



"مقاله پژوهشی"

ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزای زمستانه با استفاده از روش‌های ناپارامتری

بهرام علیزاده^۱، عباس رضایی‌زاد^۲، محمد یزداندوست همدانی^۳، غلامحسین شیراسماعیلی^۴، فرشاد ناصرقدیمی^۵، حمیدرضا خادم حمزه^۶ و امیرقلی‌زاده^۷

۱- دانشیار بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران (نویسنده مسوول: alizadeh.bahram@gmail.com)

۲- استادیار بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه ایران
۳- استادیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

۴- بخش تحقیقات علوم زراعی - باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۵- ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوی، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی

۶- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

۷- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۴/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۱۰

صفحه: ۲۰۲ تا ۲۱۲

چکیده

ارزیابی ژنوتیپ‌های کلزا تحت شرایط محیطی مختلف، می‌تواند در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و با پتانسیل عملکرد بالا مفید باشد. به منظور مطالعه پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های کلزای زمستانه، تعداد نه لاین پیشرفته جدید به همراه چهار رقم اکایی، احمدی، نیما و نفیس در شش ایستگاه تحقیقاتی اصفهان، همدان، کرج، کرمانشاه، خوی و زرقان در چارچوب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به مدت دو سال زراعی (۹۶-۱۳۹۴) ارزیابی شدند. نتایج تجزیه مرکب عملکرد دانه نشان داد که اثر محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ × محیط، بیانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بود؛ از اینرو، امکان تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها وجود داشت. تجزیه خوشه‌ای میانگین عملکرد دانه و آماره‌های ناپارامتری، ژنوتیپ‌های کلزا را در سه گروه اصلی قرار داد. بر اساس میانگین رتبه همه آماره‌های ناپایداری مورد مطالعه، ژنوتیپ‌های G1، G2، G5 و G13 با کمترین مقادیر میانگین رتبه به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های G4، G7، G9 و G11 با بیشترین میانگین رتبه به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. همچنین نتایج نشان داد که آماره‌های ناپارامتری $NPi^{(3)}$ ، $NPi^{(4)}$ و KR با میانگین عملکرد دانه و مفهوم دینامیک پایداری رابطه داشتند، از این رو استفاده از این روش‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا در کلزای زمستانه مناسب می‌باشند. بر اساس این آماره‌ها ژنوتیپ‌های G13 با میانگین عملکرد دانه 4086 کیلوگرم در هکتار و G2 با میانگین عملکرد دانه 3829 کیلوگرم در هکتار به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا شناسایی شدند و برای کشت در اقلیم سرد و معتدل سرد کشور پیشنهاد می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: اقلیم سرد و معتدل سرد، برهمکنش ژنوتیپ × محیط، تجزیه پایداری، روش‌های ناپارامتری، کلزا

مقدمه

در اقلیم‌های مورد آزمایش در مکان‌ها و سال‌های مختلف، سبب تعیین پایداری عملکرد شده و ژنوتیپ‌هایی با برهمکنش ژنوتیپ × محیط کمتر انتخاب می‌شوند. پایداری عملکرد به توانایی ژنوتیپ‌های گیاهی در بروز ظرفیت عملکرد در دامنه وسیعی محیط‌ها اطلاق می‌شود. بیکر (۲) دو نوع پایداری ژنوتیپی را تعریف کرده است. پایداری در مفهوم زیستی (بیولوژیک) به ژنوتیپی اشاره دارد که واریانس آن در میان محیط‌ها صفر است. این بدان معنا که ژنوتیپ پایدار عملکرد غیرقابل تغییری در میان محیط‌ها دارد. این جنبه از پایداری در کشاورزی مطلوب نمی‌باشد. در حالیکه بسیاری از به‌نژادگران مفهوم دینامیک (زراعی) 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 عوامل محیطی وجود دارد یا به‌عبارت دیگر ژنوتیپ‌های گزینش‌شده دارای پتانسیل پاسخ به بهبود شرایط محیطی می‌باشند.

کلزا (*Brassica napus* L.) بعد از سویا مهم‌ترین منبع تولیدکننده روغن خوراکی جهان و دانه آن دارای بیش از ۴۰ درصد روغن و کنجاله آن نیز حاوی حدود ۱۸ تا ۲۴ درصد پروتئین می‌باشد (۲۵). کلزا در دامنه گسترده‌ای از شرایط آب و هوایی و مناطق جغرافیایی تولید می‌شود و به‌دلیل سازگاری زیاد با شرایط اقلیمی مختلف، دامنه پراکندگی آن گسترش یافته است. وقتی ارقام زراعی در محیط‌های مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، عملکرد آن‌ها در مقایسه با یکدیگر مشابه نخواهد بود. ممکن است که یک رقم در تعدادی محیط دارای بالاترین عملکرد باشد ولی در محیط‌های دیگر، رقم دیگری برتری داشته باشد (۹). به تغییری که در عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف به‌وجود می‌آید، برهمکنش ژنوتیپ × محیط اطلاق می‌شود. برهمکنش ژنوتیپ × محیط یکی از مهمترین مسائل پیش روی به‌نژادگران به‌منظور معرفی و آزادسازی ارقام اصلاح‌شده می‌باشد. کشت ژنوتیپ‌ها

ژنوتیپ‌ها به‌عنوان عامل ثابت در نظر گرفته شدند. هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف پنج متری با فاصله بین ردیف‌های ۳۰ سانتیمتر بود. کشت به‌صورت جوی و پشته و آبیاری بر حسب نیاز انجام شد. کشت بر اساس دستورالعمل کشت کلزا در تاریخ‌های توصیه‌شده انجام شد. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک (جهت خردکردن کلوخه‌ها) و ماله (جهت تسطیح) بود و بر اساس نتایج آزمون خاک اقدام به کوددهی شد. با توجه به متفاوت بودن خاک محل آزمایش ایستگاه‌های مورد مطالعه، مقدار کودهای مصرفی با توجه به نتایج آزمون خاک هر ایستگاه طبق دستورالعمل کشت کلزا به خاک اضافه گردید. مقدار پتاسیم و فسفر به‌ترتیب از منابع کودی سولفات پتاسیم به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و سوپرفسفات تریپل به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت و نیتروژن نیز به‌صورت کود از ته به‌صورت سرک در سه مرحله کاشت، شروع ساقه‌رفتن و زمان ظهور اولین غنچه‌های گل به‌ترتیب به مقدار ۱۰۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار رسانده شد. در طول فصل رشد و نمو عملیات زراعی به‌طور مرتب انجام شد و از سموم سیستمیک دیماکارون (نیم لیتر در هکتار) و اکاتین (یک لیتر در هکتار) برای کنترل شته مومی کلم استفاده شد. در زمان رسیدن فیزیولوژیک، برداشت محصول هر رقم از دو خط میانی با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر خط کاشت انجام شد و پس از تبدیل، عملکرد دانه در هکتار (کیلوگرم در هکتار) محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

ابتدا آزمون نرمال بودن باقیمانده داده‌ها از طریق آزمون کولموگوروف-اسیمروف (Kolmogorov-Smirnov) با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver 20 (۲۸) مورد بررسی قرار گرفتند. سپس آزمون بارتلت به‌منظور بررسی یکنواختی واریانس محیط‌ها انجام شد و در ادامه تجزیه واریانس مرکب با فرض ثابت بودن 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 برهمکنش ژنوتیپ × محیط، تجزیه پایداری با استفاده از روش‌های مختلف ناپارامتری انجام گردید. روش‌های ناپارامتری استفاده‌شده شامل آماره‌های $S_i^{(1)}$, $S_i^{(2)}$, $S_i^{(3)}$, $S_i^{(6)}$ (۷، ۱۹)، آماره‌های تنارازو $NP_i^{(1)}$, $NP_i^{(2)}$, $NP_i^{(3)}$, $NP_i^{(4)}$ (۲۹) و آماره پایداری مجموع رتبه (KR) (۱۱) بود که فرمول‌های محاسبه آنها در جدول ۳ ذکر شده است. برای محاسبه آماره پایداری مجموع رتبه (KR)، ابتدا با محاسبه واریانس پایداری شوکلا (۲۷)، به ژنوتیپی که کمترین واریانس پایداری شوکلا را داشت، رتبه یک داده شد و رتبه ژنوتیپ‌های دیگر نیز تعیین گردید و سپس به ژنوتیپ دارای بیشترین عملکرد رتبه یک داده شد و به‌ترتیب رتبه همه ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد مشخص شد. این دو رتبه باهم جمع گردید و رتبه حاصل به‌عنوان معیار مجموع رتبه به‌کار رفت. همچنین در ادامه ضرایب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن جهت بررسی روابط بین روش‌های مختلف ناپارامتری و میانگین عملکرد دانه محاسبه شدند. به‌منظور شناخت بهتر روابط بین آماره‌های مختلف و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از لحاظ

روش‌های مختلفی برای مطالعه برهمکنش ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار به‌کار برده شده است که شامل روش‌های پارامتری تک‌متغیره، ناپارامتری و چندمتغیره می‌باشند. در این میان، روش‌های آماری ناپارامتری به‌دلیل عدم نیاز به نرمال بودن داده‌ها یا یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی و همچنین حساس نبودن به خطا و داده‌های پرت، اطلاعات مفیدی را در مورد تغییرپذیری فنوتیپی و برهمکنش ژنوتیپ × محیط در اختیار متخصصین اصلاح نباتات قرار می‌دهند (۱۲، ۱۶، ۱۸، ۲۲). در یک برنامه اصلاحی هنگامی که برهمکنش ژنوتیپ × محیط از نوع غیرمقاطع (Non-crossover) باشد، می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد و تنها بر پایه عملکرد تصمیم گرفت. اما اگر برهمکنش از نوع مقاطع (Crossover interaction) باشد، باید اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط را به‌طور همزمان در نظر گرفت و نباید فقط اثر ژنوتیپ را در نظر گرفت (۳۳، ۵). روش‌های ناپارامتری قابلیت بالایی در تشخیص برهمکنش غیرمقاطع از مقاطع دارند. همچنین روش‌های ناپارامتری نسبت به روش‌های دیگر مزایای دیگری دارند که از آن جمله می‌توان به تجزیه و تحلیل و تفسیر آسان و همچنین عدم حساسیت به حذف یا اضافه‌نمودن تعداد کمی از ژنوتیپ‌ها بر این معیارها اشاره نمود. از روش‌های ناپارامتری در عدس (۲۳)، نخود (۴)، یونجه (۱۸)، کلزا (۱۷، ۲۲)، فستوکا (۳)، جو (۱۴، ۳۰، ۳۲) و سیب زمینی (۱۶) برای مطالعه برهمکنش ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده شده است.

با توجه به نیاز روزافزون کشور به روغن خوراکی از طریق افزایش تولید محصولات دانه روغنی، لزوم دستیابی به ارقام با پتانسیل تولید عملکرد بالا و سازگار به شرایط محیطی اجتناب‌ناپذیر است. به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار، آزمایشات مقایسه عملکرد تکراردار در چند مکان و در چند سال انجام می‌شود که در این آزمایشات علاوه بر معیار عملکرد، میزان پایداری ژنوتیپ‌ها نیز در نظر گرفته می‌شود. هدف از اجرای این پژوهش، بررسی روش‌های مختلف ناپارامتری در پایداری عملکرد دانه کلزای زمستانه و تعیین روابط بین این معیارها و در نهایت شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد دانه بالا بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش نه لاین پیشرفته کلزای زمستانه که از آزمایشات مقایسه عملکرد لاین‌های پیشرفته کلزای زمستانه در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۲ انتخاب شده بودند، به‌همراه ارقام اکاپی، احمدی، نیما و نفیس در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، همدان، کرج، کرمانشاه، خوی و زرقان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی (۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵) مورد ارزیابی قرار گرفتند.

نام و مبداء ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ و برخی مشخصات اقلیمی مناطق اجرای آزمایش و میانگین عملکرد مناطق در جدول ۲ ذکر گردیده است. مشخصات فنی و زراعی دوازده آزمایش (محیط) این طرح در کلیه مناطق یکسان بود و

رتبه آماره‌های پایداری ناپارامتری و میانگین عملکرد دانه از تجزیه خوشه‌ای به روش حداقل واریانس وارد و معیار فاصله اقلیدوسی استفاده شد. برای انجام محاسبات از نرم‌افزارهای آماری SAS ver 9.1 (۲۴)، Minitab ver 14 (۱۵) و SPSS ver 20 (۲۸) استفاده شد.

جدول ۱- شماره، نام و مبداء ژنوتیپ‌های کلزای زمستانه مورد بررسی

Table 1. Genotypic code, name and origin of the tested winter rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes

شماره	کد	نام/شجره	منشا
۱	G1	HW-92-1	ایران
۲	G2	BAL-92-1	ایران
۳	G3	BAL-92-3	ایران
۴	G4	BAL-92-4	ایران
۵	G5	BAL-92-6	ایران
۶	G6	BAL-92-8	ایران
۷	G7	HW-92-2	ایران
۸	G8	BAL-92-11	ایران
۹	G9	HW-92-3	ایران
۱۰	G10	اکایی	فرانسه
۱۱	G11	احمدی	ایران
۱۲	G12	نیما	ایران
۱۳	G13	نفیس	ایران

جدول ۲- خصوصیات اقلیمی، خاک و میانگین عملکرد در محیط‌های مورد مطالعه

Table 2. Agro-climatic, soli and yield characteristics of studied environments

کد	مکان	فصل رشدی	طول جغرافیایی (درجه دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه دقیقه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	بارندگی (میلی‌متر)	نوع خاک	میانگین عملکرد (کیلوگرم در هکتار)
Esf16	اصفهان	۲۰۱۵-۲۰۱۶	۵۱° ۴۰'	۳۵° ۳۵'	۱۵۴۵	۱۲۸	سیلتی رسی	۳۴۲۷
Esf17	اصفهان	۲۰۱۶-۲۰۱۷	۵۱° ۴۰'	۳۵° ۳۵'	۱۵۴۵	۱۲۸	سیلتی رسی	۳۵۵۳
Hmd16	همدان	۲۰۱۵-۲۰۱۶	۴۸° ۴۰'	۳۵° ۱۲'	۱۷۵۸	۳۰۸	شنی لومی	۴۰۴۹
Hmd17	همدان	۲۰۱۶-۲۰۱۷	۴۸° ۴۰'	۳۵° ۱۲'	۱۷۵۸	۳۰۸	شنی لومی	۴۶۹۸
Krj16	کرج	۲۰۱۵-۲۰۱۶	۵۰° ۵۴'	۳۵° ۵۶'	۱۳۱۲	۳۰۰	لومی رسی	۴۱۶۵
Krj17	کرج	۲۰۱۶-۲۰۱۷	۵۰° ۵۴'	۳۵° ۵۶'	۱۳۱۲	۳۰۰	لومی رسی	۱۸۰۹
Krm16	کرمانشاه	۲۰۱۵-۲۰۱۶	۴۷° ۲۶'	۳۳° ۰۸'	۱۳۴۶	۴۶۸	سیلتی رسی	۳۰۷۹
Krm17	کرمانشاه	۲۰۱۶-۲۰۱۷	۴۷° ۲۶'	۳۳° ۰۸'	۱۳۴۶	۴۶۸	سیلتی رسی	۳۹۵۴
Khy16	خوی	۲۰۱۵-۲۰۱۶	۴۴° ۵۷'	۳۸° ۳۴'	۱۱۰۳	۲۹۸	رسی لومی	۲۹۵۵
Khy17	خوی	۲۰۱۶-۲۰۱۷	۴۴° ۵۷'	۳۸° ۳۴'	۱۱۰۳	۲۹۸	رسی لومی	۳۵۳۱
Zrg16	زرقان	۲۰۱۵-۲۰۱۶	۵۲° ۴۲'	۲۹° ۴۷'	۱۵۹۶	۳۰۵	رسی لومی	۴۲۹۳
Zrg17	زرقان	۲۰۱۶-۲۰۱۷	۵۲° ۴۲'	۲۹° ۴۷'	۱۵۹۶	۳۰۵	رسی لومی	۳۴۸۲

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفت عملکرد دانه نشان داد که اختلاف بین محیط‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال یک معنی‌دار بود (جدول ۴). محاسبه درصد مجموع مربعات سه منبع محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط به مجموع آن‌ها نشان داد که عمده تغییرات موجود در داده‌ها به‌وسیله واریانس محیط‌ها توجیه شده (۵۰/۲۶ درصد) و واریانس بین ژنوتیپ‌ها و نیز واریانس برهمکنش ژنوتیپ × محیط به ترتیب ۴/۶۸ و ۲۳/۴۹ درصد از تغییرات را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۴). با توجه به این که محیط‌های آزمایش طیف وسیعی از فاکتورهای محیطی (ارتفاع از سطح دریا، درجه حرارت، میزان بارندگی، نوع خاک) را دارا بوده، بنابراین اختصاص عمده تغییرات به واریانس محیط‌ها قابل توجیه است. نوساد و

همکاران (۲۰) نیز در کلزا ۶۹/۸۲ درصد تغییرات را به اثر محیط نسبت دادند. همچنین پژوهشگران دیگری در آزمایش‌های چندمحیطی خود در محصولات دیگر نشان دادند که اثر محیط درصد قابل توجهی از تغییرات موجود در داده‌ها را به خود اختصاص داده است (۳۱، ۲۶، ۲۱، ۱۰). معنی‌دار شدن برهمکنش ژنوتیپ × محیط در این مطالعه نیز نشان‌دهنده این مطلب است که ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متفاوت پاسخ‌های متفاوتی نشان داده و به‌عبارت دیگر اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیطی دیگر یکسان نیست و پایداری عملکرد دانه می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد. واکنش ژنوتیپ‌های مختلف به‌طور معمول به دلیل پاسخ متفاوت ژن‌ها و یا قدرت تظاهر متفاوت آن‌ها در محیط‌های مختلف است (۶، ۹).

جدول ۳- فرمول‌های مربوط به آماره‌های ناپارامتری

منبع	فرمول	آماره‌های ناپارامتری
	$S_i^{(1)} = 2 \sum_j^{n-1} \frac{\sum_{j'=j+1}^n r_{ij} - r_{ij'} }{\sqrt{N(N-1)}}$	$S_i^{(1)}$
هان (۷) و نصار و هان (۱۹)	$S_i^{(2)} = \sum_{i=1}^n \frac{(r_{ij} - \bar{r}_i)^2}{(N-1)}$	$S_i^{(2)}$
	$S_i^{(3)} = \sum_{i=1}^n \frac{(r_{ij} - \bar{r}_i)^2}{\bar{r}_i}$	$S_i^{(3)}$
	$S_i^{(6)} = \sum_{i=1}^n \frac{ r_{ij} - \bar{r}_i }{\bar{r}_i}$	$S_i^{(6)}$
	$NP_i^{(1)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n r_{ij}^* - M_{di}^* $	$NP_i^{(1)}$
تنارزو (۲۹)	$NP_i^{(2)} = \frac{1}{N} \left[\sum_{j=1}^n r_{ij}^* - M_{di}^* / M_{di} \right]$	$NP_i^{(2)}$
	$NP_i^{(3)} = \frac{\sqrt{\sum (r_{ij} - \bar{r}_i)^2 / N}}{\bar{r}_i}$	$NP_i^{(3)}$
	$NP_i^{(4)} = \frac{2}{N(N-1)} \left[\sum_{j=1}^{n-1} \sum_{j'=j+1}^n r_{ij}^* - r_{ij'}^* / \bar{r}_i \right]$	$NP_i^{(4)}$

در روابط فوق: r_{ij}^* و \bar{r}_i^* : به ترتیب رتبه تصحیح نشده و تصحیح شده ژنوتیپ آم در محیط زام، \bar{r}_i و \bar{r}_i^* : به ترتیب میانگین رتبه تصحیح نشده و تصحیح شده ژنوتیپ آم، M_{di} و M_{di}^* : به ترتیب میانه رتبه تصحیح نشده و تصحیح شده ژنوتیپ آم و N: تعداد محیطها

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا در محیط‌های مختلف

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	واریانس توجیه شده (درصد)
محیط	۱۱	۲۴۴۵۸۵۷۳۶/۱۲	۲۲۲۳۵۰۶۶/۹۳**	۵۰/۲۶
تکرار درون محیط	۲۴	۲۱۴۳۲۰۴۵/۵۸	۸۹۳۰۰۱/۹۰	
ژنوتیپ	۱۲	۲۲۷۸۳۶۵۱/۲۱	۱۸۹۸۶۳۷/۶۰**	۴/۶۸
ژنوتیپ × محیط	۱۳۲	۱۱۴۳۰۲۶۱۹/۱۳	۸۶۵۹۲۸/۹۳**	۲۳/۴۹
خطا	۲۸۸	۸۳۵۳۱۶۹۸/۶۹	۲۹۰۰۴۰/۶۲	
کل	۴۶۷	۴۸۶۶۳۵۷۵۰/۷۳		

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

هر دو نوع برهمکنش (مقاطع و غیرمقاطع) در این پژوهش وجود دارد و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا باید مورد ارزیابی قرار گیرد. در تحقیق مرتضویان و عزیزی‌نیا (۱۷) نیز هر دو نوع برهمکنش در کلزا گزارش گردیده است. استفاده از آزمون‌های ناپارامتری (Kubinger, Hildebrand) و Laan-Kroon (در بسیاری از تحقیقات به منظور تشخیص برهمکنش غیرمقاطع از مقاطع گزارش شده است (۱،۴،۱۳،۲۳)).

روش‌های ناپارامتری Kubinger, Hildebrand و Laan-Kroon قابلیت بالایی در تشخیص برهمکنش غیرمقاطع از مقاطع دارند. روش‌های Hildebrand و Kubinger برای تشخیص وجود برهمکنش غیرمقاطع و روش Laan-Kroon برای تشخیص برهمکنش مقاطع کاربرد دارد (۸). نتایج تجزیه برهمکنش ژنوتیپ × محیط با استفاده روش‌های ذکر شده در جدول ۵ آورده شده است. با توجه به معنی‌دار شدن همه آزمون‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که

جدول ۵- آنالیز اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری برای ۱۳ ژنوتیپ کلزا در ۱۲ محیط
 Table 5. Analysis of genotype × environment interaction using different nonparametric tests on 13 rapeseed genotypes grown in 12 environments

آماره‌ها	درجه آزادی	مقدار آماره کای - دو
Hildebrand	۱۳۲	۳۳۹/۲۱**
Kubinger	۱۳۲	۳۷۶/۷۰**
Laan-Kroon	۱۳۲	۲۰۰/۴۲**

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

است. بر این اساس ژنوتیپ‌های با کمترین مقدار KR به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته می‌شوند. بر اساس این معیار، ژنوتیپ‌های G1، G2، G5 و G13 با کمترین مقادیر به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های G4، G7، G11 و G9 با بیشترین مقدار آماره مذکور به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. به‌طور کلی بر اساس میانگین رتبه (ASR) همه آماره‌های ناپارامتری مورد مطالعه، ژنوتیپ‌های G2، G13، G1 و G5 با داشتن کمترین میانگین رتبه پایدارترین و ژنوتیپ‌های G4، G7، G11 و G9 با داشتن بیشترین میانگین رتبه ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۶). به‌منظور تایید نتایج شاخص میانگین رتبه (ASR) در گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس میزان پایداری و عملکرد، تجزیه خوشه‌ای بر اساس میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد بررسی و آماره‌های پایداری ناپارامتری انجام گرفت. نتایج گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها در شکل ۱ نمایش داده شده است. نتایج تجزیه خوشه‌ای نشان داد که ژنوتیپ‌های گروه اول (Cluster I) شامل ژنوتیپ‌های G1، G2، G5 و G13 بودند، که دارای کمترین میانگین رتبه (ASR) و همچنین میانگین عملکرد (۳۸۳۱۳۸۳۲/۹۰ کیلوگرم در هکتار) بالاتری را نسبت به میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها (۳۵۸۳۳۵۸۴/۵۹ کیلوگرم در هکتار) به‌خود اختصاص دادند. بنابراین ژنوتیپ‌های G1، G5، G2 و G13 با عملکرد بالاتر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها و میانگین رتبه (ASR) پایین به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول انتخاب و برای کشت در اقلیم سرد و معتدل سرد کشور معرفی می‌شوند.

نتایج میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها و نه آماره ناپارامتری نشان داد که میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی در دامنه‌ای بین ۳۲۶۴ تا ۴۰۸۶ با میانگین کل ۳۵۸۴ کیلوگرم در هکتار بود و ژنوتیپ‌های G11 و G13 به‌ترتیب کمترین و بیشترین عملکرد دانه را تولید کردند. میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های G1، G2، G5، G8، G12 و G13 نیز از میانگین عملکرد کل آزمایش بیشتر بود. بر اساس آماره‌های ناپارامتری مورد بررسی در این تحقیق، ژنوتیپ‌های با کمترین مقادیر به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته می‌شوند. بر اساس آماره‌های $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$ ژنوتیپ‌های G2، G13، G10، G6 و G3 با کمترین مقادیر به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های G4، G7، G9، G11 و G12 با بیشترین مقادیر آماره‌های مذکور به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. همچنین بر اساس آماره‌های $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ ژنوتیپ‌های G1، G2، G13 و G5 به‌عنوان پایدارترین شناخته شدند که دارای عملکردهای دانه بالاتر از میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۶). آماره $NP_i^{(1)}$ ژنوتیپ‌های G2، G6، G3 و G10 را ژنوتیپ‌های پایدار معرفی کرد، در حالیکه بر اساس آماره $NP_i^{(2)}$ ، ژنوتیپ‌های G2، G12، G5، G1 و G13 به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها نشان داد که دو آماره $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ از نظر شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار نتایج مشابهی داشتند. بر اساس این دو آماره، ژنوتیپ‌های G13، G2، G1، G5، G6 و G12 به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار معرفی شدند.

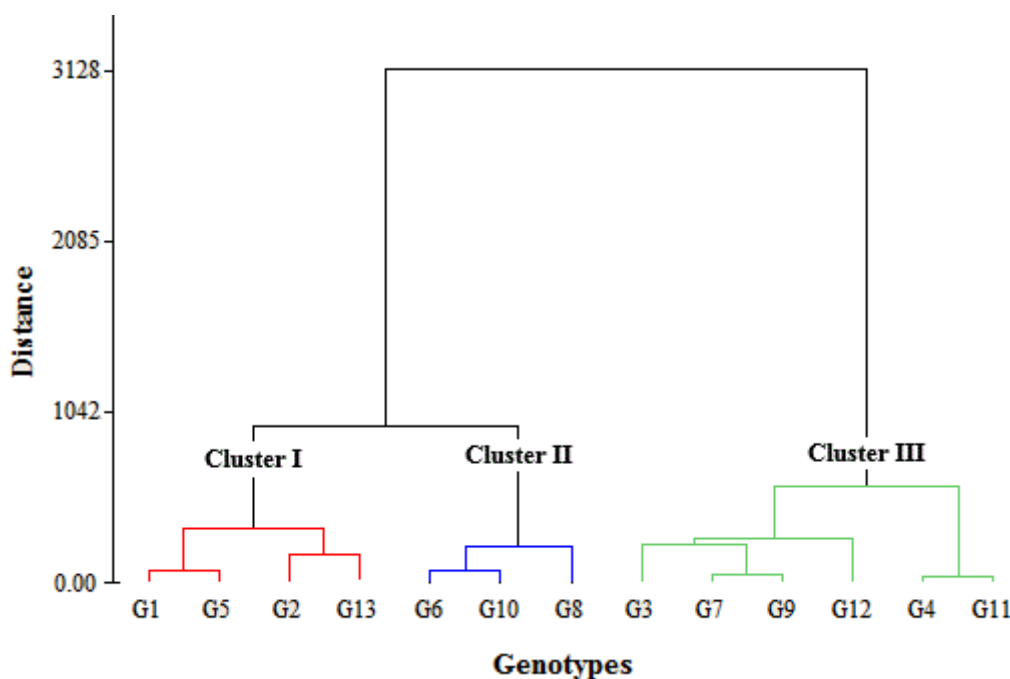
آماره پایداری مجموع رتبه (KR) به‌عنوان معیار دیگری جهت تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها توسط کنگ (۱۱) ارایه شده

جدول ۶- آماره‌های پایداری ناپارامتری همراه با رتبه آن‌ها برای ۱۳ ژنوتیپ کلزا زمستانه

Table 6. Non-parametric measures of stability along with their ranks for 13 winter rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes.

ژنوتیپ	میانگین عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	S _i (1)	S _i (2)	S _i (3)	S _i (6)	NP _i (1)	NP _i (2)	NP _i (3)	NP _i (4)	KR	
G1	۳۷۴۹	۴/۲۰	۱۲/۵۷	۱۶/۷۶	۴/۳۰	۳/۴۲	-/۴۳	-/۴۷	-/۵۱	۷	
G2	۳۸۳۹	۳/۱۷	۸/۶۳	۱۰/۰۸	۲/۵۷	۲/۱۷	-/۲۹	-/۲۳	-/۳۴	۷	
G3	۳۵۱۳	۳/۹۲	۱۱/۵۴	۲۱/۴۵	۵/۳۴	۲/۵۰	-/۵۰	-/۵۶	-/۶۶	۱۵	
G4	۳۳۰۹	۵/۱۵	۱۹/۵۵	۳۹/۰۹	۸/۳۶	۳/۷۵	-/۸۷	-/۷۵	-/۹۴	۲۵	
G5	۳۶۶۴	۴/۱۵	۱۲/۴۲	۱۸/۶۴	۴/۴۵	۳/۲۵	-/۳۸	-/۵۱	-/۵۷	۱۱	
G6	۳۳۸۲	۳/۷۹	۱۰/۷۰	۱۹/۰۸	۹/۴	۲/۳۳	-/۵۲	-/۴۹	-/۶۱	۱۲	
G7	۳۳۷۵	۴/۶۱	۱۵/۱۵	۲۹/۴۱	۷/۰۶	۳/۴۲	-/۶۱	-/۶۹	-/۸۱	۲۰	
G8	۳۶۸۱	۴/۳۵	۱۳/۵۴	۲۰/۰۸	۵/۲۶	۳/۵۰	-/۴۸	-/۵۰	-/۵۹	۷	
G9	۳۵۷۶	۴/۵۰	۱۵/۴۸	۲۵/۲۲	۵/۹۳	۳/۴۲	-/۵۶	-/۵۶	-/۶۷	۱۷	
G10	۳۵۰۶	۳/۷۶	۱۰/۱۸	۱۸/۶۷	۵/۳۳	۲/۹۲	-/۵۰	-/۵۵	-/۶۳	۱۰	
G11	۳۲۶۴	۴/۴۱	۱۵/۵۴	۳۴/۷۶	۸/۷۱	۳/۷۵	۱/۴۳	-/۸۸	-/۹۰	۲۵	
G12	۳۶۵۲	۴/۴۸	۱۴/۶۱	۲۰/۹۶	۵/۰۴	۳/۱۷	-/۳۷	-/۴۹	-/۵۸	۱۷	
G13	۴۰۸۶	۳/۲۶	۷/۷۲	۸/۵۶	۲/۹۲	۳/۷۵	-/۴۵	-/۴۲	-/۳۳	۹	
رتبه										میانگین رتبه	
G1	۳	۷	۷	۳	۳	۷	۴	۳	۳	۱	۴/۱
G2	۲	۱	۲	۲	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱/۴
G3	۸	۵	۵	۹	۷	۳	۷	۱۰	۹	۸	۷/۱
G4	۱۲	۱۳	۱۳	۱۳	۱۲	۱۱	۱۲	۱۲	۱۳	۱۲	۱۲/۳
G5	۵	۶	۶	۴	۴	۶	۳	۷	۴	۶	۵/۱
G6	۱۰	۴	۴	۶	۵	۲	۹	۴	۷	۷	۵/۸
G7	۱۱	۱۲	۱۰	۱۱	۱۱	۷	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۰/۶
G8	۴	۸	۸	۷	۸	۱۰	۶	۶	۶	۱	۶/۴
G9	۷	۱۱	۱۱	۱۰	۱۰	۷	۱۰	۹	۱۰	۹	۹/۴
G10	۹	۳	۳	۵	۹	۴	۷	۸	۸	۵	۶/۱
G11	۱۳	۹	۱۲	۱۲	۱۳	۱۱	۱۳	۱۳	۱۲	۱۲	۱۲/۰
G12	۶	۱۰	۹	۸	۶	۵	۲	۵	۵	۹	۶/۵
G13	۱	۲	۱	۱	۲	۱۱	۵	۲	۱	۴	۳/۰

(S_i(6) آماره‌های هان (۷) و نصار و هان (۱۹)، NP_i(1)، NP_i(2)، NP_i(3) و NP_i(4): آماره‌های ترازو (۲۹)، KR: آماره کانگ (۱۱).



شکل ۱- تجزیه کلاستر ۱۳ ژنوتیپ کلزا بر اساس میانگین عملکرد و آماره‌های پایداری ناپارامتری

Figure 1. Cluster analysis of 13 rapeseed genotypes based on mean yield and non-parametric measures of stability

همبستگی رتبه‌ای مثبت و معنی‌داری مشاهده کردند. محققان دیگری نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میانگین عملکرد و شاخص مجموع رتبه (KR) مشاهده کردند (۴،۲۳). ضرایب همبستگی رتبه‌ای مثبت و معنی‌داری بین همه جفت پارامترهای ممکن $S_i^{(2)}$ ، $S_i^{(3)}$ ، $S_i^{(6)}$ ، $NP_i^{(2)}$ ، $NP_i^{(3)}$ ، $NP_i^{(4)}$ و KR مشاهده شد (جدول ۷).

به‌منظور درک بهتر از روابط بین آماره‌های پایداری ناپارامتری و ارتباط آنها با پایداری بیولوژیک یا زراعی، تجزیه خوشه‌ای انجام گرفت. بر اساس تجزیه خوشه‌ای، پارامترهای پایداری مورد مطالعه در سه گروه تقسیم‌بندی شدند (شکل ۲). گروه اول (Cluster I) شامل میانگین عملکرد (SY)، $S_i^{(3)}$ ، $S_i^{(6)}$ ، $NP_i^{(2)}$ ، $NP_i^{(3)}$ ، $NP_i^{(4)}$ و پارامترهای مذکور $S_i^{(3)}$ ، $S_i^{(6)}$ ، $NP_i^{(2)}$ ، $NP_i^{(3)}$ ، $NP_i^{(4)}$ و KR ارتباط و همبستگی مثبتی با میانگین عملکرد داشتند، بنابراین این پارامترها دارای مفهوم دینامیک (زراعی) پایداری هستند و معیارهای مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار در ارقام کلزای زمستانه می‌باشند. گروه دوم (Cluster II) شامل آماره‌های $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$ بودند.

در گروه دوم (Cluster II) ژنوتیپ‌های G6، G10 و G8 قرار گرفتند که دارای مقادیر متوسط میانگین رتبه (ASR) و میانگین عملکرد دانه (۳۵۲۳ کیلوگرم در هکتار) کمتر نسبت به میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها (۳۵۸۴ کیلوگرم در هکتار) بودند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های نیمه‌پایدار محسوب شدند. ژنوتیپ‌های گروه سوم (Cluster III) شامل ژنوتیپ‌های G3، G7، G9، G12، G4 و G11 بودند که دارای میانگین رتبه (ASR) بالا و میانگین عملکرد دانه (۳۴۴۸ کیلوگرم در هکتار) کمتر نسبت به میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها (۳۵۸۴ کیلوگرم در هکتار) بودند. بنابراین ژنوتیپ‌های گروه سوم به‌عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین و ناپایدار شناخته شدند. به‌منظور بررسی رابطه بین میانگین عملکرد دانه و آماره‌های ناپارامتری، ضرایب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن محاسبه شدند (جدول ۷). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، میانگین عملکرد دانه (SY) همبستگی مثبت و معنی‌داری با آماره‌های $S_i^{(2)}$ ، $S_i^{(3)}$ ، $S_i^{(6)}$ ، $NP_i^{(2)}$ ، $NP_i^{(3)}$ ، $NP_i^{(4)}$ و KR داشت. پورداد و همکاران (۲۲) در کلزا و واعظی و همکاران (۳۰) در جو نیز طی تحقیقات خود، بین میانگین عملکرد و آماره‌های $S_i^{(3)}$ ، $S_i^{(6)}$ ، $NP_i^{(2)}$ ، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ ضرایب

جدول ۷- ضرایب همبستگی رتبه‌ای بین میانگین عملکرد و آماره‌های پایداری ناپارامتری برای ۱۳ ژنوتیپ کلزا زمستانه

Table 7. Spearman rank correlation coefficients between mean seed yield (SY) and stability non-parametric measures for 13 winter rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes

آماره‌ها	عملکرد دانه	$S_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(6)}$	$NP_i^{(1)}$	$NP_i^{(2)}$	$NP_i^{(3)}$	$NP_i^{(4)}$
$S_i^{(1)}$	۰/۵۴								
$S_i^{(2)}$	۰/۶۱*	۰/۹۶**							
$S_i^{(3)}$	۰/۸۳**	۰/۸۳**	۰/۸۷**						
$S_i^{(6)}$	۰/۸۵**	۰/۷۴**	۰/۷۹**	۰/۹۲**					
$NP_i^{(1)}$	۰/۱۴	۰/۵۲	۰/۵۴	۰/۳۴	۰/۴۵				
$NP_i^{(2)}$	۰/۸۵**	۰/۵۴	۰/۶۱*	۰/۷۹**	۰/۸۶**	۰/۴۶			
$NP_i^{(3)}$	۰/۸۵**	۰/۶۸*	۰/۷۴**	۰/۹۰**	۰/۹۳**	۰/۳۸	۰/۸۳**		
$NP_i^{(4)}$	۰/۹۲**	۰/۶۹**	۰/۷۵**	۰/۹۵**	۰/۹۵**	۰/۲۸	۰/۹۰**	۰/۹۳**	
KR	۰/۸۴**	۰/۷۱**	۰/۷۳**	۰/۸۸**	۰/۷۸**	۰/۳۱	۰/۷۳**	۰/۸۲**	۰/۸۳**

$S_i^{(1)}$ ، $S_i^{(2)}$ ، $S_i^{(3)}$ ، $S_i^{(6)}$: آماره‌های هان (۷) و نصار و هان (۱۹)، $NP_i^{(1)}$ ، $NP_i^{(2)}$ ، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$: آماره‌های تارازو (۲۹)، KR: آماره کانگ (۱۱).
* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

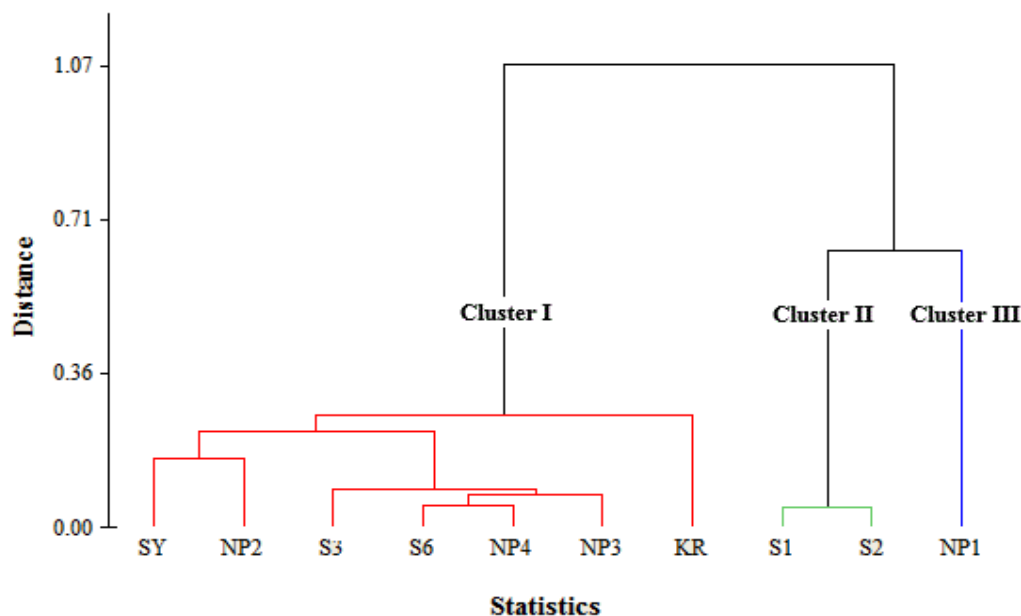
Krj16 (کرج سال اول) بود. دو محیط Khy16 (خوی سال اول) و Zrg17 (زرقان سال دوم) نیز در گروه چهارم (Cluster III) قرار گرفتند (شکل ۳). محیط‌هایی که در یک گروه قرار می‌گیرند، از نظر مقادیر برهمکنش ژنوتیپ × محیط نزدیک به هم هستند و محیط‌های با حداقل اثر متقاطع در یک گروه قرار می‌گیرند. در مقابل محیط‌هایی که در گروه‌های متفاوت قرار می‌گیرند دارای برهمکنش متقاطع یا کراس‌آوری نسبت به هم می‌باشند (۳۳، ۳۴). بنابراین قرار گرفتن همدان و کرمانشاه در یک گروه بیانگر مشابهت نسبی این دو ایستگاه و نشان‌دهنده برهمکنش افزایشی یا غیرکراس‌آوری است. در بین ایستگاه‌های مورد بررسی، ایستگاه همدان و کرمانشاه از شرایط آب و هوایی وضعیت تقریباً مشابهی دارند که ممکن است یکی از دلایل مشابهت این دو ایستگاه نسبت به هم باشد. قرار گرفتن هر دو سال آزمایش همدان و کرمانشاه در یک گروه نیز بیانگر قابلیت پیش‌بینی و تکرارپذیری بالاتر این دو ایستگاه نسبت به سایر

این آماره‌ها همبستگی مثبتی نیز با یکدیگر داشتند. گروه سوم (Cluster III) شامل آماره $NP_i^{(1)}$ بود. با توجه به نتایج، آماره‌های گروه دوم و سوم دارای مفهوم زیستی (بیولوژیک) پایداری هستند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش‌های سایر محققین نیز آماره‌های $S_i^{(3)}$ ، $S_i^{(6)}$ ، $NP_i^{(2)}$ ، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ را دارای مفهوم دینامیک (زراعی) پایداری معرفی کردند (۲۲، ۳۰).

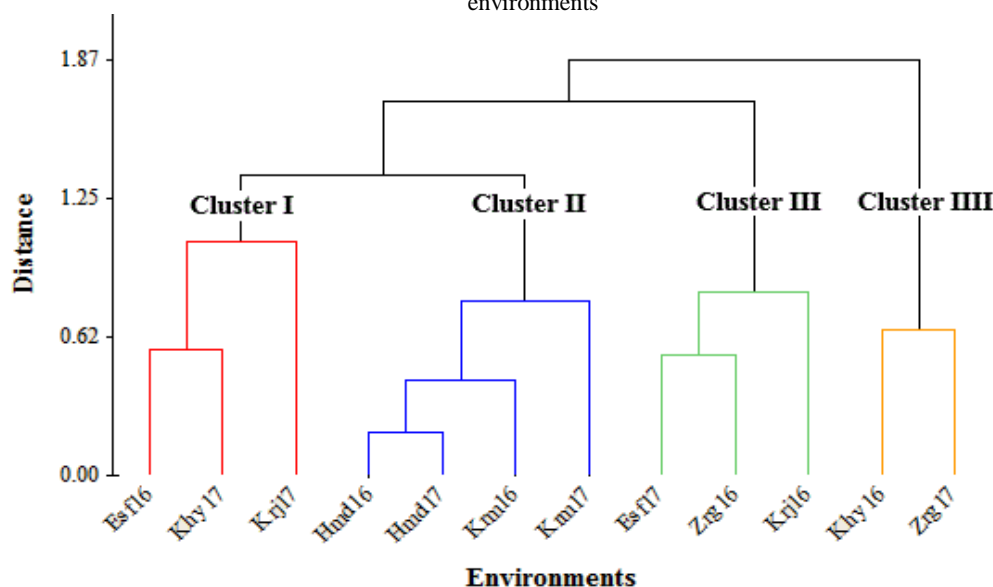
گروه‌بندی محیط‌ها بر مبنای میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد بررسی، چهار گروه از محیط‌ها را مشخص کرد (شکل ۳). گروه اول (Cluster I) شامل محیط‌های Esf16 (اصفهان سال اول)، Khy17 (خوی سال دوم) و Krj17 (کرج سال دوم) بود. با توجه به شکل ۳، Hmd16 (همدان سال اول)، Hmd17 (همدان سال دوم)، Krm16 (کرمانشاه سال اول) و Krm17 (کرمانشاه سال دوم) در گروه دوم قرار گرفتند. گروه سوم (Cluster III) شامل محیط‌های Esf17 (اصفهان سال دوم)، Zrg16 (زرقان سال اول) و

مکان مختلف کانادا به این نتیجه رسیدند که یکی از این مکان‌ها تشابه بالایی با سایر مناطق داشت. بنابراین این مکان را از آزمایشات بررسی ارقام سویا حذف کردند. قرارگرفتن سال‌های اول و دوم ایستگاه‌های اصفهان، کرج، خوی و زرقان در گروه‌های جدا نشان‌دهنده عدم تکرارپذیری و غیرقابل پیش‌بینی بودن این ایستگاه‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر این امر نشان‌دهنده تغییرات زیاد شرایط آب و هوایی این مناطق در طول دو سال مورد بررسی بود.

ایستگاه‌ها می‌باشد. 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 که نتایج آزمایش همچنان نزدیک به سال‌های قبل باشد، می‌توان گفت که تغییرات آب و هوایی این مناطق در طی چند سال روی عملکرد کلزا تاثیری ندارد و می‌توانند به عنوان مکان‌های مشابه در نظر گرفته شوند. یان و راجان (۳۴) با بررسی ژنوتیپ‌های سویا در طی چندین سال در چهار



شکل ۲- تجزیه کلاستر آماره‌های پایداری ناپارامتری و میانگین عملکرد دانه ۱۳ ژنوتیپ کلزا در ۱۲ محیط
Figure 2. Cluster analysis of non-parametric stability procedures and mean seed yield of 13 rapeseed genotypes in 12 environments



شکل ۳- گروه‌بندی محیط‌های مورد مطالعه بر اساس میانگین عملکرد دانه
Figure 3. Classification of the studied environments based on mean seed yield

جهت گزینش ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا در کلزای زمستانه مناسب می‌باشند. بر اساس این آماره‌ها ژنوتیپ‌های G13 با میانگین عملکرد دانه ۴۰۸۶ کیلوگرم در هکتار و G2 با میانگین عملکرد دانه ۳۸۲۹ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا شناسایی شدند و برای کشت در اقلیم سرد و معتدل سرد کشور پیشنهاد می‌شوند. تجزیه خوشه‌ای محیط‌های مورد مطالعه را به چهار گروه تفکیک کرد. قرارگرفتن همدان و کرمانشاه در هر دو سال در یک گروه بیانگر مشابهت نسبی این دو ایستگاه و حاکی از برهمکنش افزایشی یا غیرکراس‌آوری است.

در مجموع نتایج نشان داد که روش‌های پایداری ناپارامتری ابزارهایی کارا برای بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط بوده و اطلاعات مفیدی در مورد ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد بالا در اختیار قرار می‌دهند. بر اساس میانگین رتبه همه آماره‌های ناپایداری مورد مطالعه و تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌های G1، G2، G5 و G13 با کمترین مقادیر میانگین رتبه به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های G4، G7، G11 و G9 با بیشترین مقدار میانگین رتبه به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. همچنین نتایج نشان داد که آماره‌های $S_i^{(3)}$ ، $S_i^{(6)}$ ، $NP_i^{(2)}$ ، $NP_i^{(3)}$ ، $NP_i^{(4)}$ و KR با میانگین عملکرد دانه و مفهوم دینامیک پایداری رابطه داشته و استفاده از این روش‌ها

منابع

1. 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.
2. Becker, H. 1981. Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica*, 30: 835-840.
3. Dehghani, M.R., M.M. Majidi, A. Mirlohi and G. Saeidi. 2016. Integrating parametric and non-parametric measures to investigate genotype × environment interactions in tall fescue. *Euphytica*, 208: 583-596.
4. 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.
5. Esmailzadeh Moghaddam, M., S. Tahmasebi, G.A. Lotf Ali Ayeneh, H. Akbari Moghadam, 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 Persian).
6. Falconer, D.S. 1981. Introduction to quantitative genetics. 2nd Ed. Longman, London, UK.
7. Huehn, M. 1990. Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: theory. *Euphytica*, 47: 189-194.
8. 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.
9. Jafari, T. and E. Farshadfar. 2018. Stability analysis of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) by GGE biplot. *Cereal Research*, 8: 199-208 (In Persian).
10. Jamshidmoghadam, M. and S.S. Pourdad. 2011. Genotype × environment interactions and simultaneous selection for high oil yield and stability in rainfed warm areas rapeseed (*Brassica napus* L.) from Iran. *Euphytica*, 180: 321-335.
11. Kang, M. 1988. A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. *Cereal Research Communication*, 16: 113-115.
12. 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. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 12: 93-102 (In Persian).
13. Karimizadeh, R., M. Mohammadi, N. Sabaghnia, M.K. Shefazadeh, Hosseinpour T. and M. Armion. 2013. Exploring of genotype by environment interaction by non-parametric stability procedures. *Natura Montenegrina*, 12: 181-204.
14. 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 Agricultural Science and Technology*, 18: 789-803
15. MINITAB, INC. 2005. Minitab user's guide, vers. 14. Minitab Inc, Harrisburg, Pennsylvania, USA.
16. Moghaddasadeh, M., R. Asghari Zakaria, D. Hassanpanah and N. Zare. 2019. Non-parametric stability analysis of tuber yield in potato (*Solanum tuberosum* L.) genotype. *Journal of Crop Breeding*, 28: 50-63 (In Persian).
17. Mortazavian, S.M. and S. Azizinia. 2014. Nonparametric Stability Analysis in Multi-Environment Trial of Canola. *Turkish Journal of Field Crops*, 19: 108-117.

18. 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 Persian).
19. 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.
20. Nowosad, K., A. Liersch, W. Popławska and J. Bocianowski. 2016. Genotype by environment interaction for seed yield in rapeseed (*Brassica napus* L.) using additive main effects and multiplicative interaction model. Euphytica, 208: 187-194.
21. Pourdad, S.S. and M. Jamshidmoghaddam. 2013. Study on Genotype \times Environment Interaction through GGE Biplot for Seed Yield in Spring Rapeseed (*Brassica Napus* L.) in Rain-Fed Condition. Journal of Crop Breeding, 5: 1-13 (In Persian).
22. Pourdad, S., M. Jamshidmoghaddam, 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 Persian).
23. 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.
24. SAS Institute Inc. 2011. Base SAS 9.1 procedures guide. SAS Institute Inc, Cary.
25. Seymour, M., J.A. Kirkegaard, M.B. Peoples, P.F. White and R.J. French. 2012. Break-crop benefits to wheat in Western Australia—insights from over three decades of research. Crop and Pasture Science, 63: 1-16.
26. 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 Persian).
27. Shukla, G. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype environmental components of variability. Heredity, 29: 237-245.
28. SPSS Inc. 2010. SPSS 20. Users Guided. Chicago, USA.
29. Thennarasu, K. 1995. On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. Dissertation, University of New Delhi.
30. Vaezi, B., A. Pour-Aboughadareh, A. Mehraban, T. Hossein-Pour, R. Mohammadi, M. Armion and M. Dorri. 2018. The use of parametric and non-parametric measures for selecting stable and adapted barley lines. Archives of Agronomy and Soil Science, 64: 597-611.
31. Vaezi, B., A. Pour-Aboughadareh, R. Mohammadi, M. Armion, A. Mehraban, T. Hossein-Pour and M. Dorri. 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: 63.
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 Winter Rapeseed (*Brassica napus* L.) Genotypes using Non-Parametric Methods

Bahram Alizadeh¹, Abbas Rezaizad², Mohammad Yazdandoost Hamedani³,
Gholamhossein Shiresmaeili⁴, Farshad Nasserghadimi⁵, Hamid Reza
Khademhamzeh⁶ and Amir Gholizadeh⁷

-
- 1- Associate Professor, Oil Crops Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(Corresponding author: alizadeh.bahram@gmail.com)
- 2- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran
- 3- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran
- 4- Horticulture Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
- 5- Khoy Agricultural and Natural Resources Research Station, Seed and Plant Improvement Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center
- 6- Crop and Horticultural Science Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran
- 7- 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

Received: July 14, 2020 Accepted: August 27, 2020

Abstract

Evaluating of the rapeseed genotypes under different environmental conditions would be useful to identify genotypes with stable and high yield potential. In order to study yield stability of winter rapeseed genotypes, 9 new advanced lines along with four cultivars Okapi, Ahmadi, Nima and Nafis were evaluated in a randomized complete block design in six experimental field stations including Esfahan, Hamedan, Karaj, Kermanshah, Khoy and Zarghan during 2015–2017 growing seasons. Results of combined analysis of variance indicated that the effects of environments, genotypes and genotype \times environment interaction were significant, suggesting that the genotypes responded differently in the studied environment conditions. So, there was the possibility of stability analysis. Cluster analysis based on the mean yield and nonparametric stability statistics showed that there were three main clusters. According to mean rank of nonparametric stability parameters, the genotypes G1, G2, G5 and G13 with the lowest value for mean rank were stable, whereas genotypes G4, G11, G7 and G9 with highest values were unstable. Also, the results indicated that the nonparametric statistics $S_i^{(3)}$, $S_i^{(6)}$, $NP_i^{(2)}$, $NP_i^{(3)}$, $NP_i^{(4)}$ and KR were associated with mean seed yield and the dynamic concept of stability. Therefore, these methods were suitable for selecting stable and high yielding genotypes in winter rapeseed. Based on these parameters, the genotypes G13 and G2 with mean seed yield 4086 and 3829 kg h⁻¹ respectively, were identified as high yield stable genotypes. So, these genotypes could be used for cultivation in cold and mild cold regions of the country.

Keywords: Cold and mild cold climate, Genotype \times environment interaction, Non-parametric methods, Rapeseed, Stability analysis