

بررسی پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش کنگد با استفاده از روش‌های مختلف پارامتری و ناپارامتری

حسین زینل‌زاده تبریزی^{۱*}، سعدالله منصوری^۲ و عباس فلاح طوسی^۳

۱- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع استان اردبیل (مغان)، سازمان

تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، اردبیل

۲- استادیار، بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، ترویج و

آموزش کشاورزی، کرج

۳- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی،

سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، مشهد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۵ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۳)

چکیده

تجزیه و تحلیل اثر متقابل ژنوتیپ و محیط با استفاده از روش‌های مختلف آماری در اصلاح نباتات اهمیت زیادی دارد. به منظور بررسی پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش کنگد با استفاده از معیارهای مختلف پارامتری و ناپارامتری، آزمایشی با ۱۳ لاین امیدبخش کنگد به همراه رقم شاهد اولتان در سه منطقه کرج، مشهد و مغان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در طی دو سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ انجام یافت. تجزیه واریانس مرکب داده‌های عملکرد لاین‌های امیدبخش کنگد نشان داد که اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × سال × مکان در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. محیط کرج-۹۶ بیشترین میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها با ۱۳۴۶ کیلوگرم در هکتار و محیط مشهد-۹۶ کمترین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها با ۱۰۰۱ کیلوگرم در هکتار را به خود اختصاص دادند. بیشترین و کمترین میانگین عملکرد دانه در بین ژنوتیپ‌ها در تمامی محیط‌های آزمون به ترتیب مربوط به لاین G6 با ۱۴۴۴ کیلوگرم در هکتار و لاین G12 با ۷۶۲ کیلوگرم در هکتار بود. نقشه حرارتی به همراه تجزیه خوشه‌ای، هم ژنوتیپ‌ها و هم پارامترهای پایداری را به سه گروه تقسیم کرد. بر این اساس، ژنوتیپ G12 در گروه اول، ژنوتیپ‌های G1، G3، G7، G8 و G13 در گروه دوم و بقیه ژنوتیپ‌ها به همراه رقم شاهد اولتان در گروه سوم بودند. ژنوتیپ‌های گروه دوم با داشتن بالاترین رتبه در اکثر معیارهای پایداری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها پایدار بودند و از بین آن‌ها ژنوتیپ‌های G1، G8 و G3 به ترتیب با میانگین عملکرد دانه ۱۴۱۷، ۱۳۹۸ و ۱۲۹۱ کیلوگرم در هکتار و بالاتر از متوسط عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها، انتخاب و قابل توصیه در مناطق مورد آزمون بودند.

واژگان کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ، نقشه حرارتی

* نویسنده مسئول، آدرس پست الکترونیکی: h.zinalzadeh@areeo.ac.ir

مقدمه

روغن‌های نباتی به دلیل تأمین کالری موردنیاز بدن به عنوان انرژی‌زاترین منبع سوخت‌وساز پس از هیدروکربن‌ها از اهمیتی فوق‌العاده برخوردارند. علی‌رغم افزایش محسوس و قابل‌توجه سطح کشت و تولید دانه‌های روغنی در سال‌های گذشته، تولید آن‌ها نوسانات فراوانی داشته است. هم‌اکنون روغن و دانه‌های روغنی یکی از اقلام عمده وارداتی کشور ایران می‌باشند (Mansoori et al., 2019). در بین گیاهان زراعی، کنجد (*Sesamum indicum* L.) از خانواده *Pedaliaceae* به دلیل مقاومت به خشکی و گرما اهمیت زیادی در توسعه کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به عنوان کشت تابستانه دارد (Weiss, 2000). طبق آمار فائو در سال ۲۰۱۸، میزان سطح زیر کشت کنجد در جهان حدود ۱۱۷۴۰۰۰ هکتار، میانگین عملکرد دانه ۵۱۲ کیلوگرم در هکتار و میزان تولید دانه کنجد بیش از ۶ میلیون تن بوده است (FAOSTAT, 2018). در ایران، در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷، از مجموع بیش از ۳۰ هزار هکتار سطح زیر کشت کنجد، بیش از ۲۶ هزار هکتار آن آبی و بیش از ۳ هزار هکتار آن دیم بوده که منجر به تولید بیش از ۳۰ هزار تن دانه کنجد در کشور شده که از آن میزان بیش از ۲۹ هزار تن مربوط به کشت آبی و حدود ۷۵۰ کیلوگرم آن دیم بوده است. متوسط عملکرد آبی و دیم کنجد به ترتیب حدود ۱۱۲۱ و ۲۲۴ کیلوگرم در هکتار بوده (Ahmadi et al., 2019). با وجود اینکه دانه کنجد از نظر غذایی بسیار غنی بوده، روغن و پروتئین زیاد و با کیفیت بسیار مطلوب دارد (Robbelen et al., 1987) اما عواملی همچون پایین‌تر بودن عملکرد دانه کنجد (Yol et al., 2010) و تولید آسان‌تر سایر دانه‌های روغنی (Salehi and Saeidi, 2012)، عدم بهره‌گیری از روش‌های نوین کشت و نیز فقدان مواد ژنتیکی اصلاح شده (ارقام جدید) در سالیان گذشته، منجر به کاهش عملکرد و ناکارآمد جلوه نمودن زراعت کنجد در مقایسه با گیاهان زراعی دیگر شده است (Ramazani, 2013; Ramazani and Mansouri, 2017; Zeinalzadeh-Tabrizi and Mansouri, 2020). گزینش ژنوتیپ‌ها در کنجد برای دستیابی به عملکرد بالا یکی از علاقه‌مندی‌های به‌نژادگران این گیاه می‌باشد.

روند به‌نژادی در کنجد کار آسانی نیست، زیرا همانند سایر گیاهان، صفت عملکرد یک پدیده پیچیده و تحت کنترل عوامل ژنتیکی و محیطی مختلفی می‌باشد که به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر آن اثر می‌گذارند (Yol et al., 2010). از طرف دیگر، در گذشته عمده زراعت کنجد در کشور ما با استفاده از ارقام و توده‌های بومی صورت گرفته است. از معایب توده‌های بومی کنجد کشور دیررسی، غیریکنواختی و حساسیت به بیماری‌ها می‌باشد. در این راستا، تعیین لاین‌های برتر در آزمایش‌های مقدماتی می‌تواند زمینه‌ساز اجرای آزمایش‌های سازگاری در مناطق مختلف کشور شده و نهایتاً منجر به معرفی ارقام جدید و جایگزینی با ارقام یا توده‌های بومی فعلی شود (Zeinalzadeh-Tabrizi and Mansouri, 2020).

آزمایش‌های ناحیه‌ای برای بیشتر گیاهان زراعی همه‌ساله با هدف شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار و پایدار انجام می‌شود. از طرف دیگر، در برخی از مطالعات اصطلاح سازگاری در زمینه تنوع عملکرد در مکان‌ها و اصطلاح پایداری در رابطه با عملکرد در طول چند سال به کار می‌رود (Becker and Leon, 1988; Fasahat et al., 2015; Yan et al., 2000). روش‌های متعددی به منظور تحلیل اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و برآورد ژنوتیپ‌های پایدار در محیط‌های مختلف پیشنهاد شده است که هرکدام از آن‌ها مبتنی بر روش‌های آماری خاصی بوده و دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشند (Amiri Oghan et al., 2019). انتخاب روش ارزیابی سازگاری و پایداری به تعداد محیط‌های موجود و همچنین به نوع اطلاعات و سطح دقت آزمایش‌های موردنیاز بستگی دارد (Freiria et al., 2018).

کومارسان و ناداراجان (Kumaresan and Nadarajan, 2005) از تجزیه پایداری برای صفات عملکرد دانه و صفات مورفو-فیزیولوژیک، میرزا و همکاران (Mirza et al., 2013) از روش‌های مختلف پایداری برای صفات عملکرد و اجرای آن، اوز (Oz, 2018) از روش‌های مختلف پایداری برای صفت عملکرد دانه، آباته و همکاران (Abate et al., 2015) با استفاده از تجزیه AMMI و بای‌پلات، مکونن و محمد

به‌همراه رقم شاهد اولتان بودند. مشخصات شجره‌ای لاین‌های پیشرفته و امیدبخش کنجد مورد بررسی در این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

مشخصات و نحوه اجرای آزمایش: این مطالعه در سه منطقه کرج، مشهد و مغان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در طی دو سال زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ صورت گرفت. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های محل اجرای آزمایش‌های در جدول ۲ آمده‌اند.

جدول ۱- مشخصات شجره‌ای لاین‌های پیشرفته کنجد

Table 1. Pedigree characteristics of advanced sesame lines

کد اختصاص یافته	شجره ژنوتیپ
Code	Genotype pedigree
G1	V2822 × M19
G2	M19 × V2822
G3	V2822 × M19 (1)
G4	V2822 × M19 (2)
G5	V2822 × M19 (3)
G6	PM × V2822
G7	TC-25 × V2822 (1)
G8	TC-25 × V2822 (2)
G9	V2822 × Henj (1)
G10	V2822 × Henj (2)
G11	Pal × BN
G12	Pal
G13	k-1
CTL	اولتان (شاهد)
	Oltan (control)

جدول ۲- مشخصات جغرافیایی و شرایط آب‌وهوایی

مناطق اجرای آزمایش

Table 2. Geographical and climatic characteristics of the experimental locations

مکان	عرض	طول	سالیانه	ارتفاع از
Location	Geographical Latitude	Geographical Longitude	(mm) Annual precipitation	Altitude (m)
کرج	35°, 49' N	50°, 58' E	243	1321
Karaj				
مغان	39°, 39' N	47°, 42' E	250	60
Moghan				
مشهد	36°, 2' N	59°, 6' E	274	1000
Mashhad				

(Mekonnen and Mohammed, 2010) با استفاده از تجزیه AMMI برای صفت عملکرد روغن، سینگ و بیسن (Singh and Bisen, 2020) با استفاده از تجزیه AMMI برای صفت عملکرد دانه و بشیر و همکاران (Bashir et al., 2020) با استفاده از تجزیه AMMI برای تجزیه پایداری بیماری ماکروفومینا در کنجد استفاده نمودند. از طرف دیگر، گزارش‌های اندکی در مورد مطالعه پایداری کنجد در کشور وجود دارد. یکی از نخستین مطالعات پایداری در کنجد در کشور توسط فرخی و احمدی (Farrokhi and Ahmadi, 1998) انجام یافته است. آن‌ها ۲۲ لاین کنجد اصلاح‌شده در مراکز تحقیقاتی کشور را به‌همراه ۳ رقم خارجی در چهار منطقه کرج، ساری، ورامین و مغان به‌مدت سه سال مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که لاین‌های مغان-۱۱ و مغان-۱۸ پایدارترین لاین‌های مورد ارزیابی از نظر بیشتر پارامترهای پایداری مورد آزمون بوده و با داشتن وراثت‌پذیری بالا قابل توصیه در مناطق ذکر شده بودند. در مطالعه اخیر موحدی و همکاران (Movahedi et al., 2020) به‌منظور مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و تجزیه پایداری به روش AMMI، تعداد ۱۵ رقم کنجد را در چهار منطقه (اراک، بیرجند، کرج و شیراز) مورد بررسی قرار دادند. در تجزیه واریانس مرکب آن‌ها، اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. دو مؤلفه اصلی در تجزیه AMMI، ۸۵ درصد تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمود. بر اساس این روش ارقام داراب-۱۴ و محلی اصفهان پایدار بوده و قابل توصیه در مناطق مورد آزمایش بودند. هدف از این مطالعه، بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش کنجد با استفاده از معیارهای مختلف پارامتری و ناپارامتری بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی: مواد ژنتیکی جهت اجرای این آزمایش، برترین لاین‌های انتخابی شناسایی شده از نظر عملکرد دانه و سایر خصوصیات زراعی حاصل از آزمایش‌های مقدماتی عملکرد در سال ۱۳۹۴ در مناطق اجرا شده

هر کرت آزمایشی شامل ۴ خط ۵ متری، با فاصله پشته ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی خطوط ۱۰ الی ۱۵ سانتی‌متر بود. عملیات آماده‌سازی زمین با توجه به نیازهای کودی و بر اساس آزمون خاک در زمان مناسب انجام شد و کاشت در دهه سوم خردادماه در کرج و مشهد و مغان صورت گرفت. برای مبارزه با علف‌های هرز از علف‌کش ترفلان به نسبت ۲ لیتر در هکتار به‌صورت پیش‌کاشت و همچنین وجین دستی استفاده شد. آبیاری به‌صورت دور آبیاری و بر اساس عرف مناطق مورد آزمون انجام یافت. در پایان فصل با توجه به اختلاف‌زمان در رسیدگی لاین‌ها با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای ضمن حذف دو خط کناری و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای خطوط برداشت انجام شد. محصول دانه هر کرت توزین و بر اساس تعداد بوته رقابت‌کننده در هر کرت عملکرد در هکتار تعیین گردید.

تجزیه‌های آماری: جهت تجزیه آماری نخست شناسایی داده‌های پرت با استفاده از آزمون گراب (Grubbs, 1969) صورت گرفت. سپس نرمال بودن توزیع داده‌های عملکرد دانه توسط آزمون شاپیرو-ویلک (Shapiro and Wilk, 1965) انجام یافت. جهت آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی از آزمون لون (Levene, 1961) استفاده شد. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها با فرض ثابت بودن اثر ژنوتیپ و تصادفی بودن اثر سال و مکان (محیط) و آزمون F با توجه به امیدریاضی میانگین مربعات منابع تغییر توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ (SAS Institute, 2008) انجام یافت. در این مطالعه از پارامترهای پایداری میانگین عملکرد (Y_i)، واریانس زوجی پلیستد و پترسون (Plaisted and Peterson, 1959)، واریانس پایداری پلیستد (Plaisted, 1960)، ضریب تغییرات ژنوتیپی فرانسیس و کاننبرگ (CV_i) (Francis and Kannenberg, 1978)، ضریب رگرسیون فینلی-ویلکینسون (Finlay and Wilkinson, 1963) و ابرهات-راسل (b_i) (Eberhart and Russell, 1966)، انحراف از رگرسیون ابرهات-راسل (s^2d_i) (Eberhart and Russell, 1966)، اکووالانس

ریک (W_i^2) (Wricke, 1962)، پایداری ژنوتیپی هانسون (D_i) (Hanson, 1970)، واریانس پایداری شوکلا (σ^2) (Shukla, 1972)، شاخص پایداری عملکرد کنگ (YS_i) (Kang, 1988)، آزمون‌های ناپارامتری پایداری هان (Huhn, 1990) و ناسار و هان ($S_i^{(1)}, S_i^{(2)}, S_i^{(3)}, S_i^{(6)}$) (Nassar and Huehn, 1987)، پارامتر پایداری فاکس (Fox's TOP) (Fox et al., 1990) و آزمون‌های ناپارامتری تنارازو ($NP_i^{(1)}, NP_i^{(2)}, NP_i^{(3)}, NP_i^{(4)}$) (Thennarasu, 1995) استفاده شد. برای برآورد پارامترهای پایداری از نرم‌افزار PBSTAT (Bayuardi-) (Suwarno et al., 2008) استفاده شد. به‌منظور گروه‌بندی محیط‌های آزمون و ژنوتیپ‌ها از نمودار حرارتی (Heatmap) با استفاده از نرم‌افزار PBSTAT (Bayuardi-) (Suwarno et al., 2008) و برای گروه‌بندی پارامترهای پایداری از نمودار حرارتی با استفاده از نرم‌افزار Morpheus (Ryan et al., 2020) استفاده شد.

نتایج و بحث

قبل از تجزیه مرکب داده‌ها، نتایج آزمون لون ($2/01^{ns}$) برای اطمینان از یکنواختی خطاهای آزمایشی در محیط‌های مورد آزمایش نشان داد که بین واریانس خطاهای آزمایشی یکنواختی برقرار است و می‌توان تجزیه مرکب را انجام داد. تجزیه واریانس مرکب داده‌های عملکرد لاین‌های امیدبخش کنگد در دو سال و سه مکان نشان داد که اثر متقابل سال $\times$ مکان، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ سال $\times$ مکان اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه داشت و می‌توان از تجزیه پایداری برای شناسایی ژنوتیپ یا ژنوتیپ‌های پایدار بهره جست (جدول ۳).

چنگیزی و همکاران بیان کردند (Changizi et al., 2014) تجزیه واریانس به‌تنهایی نمی‌تواند در تفسیر اثر متقابل ژنوتیپ با محیط کارساز باشد؛ بنابراین برای درک اثر متقابل ژنوتیپ با محیط به تجزیه پایداری بر اساس روش‌ها و معیارهای مختلف نیاز است.

مقادیر بالاتر به معنی نتایج مشابه در طی تکرار آزمایش در سال‌های متعدد است.

تغییرات کلی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کنجد در سال‌ها و مکان‌های مورد آزمون در شکل ۱ به‌خوبی مشخص شده‌اند. بر اساس نقشه حرارتی، مکان‌های آزمون به دو گروه کلی (مشهد) و (کرج-مغان) تقسیم شدند. همچنین ژنوتیپ‌ها به سه گروه کم‌محصول (G11 و G12)، پرمحصول (G1، G4، G6، G8 و G10) و بینابین (بقیه ژنوتیپ‌ها) تقسیم شدند. این نقشه حرارتی همچنین مشخص کرد که ژنوتیپ G6 در محیط‌های کرج-۹۵ و مغان-۹۵ و ژنوتیپ G8 در محیط‌های مشهد-۹۶ و مغان-۹۵ بیشترین عملکرد دانه را داشتند. با اینکه چنین نقشه‌ای یک دید کلی از نظر عملکرد و تغییرات آن در محیط‌های آزمون در اختیار می‌دهد، اما برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار به تجزیه‌های تکمیلی بیشتر و برآورد پارامترهای پایداری با روش‌های مختلف نیاز است.

جدول ۴ میانگین عملکرد، برخی پارامترهای ژنتیکی و وراثت‌پذیری محیط‌های آزمون را نمایش می‌دهد. بر این اساس منطقه کرج در سال ۱۳۹۶ بیشترین میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها با ۱۳۴۵/۸ کیلوگرم در هکتار و منطقه مشهد در سال ۱۳۹۶ کمترین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها با ۱۰۰۱/۱ کیلوگرم در هکتار را به خود اختصاص دادند. بیشترین و کمترین میانگین عملکرد دانه در بین ژنوتیپ‌ها در تمامی محیط‌های آزمون به ترتیب مربوط به لاین G6 با ۱۴۴۴ کیلوگرم در هکتار و لاین G12 با ۷۶۲/۳ کیلوگرم در هکتار بود. کمترین و بیشترین ضریب تغییرات محیطی با ۷/۴۸ و ۱۲/۵۱ درصد مربوط به محیط‌های کرج-۹۶ و مشهد-۹۶ بود. بیشترین وراثت‌پذیری محیط‌های آزمون بر مبنای عملکرد کرت و میانگین محیطی مربوط به محیط کرج-۹۵ (۸۵/۴۱ و ۹۵/۹۱ درصد) و کمترین وراثت‌پذیری مربوط به محیط مشهد-۹۶ (۴۵/۷۰ و ۷۷/۱۰ درصد) بود. وراثت‌پذیری محیط‌های آزمون به معنی تکرارپذیری نتایج آزمایش در آن‌هاست و بنابراین

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش کنجد در سه مکان آزمون در طی دو سال آزمایش

Table 3. Combined analysis of variance for seed yield of sesame promising lines in three locations during two years of the experiments

منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	مجموع مربعات SS	میانگین مربعات MS	امیدریاضی میانگین مربعات EMS
سال Year (Y)	1	12777.3	12777.3 ^{ns}	$\sigma_e^2 + rg\sigma_{YL}^2 + rlg\sigma_Y^2$
مکان Location(L)	2	3381842.7	1690921.3 ^{ns}	$\sigma_e^2 + rg\sigma_{YL}^2 + ryg\sigma_L^2$
سال × مکان (Y × L)	2	918160.4	459080.2 ^{**}	$\sigma_e^2 + rg\sigma_{YL}^2$
تکرار در مکان و سال (Replication (Y × L))	18	448990.1	24943.9	σ_e^2
ژنوتیپ Genotype (G)	13	12362409	950954.5 ^{**}	$\sigma_e^2 + r \frac{g}{g-1} \sigma_{GYL}^2 + +ry \frac{g}{g-1} \sigma_{GL}^2 + rl \frac{g}{g-1} \sigma_{GY}^2 + ryl \sum G^2 / (g-1)$
ژنوتیپ × سال (G × Y)	13	913561.3	70273.9 ^{ns}	$\sigma_e^2 + r \frac{g}{g-1} \sigma_{GYL}^2 + rl \frac{g}{g-1} \sigma_{GY}^2$
ژنوتیپ × مکان (G × L)	26	1678520	64558.5 ^{ns}	$\sigma_e^2 + r \frac{g}{g-1} \sigma_{GYL}^2 + ry \frac{g}{g-1} \sigma_{GL}^2$
ژنوتیپ × سال × مکان G × Y × L	26	1209316.9	46512.2 ^{**}	$\sigma_e^2 + r \frac{g}{g-1} \sigma_{GYL}^2$
خطای آزمایشی Error (E)	234	2848793.8	12174.3	σ_e^2

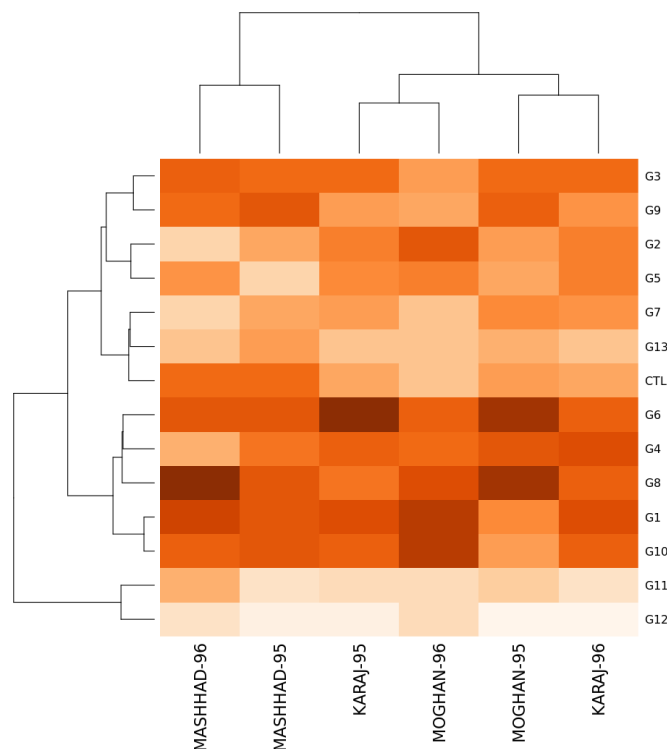
^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

^{ns}, * and **: Non-significant, significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

جدول ۴- میانگین عملکرد، برخی پارامترهای ژنتیکی و وراثت‌پذیری محیط‌های آزمون

Table 4. Mean yield, some genetic parameters and heritability of the test environments

ژنوتیپ‌ها Genotype	کرج-۹۵ Karaj.95	کرج-۹۶ Karaj.96	مشهد-۹۵ Mashhad.95	مشهد-۹۶ Mashhad.96	مغان-۹۵ Moghan.95	مغان-۹۶ Moghan.96	میانگین Mean	میانگین مجموع رتبه‌ها average of sum ranks
G1	1480	1602	1310	1154	1290	1550	1397.7	5.39
G2	1285	1407	1020	846	1210	1448	1202.7	10.74
G3	1340	1466	1240	1088	1430	1182	1291	3.47
G4	1405	1613	1210	920	1512	1352	1335.3	7.58
G5	1239	1419	820	996	1170	1304	1158	9.89
G6	1680	1512	1330	1106	1650	1386	1444	6.92
G7	1145	1303	1030	848	1303	1033	1110.3	6.47
G8	1308	1528	1316	1226	1636	1490	1417.3	4.03
G9	1136	1320	1304	1064	1460	1152	1239.3	8.58
G10	1415	1535	1320	1088	1230	1536	1354	7.24
G11	840	960	770	930	1050	910	910	8.53
G12	670	790	660	804	750	900	762.3	7.95
G13	975	1125	1060	876	1130	1010	1029.3	5.47
CTL	1085	1261	1230	1070	1210	1026	1147	8.58
میانگین Mean	1214.5	1345.786	1115.714	1001.143	1287.929	1234.214	1199.9	
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD 0.05	127.96	119.87	115.79	149.16	140.62	132.33	52.60	
ضریب تغییرات (%) CV (%)	8.84	7.48	8.71	12.51	9.16	9.00	9.20	
وراثت‌پذیری عمومی (%) H^2_b (%)	95.91	95.75	95.44	77.10	93.99	94.31	93.85	



شکل ۱- نقشه حرارتی و گروه‌بندی بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌های آزمون بر اساس عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش کنجد

Figure 1. Heatmap and grouping between genotypes and test environments based on seed yield of promising sesame lines

میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها ناقص است. مطابق این روش ژنوتیپ‌ها در چهار گروه طبقه‌بندی می‌شوند. گروه اول میانگین عملکرد بالا و ضریب تغییرات پائینی دارند و مطلوب‌ترین گروه نیز به‌شمار می‌آیند. گروه دوم میانگین عملکرد بالا و همچنین ضریب تغییرات بالایی دارند. گروه سوم میانگین عملکرد پائین و ضریب تغییرات بالایی دارند و در گروه چهارم ژنوتیپ‌های با میانگین عملکرد و ضریب تغییرات پائین قرار می‌گیرند. بر این اساس ژنوتیپ‌های G8, G1, G10, G3 و G9 شناسایی شدند.

در روش فیلی و ویلکینسون از برآورد ضریب رگرسیون (عملکرد اختصاصی یک ژنوتیپ بر روی شاخص محیطی) برای اندازه‌گیری پایداری استفاده می‌شود. محدوده پایداری بین ۰/۶۴ تا ۱/۳۸ بود. این روش، از ضریب رگرسیون (b_i) هر ژنوتیپ روی میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌های ارزیابی شده در محیط‌های مختلف به‌عنوان معیار پاسخ‌دهی عملکرد ژنوتیپ‌ها و متقابلاً پایداری آن‌ها استفاده می‌کند (شکل ۲). ژنوتیپ‌هایی که دارای شیب بزرگ‌تر از یک هستند ($b_i > 1$)، دارای عملکرد بالا در محیط‌های مطلوب می‌باشند. حساسیت این ژنوتیپ‌ها به تغییرات محیطی زیادتر است؛ یعنی پایداری آن‌ها کمتر از حد متوسط بوده و سازگاری اختصاصی با محیط‌های مناسب دارند. بر این اساس ژنوتیپ‌هایی مانند G8, G6 و G3 دارای سازگاری بالا به شرایط محیطی مطلوب هستند (شکل ۲).

ژنوتیپ‌هایی که دارای شیب نزدیک به یک هستند ($b_i \approx 1$)، دارای سازگاری عمومی به همه محیط‌ها می‌باشند و اگر عملکرد این ژنوتیپ‌ها بالاتر از میانگین عملکرد کل باشد، آن ژنوتیپ دارای پایداری زراعی خواهد بود (ژنوتیپ G10)، ولی اگر عملکرد پایین باشد، می‌توان گفت که این ژنوتیپ به‌طور ضعیفی دارای پایداری عمومی است. ژنوتیپ‌هایی که دارای شیب کمتر از یک هستند ($b_i < 1$) سازگار به محیط‌های نامطلوب (با عملکرد کم) هستند. رگرسیون کمتر از یک نشان دهنده پایداری بالاتر از حد متوسط است و بنابراین چنین ارقامی دارای پایداری ویژه به محیط‌های با پتانسیل پایین خواهند بود و برای محیط‌های نامساعد توصیه می‌شوند (ژنوتیپ‌های G11 و G13).

آماره‌های پارامتری: جدول ۵ آماره‌های مختلف پارامتری پایداری و رتبه آن‌ها را در لاین‌های امیدبخش کنج در سه مکان آزمون طی دو سال زراعی نشان می‌دهد. از آنجایی که استفاده از تجزیه واریانس استاندارد به‌تنهایی نمی‌تواند در ثبات محیطی ژنوتیپ‌های منفرد اطلاعاتی را در اختیار قرار دهد، پلیستد و پترسون (Plaisted and Peterson, 1959) مدلی را برای ارزیابی ثبات ژنوتیپ‌ها در مکان‌ها ارائه کردند. در روش تجزیه واریانس زوجی بر روی زوج‌های مختلف ژنوتیپی در تمام محیط‌ها، تجزیه واریانس مرکب صورت گرفته و اطلاعاتی در مورد تک ژنوتیپ‌ها به‌دست می‌آید. به این ترتیب $P(P-1)/2$ جدول تجزیه واریانس حاصل می‌شود. سپس، در جداولی که یک ژنوتیپ مشخص در آن وجود دارد، واریانس اثر متقابل مربوط به آن ژنوتیپ برآورد شده است و این واریانس‌ها با هم جمع و سپس میانگین آن‌ها گرفته می‌شود. به این ترتیب سهم هر ژنوتیپ در اثر متقابل به‌دست می‌آید. ژنوتیپ‌هایی که میانگین مؤلفه واریانس کمتری در اثر متقابل کل دارند، پایداری بیشتری دارند. بر اساس این آماره ترتیب پایداری ژنوتیپ‌ها به‌صورت $G12 > G5 > G6 > G2 > G10 > G4 > CTL > G9 > G11 > G1 > G8 > G7 > G3 > G13$ بود.

پلیستد (Plaisted, 1960) با اصلاحاتی در پارامتر پایداری قبلی پارامتر جدیدی معرفی نمود. در این روش به‌منظور تعیین پایداری ارقام، ابتدا یک ژنوتیپ از تمام داده‌ها حذف شده و سپس جدول تجزیه واریانس با بقیه ژنوتیپ‌ها محاسبه می‌شود. واریانس اثر متقابل باقی‌مانده که به این ترتیب به‌دست می‌آید به‌عنوان پایداری ژنوتیپ حذف شده معرفی می‌شود؛ بنابراین ژنوتیپ‌هایی که دارای مقادیر بزرگ‌تر برای این آماره هستند از پایداری بیشتری برخوردار می‌باشند. بر اساس این آماره ترتیب پایداری ژنوتیپ‌ها به‌صورت $G13 > G3 > G7 > G8 > G1 > G11 > G9 > CTL > G9 > G4 > G1 > G2 > G6 > G5 > G12$ بود.

ضریب تغییرات ژنوتیپی فرانسیس و کاننبرگ (Francis and Kannenberg, 1978) سهم ژنوتیپ نام در آزمایش را در اثر متقابل ژنوتیپ و محیط اندازه می‌گیرد. این معیار نمونه‌ای نیز مستقل از ژنوتیپ‌های دیگر در آزمایش نیست (Farshadfar, 1998). بر اساس ضریب تغییرات ژنوتیپی، رتبه پایداری ژنوتیپ‌ها به‌صورت $CTL > G13 > G11 > G8 > G3 > G12 > G9 > G1 > G10 > G6 > G7 > G4 > G5 > G2$ بود؛ اما این رتبه‌بندی بدون در نظر گرفتن

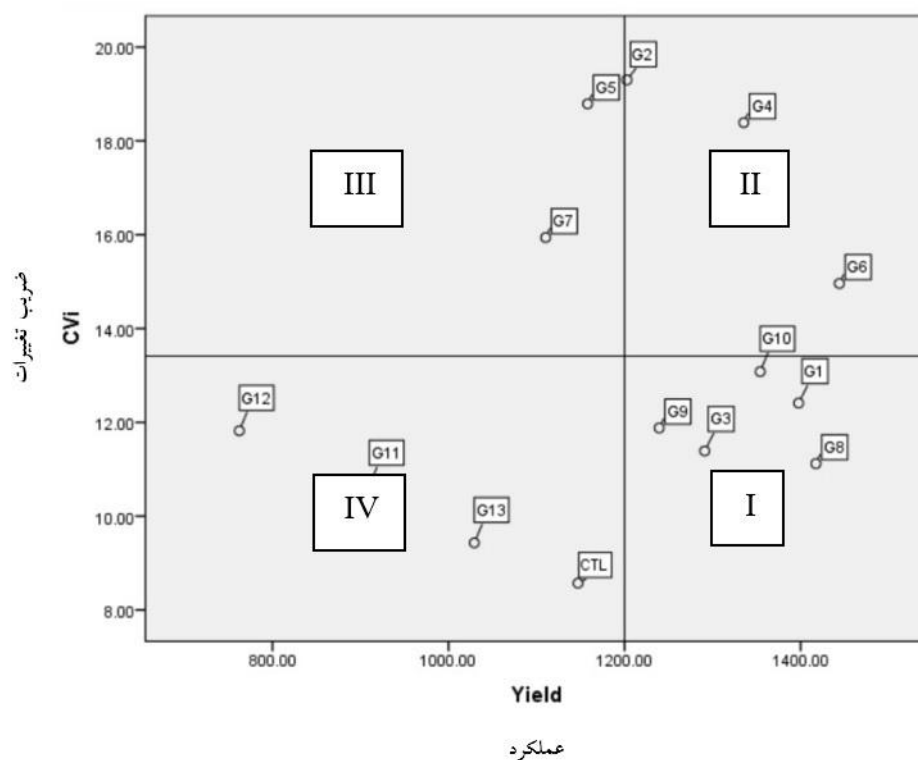
جدول ۵- مقادیر پارامترهای مختلف پایداری (قسمت بالا) محاسبه شده و رتبه پارامترهای پایداری (قسمت پایین) لاین‌های امیدبخش کنجد در محیط‌های مورد آزمون

Table 5. Estimated stability parameters (top) and ranks of stability parameters (down) in promising lines of sesame in test environments

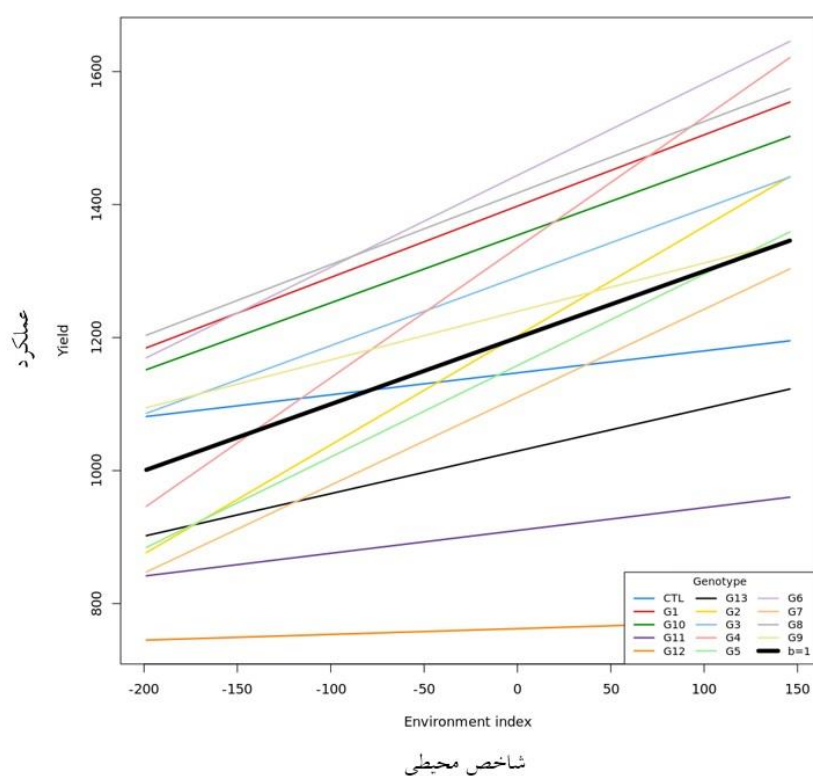
ژنوتیپ Genotype	Y_i	θ_i	$\theta_{(i)}$	CV_i	b_i	s^2d_i	W_i^2	D_i	σ^2_i
G1	1397.67	14624.29	14721.71	12.41	1.07	8836.71	62258.03	372.65	13308.48
G2	1202.67	18008.04	14157.75	19.3	1.64	8868.84	93678.6	372.96	20639.94
G3	1291	10750.53	15367.34	11.39	1.03	3744.93	26287.36	321.29	4915.32
G4	1335.33	16229.67	14454.15	18.39	1.96	938.17	77165.08	289.1	16786.79
G5	1158	18870.50	14014.01	18.79	1.38	12970.53	101687.1	409.64	22508.59
G6	1444	18451.97	14083.76	14.96	1.38	12382.06	97800.79	404.58	21601.79
G7	1110.33	11157.05	15299.58	15.94	1.32	3152.85	30062.22	314.78	5796.12
G8	1417.33	11741.17	15202.23	11.12	1.08	5006.27	35486.22	334.75	7061.72
G9	1239.33	15808.96	14524.26	11.88	0.73	9653.57	73258.51	380.25	15875.25
G10	1354	16232.71	14453.64	13.08	1.02	11024.28	77193.36	392.66	16793.39
G11	910	15587.23	14561.22	10.65	0.34	5420.76	71199.65	339.06	15394.85
G12	762.33	19151.63	13967.15	11.82	0.09	5718.20	104297.7	342.11	23117.72
G13	1029.33	10672.83	15380.28	9.43	0.64	2223.00	25565.94	304.26	4746.99
CTL	1147	15932.87	14503.61	8.57	0.33	5695.25	74409.08	341.88	16143.72
ژنوتیپ Genotype	Y_i	θ_i	$\theta_{(i)}$	CV_i	b_i	s^2d_i	W_i^2	D_i	σ^2_i
G1	3	10	5	8	1	9	5	9	5
G2	8	4	11	14	4	10	11	10	11
G3	6	13	2	5	1	4	2	4	2
G4	5	6	9	12	4	1	9	1	9
G5	9	2	13	13	2	14	13	14	13
G6	1	3	12	10	2	13	12	13	12
G7	11	12	3	11	1	3	3	3	3
G8	2	11	4	4	1	5	4	5	4
G9	7	8	7	7	1	11	7	11	7
G10	4	5	10	9	1	12	10	12	10
G11	13	9	6	3	4	6	6	6	6
G12	14	1	14	6	4	8	14	8	14
G13	12	14	1	2	2	2	1	2	1
CTL	10	7	8	1	4	7	8	7	8

میانگین عملکرد (Y_i); واریانس پایداری پلیستد و پترسون (θ_i); واریانس پایداری پلیستد ($\theta_{(i)}$); ضریب تغییرات ژنوتیپی فرانسیس و کانتنبرگ (CV_i); ضریب رگرسیون فینلی-ویلکینسون و ابره‌ارت-راسل (b_i); انحراف از رگرسیون ابره‌ارت-راسل (s^2d_i); اکووالانس ریک (W_i^2); پایداری ژنوتیپی هانسون (D_i); واریانس پایداری شوکلا (σ^2_i)

Mean yield (Y_i); Plaisted and Peterson variance (θ_i); Plaisted stability variance ($\theta_{(i)}$); Francis and Kannenberg coefficient of variation (CV_i); Regression coefficient of Finlay-Wilkinson and Eberhart-Russell (b_i); Deviation from regression (s^2d_i); Wricke's ecovalence (W_i^2); Hanson genotypic stability (D_i); Shukla's stability variance (σ^2_i)



شکل ۲- میانگین عملکرد و ضریب تغییرات ژنوتیپی لاین‌های امیدبخش کنجد
Figure 2. Mean yield and genotypic coefficient of variation of promising sesame lines



شکل ۳- شاخص محیطی و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد آزمون با استفاده از ضریب رگرسیون فینلی-ویلکینسون
Figure 3. Environmental criteria and seed yield of tested genotypes using Finaly-Wilkinson regression coefficient

در روش رگرسیون ابرهات-راسل، ژنوتیپ‌ها علاوه بر اندازه ضریب رگرسیون (کوچک‌تر، مساوی و بزرگ‌تر از یک)، بر اساس مقدار واریانس انحراف از خط رگرسیون ($S^2_{\text{د}} \geq 0$) نیز گروه‌بندی می‌شوند. ژنوتیپ‌های دارای واریانس انحراف از رگرسیون برابر صفر بیشترین رفتار قابل پیش‌بینی را دارند، ولی آن‌هایی که مقدار این واریانس در آن‌ها بالا است، کمترین رفتار قابل پیش‌بینی را به‌خاطر عوامل محیطی دارند. بر این اساس ژنوتیپ‌های G13>G3>G7>G8>G1>G11>G9>CTL>G4>G10>G2>G6>G5>G12 کمترین واریانس انحراف از رگرسیون معنی‌دار داشته و پایدار بودند. در روش اکووالانس ریک (Wricke, 1962)، سهم هر ژنوتیپ از اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط محاسبه می‌شود. اکووالانس بزرگ نشان می‌دهد که ظرفیت تولید عملکرد بالا برای آن ژنوتیپ بیشتر به محیط بر می‌گردد تا به خود ژنوتیپ. اکووالانس به مقدار زیادی وابسته به گروه ژنوتیپ‌ها و گروه محیط‌های آزمایش شده می‌باشد. به‌طوری که، اصلاح‌گران می‌توانند از آن برای انتخاب ژنوتیپ‌های خاص و محیط‌های خاص که در آن آزمایش وجود داشته استفاده کنند. در این روش ژنوتیپی مورد ملاحظه قرار می‌گیرد که دارای اکووالانس پائین باشد. ترتیب پایداری ژنوتیپ‌ها در این روش به‌صورت G13>G3>G7>G8>G1>G11>G9>CTL>G4>G10>G2>G6>G5>G12 بود.

آماره پایداری ژنوتیپی هانسون (Hanson, 1970) بر مبنای رگرسیون بوده و از ترکیب سهم هر ژنوتیپ در واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و نحوه واکنش آن به تغییرات محیطی (ضریب رگرسیون ابرهات-راسل) به‌دست می‌آید. هرچه قدر آماره Di کمتر باشد ژنوتیپ پایدارتر است به شرطی که عملکرد ژنوتیپ از میانگین کل ژنوتیپ‌ها کمتر نباشد؛ بنابراین ژنوتیپ‌های G4, G3, G8, G1, G2, G9, G10 و G6 پایدار بودند. شوکلا (Shukla, 1972) اکووالانس ریک را برای ژنوتیپ‌ها تغییر داد و یک تخمین ناریب از واریانس اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط به‌دست آورد و آن پارامتر را واریانس پایداری نام‌گذاری کرد. واریانس پایداری شوکلا یک ترکیب خطی از اکووالانس است. لذا، اکووالانس و واریانس از نظر درجه‌بندی ژنوتیپ‌ها دارای

ارزش یکسانی می‌باشند. طبق این روش ژنوتیپی پایدار است که مقدار واریانس پایداری آن حداقل باشد. ترتیب پایداری ژنوتیپ‌ها در این روش مانند اکووالانس ریک به‌صورت G13>G3>G7>G8>G1>G11>G9>CTL>G4>G10>G2>G6>G5>G12 بود.

آماره‌های ناپارامتری: صحت و درستی نتایج حاصل از معیارهای پارامتری، بستگی زیادی به چندین فرض مثل نرمال بودن توزیع خطاها، مستقل بودن و یکنواختی واریانس‌ها و غیره دارد. در حالی که، روش‌های ناپارامتری نیازی به این‌چنین فرض‌های اولیه‌ای ندارند. ناصار و هان (Nassar and Huehn, 1987) گزارش کردند عدم نیاز به پیش‌فرض‌های اولیه مانند نرمال بودن و مستقل بودن داده‌ها یا یکنواختی واریانس خطاها، حساسیت کمتر معیارهای ناپارامتری به داده‌های پرت، بی‌اثر بودن اضافه یا حذف یک یا تعداد کمی از ژنوتیپ‌ها بر آماره پایداری و تجزیه و تفسیر راحت نسبت به روش‌های پارامتری مزایای معیارهای ناپارامتری نسبت به معیارهای پارامتری هستند.

کنگ (Kang, 1988) یک روش ناپارامتری معیار مجموع رتبه را برای انتخاب هم‌زمان ژنوتیپ‌های پایدار و پر عملکرد ارائه داد که در آن از رتبه عملکرد و رتبه واریانس پایداری شوکلا استفاده می‌شود. این آماره وزن برابری را به هر دو واریانس و عملکرد اختصاص می‌دهد. البته به‌نژادگر می‌تواند بر اساس نیاز و هدف خود این وزن را تغییر دهد. در این روش به یک ژنوتیپ با بیشترین عملکرد رتبه یک و به ژنوتیپ با کمترین مقدار واریانس رتبه یک داده می‌شود. رتبه عملکرد و رتبه واریانس برای هر ژنوتیپ با همدیگر جمع می‌شوند و این حاصل جمع به‌عنوان یک آماره برای تعیین ژنوتیپ پایدار به‌کار می‌رود. در این روش ژنوتیپی پایدار است که کمترین مقدار حاصل جمع را داشته باشد (Kang, 1988). ترتیب پایداری ژنوتیپ‌ها در روش شاخص پایداری عملکرد کنگ به‌صورت G4>G8>G3>G1>G6>G7>G13>G10>CTL>G9>G2>G11>G12>G5 بود.

جدول ۶- معیارهای مختلف ناپارامتری (قسمت بالا) محاسبه شده و رتبه آن‌ها (قسمت پائین) در لاین‌های امیدبخش کنجد در محیط‌های مورد آزمون

Table 6. Estimated non-parametric stability parameters (top) and their ranks in promising lines of sesame in test environments

ژنوتیپ Genotype	YS _i	S _i ⁽¹⁾	Z _i ⁽¹⁾	S _i ⁽²⁾	Z _i ⁽²⁾	S _i ⁽³⁾	S _i ⁽⁶⁾	TOP	NP _i ⁽¹⁾	NP _i ⁽²⁾	NP _i ⁽³⁾	NP _i ⁽⁴⁾
G1	12	2.40	3.88	4.80	2.51	2.00	0.83	4	3.17	0.23	0.30	0.20
G2	18	3.93	0.39	10.17	0.71	8.24	2.43	0	4.83	0.44	0.80	0.64
G3	10	1.27	8.80	1.37	4.24	0.75	0.55	0	1.50	0.16	0.27	0.14
G4	6	4.13	0.20	11.07	0.51	5.72	1.66	2	3.50	0.27	0.44	0.43
G5	23	2.47	3.66	4.57	2.61	3.70	1.73	0	3.17	0.62	0.67	0.40
G6	14	2.27	4.36	3.87	2.93	1.57	0.81	4	3.33	0.56	0.35	0.18
G7	14	2.20	4.61	3.90	2.92	3.55	1.45	0	2.33	0.57	0.47	0.40
G8	7	2.07	5.12	2.97	3.38	1.25	0.62	4	2.67	0.36	0.30	0.17
G9	18	2.93	2.26	5.87	2.06	3.83	1.57	0	4.50	0.29	0.62	0.38
G10	16	2.60	3.22	5.37	2.27	2.40	0.96	4	3.17	0.24	0.37	0.23
G11	19	1.33	8.45	2.67	3.53	5.00	2.50	0	3.33	1.50	1.43	0.50
G12	22	0.00	16.64	0.00	5.05	0.00	0.00	0	3.83	3.50	4.52	0.00
G13	14	1.20	9.15	1.47	4.18	2.00	1.45	0	2.17	0.94	0.73	0.33
CTL	17	2.53	3.43	5.07	2.39	4.47	2.00	0	3.5	0.3415	0.4702	0.627

ژنوتیپ Genotype	YS _i	S _i ⁽¹⁾	S _i ⁽²⁾	S _i ⁽³⁾	S _i ⁽⁶⁾	TOP	NP _i ⁽¹⁾	NP _i ⁽²⁾	NP _i ⁽³⁾	NP _i ⁽⁴⁾
G1	4	8	9	5	5	2.5	5	2	2	5
G2	11	13	13	14	13	10	14	7	12	14
G3	3	3	2	2	2	10	1	1	1	2
G4	1	14	14	13	10	5	10	4	6	11
G5	14	9	8	9	11	10	5	11	9	9
G6	5	7	6	4	4	2.5	8	9	4	4
G7	6	6	7	8	7	10	3	10	7	9
G8	2	5	5	3	3	2.5	4	6	3	3
G9	10	12	12	10	9	10	13	5	8	8
G10	8	11	11	7	6	2.5	5	3	5	6
G11	12	4	4	12	14	10	8	13	13	13
G12	13	1	1	1	1	10	12	14	14	1
G13	7	2	3	6	8	10	2	12	10	7
CTL	9	10	10	11	12	10	10	8	11	12

شاخص پایداری عملکرد کنگ (YS_i); آزمون‌های ناپارامتری پایداری هان و ناصار و هان (S_i⁽¹⁾, S_i⁽²⁾, S_i⁽³⁾, S_i⁽⁶⁾); پارامتر پایداری فاکس (TOP); آزمون‌های ناپارامتری تنارازو (NP_i⁽¹⁾, NP_i⁽²⁾, NP_i⁽³⁾, NP_i⁽⁴⁾)

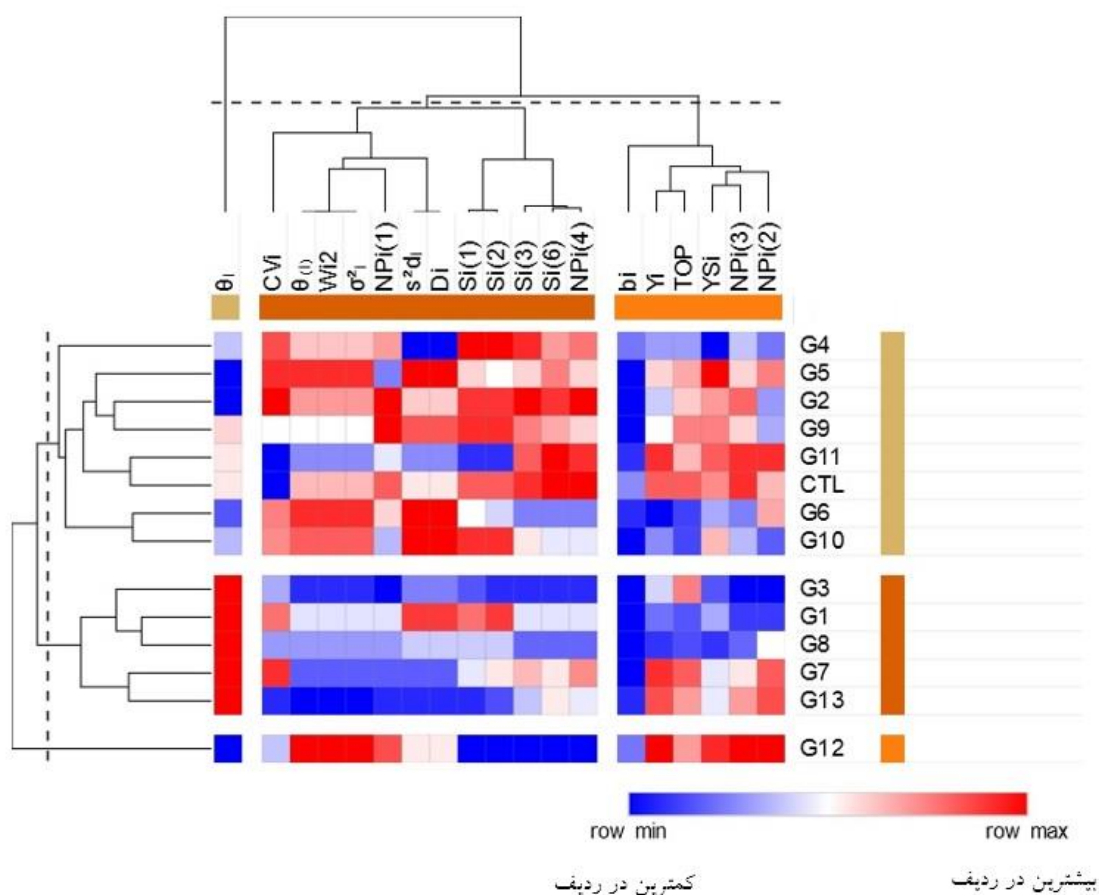
Kang's yield stability(YS_i); Huhn's and Nassar and Huhn's non-parametric statistics (S_i⁽¹⁾, S_i⁽²⁾, S_i⁽³⁾, S_i⁽⁶⁾); Fox's stability (TOP); Thennarasu's nonparametric statistics (NP_i⁽¹⁾, NP_i⁽²⁾, NP_i⁽³⁾, NP_i⁽⁴⁾)

محاسبه می‌شود و تعداد محیط‌هایی که یک ژنوتیپ رتبه بالا، متوسط و پائین را به‌دست می‌آورد محاسبه شده و درصد گرفته می‌شود. ژنوتیپی در این روش به‌عنوان ژنوتیپ پایدار معرفی می‌شود که در محیط‌های بیشتری رتبه بالا کسب کرده

فاکس و همکاران (Fox *et al.*, 1990) با استفاده از رتبه تغییر یافته ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، معیار برتری دیگری را بر اساس روش‌های ناپارامتری پیشنهاد دادند. به این ترتیب که رتبه هر ژنوتیپ در هر محیط به‌طور جداگانه

باشد. نتایج پارامتر پایداری فاکس نشان داد که ژنوتیپ‌های G1, G6, G8 و G10 نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها پایدار بودند. چهار معیار پایداری ناپارامتری بعدی توسط هان (Huhn, 1990) و ناصر و هان (Nassar and Huehn, 1987) معرفی شده‌اند. نتایج آماره‌های ناپارامتری $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$ هان نشان داد که ژنوتیپ‌های G3, G7 و G13 پایدار بودند. بر اساس آماره‌های $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ ژنوتیپ‌های G12, G13 و G11 پایدار بودند. رتبه ژنوتیپ در یک محیط خاص نباید بر اساس ارزش فنوتیپی آن باشد. چرا که، پایداری باید مستقل از اثر ژنوتیپی به‌دست آید (Thennarasu, 1995). وی پیشنهاد کرد که به‌منظور حذف اثر ژنوتیپی عملکرد، عملکرد هر رقم ابتدا تصحیح شود و سپس هر ژنوتیپ برحسب عملکرد تصحیح‌شده‌ی خود رتبه‌بندی شود. در این حالت رتبه‌های به‌دست آمده فقط بر اساس اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط و نیز

خطای آزمایشی خواهند بود. بر این اساس وی چهار پارامتر پایداری توسط وی ارائه شد. بر اساس پارامتر اول، دوم و سوم تنازاً، ژنوتیپ G3 رتبه اول پایداری و در پارامتر چهارم رتبه دوم را داشت و در بین بقیه ژنوتیپ‌ها پایدار بود. به اعتقاد هان و لئون (Hühn and Léon, 1995) پیشرفت سریع روش‌های ناپارامتری در سال‌های اخیر، سبب افزایش استفاده از آن‌ها در طرح‌های آزمایشی مهم شده است. آن‌ها همچنین بیان داشتند که روش‌های ناپارامتری بیشتر برای داده‌های دوطرفه که شامل ردیف و ستون باشند استفاده می‌شود که ردیف‌ها، ارقام و ستون‌ها، محیط‌ها را تشکیل می‌دهند. همچنین در این روش‌ها بهتر است ارقام در هر محیط با تعداد تکرار ثابت آزمون شوند. استفاده از روش‌های ناپارامتری به‌ویژه وقتی که روش‌های پارامتری به‌خاطر اثر متقابل غیرخطی ژنوتیپ $\times$ محیط قابل توضیح و تفسیر نباشند لازم می‌باشد (Kubinger, 1986).



شکل ۴- نقشه حرارتی و گروه‌بندی بین ژنوتیپ‌ها و پارامترهای پایداری
Figure 4. Heatmap and grouping between genotypes and stability parameters

به‌منظور بررسی ارتباط پارامترهای مختلف پایداری با یکدیگر و گروه‌بندی آن‌ها و همچنین گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر مبنای پارامترهای مختلف پایداری، نقشه‌حرارتی ژنوتیپ‌ها به‌همراه تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها و پارامترهای پایداری ترسیم شد. بر این اساس پارامترهای پایداری به سه گروه تقسیم شدند. پارامتر پایداری پلیستد و پترسون به‌تنهایی در گروه اول، پارامترهای ضریب تغییرات ژنوتیپی، پلیستد، اکووالانس، واریانس پایداری، واریانس انحراف محیطی، واریانس ژنوتیپی، پارامترهای ناپارامتری ناصر و هان و پارامتر ناپارامتری تنارازو ۱ و ۴ در گروه دوم و پارامترهای پایداری ضریب رگرسیون، میانگین عملکرد، رتبه عملکرد فاکس، معیار کنگ و معیار ناپارامتری شماره ۲ و ۳ تنارازو در گروه سوم جای گرفتند که با نتایج مطالعه (Vaezi et al., 2019) تقریباً مشابه بود.

جدول ۷ همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن بین پارامترهای مختلف پایداری را با همدیگر نشان می‌دهد. بر این اساس معیار میانگین عملکرد با معیارهای رتبه‌ای فاکس، رتبه‌ای کنگ و معیارهای ۳ و ۲ تنارازو همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. واریانس زوجی پلیستد و پترسون با معیارهای پلیستد، واریانس پایداری شوکلا، اکووالانس، واریانس انحراف از خط رگرسیون، واریانس ژنوتیپی هانسون و معیار ۱ تنارازو همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. معیار پلیستد با معیارهای واریانس پایداری شوکلا، اکووالانس، معیار ۱ تنارازو، واریانس انحراف از خط رگرسیون و واریانس ژنوتیپی هانسون همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. معیار ضریب تغییرات ژنوتیپی با معیارهای ۱ و ۲ ناصر و هان همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. معیار ضریب رگرسیون با معیارهای ۱، ۲ و ۳ تنارازو همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. معیار واریانس انحراف از خط رگرسیون با معیارهای اکووالانس، واریانس ژنوتیپی هانسون، واریانس پایداری شوکلا همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. معیار اکووالانس با واریانس ژنوتیپی هانسون، واریانس پایداری شوکلا و معیار ۱ تنارازو همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. واریانس ژنوتیپی هانسون فقط با معیار واریانس پایداری شوکلا همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. واریانس پایداری شوکلا نیز فقط با معیار ۱

تنارازو همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. معیار کنگ با معیارهای ۲، ۳ تنارازو و فاکس همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. همبستگی معیار ۱ ناصر و هان با معیار ۲ و ۳ و معیار ۱ تنارازو مثبت و معنی‌دار بود. معیار ۲ ناصر و هان با معیار ۳ و ۶ همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. معیار ۳ ناصر و هان با معیار ۶ و ۴ تنارازو همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. معیار ۶ ناصر و هان نیز با معیارهای ۳ و ۴ تنارازو همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. معیار فاکس همبستگی مثبت و معنی‌دار با معیار ۳ تنارازو داشت. همبستگی معیار ۱ و ۲ تنارازو با معیار ۳ مثبت و معنی‌دار بود. واعظی و همکاران (Changizi et al., 2019)، چنگیزی و همکاران (Tabrizi, 2012) گزارش کردند که همبستگی معنی‌داری بین معیارهای مختلف پایداری با یکدیگر وجود دارد و برخی معیارها از روند مشابهی برای بررسی پایداری ارقام استفاده می‌کنند و می‌توانند به‌جای همدیگر به‌کار روند.

تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر اساس رتبه معیارهای مختلف پارامتری و ناپارامتری آنها را در سه گروه جای داد. ژنوتیپ G12 در گروه اول، ژنوتیپ‌های G1، G3، G7، G8 و G13 در گروه دوم و بقیه ژنوتیپ‌ها به‌همراه رقم شاهد اولتان در گروه سوم بودند. با توجه به نقشه‌حرارتی ترسیم شده ژنوتیپ‌های گروه دوم با داشتن بالاترین رتبه در اکثر معیارهای پایداری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها پایدار بودند و از بین آنها ژنوتیپ‌های G1، G8 و G3 به‌ترتیب به‌دلیل داشتن میانگین عملکرد بالاتر از متوسط عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند. این ژنوتیپ‌ها همچنین کمترین میانگین مجموع رتبه تمام معیارهای پایداری محاسبه شده را نیز داشتند (جدول ۴).

واعظی و همکاران (Vaezi et al., 2019) نتیجه گرفتند تلفیق معیارهای مختلف پایداری می‌تواند در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا در جو سودمند باشد. تبریزی (Tabrizi, 2012) از روش‌های مختلف پایداری و تجزیه خوشه‌ای برای شناسایی ارقام پایدار در آفتابگردان استفاده نمود و نتیجه گرفت میانگین عملکرد همراه با پارامترهای پایداری می‌تواند در شناسایی ارقام پایدار آفتابگردان مؤثر باشد.

جدول ۷- همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن بین پارامترهای مختلف پایداری

Table 7. Spearman rank correlation among different stability parameters

پارامتر Parameter	Y_i	θ_i	$\theta_{(i)}$	CV_i	b_i	s^2d_i	W_i^2	D_i	σ_i^2	YS_i	$S_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(6)}$	TOP	$NP_i^{(1)}$	$NP_i^{(2)}$	$NP_i^{(3)}$
θ_i	0.011																	
$\theta_{(i)}$	-0.011	-1.000**																
CV_i	-0.279	-0.499	0.499															
b_i	0.490	-0.495	0.495	-0.007														
s^2d_i	-0.266	-0.679**	0.679**	0.367	-0.082													
W_i^2	-0.011	-1.000**	1.000**	0.499	0.495	0.679**												
D_i	-0.266	-0.679**	0.679**	0.367	-0.082	1.000**	0.679**											
σ_i^2	-0.011	-1.000**	1.000**	0.499	0.495	0.679**	1.000**	0.679**										
YS_i	0.662**	-0.525	0.525	0.046	0.415	0.525	0.525	0.525	0.525									
$S_i^{(1)}$	-0.393	-0.354	0.354	0.569*	0.085	0.310	0.354	0.310	0.354	-0.042								
$S_i^{(2)}$	-0.349	-0.275	0.275	0.538*	0.064	0.235	0.275	0.235	0.275	-0.064	0.987**							
$S_i^{(3)}$	0.200	-0.147	0.147	0.305	0.466	-0.007	0.147	-0.007	0.147	0.262	0.714**	0.732**						
$S_i^{(6)}$	0.345	-0.103	0.103	0.130	0.511	0.046	0.103	0.046	0.103	0.424	0.521	0.534*	0.943**					
TOP	0.845**	0.078	-0.078	-0.156	0.355	-0.182	-0.078	-0.182	-0.078	0.598*	-0.208	-0.208	0.286	0.403				
$NP_i^{(1)}$	0.119	-0.681**	0.681**	0.250	0.598*	0.372	0.681**	0.372	0.681**	0.447	0.535*	0.515	0.507	0.400	0.137			
$NP_i^{(2)}$	0.732**	-0.253	0.253	-0.160	0.542*	0.002	0.253	0.002	0.253	0.631*	-0.468	-0.455	0.037	0.226	0.481	0.139		
$NP_i^{(3)}$	0.833**	-0.380	0.380	-0.112	0.752**	0.042	0.380	0.042	0.380	0.802**	-0.068	-0.046	0.433	0.543*	0.663**	0.555*	0.776**	
$NP_i^{(4)}$	0.323	-0.077	0.077	0.227	0.499	-0.048	0.077	-0.048	0.077	0.323	0.568*	0.594*	0.968**	0.970**	0.377	0.399	0.180	0.504

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

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

میانگین عملکرد (Y_i)، واریانس پایداری پیوسته و پیرسون (θ_i)، واریانس پایداری پیوسته ($\theta_{(i)}$)، ضریب تغییرات ژنتیکی فرانسس و کاننبرگ (CV_i)، ضریب رگرسیون فیلی-سولکینسون و ابرهارت-راسل (b_i)، انحراف از رگرسیون ابرهارت-راسل (s^2d_i)، اکووالانس ریگ (W_i^2)، پایداری ژنتیکی هانسون (D_i)، واریانس پایداری شوکلا (σ_i^2)، شاخص پایداری عملکرد کنگ (YS_i)، آزمون‌های تابا-لمتری پایداری هان و انحصار و هان ($S_i^{(1)}$ ، $S_i^{(2)}$ ، $S_i^{(3)}$ ، $S_i^{(6)}$)، آزمون‌های تابا-لمتری نتارزو ($NP_i^{(1)}$ ، $NP_i^{(2)}$ ، $NP_i^{(3)}$ ، $NP_i^{(4)}$)
Mean yield (Y_i), Plaisted and Peterson variance (θ_i), Plaisted stability variance ($\theta_{(i)}$), Francis and Kannenberg coefficient of variation (CV_i),
Regression coefficient of Finlay-Wilkinson and Eberhart-Russell (b_i), Deviation from regression (s^2d_i), Wricke's ecovalence (W_i^2), Hanson
genotypic stability (D_i), Shukla's stability variance (σ_i^2), Kang's yield stability (YS_i), Huhn's and Nassar and Huhn's non-parametric statistics ($S_i^{(1)}$,
 $S_i^{(2)}$, $S_i^{(3)}$, $S_i^{(6)}$), Fox's stability (TOP), Thenmarasu's nonparametric statistics ($NP_i^{(1)}$, $NP_i^{(2)}$, $NP_i^{(3)}$, $NP_i^{(4)}$)

نتایج این پژوهش نشان داد که ژنوتیپ‌های G1، G8 و G3 در بیشتر معیارهای پایداری با داشتن میانگین عملکرد بالاتر از متوسط عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها و همچنین کمترین میانگین مجموع رتبه تمام معیارهای پایداری، به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. ارزیابی این ژنوتیپ‌ها در شرایط مزرعه (On-farm) زارعین مناطق موردنظر می‌تواند در معرفی این لاین‌های امیدبخش به‌عنوان رقم تجاری جدید راهگشا باشد.

سپاسگزاری

این پژوهش بر اساس نتایج حاصل از پروژه ملی مصوب به شماره ۹۵۰۹۸۲-۲۱۳-۰۳-۰۳ است. بدین‌وسیله از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به‌پاس تأمین هزینه اجرای پروژه و نیز از همکاران مراکز تحقیقاتی به جهت کمک در اجرای پروژه مذکور تقدیر و تشکر به‌عمل می‌آید.

مشابه این پژوهش، پورچیس و همکاران (Purchase et al., 2000) در گندم نان، محمدی و امیری (Mohammadi and Amri, 2013)، محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2020)، رارباتی و همکاران (Rharabti et al., 2003)، قلیچ و همکاران (Kilic et al., 2010) و کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh et al., 2021) در گندم دوروم، آدوگنا و لابسچین (Adugna and Labuschagne, 2003) در کتان روغنی، فیکره و همکاران (Fikere et al., 2008) در باقلا، گوکسوی و همکاران (Goksoy et al., 2019) در سویا، شاهین و همکاران (Sahin et al., 2011) در علف باغ، آلبرتز (Alberts, 2004) در ذرت، علیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 2021) در کلز و مسعودی و همکاران (Masoudi et al., 2020) در کنجد از تلفیق روش‌های مختلف پایداری برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار بهره جستند. گزینش هم‌زمان برای عملکرد بالا و پایداری یکی از مهم‌ترین ملاحظات در برنامه‌های به‌نژادی محسوب می‌شود.

References

- Abate, M., Mekbib, F., Ayana, A. and Nigussie, M. (2015). Genotype x environment and stability analysis of oil content in sesame (*Sesamum indicum* L.) evaluated across diverse agro-ecologies of the Awash Valleys in Ethiopia. *Journal of Experimental Agriculture International*, **9**: 1-12.
- Adugna, W. and Labuschagne, M. (2003). Parametric and nonparametric measures of phenotypic stability in linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Euphytica*, **129**: 211-218.
- Ahmadi, K., Ebadzadeh, H., Hatami, F., Abdshah, H. and Kazemian, A. (2019) *Agricultural Statistics I: Field Crops in, Iranian Ministry of Agriculture*. Tehran, Iran (In Persian).
- Alberts, M.J. (2004) *A Comparison of Statistical Methods to Describe Genotype x Environment Interaction and Yield Stability In Multi-Location Maize Trials*. University of the Free State, Bloemfontein, SA.
- Alizadeh, B., Rezaizad, A., Yazdandoost Hamedani, M., Shiresmaeli, G., Nasserghadimi, F. and Khademhamzeh, H.R. (2021). Investigation of genotype $\times$ environment interaction and seed yield stability of rapeseed genotypes in cold and mild cold regions of Iran. *Plant Genetic Researches*, **7(1)**: 65-82 (In Persian).
- Amiri Oghan, H., Zeinalzadeh-Tabrizi, H., Fanaei, H.R., Kazerani, N.K., Ghodrati, G., Danaie, A. and Valipour, M.B. (2019). Stability study of seed yield in promising lines of spring oilseed rape in southern-worm regions of Iran. *Journal of Crop Breeding*, **11**: 42-54 (In Persian).
- Bashir, M., Muhammad, Y., Abid, M., Ahsan, M. and Khan, Q. (2020). Adaptability trials of sesame germplasm against *Macrophomina phaseolina* by using AMMI biplot analysis in Pakistan. *International Journal of Agriculture and Biology*, **23**: 851-856.
- Bayuardi-Suwarno, W., Sobir, A.H. and Syukur, M. (2008). PBSTAT: a web-based statistical analysis software for participatory plant breeding. Paper presented at the *Memorias de The 3rd International Conference On Mathematics And Statistics, Bogor, Indonesia*, Bogor, Indonesia.
- Becker, H. and Leon, J. (1988). Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding*, **101**: 1-23.
- Changizi, M., Choukan, R., Heravan, E.M., Bihamta, M.R. and Darvish, F. (2014). Evaluation of genotype $\times$ environment interaction and stability of corn hybrids and relationship among univariate parametric methods. *Canadian Journal of Plant Science*, **94**: 1255-1267.
- Eberhart, S. and Russell, W. (1966). Stability parameters for comparing varieties 1. *Crop Science*, **6**: 36-40.
- FAOSTAT. (2018). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available online at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data> Accessed August 2020.

- Farrokhi, E. and Ahamadi, M.R.** (1998). Comparison of different methods for determining of stability parameters on sesame varieties of North of Iran. *Iranian Journal of Agriculture Science*, **29**: 275-283 (In Persian).
- Farshadfar, E.** (1998) *Application of Quantitative Genetics in Plant Breeding*, Razi University, Kermanshah, Iran (In Persian).
- Fasahat, P., Rajabi, A., Mahmoudi, S., Abdollahian-Noghabi, M. and Mohseni-Rad, J.** (2015). An overview on the use of stability parameters in plant breeding. *Biometrics & Biostatistics International Journal*, **2**: 149-159.
- Fikere, M., Tadesse, T. and Letta, T.** (2008). Genotype-environment interactions and stability parameters for grain yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes grown in South Eastern Ethiopia. *International Journal of Sustainable Crop Production*, **3**: 80-87.
- Finlay, K. and Wilkinson, G.** (1963). The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, **14**: 742-754.
- Fox, P., Skovmand, B., Thompson, B., Braun, H.J. and Cormier, R.** (1990). Yield and adaptation of hexaploid spring triticales. *Euphytica*, **47**: 57-64.
- Francis, T. and Kannenberg, L.** (1978). Yield stability studies in short-season maize. I. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, **58**: 1029-1034.
- Freiria, G.H., Gonçalves, L.S.A., Furlan, F.F., Fonseca Junior, N.D.S., Lima, W.F. and Prete, C.E.C.** (2018). Statistical methods to study adaptability and stability in breeding lines of food-type soybeans. *Bragantia*, **77**: 253-264.
- Goksoy, A., Sincik, M., Erdogmus, M., Ergin, M., Aytac, S., Gumuscu, G., Gunduz, O., Keles, R., Bayram, G. and Senyigit, E.** (2019). The parametric and non-parametric stability analyses for interpreting genotype by environment interaction of some soybean genotypes. *Turkish Journal of Field Crops*, **24**: 28-38.
- Grubbs, F.E.** (1969). Procedures for detecting outlying observations in samples. *Technometrics*, **11**: 1-21.
- Hanson, W.** (1970). Genotypic stability. *Theoretical and Applied Genetics*, **40**: 226-231.
- Huhn, M.** (1990). Nonparametric measures of phenotypic stability: Part 1: Theory. *Euphytica*, **47**: 189-199.
- Hühn, M. and Léon, J.** (1995). Nonparametric analysis of cultivar performance trials: experimental results and comparison of different procedures based on ranks. *Agronomy Journal*, **87**: 627-632.
- Kang, M.** (1988). A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. *Cereal Research Communications*, **16**: 113-115.
- Karimizadeh, R., Hosseinpour, T., Alt Jafarby, J., Shahbazi Homonlo, K. and Armion, M.** (2021). Evaluation of genotype $\times$ environment interaction and determining grain yield stability of durum wheat genotypes in uniform regional yield trials in semi-warm rainfed areas. *Plant Genetic Researches*, **7(2)**: 25-40 (In Persian).
- Kilic, H., Akcura, M. and Aktas, H.** (2010). Assessment of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted durum wheat genotypes in multi-environments. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, **38**: 271-279.
- Kubinger, K.D.** (1986). A note on non-parametric tests for the interaction in two-way layouts. *Biometrical Journal*, **28**: 67-72.
- Kumaresan, D. and Nadarajan, N.** (2005). Stability analysis for yield and its components in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Indian Journal of Agricultural Research*, **39**: 60-63.
- Levene, H.** (1961) *Robust Tests for Equality of Variances*, Stanford University Pres, California, USA.
- Mansoori, S., Zeinalzadeh Tabrizi, H. and Fallah-Toosi, A.** (2019). *Adaptability Evaluation of New Sesame Lines For Yield and Important Agronomic Traits*. Final Research Report Seed and Plant Improvement Institute (SPII), AREEO, IR (In Persian).
- Masoudi, B., Abbasali, M., Aien, A. and Saif Amiri, S.** (2020). Evaluation of sesame yield stability using statistical parameters and GGE biplot graphical methods. *Journal of Crop Production*, **13**: 71-84 (In Persian).
- Mekonnen, Z. and Mohammed, H.** (2010). Study on genotype $\times$ environment interaction of oil content in sesame (*Sesamum indicum* L.). *World Journal of Fungal and Plant Biology*, **1**: 15-20.
- Mirza, M.Y., Khan, M.A., Amjad, M. and Nawaz, M.S.** (2013). Stability analysis for economic traits in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Pakistan Journal of Agricultural Research*, **26**: 168-177.
- Mohammadi, R. and Amri, A.** (2013). Genotype $\times$ environment interaction and genetic improvement for yield and yield stability of rainfed durum wheat in Iran. *Euphytica*, **192**: 227-249.
- Mohammadi, R., Sadeghzadeh, B., Poursiahbidi, M.M. and Ahmadi, M.M.** (2020). Integrating univariate and multivariate statistical models to investigate genotype $\times$ environment interaction in durum wheat. *Annals of applied biology*, **1**.

- Movahedi, H., Mostafavi, K., Shams, M. and Golparvar, A.R.** (2020). AMMI analysis of genotype $\times$ environment interaction on grain yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes in Iran. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, **34**: 1013-1018.
- Nassar, R. and Huehn, M.** (1987). Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. *Biometrics*, **43**: 45-53.
- Oz, M.** (2018). Yield and stability analysis of some sesame (*Sesamum indicum*) genotypes in Turkey. *International Journal of Agriculture and Biology*, **20**: 821-825.
- Plaisted, R.** (1960). A shorter method for evaluating the ability of selections to yield consistently over locations. *American Potato Journal*, **37**: 166-172.
- Plaisted, R. and Peterson, L.** (1959). A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. *American Potato Journal*, **36**: 381-385.
- Purchase, J., Hatting, H. and Van Deventer, C.** (2000). Genotype $\times$ environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. *South African Journal of Plant and Soil*, **17**: 101-107.
- Ramazani, S.H.R.** (2013). Investigation on the yield and yield components of Iranian promising Sesame (*Sesamum indicum* L.) lines. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, **6**: 23-26.
- Ramazani, S.H.R. and Mansouri, S.** (2017). Relationships of quantitative traits in advanced lines of sesame. *Journal of Crop Breeding*, **9**: 58-66. (In Persian).
- Rharrabti, Y., del Moral, L.G., Villegas, D. and Royo, C.** (2003). Durum wheat quality in mediterranean environments: III. Stability and comparative methods in analysing G $\times$ E interaction. *Field Crops Research*, **80**: 141-146.
- Robbelen, G., Downey, R.K. and Ashri, A.** (1987). *Oil Crops of the World*. Mc GrawHill Publication. New York. USA.
- Ryan, M.C., Stucky, M., Wakefield, C., Melott, J.M., Akbani, R., Weinstein, J.N. and Broom, B.M.** (2020). Interactive clustered heat map builder: An easy web-based tool for creating sophisticated clustered heat maps. *F1000Research (ISCB Comm J)*, **8**: 1750.
- Sahin, E., Tabrizi, H. and Tosun, M.** (2011). Genotype $\times$ environment interaction and stability analysis of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) ecotypes for seed yield in Turkey. *Research Journal of Biological Sciences*, **6**: 413-416.
- Salehi, M. and Saeidi, G.** (2012). Genetic variation of some agronomic traits and yield component in breeding lines of sesame. *Journal of Crop Breeding*, **9**: 77-92 (In Persian).
- SAS Institute** (2008) *SAS/STAT User's Guide Version 9.1*, SAS Institute, Cary, New York, USA.
- Shapiro, S.S. and Wilk, M.B.** (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, **52**: 591-611.
- Shukla, G.** (1972). Some statistical aspects of partitioning genotype environmental components of variability. *Heredity*, **29**: 237-245.
- Singh, B. and Bisen, R.** (2020). AMMI analysis of genotype $\times$ environment interaction and stability of sesame genotypes. *Bangladesh Journal of Botany*, **49**: 215-221.
- Tabrizi, H.Z.** (2012). Genotype by environment interaction and oil yield stability analysis of six sunflower cultivars in Khoy, Iran. *Advances in Environmental Biology*, **6**: 227-231.
- Thennarasu, K.** (1995). On certain non parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. M.Sc. Thesis, PJ School, IARI, New Delhi, India.
- Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Mehraban, A., Hossein-Pour, T., Koohkan, E., Ghasemi, S., Moradkhani, H. and Siddique, K.H.** (2019). Integrating different stability models to investigate genotype $\times$ environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes. *Euphytica*, **215**: 63.
- Weiss, E.A.** (2000) *Oilseed Crops*, Blackwell Sc. Ltd, Bodmin, UK.
- Wricke, G.** (1962). Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Z Pflanzenzuchtg*, **47**: 92-96.
- Yan, W., Hunt, L., Sheng, Q. and Szlavnics, Z.** (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, **40**: 597-605.
- Yol, E., Karaman, E., Furat, S. and Uzun, B.** (2010). Assessment of selection criteria in sesame by using correlation coefficients, path and factor analyses. *Australian Journal of Crop Science*, **4**: 598-602.
- Zeinalzadeh-Tabrizi, H. and Mansouri, S.** (2020). Identification of adapted genotypes in sesame lines based on multi-trait selection. *Journal of Crop Production and Processing*, **11**: 17-37 (In Persian).

Evaluation of Seed Yield Stability of Promising Sesame Lines using Different Parametric and Nonparametric Methods

Hossein Zeinalzadeh-Tabrizi^{1,*}, Sadollah Mansouri² and Abbas Fallah-Toosi³

- 1- Assistant Professor, Horticultural and Crops Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Moghan, Iran
- 2- Assistant Professor, Department of Oilseed Crops, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
- 3- Assistant Professor, Horticultural and Crops Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran

(Received: December 25, 2020 – Accepted: May 24, 2021)

Abstract

Analysis of genotype by environment interaction using different statistical methods is very important in plant breeding. In order to evaluate the seed yield stability of promising sesame lines using different parametric and non-parametric statistics, an experiment was conducted using 13 promising sesame lines with check variety Oltan at three locations of Karaj, Mashhad, and Moghan (Iran) in a randomized complete block design with four replications over two years (2016 and 2017). Combined analysis of variance for seed yield of promising sesame lines showed that the effect of genotype and the three-way interaction of genotype $\times$ year $\times$ location at the level of 0.01% probability were statistically significant. Karaj-96 environment with 1346 kg/ha and Mashhad-96 environment with 1001 kg/ha had the highest and lowest mean yield, respectively. The highest and lowest mean seed yield among genotypes in all test environments were related to G6 line with 1444 kg/ha and G12 line with 762 kg/ha, respectively. Heatmap along with cluster analysis divided both genotypes and stability parameters into three groups. Based on cluster analysis, genotype G12 was clustered into the first group, genotypes G1, G3, G7, G8, and G13 were clustered into the second group and the rest of the genotypes along with the check cultivar Oltan were clustered into the third group. The genotypes of the second group with the highest rank in most criteria of stability statistics were stable compared to other genotypes and among them, the genotypes G8, G1 and G3 (with mean yields 1417, 1398 and 1291 Kg/ha, respectively) were selected and recommended in the test locations due to their average yield above the average yield of all genotypes.

Keywords: Cluster analysis, Genotype, Genotype by environment interaction, Heatmap

* Corresponding Author, E-mail: h.zeinalzadeh@areeo.ac.ir