتی به تغییرات محیطی نشان دهند دارای اثر متقابل ژنوتیپ با محیط می‌باشند، همواره اثر متقابل ژنوتیپ و محیط یکی از مسائل مهم جهت بررسی پایداری ژنوتیپ‌های اصلاح شده در برنامه‌های به‌نژادی است (Cooper and Hammer, 1996). به‌نژادگران به دلیل اینکه بتوانند جنبه‌های مختلفی از اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را بررسی کنند از معیارهای متفاوتی برای تشخیص پایداری و سازگاری ارقام و معرفی آن‌ها استفاده کردند (روستایی و همکاران، ۱۳۸۲). به طور کلی چهار تکنیک برای ارزیابی پایداری یکسری از ارقام وجود دارند که شامل: ۱- روش‌های تک متغیره پارامتری مبتنی بر تجزیه واریانس، ۲- روش‌های تک متغیره پارامتری مبتنی بر تجزیه رگرسیون، ۳-روش‌های چند متغیره و ۴- روش‌های تک متغیره ناپارامتری می‌شوند (Hayward *et al*., 1993). لین و همکاران (Lin *et al*., 1986) روش‌های تک متغیره پارامتری پایداری را بر اساس مرور منابع آماره‌های موجود تا آن زمان به سه تیپ مختلف تقسیم‌بندی نمودند و دو سال بعد (۱۹۸۸)، به دلیل محدودیت نظری و عملی سه نوع آماره ذکر شده، واریانس درون مکانی برای هر ژنوتیپ را به عنوان آماره نوع چهارم معرفی کردند. پایداری تیپ I: این تیپ شامل آماره‌های واریانس محیطی (S_i^2) رومر و ضریب تغییرات (CVi) فرانسیس و کاننبرگ می‌باشد. در این گروه ژنوتیپی پایدار است که دارای واریانس بین محیطی پایین باشد. در پایداری تیپ I به دلیل اینکه ارقام پایدار در این گروه از عملکرد پائینی برخوردار هستند، کم‌تر به وسیله به‌نژادگران مورد استفاده قرار می‌گیرد. به بیان دیگر این نوع پایداری معمولاً دارای همبستگی منفی با عملکرد می‌باشد (فرشادفر، ۱۳۷۷). در طی یک آزمایش لین و بینز (Lin and Binns, 1991) نشان دادند که پایداری یک ژنوتیپ ارتباطی به میزان پایداری ژنوتیپ دیگر ندارد همچنین پایداری تیپ I وراثت پذیر است و بنابراین قابل گزینش می‌باشد. پایداری تیپ II: زمانی که پاسخ یک ژنوتیپ در محیط‌های مختلف موازی میانگین همه ژنوتیپ‌ها باشد، به عنوان ژنوتیپ پایدار شناخته می‌شود. این تیپ شامل اکووالانس ریک (W_i^2)، واریانس شوکلا (σ_i^2)، ضریب رگرسیون فینلی و ویلکینسون (b_i)، پلستد و پترسون (θ_i)، و ضریب رگرسیون پرکینز و جینکنز (βi) است (مقدم، ۱۳۷۳). پایداری تیپ III: این تیپ شامل روش‌های ابرهارت و راسل (معیار میانگین مربعات انحراف از رگرسیون)، پرکینز و جینکنز و ضریب تبین پینتوس می‌باشد. بر اساس این تیپ ژنوتیپی پایدار است که میانگین مربعات باقی‌مانده از مدل رگرسیون بر روی شاخص محیطی پایین باشد. پایداری تیپ IV (واریانس درون مکانی لین و بینز): به منظور اندازه‌گیری خصوصیات هموستاتیک یک رقم برای تغییرات غیر قابل پیش‌بینی محیط، به وسیله لین و بینز در سال ۱۹۹۱ این تیپ پایداری ارائه شد. پایداری نوع چهارم زمانی قابل محاسبه است که ساختار داده‌ها به صورت اثر متقابل واریته در منطقه در زمان (سال یا تاریخ کاشت) باشد (فرشادفر، ۱۳۷۷). لین و بینز نشان دادند که این نوع پایداری دارای وراثت پذیری می‌باشد. پارامتر تیپ IV متفاوت از تیپ I است، زیرا تیپ یک خصوصیات همستازی را در کلّیه محیط‌ها اندازه می‌گیرد در حالی که تیپ IV فقط تغییرات غیر قابل پیش‌بینی (سال) را مد نظر قرار می‌دهد. پارامتر تیپ IV به عنوان یک پارامتر ژنتیکی به شمار می‌آید. در این روش عامل مکان از محاسبات پایداری جدا می‌گردد و واریانس بین سال‌ها در درون هر مکان محاسبه و سپس از این واریانس‌ها میانگین گرفته می‌شود. در نتیجه میانگین واریانس درون مکانی (MSy/1) را به عنوان معیار پایداری مطرح کردند. اعتقاد آن‌ها بر این بود که عامل غیر قابل کنترل سال است نه مکان، بنابراین اظهار داشتند که ارقام باید نسبت به نوسان‌های سالیانه ارزیابی شوند و از عامل مکان می‌توان فقط برای تعیین وسعت کشت ارقام در مکان‌های مختلف استفاده کرد. در ضمن لین و بینز معتقد بودند که ظاهراً اصلاح برای عملکرد بالا و پایداری بیش‌تر توسط معیار تیپ IV وجود دارد و برای گزینش مفید است (Lin and Binns, 1991).

نوروزی و همکاران در سال ۱۳۹۱ به منظور بررسی پایداری عملکرد دانه ۱۵ لاین اینبرد آفتابگردان زراعی از روش‌های

تک متغیره پارامتری استفاده کردند. به طور کلی، روش‌های اکووالانس ریک Wi2، واریانس پایداری شوکلا، میانگین واریانس پلستد و پترسون و پارامتر اثر متقابل پلستد به صورت مشابه، لاین‌های G10، G11 و G2 را به عنوان لاین‌های پایدار معرفی کردند. بنابراین نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که استفاده از روش‌های آماری پایداری اکووالانس ریک، میانگین واریانس پلستید و پترسون، واریانس اثر متقابل پلستد و روش پایداری شوکلا جهت ارزیابی پایداری عملکرد دانه لاین‌های اینبرد آفتابگردان دارای نتایج مشابهی بودند لذا می‌توان از یکی از این روش‌ها جهت تعیین پایداری عملکرد دانه لاین‌های اینبرد آفتابگردان استفاده نمود و از محاسبه سایر آماره‌ها خودداری کرد.

صادق‌زاده اهری و همکاران (۱۳۸۴)، به منظور بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه لاین‌های امید بخش و پیشرفته گندم دوروم دیم، آزمایشی را در شش ایستگاه سردسیر (مراغه، سرارود، اردبیل، شیروان، ارومیه، قاملو) با ۲۲ رقم و لاین از گندم‌های دوروم و ۲ رقم شاهد گندم نان (جمعاً ۲۴ ژنوتیپ) اجرا کردند. آن‌ها برای تعیین ارقام پایدار از روش پارامتر تیپ چهار (لین وبینز)، ضریب تغییرات عملکرد (CV%) و نیز روش ناپارامتری رتبه‌بندی (Rank) استفاده کردند. در نهایت نشان دادند که لاین‌های ۹ (G-1252) و ۱۸ (Haurani) به دلیل عادت رشد مناسب (زمستانه و بینابین) و عملکرد دانه بیشتر نسبت به شاهد گندم دوروم و سایر ارقام و لاین‌ها دوروم موجود در این آزمایش جهت کاشت در مناطق مذکور مناسب‌تر می‌باشند. لاین شماره ۱۸ از نظر واریانس درون مکانی (پارامتر تیپ ۴) و میانگین رتبه نسبت به هر دو شاهد گندم دوروم و نان برتر بودند.

لتا و همکاران (Letta *et al.*, 2008) به منظور تجزیه پایداری صفات کیفی در واریته‌های گندم دوروم تحت شرایط جنوب شرقی اتیوپی، بسیاری از صفات کیفی شامل آموزن وزن، غیر شیشه‌ای بودن، پروتئین آرد، رطوبت گلوتن، مقدار خاکستر و آزمایش رسوب گذاری SDS مورد مطالعه قرار دادند. آزمایش در ۵ منطقه در مدت ۲ سال بر روی ۹ ژنوتیپ انجام شد، و از طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد. به منظور تجزیه پایداری از ضریب رگرسیون (b_i)، انحراف از رگرسیون (S^2di)، اکووالانس ریک (wi)، واریانس محیطی (S^2xi) و روش AMMI استفاده شد، بررسی پایداری نشان داد که واریته Ude با شجره CHEN/ALTAR84/J069 پایداری بالایی برای این صفات کیفی دارد.

دوگان و آیسیسک (Dogan and Aycicek, 2009)، به منظور بررسی سازگاری عملکرد بعضی از ارقام گندم نرم (SOFT WHEAT)، در ناحیه MARMARA در ترکیه بر روی ۷ رقم گندم شامل ارقام Momtchill، katea-1، Atilla-12، Kirkpinar-79، Tosun-22، Gemini و cumhuriyet-75، به مدت ۹ سال آزمایشاتی انجام دادند. عملکرد دانه به عنوان معیاری برای پایداری ارقام در نظر گرفته شد، همچنین سه پارامتر پایداری شامل ضریب رگرسیون (b_i)، میانگین مربعات انحراف از رگرسیون (S^2di) و ضریب تشخیص محاسبه شدند. بر طبق پارامترهای پایداری، Momtchill، katea-1، Gemini، Kirkpinar-79 ارقام پایداری بودند، که از بین آن‌ها Momtchill، katea-1 و Kirkpinar-79، با داشتن عملکردی بالاتر از میانگین عملکرد کل به عنوان ژنوتیپ‌هایی با پایداری مطلوب برای همه محیط‌ها شناخته شدند. Tosun-22 و Atilla-12 به عنوان ژنوتیپ‌هایی با سازگاری بالا برای شرایط نامرغوب مطرح شدند و Cumhuriyet-75 برای محیط‌های مرغوب سازگاری نشان داد.

در آزمایش دیگری که توسط مک بیب (Mekbib, 2003) بر روی ۲۱ ژنوتیپ لوبیا در ۳ سال و ۳ مکان در شرایط دیم اتیوپی انجام شد، آماره‌های مختلف پایداری با هم مقایسه شدند. بر اساس نتایج به دست آمده مشخص شد که همبستگی بالایی بین انحراف از رگرسیون و اکووالانس ریک، واریانس پایداری شوکلا و واریانس محیطی وجود دارد. این در حالی بود که همبستگی ضعیفی بین ضریب رگرسیون و ضریب تبیین،

انحراف از رگرسیون، اکووالانس، واریانس پایداری و واریانس محیطی وجود داشت.

هدف از اجرای این آزمایش شناسایی ارقام پایدار، انتخاب ارقام با عملکرد بالا، برآورد اثر متقابل ژنوتیپ×محیط و همچنین درک بهتر ماهیّت اثر متقابل ژنوتیپ با محیط در ارقام آفتابگردان در اقلیم‌های مختلف با استفاده از روش‌های مختلف تجزیه پایداری تک متغیره بود.

مواد و روش‌ها

این طرح در سال ۱۳۹۴ به منظور بررسی پایداری و مقایسه عملکرد ۱۲ ژنوتیپ آفتابگردان، در ۵ منطقه شامل کرج، کاشمر، بیرجند، اراک و شیراز در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد و ارقام مورد مقایسه قرار گرفتند. مشخصات زراعی اجرای طرح در همه مناطق یکسان بود. اسامی ژنوتیپ‌ها و مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های اجرای آزمایش به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

عملیات تهیه بستر شامل شخم، دیسک (جهت خرد کردن کلوخه‌ها) و تسطیح بود. پس از گاورو شدن مزرعه و تأمین دمای پایه لازم برای جوانه‌زنی آفتابگردان اقدام به کاشت شد. هر کرت شامل سه خط به طول ۶ متر و فاصله خطوط حدود ۵۰ سانتی‌متر و بین کرت‌ها دو خط نکاشت در نظر گرفته شد. فاصله‌ی روی خطوط ۲۰ سانتی‌متر و عمق کاشت ۵-۳ سانتی‌متر بود. کاشت به صورت خطی و با دست صورت پذیرفت. بعد از کاشت بلافاصله آبیاری انجام شد و تنظیم فواصل آبیاری‌های بعدی بر حسب رژیم حرارتی منطقه و پتانسیل تبخیر آب صورت گرفت. در مرحله دو برگی عمل تنک کردن انجام شد. در هر نوبت پس از تنک کردن مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی انجام گردید.

پس از انجام آزمون بارتلت برای بررسی همگنی واریانس‌ها و تست نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس مرکب صورت گرفت. از روش‌های تجزیه پایداری تک متغیره: الف) مبتنی بر تجزیه واریانس شامل واریانس محیطی رومر (Romer, 1917)، ضریب تغییرات محیطی فرانسیس و کانبرگ (Francis and Kannenberg, 1978)، اکووالانس ریک (Wricke, 1962)، واریانس پایداری شوکلا (Shukla, 1972) و ب) روش‌های مبتنی بر تجزیه رگرسیون شامل ضریب رگرسیونی فینلی و ویلکینسون (Finaly and Willkinson, 1963)، واریانس انحراف از رگرسیون ابرهارت و راسل (Eberhart and Russell, 1966)، ضریب تبیین پنتوس (Pinthus, 1973) و روش لین و بینز (Lin and Binns, 1988) جهت تجزیه داده‌های حاصل از آزمایش استفاده شد. برای محاسبه روش‌های ذکر شده نرم‌افزارهای GEST98، PBSTST 1.2، MSTAT-C و Excel مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۱- اسامی و کد ارقام آفتابگردان مورد مطالعه در پروژه

Table 1. Names and code of sunflower varieties studied in the project

کد ژنوتیپ Genotype no.	ژنوتیپ Genotype	منشأ Origin	کد ژنوتیپ Genotype no.	ژنوتیپ Genotype	منشأ Origin
G1	Zargol	Iran	G7	Lakomka	Russia
G2	Armaverski	Russia	G8	Record	Romania
G3	Azargol	Iran	G9	Zaria	Iran
G4	Favorit	Russia	G10	Sor	Russia
G5	Master	Russia	G11	Progress	Russia
G6	SHF81-90	Russia	G12	Gabur	Russia

جدول ۲- مشخصات جغرافیایی مناطق انجام پروژه

Tale 2. Geographical specifications of Performed the project areas

منطقه Area	ارتفاع از سطح دریا Elevation AMSL (m)	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	میانگین عملکرد دانه Seed yield mean
اراک Arak	1708	34°06'N	49°46'E	3459.95
بیرجند Birjand	1491	32°52'N	59°12'E	3139.7
کاشمر Kashmar	1109	35°12'N	58°28'E	2726.56
کرج Karaj	1312	35°55'N	50°54'E	4198.78
شیراز Shiraz	1484	29°32'N	52°36'E	2976.97

نتایج و بحث

نتایج حاصل از انجام تجزیه واریانس ساده در تمام محیط‌ها نشان داد که ارقام مورد بررسی از نظر عملکرد دانه با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارند (جدول ۳).

مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها برای صفت عملکرد دانه به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید و نتایج آن در جدول ۴ ارائه شد. ژنوتیپ Record با متوسط عملکرد ۳۶۲۲/۹ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین مقدار عملکرد را دارا بود و در گروه A قرار گرفت. همچنین ژنوتیپ Azargol با متوسط عملکرد ۲۹۳۷/۳ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین مقدار عملکرد را به خود اختصاص داده ودر گروه C قرار گرفت. در کل پنج گروه میانگین تشکیل شد.

آزمون بارتلت جهت آزمون همگن بودن واریانس خطاهای آزمایشی انجام شد، نتیجه این آزمون مؤید یکنواختی واریانس خطا در آزمایش‌های مختلف بود. بنابراین با توجه به یکنواخت بودن واریانس خطای آزمایش‌ها در محیط‌های مختلف تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه انجام شد. در جدول ۵ نتایج تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه ارائه شده است. بر اساس این نتایج اثر محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد که حاکی از تفاوت بین محیط‌های مورد مطالعه بود، اثر ژنوتیپ غیر معنی‌دار بود یعنی بین ژنوتیپ‌های آزمایشی تفاوتی وجود نداشت، اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد که نشان دهنده عدم پاسخ مشابه ژنوتیپ‌ها در مکان‌های مختلف بود. به بیان دیگر از محیطی به محیط دیگر ژنوتیپ‌ها واکنش‌های متفاوتی را نشان دادند. کلاته‌جاری و همکاران (۱۳۹۵) نیز در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در ارقام آزاد گرده‌افشان آفتابگردان وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط را گزارش نمودند. تجزیه واریانس مرکب صرفا جهت بررسی وجود و عدم وجود اثر متقابل ژنوتیپ با محیط استفاده می‌شود بنابراین برای شناسایی ارقام سازگار و پایدار در هر منطقه از روش‌های مختلف پایداری باید بهره جست.

جدول ۳- تجزیه واریانس ساده عملکرد دانه آفتابگردان در ۵ مکان

Table 3- Simple analysis of variance for sunflower seed yield in 5 environment

منابع تغییر S.O.V	درجه df	میانگین مربعات M. S				
		اراک Arak	بیرجند Birjand	کاشمر Kashmar	کرج Karaj	شیراز Shiraz
بلوک Blouk	2	488968.52^{ns}	704524.53^{ns}	157896.86^{ns}	18840.78^{ns}	207116.77^{ns}
ژنوتیپ Genotype	11	670550.41*	1467510.57*	534564.99*	2153006.51**	9368907.63**
خطای آزمایشی Error	22	266266.47	585405.01	198758.65	197997.05	174305.72
ضریب تغییرات C. V (%)		14.91	24.36	16.35	10.59	14.02

*، ** و ns: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفت عملکرد دانه در دوازده ژنوتیپ آفتابگردان

Table 4- Mean comparison of seed yield trait in twelve sunflower genotype

رتبه Rank	ژنوتیپ Genotype	گروه‌بندی Group	میانگین عملکرد دانه Mean seed yield
1	8	A	3622.9
2	10	AB	3485.7
3	6	ABC	3453.8
4	5	ABC	3441.4
5	7	ABC	3421.8
6	9	ABC	3382.1
7	12	ABC	3274.1
8	1	ABC	3268.3
9	4	ABC	3183.8
10	2	ABC	3103.9
11	11	BC	3029.7
12	3	C	2937.3

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب ژنوتیپ‌های آفتابگردان مورد مطالعه در ۵ مکان

Table 5- Combined analysis of variance for sunflower genotypes across in 5 environments

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	مجموع مربعات SS	میانگین مربعات MS	واریانس توجیه شده (٪) Justified variance (%)
محیط Environment (E)	4	46521587.17	11630396.79**	32.43
اشتباه اول First error	10	16428026.78	1642802.68	11.45
ژنوتیپ Genotype (G)	11	6933676.51	630334.23ns	4.83
ژنوتیپ×محیط G×E	44	32160514.43	730920.78**	22.42
اشتباه دوم Second error	110	41383465.9	376213.3	28.85
ضریب تغییرات (٪) CV%		18.58		

*، ** و ns: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

در تجزیه پایداری به روش ابرهارت و راسل ژنوتیپ‌های مطلوب بر اساس سه معیار میانگین عملکرد، شیب خط رگرسیون عملکرد ژنوتیپ‌ها بر روی شاخص محیطی (پایداری فنوتیپی) و حداقل واریانس انحراف از خط رگرسیون بررسی شدند. معنی‌دار بودن اثر محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به ترتیب نشان‌دهنده تفاوت‌های بین محیط‌ها، میانگین ارقام و واکنش متفاوت ارقام مختلف در محیط‌های متفاوت بود. نتایج تجزیه میانگین مربعات بر اساس روش رگرسیونی ابرهارت و راسل در جدول ۶ ارائه شده است. اثر ژنوتیپ برای عملکرد دانه معنی‌دار نبود. معنی‌دار نبودن اثر ژنوتیپ حاکی از عدم وجود تنوع ژنتیکی در بین ژنوتیپ‌ها می‌باشد. اثر محیط (خطی) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. معنی‌دار بودن عملکرد دانه از نظر محیط (خطی) به معنی این است که تغییرات بین محیط‌ها از الگوی خطی پیروی می‌کند. اثر متقابل ژنوتیپ در محیط خطی غیر معنی‌دار شد که نشان دهنده این موضوع است که ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف تظاهر عملکرد یکسانی داشتند. غیر معنی‌دار شدن میانگین مربعات انحراف از خط رگرسیون حاکی از این است که نقاط مربوط به هر یک از ژنوتیپ‌ها در اطراف خط رگرسیون قرار داشت. مطابق با نظریه روش تجزیه پایداری رگرسیونی Eberhart & Russel (1966) سه شاخص عملکرد بالا، ضریب رگرسیون برابر با یک و واریانس انحراف از خط رگرسیون غیر معنی‌دار، بیانگر پایداری یک ژنوتیپ می‌باشد. انحراف از خط رگرسیون برای همه ژنوتیپ‌ها غیرمعنی‌دار بود (جدول ۶). از روی دو شاخص دیگر ابرهارت و راسل ژنوتیپ‌های Master و Sor با عملکرد نسبتا بالا و ضرایب رگرسیونی غیرمعنی‌دار با یک به عنوان ژنوتیپ‌های با سازگاری عمومی بالا برای همه مناطق شناخته شدند و ژنوتیپ Zargol با عملکرد نسبتاً بالا دارای ضریب رگرسیونی معنی‌دار و بالاتر از یک بود که حاکی از بالا بودن اثر متقابل ژنوتیپ در محیط در این ژنوتیپ است و دلیلی بر سازگاری خصوصی این ژنوتیپ با محیط‌های مساعد بوده و با بهتر شدن شرایط عملکرد بالایی نشان می‌دهد.

جدول ۶- پارامترهای پایداری روش ابرهارت و راسل برای ژنوتیپ‌های آفتابگردان در پنج محیط

Table 6- Eberhart and Russell's stability parameters for sunflower genotypes in five environments

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS
ژنوتیپ Genotype (G)	11	210111.4^{ns}
محیط Environment (E)	4	3876799**
ژنوتیپ×محیط G×E	44	243640.3^{ns}
محیط+(ژنوتیپ×محیط) e + (g×e)	48	546403.5*
محیط (خطی) Environment (Linear)	1	15507196**
ژنوتیپ×محیط خطی (g×e) Linear	11	113914.5^{ns}
انحراف از رگرسیون Deviation from regression	36	262975.3^{ns}
خطا Error	110	376213.3

*، ** و ns: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

نتایج روش‌های تک متغیره مبتنی بر تجزیه واریانس در جدول ۷ نشان داده شده است. در روش واریانس محیطی رومر (S_i^2)، پایدارترین ژنوتیپ‌ها دارای کم‌ترین میزان واریانس و نیز در روش ضریب تغییرات، ژنوتیپ‌های پایدار، ژنوتیپ‌هایی هستند که دارای ضریب تغییرات کم‌تری باشند. بر اساس واریانس محیطی رومر ژنوتیپ‌های Master و Sor دارای کم‌ترین واریانس محیطی بودند و به دلیل این که این ژنوتیپ‌ها دارای میانگینی بالاتر از میانگین کل می‌باشند، به عنوان ژنوتیپ‌های پایدارشناخته شدند. بیشترین میزان واریانس، به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های Azargol، Zargol و Armaverski بود که نشان‌دهنده نوسان عملکرد این ژنوتیپ‌ها و پایداری کم آن‌ها در محیط‌های مورد آزمایش می‌باشد. نتایج حاصل از ضریب تغییرات نشان داد که ژنوتیپ‌های Master و Sor به ترتیب کم‌ترین ضریب تغییرات را به خود اختصاص داده‌اند، در نتیجه دارای پایداری بیولوژیکی بوده و از انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار می‌باشند. ژنوتیپ‌های Azargol، Armaverski و Zargol به ترتیب دارای بیش‌ترین مقدار ضریب تغییرات و به عبارتی کم‌ترین میزان پایداری بودند. بنابراین با توجه به نتایج حاصل از پایداری تیپ یک، بهترین ژنوتیپ‌ها برای کاشت در کلیه مناطق آزمایشی، ژنوتیپ‌های Master و Sor به ترتیب با میانگین عملکرد ۳۴۴۱/۴ و ۳۴۸۵/۶۶۷ کیلوگرم در هکتار می‌باشند. بر اساس واریانس پایداری شوکلا ژنوتیپی که دارای کم‌ترین مقدار باشد، ژنوتیپ پایدار محسوب می‌شود. نتایج حاصل از رتبه‌بندی واریانس پایداری شوکلا و اکووالانس ریک حاکی از آن بود که این دو روش مشابه هم هستند و ترجیحاً می‌توان از یکی از این دو پارامتر استفاده کرد. این نتایج با نتیجه‌گیری زالی و همکاران (۱۳۸۸)، مطابقت دارد. در حقیقت واریانس پایداری شوکلا یک ترکیب خطی از اکووالانس ریک است، لذا این دو از نظر رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها ارزش یکسانی دارند (فرشادفر، ۱۳۷۷). در این راستا کانگ و میلر (Kang and Miller, 1984)، پیشنهاد کردند که از بین دو روش ریک و شوکلا، ترجیحا واریانس پایداری شوکلا

استفاده شود. روستایی و همکاران (۱۳۷۵)، برآورد پارامترهای پایداری برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر را مقایسه نمودند و اظهار داشتند که روش ریک و شوکلا با شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و پر محصول به عنوان معیارهای پایداری مخصوصا در شرایط دیم مطلوب‌تر هستند. براساس نتایج حاصل از روش واریانس پایداری شوکلا، ژنوتیپ‌های Favorit و Progress به ترتیب به علت داشتن کم‌ترین مقدار واریانس پایداری، جزء ژنوتیپ‌های پایدار محسوب شدند. در حالی که ژنوتیپ‌های Gabur و Zargol به ترتیب با دارا بودن بالاترین مقدار واریانس پایداری به عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند (جدول ۷). بنابراین با توجه به نتایج این دو پارامتر، ژنوتیپ‌های Favorit و Progress با میانگین عملکرد ۳۱۸۳/۸ و ۳۰۲۹/۶۶۷ کیلوگرم درهکتار، به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا شناخته شدند. نتایج حاصل از واریانس درون‌مکانی لین و بینز(Lin and Bins, 1991)، نشان داد (جدول ۷) که ژنوتیپ‌های Record، Sor و Master کم‌ترین میزان را دارا بوده و به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. همچنین ژنوتیپ‌های Azargol، Progress و Armaverski با داشتن بیش‌ترین میزان واریانس درون مکانی به عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. روستایی و همکاران (۱۳۷۵)، با مقایسه روش‌های مختلف پایداری برای انتخاب ارقام پایدار و پر محصول گندم و جو در دیم‌زارهای کشور نتیجه‌گیری کردند که واریانس درون مکانی به دلیل وراثت‌پذیر بودن معیار مناسبی جهت شناسایی ارقام پایدار می‌باشد. حسن این روش این است که ژنوتیپ‌های دیگر نقش در تغییر واریانس یک ژنوتیپ ندارند (به نقل از سوقی و همکاران، ۱۳۸۸).

در روش فینلی و ویلکینسون برای تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها از ضریب رگرسیون و عملکرد ژنوتیپ‌ها استفاده می‌شود. به طوری که از میانگین همه ژنوتیپ‌ها در تمامی محیط‌ها برای تعیین شاخص محیطی استفاده نموده و سپس از عملکرد هر ژنوتیپ در مقابل شاخص محیطی رگرسیون گرفته می‌شود. در این روش ژنوتیپ‌هایی که ضریب رگرسیون آن‌ها نزدیک به یک است جزء ژنوتیپ‌های پایدار محسوب می‌شوند، بنابراین طبق جدول ۸، ژنوتیپ‌های Record، SHF81-90 و Favorit با داشتن ضریب رگرسیون نزدیک به یک جزء ژنوتیپ‌های پایدار محسوب شدند. روش پینتوس نشان داد که ژنوتیپ‌های Azargol و Favorit به علت داشتن بیش‌ترین ضریب تبیین به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها می‌باشند. البته باید تأکید نمود که ضریب تشخیص به تنهایی نمی‌تواند معرف ژنوتیپ‌های پایدار باشد، چون این روش فقط برازش مدل رگرسیونی را نشان می‌دهد. پس این روش فقط با روش رگرسیونی قابل توجیه است. آکورا و همکاران (Akura *et al*., 2005)، در تحقیقات خود نشان دادند که بخش قابل توجهی از اثر متقابل ژنوتیپ و محیط توسط انحراف از رگرسیون تبیین می‌شود و تنها بخش کوچکی از اثر متقابل ژنوتیپ در محیط توسط رگرسیون خطی قابل توجیه است. پینتوس (Pintus, 1973)، پیشنهاد کرد که به جای میانگین مربعات انحراف از رگرسیون از ضریب تشخیص استفاده شود زیرا این ضریب به شدّت وابسته به میانگین مربعات انحراف از رگرسیون است.

شاخص میانگین رتبه، اولین شاخص ناپارامتری برای بررسی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بود. که این شاخص، میانگین رتبه هر ژنوتیپ در ۵ محیط مورد مطالعه می‌باشد. این شاخص رابطه نزدیکی با میزان عملکرد دارد و ژنوتیپ‌های پایدار در این روش از عملکرد خوبی برخوردار بودند (جدول ۸). در این روش ژنوتیپ‌هایی که دارای میانگین رتبه بالایی هستند پایدار و ژنوتیپ‌هایی که از میانگین رتبه پایینی برخوردارند، ناپایدار می‌باشند. بر پایه این تعریف ژنوتیپ‌های Azargol و Progress ژنوتیپ‌های پایدار و Record، SHF81-90 و Sor ژنوتیپ‌های ناپایدار معرفی شدند. مجموع رتبه کنگ یکی دیگر از شاخص‌های تک متغیره ناپارامتری می‌باشد که بر اساس رتبه عملکرد و واریانس پایداری شوکلا به دست می‌آید. مقادیر کم آن نشان‌دهنده عملکرد بالا و میزان کم اثر متقابل ژنوتیپ در محیط می‌باشد. ژنوتیپ‌های پایدار و ناپایداری بر پایه این روش، Azargol، Progress و Favorit به عنوان

ژنوتیپ‌های پایدار و SHF81-90 و Sor به عنوان ژنوتیپ‌های ناپایدار شناخته شدند.

در مجموع بر اساس نتایج به دست آمده از روش‌های مختلف پایداری ژنوتیپ‌های Sor و Master به دلیل داشتن عملکردی بالاتر از میانگین کل به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و سازگار معرفی شدند که می‌توانند در مناطق مورد مطالعه بکار گرفته شوند.

جدول ۷- نتایج روش‌های تک متغیره مبتنی بر تجزیه واریانس برای صفت عملکرد دانه ژنوتیپ‌های آفتابگردان مورد بررسی

Table 7- Univariate results of based on analysis of variance for grain yield of sunflower genotypes studied

ژنوتیپ Genotype	میانگین عملکرد Yied mean	واریانس پایداری σ^2_i	اکووالانس ریک W_i^2	ضریب تغییرات CVi	واریانس محیطی Si2	واریانس درون مکانی MSY/L
Zargol	3268.26	439660.7	1546749	27.43	804022.6	556230.2
Armaverski	3103.86	219119.5	811611.8	27.81	745479.4	702319.7
Azargol	2937.26	116539.9	469679.8	30.61	808577	883949.7
Favorit	3183.8	9734.874	113663	20.37	420752.2	517429.3
Master	3441.4	193331.5	725651.9	15.18	272939	304591.2
SHF81-90	3453.8	325708.2	1166907	21.52	552511.6	362284.8
Lakomka	3421.8	254213.3	928591	20.28	481897	359623.1
Record	3622.86	235715.5	866931.7	19.77	513011.6	249981.1
Zaria	3382.13	252803.9	923893	19.19	421433.3	438619.8
Sor	3485.66	264560.8	963082.7	17.97	392603.6	292870.9
Progress	3029.66	94527.52	396305.2	25.86	614030.8	703043.7
Gabur	3274.13	517767.5	1807105	22.22	529583.7	581248.9

جدول ۸- پارامترهای پایداری ضریب رگرسیون فینلی و ویلکینسون، ضریب تشخیص، میانگین رتبه و مجموع رتبه کنگ برای ارقام آفتابگردان در پنج محیط

Table 8- Stable parameters of finlay and Wilkinson's regression coefficient, coefficient of determination, rank mean and sum of Kang rank for sunflower cultivars in five environments

ژنوتیپ Genotype	میانگین عملکرد Yied mean	ضریب رگرسیونی فینلی و ویلکینسون (b_i)	ضریب تشخیص R_i^2	میانگین رتبه Rank mean	رتبه کنگ Kang rank
Zargol	3268.26	1.14	0.527	7.8	16
Armaverski	3103.86	1.33	0.777	7.2	8
Azargol	2937.26	1.56	0.984	8.6	4
Favorit	3183.8	1.10	0.941	7.2	5
Master	3441.4	0.64	0.487	6.2	13
SHF81-90	3453.8	0.90	0.477	4.6	20
Lakomka	3421.8	0.88	0.526	6.4	16
Record	3622.86	0.95	0.578	3.2	18
Zaria	3382.13	0.79	0.484	5.6	14
Sor	3485.66	0.73	0.444	5	20
Progress	3029.66	1.29	0.885	8.2	4
Gabur	3274.13	0.62	0.234	7.4	18

فهرست منابع References

زالی، ح.، س. ح. صباغ‌پور.، ع. فرشادفر.، پ. پزشکپور.، م. صفی‌خانی.، ر. سرپرست و ع. هاشم بیگی. ۱۳۸۸. تجزیه پایداری ژنوتیپ‌های نخود با استفاده از پارامتر ASV و مقایسه آن با سایر روش‌های تجزیه پایداری. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۰ (۲): ۲۹- ۲۱.

سوقی، ح.، م، وهاب زاده.، م، کلاته عربی.، ج، ا، جعفربای.، ص، خاوری‌نژاد.، م، قاسمی.، ح، فلاحی و ا، امینی. ۱۳۸۸. بررسی پایداری و عملکرد لاین‌های امید بخش گندم نان در اقلیم گرم و مرطوب شمال ایران. مجله به نژادی نهال و بذر ۱- ۲۵: ۲۲۲- ۲۱۱.

صادق‌زاده اهری، د.، ه، پاشاپور.، س، بهرامی.، ر، حق پرست.، م، آقائی.، م، عظیم زاده و غ، عابدی. ۱۳۸٤. سازگاری و پایداری عملکرد دانه لاین‌های گندم دوروم در مناطق سردسیر دیم. مجله نهال و بذر، جلد ۲۱، شماره ۱: ۲۲- ۱.

کلاته‌جاری، س.، خ. مصطفوی، ع. نبی‌پور. ۱۳۹۵. مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در ارقام آزاد گرده افشان آفتابگردان (*Helianthus annuus*) بر اساس روش‌های پارامتری و روش تای. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی. سال هشتم. شماره ۱۷: ۱۲۲- ۱۱۴.

فرشادفر، ع. ۱۳۷۷. کاربرد ژنتیک کمّی در اصلاح نباتات. جلد دوم. انتشارات طاق بستان. ۳۸۱ صفحه.

فرشادفر، ع. ۱۳۸۷. اصلاح نباتات برای صفات کمّی. انتشارات طاق بستان. ۴۸۴ صفحه.

نوروزی، ا.، س. پورداد و م. جمشیدمقدم. ۱۳۹۱. بررسی پایداری عملکرد دانه لاین‌های اینبرد آفتابگردان از طریق روش‌های تک متغیره پارامتری، سومین همایش ملی علوم کشاورزی و صنایع غذایی.

Akura, M., Y. Kaya and S. Taner. 2006. Genotype-environment interaction and phenotypic stability analysis for grain yield of durum wheat in the central anatolian region. Turkish J. Agric. Fores., 29: 369–375.

Cooper, M., and G. L. Hammer. 1996. Plant adaptation and crop improvement. CAB International, Wallingford, England.

Dugan, R., and M. Aycicek. 2009. Adaptability performances of some soft wheat (*Triticum aestivum* var.Aest.1.) cultivars in the Maramara of Turkey.pak.j Bot., 41(3): 1069- 1076.

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

Fernandez, G. C. J. 1991. Analysis of genotype environment interaction by stability estimates. Horticultural Sci., 27: 947- 950.

Francis, T. R., and L. W. Kannenberg. 1978. Yield stability sudies in short-season Maize: 1. A descriptive method for grouping genotypes. Canadian Journal of Plant Science, 58: 1029-1034.

Hayward, M. D., O. N. Bosemard., and I. Romagosa. 1993. Plant Breeding. 4th edn. London: Chapman and Hal.U.k. Vol: 12: 61- 67.

Kang, M.S., and J. D. Miller. 1984. Genotype-environment interaction for cane and sugar yield and their implications in sugarcane breeding. Crop Sci., 24: 435-440.

Leta, T., M. G. D. Egidio., and M. Abinasa. 2008. Stability analysis for quality traits in durum (*Triticum durum desf*) Varieties under south Eastern Ethiopian conditions. World Journal of Agri Sci., 4 (1): 53- 57.

Lin, C. S., M. R. Binns., and L. P. Lefcovitch. 1986. Stability analysis: where do we stand? Crop Sci., 26: 894- 900.

Lin, C. S., and M. R. Binns. 1991. Genetic properties of four type of stability parameter. Theoretical Applied Genetics., 82: 505- 509.

Lin, C. S., and M. R. Binns. 1988. A method of analyzing cultivar ×location ×experiments: A new Stability parameter. Theor. Appl. Genet., 76: 425- 430.

Mekbib, F. 2003. Yield stability in common bean genotypes. Euphytica., 130: 147- 153.

Peterson, C. J., M. Moffatt., and J. R. Erickson. 1997. Yield stability of hybrid vs. pure line hard winter wheats in regional performance trials. Crop Sci., 37: 116- 120.

Peterson, C. J., M. Moffatt., and J. R. Erickson. 1997. Yield stability of hybrid vs. pure line hard winter wheats in regional performance trials. Crop Sci., 37: 116- 120.

Pinthus, J. M. 1973. Estimate of genotype value: a proposed method. Euphitiea., 22: 121- 123.

Romer, T. 1917. Sind dieertagsreichensortenertagssicher? Mitt. DLG., 32: 87- 89.

Shukla, G. K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype- environmental components of variability. Heredity., 29: 237- 245.

Vollmann, J., and I. Rajcan. 2010. Oil Crop Breeding & Genetics.In: Vollmann J, Rajcan I (ed) Oil Crops, Springer, New York., pp 1– 30.

Wricke, G. 1962. Ubereine method zurrefassung der okologischenstreubretite in feldversuchen, Flazenzuecht., 47: 92- 96.

Grain yield stability analysis and genotype-environment interaction study in sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars

A. Khomari[1], K. Mostafavi[2]*, A. Mohammadi[3]

Received date: 13 June 2016
Accepted date: 2 Oct 2016

Abstract

Stability analysis and genotype by environment interactions for production and release of varieties is very important. For this purpose, twelve genotypes of sunflower in five stations including Arak, Birjand, Shiraz, Kashmar and Karaj base randomized complete block design with three replications during 1394 were planting and evaluated. After analysis of variance and significant yield effects of environment and genotype by environment interaction, for stability analysis from univariate methods based analysis of variance and regression analysis were used. Based on the Shukla stability variance statistics and Rick ecovalance, Favorit and Progress genotypes had higher stability. Francis and Kananberg environmental coefficient variation, the Lin and Binns variance and Romer environmental variance showed that Master and Sor genotypes had higher performance than the average and had the higher stability than other genotypes. According to Eberhart and Russell, Master and Sor genotypes with high yield and non-significant regression coefficients were identified as stable genotypes for all areas. Zargol genotypes with high performance and a significant regression coefficient that suggests high genotype-environment interaction in this genotype and were the reason for the specific adaptation of this genotype with adequate environment, and with better conditions shows high performance.

Key words: Adaptation, Analysis of variance, Analysis of regression.

1- Plant breeding Ph. D. student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Young Researchers and Elite Club, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
2- Associated Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
3- Associated Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
* Corresponding author: mostafavi@kiau.ac.ir