

ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های آفتابگردان با استفاده از معیارهای ناپارامتری

مهدی غفاری^۱، امیر قلی‌زاده^{۲*}، سید عباسعلی اندرخور^۳، اسدالله زارعی سیاه‌پیدی^۴، سید احمد کلانتر احمدی^۵،
فرناز شریعتی^۶ و عباس رضایی‌زاد^۷

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۲۶)

چکیده

ارزیابی ژنوتیپ‌های آفتابگردان در شرایط محیطی مختلف، می‌تواند در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و با پتانسیل عملکرد بالا مفید باشد. به‌منظور مطالعه پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های آفتابگردان، تعداد یازده هیبرید جدید به‌همراه چهار رقم گلسا، قاسم، شمس و فرخ در چهار ایستگاه تحقیقاتی کرج، ساری، کرمانشاه و دزفول در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو سال زراعی (۱۳۹۷-۹۹) ارزیابی شدند. نتایج تجزیه مرکب عملکرد دانه نشان داد که اثر محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، بیانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بود، از این‌رو، امکان تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها وجود داشت. تجزیه خوشه‌ای آماره‌های ناپارامتری، ژنوتیپ‌های آفتابگردان را در سه گروه اصلی قرار داد. بر اساس میانگین رتبه همه آماره‌های ناپایداری مورد مطالعه، ژنوتیپ‌های شماره ۵ و ۱۴ با کمترین مقادیر میانگین رتبه به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۱۱، ۱۲ و ۹ با بیشترین میانگین رتبه به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه شناسایی شدند. همچنین نتایج نشان داد که آماره‌های ناپارامتری $NPI^{(2)}$ ، $Si^{(6)}$ و $NPI^{(4)}$ با میانگین عملکرد دانه و مفهوم دینامیک پایداری رابطه داشتند، از این‌رو استفاده از این روش‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا در آفتابگردان مناسب است. در مجموع، ژنوتیپ شماره ۵ با میانگین عملکرد دانه ۳۳۵۵ کیلوگرم در هکتار و پایداری عمومی بالا، هیبرید برتر این آزمایش بود که می‌تواند در مطالعات اصلاحی آینده جهت تولید رقم جدید با پتانسیل عملکرد و پایداری بالا استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، تجزیه پایداری، تجزیه خوشه‌ای، هیبرید

۱ و ۶ به‌ترتیب دانشیار و استادیار بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲. استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

۳. استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

۴ و ۷. به‌ترتیب استادیار و دانشیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

۵. استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: a.gholizadeh@areeo.ac.ir

مقدمه

دانه‌های روغنی پس از غلات مهم‌ترین منابع تأمین انرژی هستند. آفتابگردان زراعی با نام علمی (*Helianthus annuus* L.) یکی از دانه‌های روغنی است که از نظر سطح زیر کشت بعد از سویا، کلزا، پنبه و بادام زمینی به‌عنوان پنجمین گیاه دانه روغنی در سراسر جهان مطرح است (۱). روغن آفتابگردان به‌دلیل داشتن اسیدهای چرب غیراشباع فراوان و فقدان کلسترول از کیفیت بالایی برخوردار است (۴). با توجه به این ویژگی‌های خاص، تولید آفتابگردان در کشور باید افزایش یابد. به‌دلیل وجود محصولات رقیب و محدودیت زمین‌های زراعی، یکی از راه حل‌های موثر در افزایش تولید آفتابگردان، افزایش عملکرد در واحد سطح با کشت ژنوتیپ‌های پرمحصول خواهد بود. بنابراین به‌نژادگران آفتابگردان باید به‌دنبال اصلاح و تولید ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و پایدار باشند.

یکی از مهم‌ترین مسائلی که هنگام آزادسازی ژنوتیپ‌های جدید حایز اهمیت است، بحث پایداری عملکرد و تحلیل علمی و اصولی اثری که محیط روی ژنوتیپ‌های گیاهی دارد، است. پایداری عملکرد به حداقل خسارت ناشی از تغییرات آب و هوایی و به توانایی ژنوتیپ‌های گیاهی در بروز ظرفیت عملکرد خود در دامنه گسترده‌ای از محیط‌ها گفته می‌شود (۹). کشت ژنوتیپ‌ها در مکان‌ها و سال‌های مختلف باعث تعیین پایداری عملکرد شده و ژنوتیپ‌های با اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط کمتر انتخاب می‌شوند. وجود اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط باعث پیچیده شدن ارزیابی ژنوتیپ‌ها و کاهش کارایی روش‌های به‌نژادی شده و سودمندی وسعت کشت ژنوتیپ‌های اصلاح شده را کاهش می‌دهد (۳). بنابراین بررسی اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط در برنامه‌های به‌نژادی بسیار مهم و ضروری به‌نظر می‌رسد.

روش‌های مختلفی برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار به کار برده شده است که از آن جمله می‌توان روش‌های پارامتری تک متغیره و چند متغیره و روش‌های ناپارامتری را نام برد. در این میان، روش‌های آماری ناپارامتری به رغم داشتن معایبی هم‌چون عدم استفاده از کل اطلاعات کمی و

وسیع بودن پهنای بازه‌ی تخمین‌ها، به‌دلیل نیاز نداشتن به نرمال بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی و همچنین حساس نبودن به خطا و داده‌های پرت، اطلاعات مفیدی را در مورد تغییرپذیری فنوتیپی و اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط در اختیار پژوهشگران اصلاح نباتات قرار می‌دهند (۱۶، ۲۰، ۲۲ و ۲۴). علاوه بر این تجزیه، تحلیل و تفسیر آسان نتایج و همچنین عدم حساسیت معیارها به حذف یا اضافه نمودن تعداد کمی از ژنوتیپ‌ها از دیگر مزیت‌های روش‌های ناپارامتری محسوب می‌شوند (۱۶).

از روش‌های ناپارامتری مانند آماره‌های هان $S_i^{(1)}$, $S_i^{(2)}$, $S_i^{(3)}$ ، $S_i^{(6)}$ (۱۰ و ۲۳)، آماره‌های تنارازو $NP_i^{(1)}$, $NP_i^{(2)}$, $NP_i^{(3)}$, $NP_i^{(4)}$ (۳۰) و آماره پایداری مجموع رتبه (KR) (۱۴) در عدس (۲۵)، نخود (۷)، یونجه (۲۲)، کلزا (۳، ۲۱ و ۲۴)، فستوکا (۶)، جو (۱۸، ۳۱ و ۳۲)، سیب زمینی (۲۰) و گندم دوروم (۱۵) برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده شده است. هدف از اجرای این پژوهش، بررسی پایداری عملکرد دانه آفتابگردان، تعیین روابط بین این معیارها و در نهایت شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد دانه بالا با استفاده از روش‌های ناپارامتری بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تعداد ۱۱ هیبرید جدید آفتابگردان به‌همراه ارقام گل‌سا، قاسم، شمس و فرخ در ایستگاه‌های پژوهش‌های کشاورزی و منابع طبیعی کرج، ساری، کرمانشاه و دزفول در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار به مدت دو سال زراعی (۱۳۹۹ و ۱۳۹۸) ارزیابی شدند. نام و مبدأ ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ و برخی مشخصات اقلیمی مناطق اجرای آزمایش در جدول ۲ بیان شده است. مشخصات فنی و زراعی (نوع طرح آزمایشی، نحوه کاشت، داشت و برداشت) هشت آزمایش (محیط) این طرح در کلیه مناطق یکسان بود و ژنوتیپ‌ها به عنوان عامل ثابت در نظر گرفته شدند. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک (جهت خرد کردن کلوخه‌ها) و ماله (جهت

جدول ۱. شماره، نام و مبدأ ژنوتیپ‌های آفتابگردان مورد بررسی

شماره	کد	نام/شجره	منشاء
۱	۱G	RGK25×AGK330	ایران
۲	۲G	RGK15×AGK376	ایران
۳	۳G	RGK15×AGK370	ایران
۴	۴G	RGK15×AGK358	ایران
۵	۵G	RGK111×AGK32	ایران
۶	۶G	RGK21×AGK2	ایران
۷	۷G	RGKo54×AGKo60	ایران
۸	۸G	RGK15×AGK1221	ایران
۹	۹G	RGK21×AGKo42	ایران
۱۰	۱۰G	RGK111×AGK78	ایران
۱۱	۱۱G	RGK24×AGK370	ایران
۱۲	۱۲G	گل‌سا	ایران
۱۳	۱۳G	قاسم	ایران
۱۴	۱۴G	شمس	ایران
۱۵	۱۵G	فرخ	ایران

جدول ۲. خصوصیات اقلیمی محیط‌های مورد مطالعه در این تحقیق

کد	مکان	فصل رشدی	طول جغرافیایی (درجه دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه دقیقه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)
Krj19	کرج	۱۳۹۸	۵۰°۵۴'	۳۵°۵۶'	۱۳۱۲	۳۰۰
Krj20	کرج	۱۳۹۹				
Sa19	ساری	۱۳۹۸	۵۳°۱۰'	۳۶°۴۱'	۲۹	۶۵۰
Sa20	ساری	۱۳۹۹				
Krm19	کرمانشاه	۱۳۹۸	۴۷°۲۶'	۳۴°۰۸'	۱۳۴۶	۴۶۸
Krm20	کرمانشاه	۱۳۹۹				
Dez19	دزفول	۱۳۹۸	۴۸°۳۲'	۳۲°۲۲'	۸۲	۳۱۹
Dez20	دزفول	۱۳۹۹				

تسطیح) بود و بر اساس نتایج آزمون خاک اقدام به کوددهی شد. هر کرت شامل ۳ خط کاشت به طول ۳ متر در نظر گرفته شد. تاریخ کاشت در منطقه دزفول نیمه اول اسفند، منطقه ساری نیمه دوم اردیبهشت بود. دو خرداد و در مناطق کرج و کرمانشاه نیمه دوم اردیبهشت بود. کشت به صورت دستی و با قرار دادن ۳ عدد بذر در هر کپه و به فواصل ۲۵ سانتی‌متر از هم انجام شد. آبیاری به گونه‌ای بود که

بررسی روابط بین روش‌های مختلف ناپارامتری و میانگین عملکرد دانه محاسبه شدند. به منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از لحاظ رتبه آماره‌های پایداری ناپارامتری و گروه‌بندی محیط‌ها از نظر عملکرد دانه از تجزیه خوشه‌ای به روش حداقل واریانس وارد (Ward) و معیار فاصله اقلیدوسی استفاده شد. برای انجام محاسبات از نرم‌افزارهای آماری SAS ver 9.1 (۲۶)، Minitab ver 14 (۱۹) و SPSS ver 20 (۲۹) استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفت عملکرد دانه نشان داد که اثر محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). محاسبه درصد مجموع مربعات سه منبع محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط به مجموع آنها نشان داد که ۷۰/۱۷ درصد تغییرات عملکرد ژنوتیپ‌ها به وسیله عامل محیط ایجاد شده است. این مقدار برای عامل ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط به ترتیب ۹/۲۴ و ۲۰/۵۹ درصد بود (جدول ۳). با توجه به اینکه محیط‌های آزمایش گستره وسیعی از عامل‌های محیطی (ارتفاع از سطح دریا، درجه حرارت، میزان بارندگی و نوع خاک و غیره) را دارا بود، بنابراین اختصاص عمده تغییرات به عامل محیط قابل توجیه است. جوکوویچ و همکاران (۱۳) نیز در آفتابگردان ۶۷/۴۰ درصد تغییرات را به اثر محیط نسبت دادند. همچنین سایر پژوهشگران در آزمایش‌های چند محیطی خود در محصولات دیگر از قبیل گلرنگ (۱۲)، ذرت (۲۷)، گندم (۸)، جو (۳۱ و ۳۲) و کلزا (۳) نشان دادند که اثر محیط درصد قابل توجهی از تغییرات موجود در داده‌ها را به خود اختصاص داده است.

همچنین نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط در این مطالعه نیز نشان‌دهنده این مطلب است که ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متفاوت، پاسخ‌های متفاوت داشته‌اند. به عبارت دیگر اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیطی دیگر یکسان نیست و پایداری عملکرد دانه و تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط باید مورد بررسی قرار گیرد. در

یک روز بعد از کشت، آبیاری انجام و آبیاری‌های بعدی با توجه به نیاز گیاه در هر منطقه به صورت نشتی صورت گرفت. تنک کردن بوته‌ها بعد از سبز شدن و مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی در دو مرحله انجام گرفت. پس از رسیدگی کامل محصول، برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، ابتدا ۵/۰ متر از ابتدا و انتهای هر خط جهت از بین بردن اثر حاشیه حذف شد و سپس تمام بوته‌های کرت برداشت شد. پس از خشک شدن کامل، بوته‌ها خرم‌ن کوبی شدند و دانه‌های به دست آمده با ترازوی دقیق توزین شد. داده‌ها پس از تبدیل، به صورت عملکرد دانه در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار) محاسبه و ثبت شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

ابتدا آزمون نرمال بودن مانده‌ها از طریق آزمون کولموگوروف-اسیمرنوف (Kolmogorov-Smirnov) با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver 20 (۲۹) مورد بررسی قرار گرفتند. سپس آزمون بارتلت به منظور بررسی یکنواختی واریانس محیط‌ها انجام شد و در ادامه تجزیه واریانس مرکب با ثابت گرفتن اثر ژنوتیپ و تصادفی بودن اثر سال و مکان (محیط) و آزمون F با توجه به امید ریاضی میانگین مربعات منابع تغییرات انجام شد. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط، تجزیه پایداری با استفاده از روش‌های مختلف ناپارامتری انجام شد. روش‌های ناپارامتری استفاده شده شامل آماره‌های هان $S_1^{(1)}, S_1^{(2)}, S_1^{(3)}, S_1^{(6)}$ (۱۰ و ۲۳)، آماره‌های تنارازو $NP_1^{(1)}, NP_1^{(2)}, NP_1^{(3)}, NP_1^{(4)}$ (۳۰) و آماره پایداری مجموع رتبه (KR) (۱۴) بود. برای محاسبه آماره پایداری مجموع رتبه (KR)، ابتدا با محاسبه واریانس پایداری شوکلا (Shukla) (۲۸)، به ژنوتیپی که کمترین واریانس پایداری شوکلا را داشت، رتبه یک داده شد و رتبه ژنوتیپ‌های دیگر نیز تعیین شد و سپس به ژنوتیپ دارای بیشترین عملکرد رتبه یک داده شد و به ترتیب رتبه همه ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد مشخص شد. این دو رتبه باهم جمع شد و رتبه حاصل به عنوان معیار مجموع رتبه به کار رفت. همچنین در ادامه ضرایب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن جهت

جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های آفتابگردان در محیط‌های مختلف

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مجموع مربعات توجیه شده (درصد)
محیط	۷	۲۵۰۷۴۶۱۱۲/۹	۳۵۸۲۰۸۷۳/۳**	۷۰/۱۷
تکرار درون محیط	۲۴	۳۷۲۲۲۱۷۱/۴	۱۵۵۰۹۲۳/۸	
ژنوتیپ	۱۴	۳۳۰۳۷۶۲۳/۳	۲۳۵۹۸۳۰/۲**	۹/۲۴
ژنوتیپ × محیط	۹۸	۷۳۵۸۲۲۶۶/۹	۷۵۰۸۳۹/۵**	۲۰/۵۹
خطا	۳۳۶	۴۰۱۳۶۰۳۲/۱	۱۱۹۴۵۲/۵	
کل	۴۷۹	۴۳۴۷۲۴۲۰۶/۶		

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

جدول ۴. آنالیز اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با استفاده از آزمون‌های مختلف ناپارامتری برای ۱۵ ژنوتیپ آفتابگردان مورد

بررسی در ۸ محیط

آماره‌ها	درجه آزادی	مقدار آماره کای-دو
Hildebrand	۹۸	۳۵۵/۳۹**
Kubinger	۹۸	۲۲۱/۲۷**
Laan-Kroon	۹۸	۱۵۸/۷۰**

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

استفاده از آزمون‌های ناپارامتری (Hildebrand, Kubinger و Laan-Kroon) در گیاهانی از قبیل جو (۲)، کلزا (۳)، نخود (۷)، گندم نان (۱۷) و عدس (۲۵) برای تعیین وجود اثر متقابل غیرمقاطع و متقاطع گزارش شده است.

نتایج میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها و نه آماره ناپارامتری نشان داد که میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی در دامنه‌ای بین ۲۴۰۷ تا ۳۳۵۵ با میانگین کل ۲۷۸۶ کیلوگرم در هکتار در تغییر بود. ژنوتیپ‌های شماره ۹ و ۵ به‌ترتیب کمترین و بیشترین عملکرد دانه را تولید کردند (جدول ۵). میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۳، ۶، ۸ و ۱۴ نیز از میانگین عملکرد کل آزمایش بیشتر بود. بر اساس آماره‌های ناپارامتری مورد بررسی در این پژوهش، ژنوتیپ‌های با کمترین مقادیر به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته شدند. بر اساس آماره‌های $S_1^{(1)}$ و $S_1^{(2)}$ ژنوتیپ‌های شماره ۷، ۱۴ و ۱۵ با کمترین مقادیر به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۱۱ و ۱۲ با بیشترین مقادیر

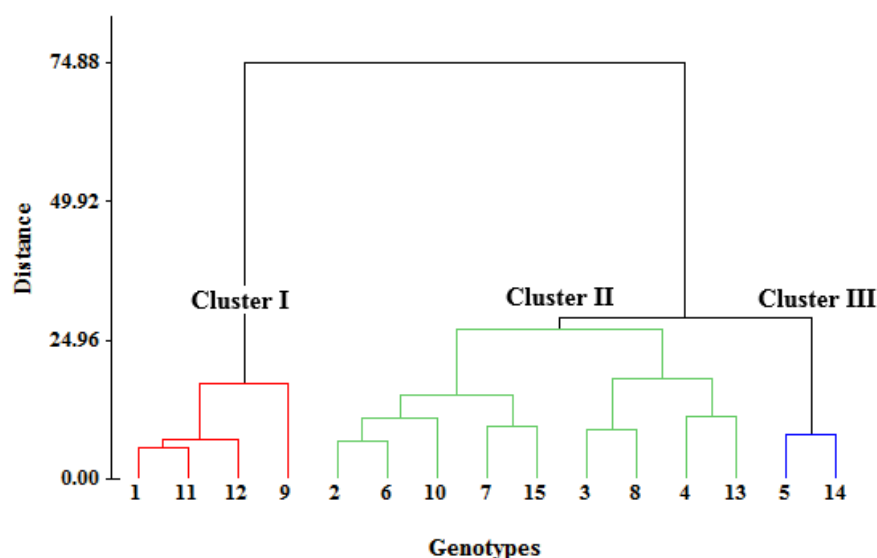
یک برنامه اصلاحی هنگامی که اثر متقابل ژنوتیپ × محیط از نوع غیرمقاطع (interaction Non-crossover) باشد، می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد و تنها بر پایه عملکرد تصمیم گرفت. اما اگر اثر متقابل از نوع متقاطع (Crossover interaction) باشد، باید اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را به‌طور همزمان در نظر گرفت و نباید فقط اثر ژنوتیپ را در نظر گرفت (۸ و ۳۳). روش‌های ناپارامتری Hildebrand, Kubinger و Laan-Kroon قابلیت بالایی در تشخیص اثر متقابل غیرمقاطع از متقاطع دارند. روش‌های Hildebrand و Kubinger برای تشخیص وجود اثر متقابل غیرمقاطع و روش Laan-Kroon برای تشخیص اثر متقابل متقاطع کاربرد دارد (۱۱). نتایج تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با استفاده از روش‌های یاد شده در جدول ۴ آورده شده است. معنی‌دار شدن هر سه آزمون از وجود هر دو نوع اثر متقابل ژنوتیپ و محیط حکایت داشت. به این ترتیب اهمیت بررسی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های آفتابگردان دوچندان می‌شود.

جدول ۵. آمارهای پایداری ناپارامتری همراه با رتبه آنها برای ۱۵ ژنوتیپ آفتابگردان

شماره ژنوتیپ	میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	$SI_1^{(1)}$	$SI_1^{(2)}$	$SI_1^{(3)}$	$SI_1^{(6)}$	$NP_1^{(1)}$	$NP_1^{(2)}$	$NP_1^{(3)}$	$NP_1^{(4)}$	KR
۱	۲۸۱۹	۶/۳۲	۲۸/۵۵	۲۷/۱۰	۵/۰۲	۵/۰۰	۰/۷۷	۰/۷۵	۰/۸۶	۲۰
۲	۲۵۹۱	۳/۷۹	۱۰/۸۶	۱۱/۶۹	۳/۵۴	۳/۱۳	۰/۶۳	۰/۵۲	۰/۵۸	۱۵
۳	۲۹۸۲	۵/۲۱	۱۹/۴۳	۱۲/۹۵	۲/۷۶	۴/۳۸	۰/۳۲	۰/۴۸	۰/۵۰	۱۶
۴	۲۷۱۶	۴/۷۹	۱۸/۸۶	۱۶/۵۰	۳/۲۵	۳/۰۰	۰/۳۱	۰/۵۲	۰/۶۰	۱۷
۵	۳۳۵۵	۳/۶۴	۱۱/۳۶	۶/۴۹	۱/۵۹	۴/۰۰	۰/۲۶	۰/۴۰	۰/۳۰	۱۱
۶	۲۷۹۴	۴/۴۳	۱۴/۲۹	۱۱/۷۶	۲/۹۴	۳/۰۰	۰/۴۶	۰/۴۸	۰/۵۲	۱۵
۷	۲۴۳۷	۲/۹۳	۶/۲۹	۹/۷۸	۴/۰۰	۲/۶۳	۰/۸۹	۰/۶۳	۰/۶۵	۱۶
۸	۳۲۹۲	۴/۷۱	۲۰/۷۹	۱۲/۳۸	۲/۳۰	۳/۸۸	۰/۲۷	۰/۴۰	۰/۴۰	۱۳
۹	۲۴۰۷	۴/۵۰	۱۵/۴۳	۲۴/۰۰	۶/۲۲	۲/۸۸	۱/۰۷	۰/۷۲	۱/۰۰	۱۹
۱۰	۲۶۹۷	۳/۵۷	۸/۷۹	۸/۴۸	۲/۷۶	۳/۲۵	۰/۳۶	۰/۵۱	۰/۴۹	۱۵
۱۱	۲۷۷۵	۳/۵۷	۲۲/۷۹	۲۰/۵۸	۴/۳۹	۵/۶۳	۰/۶۵	۰/۷۶	۰/۷۲	۱۹
۱۲	۲۷۳۲	۵/۸۹	۲۷/۲۷	۲۳/۴۹	۴/۵۲	۴/۲۵	۰/۳۸	۰/۶۵	۰/۷۳	۲۲
۱۳	۲۶۵۴	۳/۸۲	۱۰/۷۰	۱۰/۸۹	۲/۸۲	۱/۷۵	۰/۳۲	۰/۴۱	۰/۵۶	۱۸
۱۴	۲۹۶۱	۳/۸۸	۷/۲۷	۵/۰۲	۱/۵۱	۳/۱۳	۰/۳۱	۰/۳۸	۰/۳۱	۱۰
۱۵	۲۵۷۴	۳/۵۰	۸/۵۰	۱۰/۳۵	۳/۸۳	۲/۳۸	۰/۵۵	۰/۴۷	۰/۶۱	۱۴

رتبه	میانگین رتبه
۱	۱۳/۳
۲	۸/۲
۳	۸/۰
۴	۸/۶
۵	۳/۴
۶	۶/۸
۷	۷/۸
۸	۵/۷
۹	۱۲/۱
۱۰	۵/۸
۱۱	۱۲/۳
۱۲	۱۲/۲
۱۳	۶/۳
۱۴	۲/۵
۱۵	۶/۳

$SI_1^{(1)}$, $SI_1^{(2)}$, $SI_1^{(3)}$ و $SI_1^{(6)}$: آمارهای هان (۱۰) و نصار و هان (۷۳), $NP_1^{(1)}$, $NP_1^{(2)}$, $NP_1^{(3)}$ و $NP_1^{(4)}$: آمارهای تتارازو (۳۰), KR: آماره کانگ (۱۴).



شکل ۱. تجزیه کلاستر ۱۵ ژنوتیپ آفتابگردان بر اساس آماره‌های پایداری ناپارامتری (رنگی در نسخه الکترونیک)

مورد مطالعه، ژنوتیپ‌های شماره ۵ و ۱۴ با داشتن کمترین میانگین رتبه، پایدارترین و ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۱۱، ۱۲ و ۹ با داشتن بیشترین میانگین رتبه، ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۵). به‌منظور تایید نتایج شاخص میانگین رتبه (ASR) در گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها، تجزیه خوشه‌ای بر اساس آماره‌های پایداری ناپارامتری انجام گرفت. نتایج گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها در شکل ۱ نمایش داده شده است. ژنوتیپ‌های گروه اول (Cluster I) شامل ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۱۱، ۱۲ و ۹ بودند که دارای میانگین رتبه (ASR) بالا و میانگین عملکرد دانه (۲۶۸۳ کیلوگرم در هکتار) کمتر نسبت به میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها (۲۷۸۶ کیلوگرم در هکتار) بودند. بنابراین ژنوتیپ‌های گروه اول به‌عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین و ناپایدار شناخته شدند. در گروه دوم (Cluster II) ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۶، ۱۰، ۷، ۱۵، ۳، ۸ و ۴ قرار گرفتند که دارای مقادیر متوسط میانگین رتبه (ASR) و میانگین عملکرد دانه (۲۷۶۰ کیلوگرم در هکتار) کمتر نسبت به میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها (۲۷۸۶ کیلوگرم در هکتار) بودند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های نیمه پایدار محسوب شدند. ژنوتیپ‌های گروه سوم (Cluster III) شامل ژنوتیپ‌های شماره ۵ و ۱۴ با کمترین میانگین رتبه (ASR) و میانگین عملکرد (۳۱۵۸ کیلوگرم در هکتار) بالاتر نسبت به میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها

آماره‌های یادشده به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. همچنین بر اساس آماره‌های $S_1^{(3)}$ و $S_1^{(6)}$ ژنوتیپ‌های شماره ۵ و ۱۴ به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند که دارای عملکرد دانه‌ی بالاتر از میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۵). بر اساس آماره $NP_1^{(1)}$ می‌توان ژنوتیپ‌های شماره ۱۳، ۱۵، ۷ و ۹ را به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار معرفی کرد، در حالی که بر اساس آماره $NP_1^{(2)}$ ، ژنوتیپ‌های شماره ۵، ۸، ۴ و ۱۴ به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها نشان داد که دو آماره $NP_1^{(3)}$ و $NP_1^{(4)}$ از نظر شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار نتایج تقریباً مشابهی داشتند. بر اساس این دو آماره، ژنوتیپ‌های شماره ۵، ۸ و ۱۴ به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار معرفی شدند (جدول ۵).

آماره پایداری مجموع رتبه (KR) به‌عنوان معیار دیگری جهت تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها توسط کنگ (۱۴) ارائه شده است. بر این اساس ژنوتیپ‌های با کمترین مقدار KR به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته می‌شوند. بر اساس این معیار، ژنوتیپ‌های شماره ۵، ۸، ۱۴ و ۱۵ با کمترین مقادیر به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۹، ۱۱ و ۱۲ با بیشترین مقدار این آماره به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. به‌طور کلی بر اساس میانگین رتبه (ASR) همه آماره‌های ناپارامتری

جدول ۶. ضرایب همبستگی رتبه‌ای بین میانگین عملکرد دانه و آماره‌های پایداری ناپارامتری

	آماره‌ها	عملکرد دانه	$S_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(6)}$	$NP_i^{(1)}$	$NP_i^{(2)}$	$NP_i^{(3)}$	$NP_i^{(4)}$
$S_i^{(1)}$		-۰/۳۲								
$S_i^{(2)}$		-۰/۴۲	۰/۹۸**							
$S_i^{(3)}$		۰/۰۵	۰/۹۰**	۰/۸۶**						
$S_i^{(6)}$		۰/۵۶*	۰/۴۸	۰/۴۲	۰/۷۶**					
$NP_i^{(1)}$		-۰/۶۷**	۰/۶۳*	۰/۷۱**	۰/۳۷	۰/۰۴				
$NP_i^{(2)}$		۰/۶۵**	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۴۱	۰/۸۲**	-۰/۰۹			
$NP_i^{(3)}$		۰/۴۳	۰/۵۳*	۰/۴۸	۰/۷۳**	۰/۹۱**	۰/۳۰	۰/۷۸**		
$NP_i^{(4)}$		۰/۶۰*	۰/۴۴	۰/۳۷	۰/۷۳**	۰/۹۸**	-۰/۰۳	۰/۸۱**	۰/۸۷**	
KR		۰/۳۳	۰/۷۰**	۰/۶۰*	۰/۸۱**	۰/۸۴**	۰/۲۰	۰/۵۳*	۰/۸۳**	۰/۸۴**

$S_i^{(1)}$, $S_i^{(2)}$, $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$: آماره‌های هان (۱۰) و نصار و هان (۲۳)، $NP_i^{(1)}$, $NP_i^{(2)}$, $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$: آماره‌های تنارزو (۳۰)،

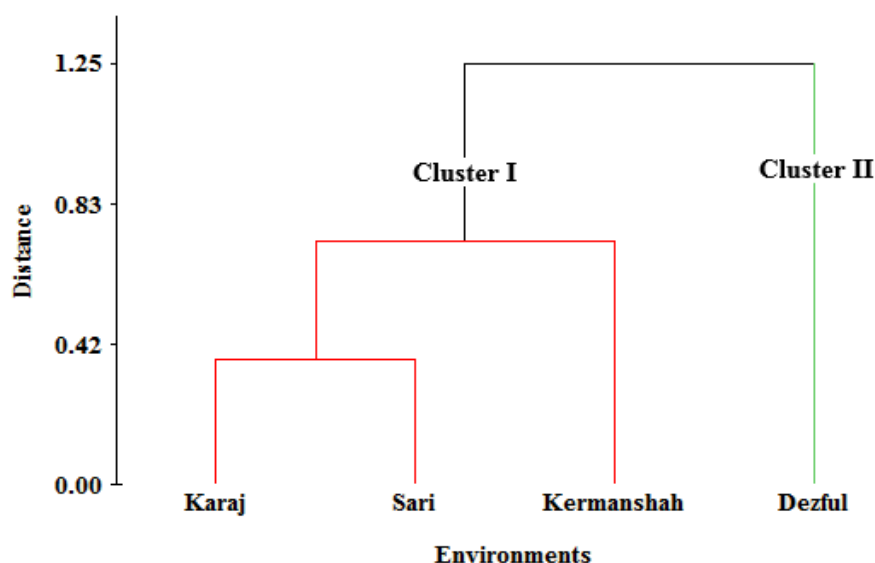
KR: آماره کانگ (۱۴)، * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

اساس نتایج به دست آمده، میانگین عملکرد دانه (SY) همبستگی مثبت و معنی‌داری با آماره‌های $S_i^{(6)}$ ، $NP_i^{(2)}$ و $NP_i^{(4)}$ داشت. با توجه به اینکه پارامترهای گفته شده ($S_i^{(6)}$ ، $NP_i^{(2)}$ و $NP_i^{(4)}$) ارتباط و همبستگی مثبت معنی‌داری با میانگین عملکرد داشتند، به این ترتیب این پارامترها دارای مفهوم دینامیکی (زراعی) پایداری هستند و معیارهای مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار در ژنوتیپ‌های آفتابگردان هستند. علیراده و همکاران (۳) در کلزا و واعظی و همکاران (۳۲) در جو، بین میانگین عملکرد و آماره‌های $S_i^{(6)}$ ، $NP_i^{(2)}$ و $NP_i^{(4)}$ ضرایب همبستگی رتبه‌ای مثبت و معنی‌داری گزارش کردند.

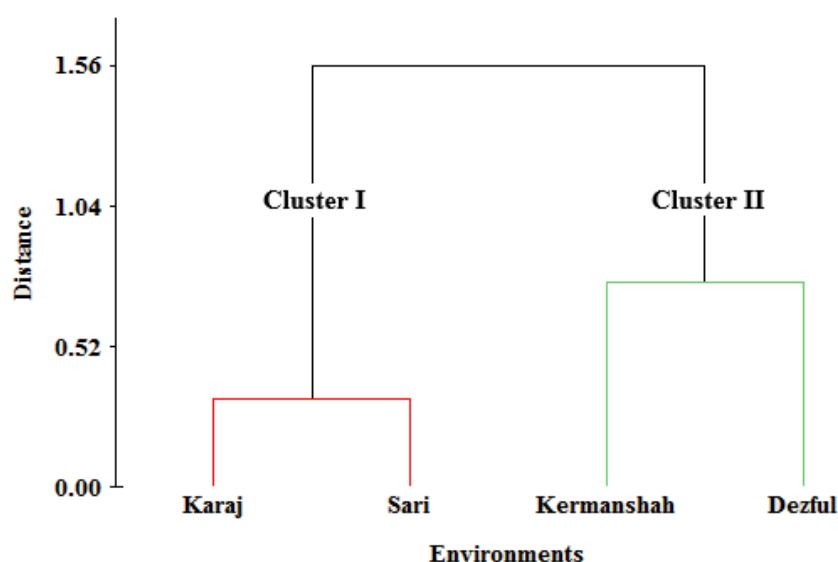
گروه‌بندی مناطق مورد مطالعه بر مبنای میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد بررسی برای هر سال به‌طور جداگانه در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج مناطق کرج و ساری در هر دو سال آزمایش در یک گروه قرار گرفتند. گروه‌بندی هشت آزمایش (محیط) بر مبنای میانگین عملکرد دانه نیز محیط‌ها را به دو گروه تفکیک کرد (شکل ۴). گروه اول (Cluster I) شامل محیط‌های Krj19 (کرج سال اول)، Krj20 (کرج سال دوم)، Sa19 (ساری سال اول)، Sa20 (ساری سال دوم) و Krm19 (کرمانشاه سال اول) بود. سه محیط Krm20

(۲۷۸۶ کیلوگرم در هکتار) بودند. بنابراین ژنوتیپ‌های شماره ۵ و ۱۴ با عملکرد بالاتر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها و میانگین رتبه (ASR) پایین به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول معرفی شدند.

پایداری عملکرد به توانایی ژنوتیپ‌های گیاهی در بروز ظرفیت عملکرد در دامنه وسیعی از محیط‌ها گفته می‌شود. بیکر (۵) دو نوع پایداری ژنوتیپی را تعریف کرده است. پایداری در مفهوم زیستی (بیولوژیکی) به ژنوتیپی اشاره دارد که واریانس آن در میان محیط‌ها صفر است. این بدان معنا است که ژنوتیپ پایدار عملکرد غیرقابل تغییری در میان محیط‌ها دارد. این جنبه از پایداری در کشاورزی مطلوب نیست. در حالی که بسیاری از به‌نژادگران مفهوم زراعی (دینامیکی) پایداری را جهت گزینش ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد بالا در شرایط محیطی مختلف ترجیح می‌دهند. بر طبق این مفهوم پایداری، یک پاسخ پیش‌بینی‌پذیر به عامل‌های محیطی وجود دارد یا به عبارت دیگر ژنوتیپ‌های گزینش شده دارای پتانسیل پاسخ به بهبود شرایط محیطی هستند. به‌منظور درک بهتر از روابط بین آماره‌های پایداری ناپارامتری و ارتباط آن‌ها با پایداری بیولوژیکی یا زراعی، ضرایب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن محاسبه شدند (جدول ۶). بر



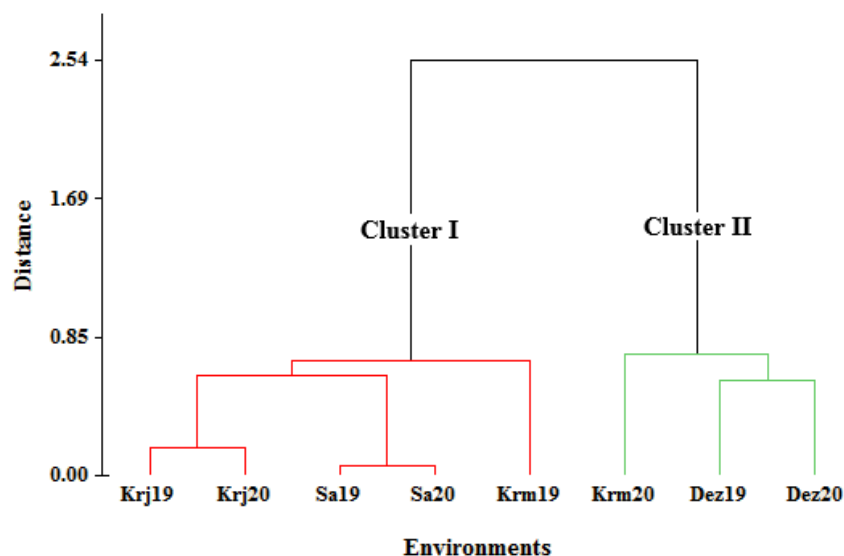
شکل ۲. گروه‌بندی مناطق مورد مطالعه بر اساس میانگین عملکرد دانه در سال اول (رنگی در نسخه الکترونیک)



شکل ۳. گروه‌بندی مناطق مورد مطالعه بر اساس میانگین عملکرد دانه در سال دوم (رنگی در نسخه الکترونیک)

بنابراین قرار گرفتن کرج و ساری در یک گروه نشان‌دهنده برهمکنش افزایشی یا نامتقاطع این دو مکان است. قرار گرفتن هر دو سال آزمایش کرج، ساری و دزفول در یک گروه نیز بیانگر قابلیت پیش‌بینی و تکرارپذیری بالاتر این سه ایستگاه نسبت به ایستگاه کرمانشاه است. به عبارت دیگر این امر نشان‌دهنده تغییرات اندک شرایط اقلیمی این مناطق در طول دو سال مورد بررسی بود. لذا با تکرار این آزمایش در سال‌های بعد در صورتی

(کرمانشاه سال دوم)، Dez19 (دزفول سال اول) و Dez20 (دزفول سال دوم) نیز در گروه دوم (Cluster II) قرار گرفتند (شکل ۴). محیط‌هایی که در یک گروه قرار می‌گیرند، از نظر مقادیر اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط نزدیک به هم هستند و محیط‌های با حداقل اثر متقاطع در یک گروه قرار می‌گیرند. در مقابل محیط‌هایی که در گروه‌های متفاوت قرار می‌گیرند دارای اثر متقابل متقاطع یا کراس‌آوری نسبت به هم هستند (۳۳ و ۳۴).



شکل ۴. گروه‌بندی محیط‌های مورد مطالعه بر اساس میانگین عملکرد دانه (رنگی در نسخه الکترونیک)

ناپایداری مورد مطالعه و تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌های شماره ۵ و ۱۴ با کمترین مقادیر میانگین رتبه به عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۱۱، ۱۲ و ۹ با بیشترین مقدار میانگین رتبه به عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. همچنین نتایج نشان داد که آماره‌های $S_i^{(6)}$ ، $NP_i^{(2)}$ و $NP_i^{(4)}$ با میانگین عملکرد دانه و مفهوم دینامیک پایداری رابطه داشته و استفاده از این روش‌ها جهت گزینش ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا در آفتابگردان مناسب هستند. در مجموع، ژنوتیپ شماره ۵ با داشتن بالاترین عملکرد دانه و پایداری عمومی بالا، هیبرید برتر این آزمایش بود که برای مطالعات تکمیلی جهت معرفی به عنوان رقم تجاری جدید انتخاب شد. تجزیه خوشه‌ای نیز محیط‌های مورد مطالعه را به دو گروه تفکیک کرد. قرار گرفتن کرج و ساری در هر دو سال در یک گروه حاکی از برهمکنش افزایشی یا غیرمقطوع این دو مکان است.

که نتایج آزمایش همچنان نزدیک به سال‌های قبل باشد، می‌توان گفت که تغییرات آب و هوایی این مناطق در طی چند سال بر عملکرد آفتابگردان تأثیری نداشته و می‌توان آزمایشات بررسی ژنوتیپ‌های آفتابگردان را با تعداد سال کمتری انجام داد. قرار گرفتن سال‌های اول و دوم ایستگاه کرمانشاه در گروه‌های جدا نشان‌دهنده عدم تکرارپذیری و غیرقابل پیش‌بینی بودن این ایستگاه است. به عبارت دیگر این امر نشان‌دهنده تغییرات زیاد شرایط آب و هوایی این منطقه در طول دو سال مورد بررسی بود.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع نتایج نشان داد که روش‌های پایداری ناپارامتری ابزارهایی سودمند برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط بوده و اطلاعات مفیدی در مورد ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد بالا در اختیار قرار می‌دهند. بر اساس میانگین رتبه همه آماره‌های

منابع مورد استفاده

1. Ahmadpour, S., R. Darvishzadeh, O. Sofalian and H. Hatamzadeh. 2019. Evaluation of yield stability of sunflower inbred lines under salt stress conditions. *Journal of Crop Breeding* 11: 1-10. (In Farsi).
2. Akbarpour, O. A., H. Dehghani, B. Sorkhi-Lalelo and M. S. Kang. 2016. A SAS macro for computing statistical tests for two-way table and stability indices of nonparametric method from genotype-by-environment interaction. *Acta Scientiarum-Agronomy* 38: 35-50.

3. Alizadeh, B., A. Rezaizad, M. Yazdandoost Hamedani, G. Shiresmaeili, F. Nasserghadimi, H. R. Khademhamzeh and A. Gholizadeh. 2020. Evaluation of seed yield stability of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes using non-parametric methods. *Journal of Crop Breeding* 12: 202-212. (In Farsi).
4. Ansarifard, I., K. Mostafavi, M. Khosroshahli, M. R. Bihamta and H. Ramshini. 2020. A study on genotype-environment interaction based on GGE biplot graphical method in sunflower genotypes (*Helianthus annuus* L.). *Food Science & Nutrition* 20: 1-8.
5. Becker, H. 1981. Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica* 30: 835-840.
6. Dehghani, M. R., M. M. Majidi, A. Mirlohi and G. Saeidi. 2016. Integrating parametric and non-parametric measures to investigate genotype \times environment interactions in tall fescue. *Euphytica* 208: 583-596.
7. Ebadi, A., S. H. Sabaghpour, H. Dehghani and M. Kamrani. 2008. Non-parametric measures of phenotypic stability in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). *Euphytica* 162: 221-229.
8. Esmaeilzadeh Moghaddam, M., S. Tahmasebi, G. A. Lotf Ali Ayeneh, H. Akbari Moghaddam, M. Mahmoudi, M. Sayyahfar, S. M. Tabib Ghaffari and H. Zali. 2018. Yield stability evaluation of bread wheat promising lines using multivariate methods. *Cereal Research* 8: 333-344. (In Farsi).
9. Fooladvand, M., H. Shahsavand, G. Mohamadinejad and M. Parvizi. 2013. Genotype by environment interaction and study of sugar yield stability in the sugarcane cultivars in Khuzestan locations by stability criteria. *Cereal Research* 2: 31-44. (In Farsi).
10. Huehn, M. 1990. Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. *Euphytica* 47: 189-194.
11. Hühn, M. and J. Léon. 1995. Nonparametric analysis of cultivar performance trials: experimental results and comparison of different procedures based on ranks. *Agronomy Journal* 87: 627-632.
12. Jamshidmoghaddam, M. and S. S. Pourdad. 2013. Genotype \times environment interactions for seed yield in rainfed winter safflower (*Carthamus tinctorius* L.) multi-environment trials in Iran. *Euphytica* 190: 357-369.
13. Jockovic, M., S. Cvejic, S. Jovic, A. Marjanovic-Jeromela, D. Miladinovic, B. Jockovic, V. Miklic and V. Radic. 2019. Evaluation of sunflower hybrids in multi-environment trial (MET). *Turkish Journal of Field Crops* 24: 202-210.
14. Kang, M. 1988. A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. *Cereal Research Communication* 16: 113-115.
15. Karimizadeh, R., A. Asghari, O. Sofalian, K. Shahbazi Homonlo, T. Hossienpour, H. Ghoghogh and M. Armion. 2019. Identification of the most stable durum wheat genotypes using nonparametric yield stability statistics. *Journal of Crop Production and Processing* 9: 189-203. (In Farsi).
16. Karimizadeh, R., M. Safikhani Nasimi, M. Mohammadi, F. Seyyedi, A. Mahmoodi and B. Rostami. 2008. Determining rank and stability of lentil genotypes in rainfed condition by nonparametric statistics. *Journal of Crop Production and Processing* 2: 93-102. (In Farsi).
17. Karimizadeh, R., M. Mohammadi, N. Sabaghnia, M. K. Shefazadeh, T. Hosseinpour and M. Armion. 2013. Exploring of genotype by environment interaction by non-parametric stability procedures. *Natura montenegrina* 12: 181-204.
18. Khalili, M. and A. Pour-Aboughadareh. 2016. Parametric and non-parametric measures for evaluating yield stability and adaptability in barley doubled haploid lines. *Journal of Agriculture Science and Technology* 18: 789-803.
19. MINITAB, I. 2005. Minitab User's Guide, Vers. 14. Minitab Inc., Harrisburg, Pennsylvania, USA.
20. Moghaddaszadeh, M., R. Asghari Zakaria, D. Hassanpanah and N. Zare. 2018. Non-parametric stability analysis of tuber yield in potato (*Solanum tuberosum* L.) genotype. *Journal of Crop Breeding* 28: 50-63. (In Farsi).
21. Mortazavian, S., H. Nikkhah, F. Hassani, A. H. M. Sharif, M. Taheri and M. Mahlooji. 2014. GGE biplot and AMMI analysis of yield performance of barley genotypes across different environments in Iran. *Journal of Agriculture Science and Technology* 16: 609-622.
22. Movahhedi, Z., H. Dehghani and M. Mofidian. 2010. A study of yield stability in cold region ecotypes of alfalfa (*Medicago sativa* L.) through non-parametric measures. *Iranian Journal of Field Crop Science* 40: 103-111. (In Farsi).
23. Nassar, R. and M. Huehn. 1987. Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. *Biometrics* 43: 45-53.
24. Pourdad, S., M. Moghaddam, A. Faraji and H. Naraki. 2014. Study on different non-parametric stability methods on seed yield of spring rapeseed varieties and hybrids. *Iranian Journal of Field Crop Science* 44: 539-548. (In Farsi).
25. Sabaghnia, N., H. Dehghani and S. H. Sabaghpour. 2006. Nonparametric methods for interpreting genotype \times environment interaction of lentil genotypes. *Crop Science* 46: 1100-1106.
26. SAS, I. 2011. Base SAS 9.1 Procedures Guide. SAS Institute Inc., Cary, Nc.
27. Shiri, M. R. and T. Bahrapour. 2015. Genotype \times environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. *Cereal Research* 5: 83-94. (In Farsi).
28. Shukla, G. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype environmental components of variability.

Heredity 29: 237-245.

29. SPSS, I. 2010. SPSS 20. Users Guided. Chicago, IL., USA.
30. Thennarasu, K. 1995. On Certain Non-Parametric Procedures for Studying Genotype-Environment Inertactions and Yield Stability. IARI, Division of Agricultural Statistics, New Delhi.
31. Vaezi, B., A. Pour-Aboughadareh, R. Mohammadi, M. Armion, A. Mehraban, T. Hossein-Pour and M. Dorii. 2017. GGE biplot and AMMI analysis of barley yield performance in Iran. *Cereal Research Communications* 45: 500-511.
32. Vaezi, B., A. Pour-Aboughadareh, R. Mohammadi, A. Mehraban, T. Hossein-Pour, E. Koohkan, S. Ghasemi, H. Moradkhani and K. H. Siddique. 2019. Integrating different stability models to investigate genotype \times environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes. *Euphytica* 215: 1-18.
33. Yan, W. and M. S. Kang. 2003. GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists and Agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
34. Yan, W. and I. Rajcan. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science* 42: 11-20.

Evaluation of Seed Yield Stability of Sunflower Genotypes Using Non-Parametric Statistics

M. Ghaffari¹, A. Gholizadeh^{2*}, S. A. A. Andarkhor³, A. Zareei Siahbidi⁴, S. A. Kalantar Ahmadi⁵, F. Shariati⁶ and A. Rezaeizad⁷

(Received: June 09-2021; Accepted: July 17-2021)

Abstract

Evaluating of sunflower genotypes under different environmental conditions would be useful to identify genotypes with high stability and yield potential. In order to study yield stability of sunflower genotypes, 11 new hybrids along with four cultivars (namely Golsa, Ghasem, Shams and Farrokh) were evaluated in a randomized complete block design with four replications under four experimental field stations across Iran including Karaj, Sari, Kermanshah and Dezful during 2018-2020. The results of combined analysis of variance indicated that the effects of environments, genotypes and genotype \times environment interaction were significant for seed yield. Existence of genotype \times environment interaction, suggested that genotypes responded differently to the studied environment conditions. Therefore, there is the possibility of stability analysis. Cluster analysis based on the nonparametric stability statistics grouped genotypes in to three main clusters. According to the mean rank of all studied nonparametric stability parameters, the genotypes No. 5 and 14 with the lowest value of mean rank were distinguished as stable genotypes, meanwhile genotypes No. 1, 11, 12 and 9 with the highest values of mean rank were identified as non-stable genotypes. Also, the results indicated that the nonparametric statistics S_i , NP_i and NP_i were associated with mean seed yield and the dynamic concept of stability. Therefore, these methods would be suitable for selecting stable and high yielding genotypes in sunflower. Finally, the genotype No. 5 with mean seed yield of 3355 kg ha⁻¹ and high broad stability was distinguished as superior hybrid which can be used in the future breeding programs for producing the new cultivar with high yield and stability potential.

Keywords: Genotype \times environment interaction, Stability analysis, Cluster analysis, Hybrid

- 1, 6. Associate Professor and Assistant Professor, Respectively, Oil Crops Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
2. Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran.
3. Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Iran.
- 4, 7. Assistant Professor and Associate Professor, Respectively, Crop and Horticultural Science Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran.
5. Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran.

*: Corresponding Author, Email: a.gholizadeh@areeo.ac.ir