

## بررسی سازگاری و پایداری عملکرد ژرم پلاسماهای داخلی و خارجی کنجد

مروارید رضائی نیا<sup>۱</sup>، نفیسه مهدی نژاد<sup>۲\*</sup>، فاطمه ابراهیمی<sup>۳</sup>، احمد آیین<sup>۴</sup>، براتعلی فاخری<sup>۲</sup>، عباسعلی امام جمعه<sup>۲</sup>

- ۱- دانش آموخته دکتری اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران  
 ۲- گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران  
 ۳- پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران  
 ۴- بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب کرمان، ایران  
 \* مسئول مکاتبه: [nmahdinezhad@uoz.ac.ir](mailto:nmahdinezhad@uoz.ac.ir)

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.380822.1312

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۲

### چکیده

بررسی پایداری و انتخاب ارقام پرمحصول در محیط‌های مختلف یکی از اهداف مهم برنامه‌های اصلاحی گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. در این مطالعه ۱۰۴ ژنوتیپ کنجد در قالب طرح آلفا لاتیس با دو تکرار در دو شرایط آب و هوایی مختلف شامل کرمان و جیرفت و دو رژیم رطوبتی (تنش و عدم تنش) در سال ۱۳۹۸ مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات ژنوتیپ، محیط، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط خطی معنی‌دار بود. با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط هفت آماره پایداری شامل واریانس محیطی، ضریب تغییرات محیطی، اکو والانس ریک، واریانس پایداری شوکلا، ضریب رگرسیون فیئلی و ویلکینسون (ضریب رگرسیون ابرهات راسل)، واریانس انحرافات از خط رگرسیون (روش ابرهات راسل) و ضریب تبیین برای تجزیه پایداری مورد مقایسه قرار گرفتند. بر اساس معیارهای مورد مطالعه و عملکرد بیش‌تر از میانگین کل، ژنوتیپ‌های محلی جیرفت، محلی دزفول، TN78-84، SG90154-137، JL18(82)، SG90154-71 و TN78-369 و هلیل به عنوان ارقام پایدار و بهترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای پایداری، تنش خشکی، روش ابرهات و راسل، عملکرد دانه

### مقدمه

ژنوتیپ زمانی به‌عنوان سازگارترین یا پایدارترین ژنوتیپ در نظر گرفته می‌شود که با دارا بودن میانگین عملکرد بالا، اثرات متقابل کم‌تری داشته باشد (Arshad et al., 2003; Dashtaki et al., 2004). تجزیه‌های آماری اثر متقابل ژنوتیپ × محیط که موسوم به تجزیه پایداری و با هدف انتخاب ژنوتیپ برتر هستند، یکی از مهم‌ترین مراحل برنامه‌های به‌نژادی به‌شمار می‌روند؛ زیرا اصلاح برای افزایش عملکرد تا حد زیادی بر انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب برای محیط‌های مورد نظر استوار است (Raffi et al., 2004; Ceccarelli et al., 2006).

روش‌های متعددی برای مطالعه پایداری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف ارائه گردیده‌اند که به‌طور کلی شامل روش‌های تجزیه واریانس، تجزیه رگرسیون، چند متغیره و غیر پارامتری می‌باشند. روش‌های مبتنی بر تجزیه واریانس شامل واریانس محیطی ( $S_i^2$ )، ضریب تغییرات محیطی (C.V)، اکووالانس ریک ( $W_i^2$ ) و واریانس پایداری شوکلا ( $\sigma^2_i$ ) می‌باشند. بر مبنای واریانس محیطی، ژنوتیپی پایدار است که

از مهم‌ترین منابع تأمین انرژی، دانه‌های روغنی می‌باشند که از نظر اهمیت بعد از غلات قرار دارند. کنجد (*Sesamum indicum* L.) یکی از این دانه‌های روغنی است که به‌عنوان یک گیاه مهم روغنی، صنعتی و دارویی در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری به‌طور وسیعی کشت می‌شود. کنجد گیاهی روزکوتاه به‌شمار می‌رود و به‌نور، گرما و تنش‌های رطوبتی حساس می‌باشد، از نظر عملکرد پایدار نبوده و دارای تغییرات گسترده‌ای در مناطق مختلف می‌باشد (Gauch, 2006).

به تغییرات در عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در طیف وسیعی از شرایط محیطی مختلف، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط می‌گویند (Ceccarelli et al., 2006). ارزیابی ماهیت اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به متخصصین ژنتیک و به‌نژادی کمک می‌نماید تا بتوانند ژنوتیپ‌ها را با دقت بیشتری ارزیابی کرده و ژنوتیپ‌های برتر از نظر پایداری و عملکرد بالا را انتخاب نمایند (Abate, 2015; Akter et al., 2015). به‌طور معمول یک وارپته یا

انجام گرفته است که نتایج حاکی از معنی دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر روی عملکرد دانه در کنگد بودند. در بررسی پایداری عملکرد دانه ۱۶ ژنوتیپ کنگد بر اساس پارامترهای پایداری میانگین عملکرد دانه، ضرایب رگرسیون، انحراف از رگرسیون، مقادیر خط رگرسیون و مقادیر ضریب تعیین انجام گرفت، رقم Boydak برای عملکرد بالا در شرایط جغرافیایی متنوع ترکیه معرفی شد (Oz, 2018). در پژوهشی پایداری عملکرد ۳۶ توده بومی کنگد در سه منطقه به مدت دو سال زراعی انجام گرفت. بر اساس نتایج حاصل از پارامترهای مختلف از جمله اکووالانس ریک، واریانس پایداری شوکلا، ضریب رگرسیون و واریانس انحراف از خط رگرسیون مشخص گردید که ژنوتیپ TN78-230 دارای پایداری می باشد (Masoudi *et al.*, 2021).

هر یک از روش‌های آماری جنبه‌های مختلفی از پایداری ارقام را نشان می‌دهند و یک روش به تنهایی نمی‌تواند عملکرد یک ژنوتیپ را در محیط‌های مختلف از جنبه‌های مختلف پایداری بررسی کند (Barati *et al.*, 2020). از طرفی در میان تنش‌های غیرزنده، خشکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده‌ی رشد و تولید گیاهان زراعی در ایران و دنیا به حساب می‌آید. به‌طور کلی با مقایسه مقدار میانگین بارندگی ۲۵۰ میلی‌متر پنجاه‌ساله کشور در مقایسه با مقدار میانگین بارندگی ۸۵۰ میلی‌متر جهانی به‌خوبی قابل‌درک است که ایران به‌طور طبیعی در دسته کشورهای کم‌بارش است و در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد (Sharifi Alhoseini and Taherian, 2018).

بنابراین به علت کمبود آب، تنش خشکی امروزه بخش وسیعی از مطالعات به‌نژادی را به خود اختصاص داده است. وجود خشکسالی‌های پایایی و بالا رفتن اهمیت آب می‌طلبد که ارقامی معرفی گردند که ضمن پایداری عملکرد دانه، سازگاری قابل قبولی در این مناطق برخوردار باشند.

با توجه به پراکنش این گیاه در گستره‌ای از مناطق دنیا، مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا می‌تواند به ارزیابی موفقیت‌آمیز ارقام کنگد بیانجامد. در این راستا هدف از تحقیق حاضر شناسایی سازگارترین و پرمحصول‌ترین ژنوتیپ‌ها در شرایط مناطق هدف، به منظور استفاده از آن‌ها در برنامه توسعه کشت کنگد در

عملکرد آن تغییرات کمتری در بین محیط‌ها نشان دهد و واریانس کوچک‌تری داشته باشد. برای رفع مشکل همبستگی بین شاخص‌های پایداری و عملکرد کم، شاخص ضریب تنوع (C.V) به‌عنوان معیار پایداری معرفی شد (Francis and Kannenberg, 1978).

بر اساس این معیار ژنوتیپ‌های پایداری که انتخاب می‌گردند دارای عملکرد بالایی نیز می‌باشند. روش پایداری اکووالانس نیز یکی از روش‌های پایداری بود که بر اساس این روش سهم هر ژنوتیپ در مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به‌عنوان یک معیار پایداری مناسب در نظر گرفته شد (Wricke, 1972)؛ بنابراین، ژنوتیپی پایدار است که کمترین مقدار این پارامتر را داشته باشد. برآورد واریانس ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بر اساس اثر باقیمانده حاصل از طبقه‌بندی دو طرفه پیشنهاد شد و واریانس پایداری نام گرفت (Shukla, 1972). با توجه به اینکه واریانس پایداری تفاوت بین دو مجموع مربعات است، لذا می‌تواند منفی باشد، ولی برآوردهای منفی ( $\sigma^2_i$ ) را می‌توان برابر صفر در نظر گرفت. بر اساس واریانس پایداری شوکلا ژنوتیپی پایدارتر است که کم‌ترین مقدار ( $\sigma^2_i$ ) را داشته باشد.

از روش‌های رگرسیونی می‌توان به روش فیملی و بیلکینسون، پرکینز و جینکز و روش ابرهات راسل اشاره نمود. مطابق با نظر ابرهات و راسل (Eberhart and Russell, 1966)، ژنوتیپ‌های ایده‌آل و سازگار، ژنوتیپ‌های هستند که شیب خط رگرسیون آن‌ها معادل یک، میانگین مربعات انحراف از خط رگرسیون نزدیک به صفر، میانگین عملکرد آن‌ها از میانگین کل آزمایش بیشتر باشد. در همین راستا، مشخص گردید که مطلوبیت روش رگرسیون، مستلزم ضریب تبیین بیشتر از ۷۰ درصد می‌باشد (Lin *et al.*, 1986). همچنین نظریه‌ای مطرح شد که برای سومند بودن تجزیه پایداری با استفاده از روش رگرسیون، بایستی نسبت مجموع مربعات ژنوتیپ × محیط خطی (یکنواختی ضرایب رگرسیون) به مجموع مربعات ژنوتیپ در محیط حداقل ۵۰ درصد باشد (Hayward *et al.*, 1993). بر طبق نظریه دیگری، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر روی شاخص محیطی را نیز بایستی به دقت برآورد نمود (Perkins and Jinks, 1986).

مطالعات متعددی در خصوص پایداری ژنوتیپ‌های کنگد

کشور و نیز استفاده در برنامه‌های به‌نژادی می‌باشد.

۱۳۹۸ کشت گردید. مشخصات مناطق مورد آزمایش در جدول ۲ موجود می‌باشد. ژنوتیپ‌ها در هر منطقه تحت شرایط غیر تنش و تنش خشکی به‌صورت طرح آلفا لاتیس در دو تکرار کشت شدند. قبل از اجرای طرح به‌منظور شناخت، تعیین بافت و خصوصیات شیمیایی خاک اقدام به نمونه‌برداری از خاک مزرعه گردید (جدول ۲).

## مواد و روش‌ها

تعداد ۱۰۴ ژنوتیپ داخلی و خارجی کنجد (جدول ۱) که از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب کرمان تهیه شده بود، در دو منطقه جیرفت و کرمان در سال

جدول ۱- شماره و اسامی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

Table 1- Number and name of the studied genotypes

شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ
Genotype NO.	Genotype name	Genotype NO.	Genotype name	Genotype NO.	Genotype name	Genotype NO.	Genotype name
1	Karaj 1	28	Punjab (85)89	55	SG90154-24	82	JL2
2	Yekta	29	TC-25	56	SG90154-27	83	JL5 (82)
3	Naz Tak Shakheh	30	J-1	57	SG90154-35	84	JL-6
4	Naz Chand Shakheh	31	Co- 1(85)	58	SG90154-39	85	JL- 14(82)
5	Yellow White	32	RT54	59	SG90154-40	86	JL- 29
6	Varamin 2822	33	TKG-21	60	SG90154-42	87	Behbahan 2 Local Cultivar
7	Darab 14	34	Hindi 1	61	SG90154-44	88	Dezful 2 Local Cultivar
8	Oltan	35	TN78-415	62	SG90154-45	89	JL- 15(82)
9	Moghan Local Cultivar	36	TN78-384	63	SG90154-48	90	Borazjan 5 (85)
10	Iranshahr Local Cultivar	37	TN78-195	64	SG90154-50	91	rt- 50 (85)
11	Varamin 37	38	Dashtestan 2	65	SG90154-51	92	JL- 28(84)
12	Hendijan Local Cultivar	39	TN78-714	66	SG90154-53	93	JL- 9(82)
13	Behbahan 1 Local Cultivar	40	Darab 1	67	SG90154-66	94	Varamin 237 (85)
14	Jiroft Local Cultivar	41	TN78-446	68	SG90154-68	95	JL- 16
15	Ahvaz Local Cultivar	42	TN78-84	69	SG90154-71	96	Hindi 14
16	Bam Local Cultivar	43	TN78-369	70	SG90154-73	97	Borazjan (2) 82
17	Kashmar Local Cultivar	44	Halil	71	SG90154-74	98	JH-23(82)
18	Kalat Local Cultivar	45	TN78-41	72	SG90154-76	99	Nashkofa
19	Dezfol Local Cultivar	46	JL18(82)	73	SG90154-79	100	Tks- 21(84)
20	Sistan Local Cultivar	47	TN78-23	74	SG90154-81	101	Karaj 632
21	Taram Local Cultivar	48	TN78-164	75	SG90154-83	102	Hindi 12
22	Zodras IS	49	TN78-390	76	SG90154-110	103	jM- 32
23	Hindi	50	TN78-229	77	SG90154-116	104	JL- 12
24	Chinese	51	TN78-572	78	SG90154-122		
25	Baku closed capsule	52	TN78-440	79	SG90154-124		
26	Iraqi 1	53	SG90154-4	80	SG90154-137		
27	Ts- 3(85)	54	SG90154-5	81	SG90154-145		

جدول ۲- خصوصیات زراعی اقلیمی و انواع خاک در محیط‌های آزمایشی

Table 2- Agro-climatic characteristics and soil types of experimental environments

کد	موقعیت	شرایط	طول	عرض	ارتفاع از	دمای سالانه	میانگین بارندگی	نوع خاک
Code	Location	Condition	جغرافیایی	جغرافیایی	سطح دریا	The annual range	سالانه	Soil Characteristics
			Longitude	Latitude	Altitude	of temperature	Mean annual precipitation (mm)	
			(E)	(N)	(m)	(C)		
محیط اول E1	جیرفت Jiroft	عادی Normal	57 44	28 40	630	-4 to 48	220.2	شنی لوم Sandy loam
محیط دوم E2	جیرفت Jiroft	تنش خشکی Drought stress	57 44	28 40	630	-4 to 48	220.2	شنی لوم Sandy loam
محیط سوم E3	کرمان Kerman	عادی Normal	56 58	30 15	2044	8 to 15	149.1	لوم رسی سیلتی Silty clay loam
محیط چهارم E4	کرمان Kerman	تنش خشکی Drought stress	56 58	30 15	2044	8 to 15	149.1	لوم رسی سیلتی Silty clay loam

آبیاری زمانی بود که  $\sum ET_{act}$  به عمق تخلیه مجاز آب (D) (irrig) می‌رسید. عمق تخلیه مجاز آب به صورت رابطه شماره ۲ محاسبه شد:

$$D_{irrig} = (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times MAD \times D \quad (2)$$

جایی که  $\theta_{FC}$  و  $\theta_{PWP}$  به ترتیب محتوای آب حجمی خاک در ظرفیت مزرعه (%) و نقطه پژمردگی (%) هستند. MAD حداکثر تخلیه مجاز و D عمق ناحیه ریشه است. حجم آب برای هر تیمار با اختصاص یک شمارنده حجمی محاسبه شد.

در انتهای فصل رشد و پس از رسیدگی فیزیولوژیکی، عملکرد دانه هر ژنوتیپ برآورد و بر اساس کیلوگرم در هکتار گزارش شد. بعد از جمع‌آوری داده‌های مربوطه تمامی محیط‌های مورد آزمایش و قبل از تجزیه واریانس مرکب جهت بررسی همگنی واریانس خطاها، آزمون بارتلت انجام شد. از آزمون F در تجزیه مرکب با استفاده از امید ریاضی میانگین مربعات با فرض ثابت بودن اثر ژنوتیپ و تصادفی بودن اثر محیط و تکرار برای آزمایش‌ها استفاده شد. سپس از آماره‌های تک متغیره ضریب رگرسیون خطی فیملی و ویلکینسون (معادل ضریب رگرسیون خطی ابرهات راسل)، واریانس انحراف از رگرسیون، واریانس و ضریب تغییرات محیطی، ضریب تبیین، واریانس پایداری شوکلا و اکووالانس ریک برای ارزیابی میزان پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها استفاده گردید. در این تحقیق از

بذور ژنوتیپ‌های مورد آزمایش پس از ضدعفونی به وسیله قارچ‌کش کربوکسین تیرام<sup>۱</sup>، در عمق سه سانتی‌متر خاک به صورت دستی کشت گردیدند. هر تیمار شامل دو ردیف به طول یک متر با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها روی ردیف پنج سانتی‌متر و فاصله بین کرت‌ها یک متر در نظر گرفته شد. بعد از مرحله‌ی سبز شدن و استقرار کامل گیاهچه‌ها به منظور دستیابی به تراکم مورد نظر، تنک بوته‌های اضافی در دو نوبت هنگامی که گیاهان در مرحله دو تا چهار برگگی بودند، انجام گرفت. برای مبارزه با علف‌های هرز پس از مرحله سبز شدن، عملیات وجین به صورت دستی انجام شد.

در شرایط غیر تنش، زمانی که ۵۰ درصد آب موجود از ناحیه ریشه تخلیه شد، محصولات آبیاری شدند. محیط‌های تحت شرایط تنش خشکی زمانی آبیاری شدند که ۸۵ درصد از آب قابل دسترس از ریشه تخلیه شده بود (Allen et al., 1998). تبخیر- تعرق گیاه مرجع (ET<sub>o</sub>)، تبخیر- تعرق گیاه در شرایط مزرعه است و بر اساس معادله پنمن-مانتیث فائو-۵۶ اندازه‌گیری می‌شود (Allen et al., 1998). تبخیر- تعرق گیاه در حالت ظرفیت (ET<sub>act</sub>) به صورت رابطه ۱ محاسبه شد:

$$ET_{act} = ET_o \times K_{MC} \quad (1)$$

که در آن  $K_{MC}$  ضریب گیاهی با در نظر گرفتن ۱/۲ است (Gheysari et al., 2009). زمان آبیاری برای همه شرایط

<sup>1</sup> Carboxin Thiram

محیطها مختلف متغیر می‌باشد. ۴۴/۳۸ درصد از کل مجموع مربعات به اثرات ژنوتیپی مربوط بود، در حالی که اثرات محیطی و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به ترتیب ۱۸/۲۸ و ۳۷/۳۴ درصد از تغییرات را بر عهده داشتند. گزارش‌هایی مطابق با نتایج حاضر برای معنی‌داری اثرات محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در عملکرد دانه کنجد ارائه شده است (Farrokhi and Ahmadi, 1997; Baraki *et al.*, 2016; Baraki and Gebremariam, 2018; Gebeyehu *et al.*, 2019; Movahedi *et al.*, 2020; Masoudi *et al.*, 2021).

نرم‌افزار SAS (۹/۴) به منظور تجزیه واریانس ساده و مرکب، جهت رسم نمودارها (XLSTAT (۲۰۱۹) و از نرم‌افزار (۲۰۱۲) S116 و Excel (۲۰۱۶) جهت تجزیه و تحلیل‌های پایداری استفاده شد.

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه، حاکی از معنی‌دار بودن اثر محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بود (جدول ۳). با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط مشخص گردید که عملکرد ژنوتیپ‌ها در مکان‌ها و

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ۱۰۴ ژنوتیپ کنجد مورد ارزیابی شده در ۴ محیط

Table 3- Combined analysis of variance for grain yield of sesame genotypes across four environments.

منابع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of Square
محیط Environment	3	12554572.58**
تکرار (محیط) Rep (Env)	4	459435.80**
بلوک (تکرار*محیط) Blk (Env*Rep)	56	59388.39*
ژنوتیپ Genotype	103	589511.34**
ژنوتیپ * محیط Genotype*Environment	309	228370.61**
اشتباه Error	356	42243.2
ضریب تغییرات (%) CV (%)	19.04	

\*\*، \* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ درصد

\*\*، \* significance at 0.01 and 0.05 of probability level

نشان می‌داد و بیان‌گر وجود شیب خط رگرسیون متفاوت برای ژنوتیپ‌ها است (جدول ۴). سهم هر ژنوتیپ و محیط به وسیله متوسط مربعات انحرافات یا انحراف از رگرسیون میانگین ژنوتیپ‌ها بر روی شاخص محیطی توضیح داده می‌شود (Eberhart and Russell, 1966). این جدول هم‌چنین نشان داد که واریانس انحراف از رگرسیون کل نیز معنی‌دار بود و نشان داد که نقاط مربوط به عملکرد ژنوتیپ‌ها کاملاً در اطراف خط رگرسیون قرار ندارند و واکنش یک ژنوتیپ در طول تغییرات خطی با محیط ممکن است متغیر باشد.

نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها به روش ابرهات و راسل (Eberhart and Russell, 1966) نشان داد که واریانس محیط (خطی) معنی‌دار بود (جدول ۴) که بیان‌گر آن است که بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در هر محیط با شاخص محیطی رابطه خطی وجود دارد به این گونه که بهبود شرایط کشت (افزایش شاخص محیطی) منجر به افزایش عملکرد ژنوتیپ‌ها خواهد شد. تفاوت‌های معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد بین ژنوتیپ‌ها از نظر توان تولید محصول مشهود است. میانگین مربعات برهمکنش ژنوتیپ × محیط (خطی) معنی‌دار بود که واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در پاسخ به شرایط محیطی را

جدول ۴- تجزیه واریانس پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کنجد به روش ابرهات و راسل

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
Source of Variation	df	SS	MS
کل	415	178472233.20	430053.57
Total			
ژنوتیپ	103	63869531.42	620092.53**
Genotype			
محیط + (ژنوتیپ × محیط)	312	114602701.78	367316.35**
ENV + (GEN × ENV)			
محیط (خطی)	1	37661660.25	37661660.25**
Environment (linear)			
ژنوتیپ × محیط (خطی)	103	30501538.68	296131.44**
Gen × Env(linear)			
انحراف از رگرسیون	208	46439502.84	223266.84**
Pooled deviation			
خطای ادغام شده	412	18364289.47	44573.51
Pooled error			

\*\* : معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

\*\* : Significant at 0.01 probability levels

متوسط). ژنوتیپ G61 در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها با ضریب رگرسیون بیشتر از یک ( $bi=1.82$ ) و میانگین عملکرد ( $g = 991$ ) کمتر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها ( $X=1079$ )، ژنوتیپی دارای پایداری کمتر از متوسط و سازگاری خصوصی به محیط‌های مساعد تشخیص داده شد. علت این امر به خاطر پتانسیل بالای ژنوتیپ SG90154-44 (G61) در شرایط مساعد می‌باشد، در واقع این ژنوتیپ در محیط‌های با آبیاری کامل و حاصلخیزی بالا می‌تواند پتانسیل بالای عملکرد خود را بروز دهد.

مقادیر رگرسیونی پایین‌تر از یک توصیفی از مقاومت بیشتر به تغییرات محیطی می‌باشند (بالای پایداری متوسط) و بنابراین سازگاری اختصاصی به محیط‌های نامساعد افزایش می‌یابد (Fasahat et al., 2015, 2016). ژنوتیپ G46، دارای ضریب رگرسیون کمتر از یک ( $bi=0.76$ ) و میانگین عملکرد ( $g = 1923$ ) بیشتر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها ( $X=1079$ ) بود، بنابراین پایداری آن بیشتر از متوسط بود، ولی به محیط‌های مساعد واکنش ضعیف نشان می‌داد. استفاده از ضریب رگرسیون جهت مقایسه نسبی پایداری بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، به‌عنوان معیار مناسب معرفی می‌گردد (Lin et al., 1986).

سهم هر ژنوتیپ و محیط به‌وسیله متوسط مربعات انحرافات یا انحراف از رگرسیون میانگین ژنوتیپ‌ها بر روی شاخص

ژنوتیپ‌هایی که ضریب تغییرات پایین‌تری از خود نشان دهند، پایدار محسوب می‌شوند (Francis and Kannenberg, 1978). مقایسه پایداری ژنوتیپ‌ها با روش‌های پایداری واریانس و ضریب تغییرات محیطی نشان داد که ژنوتیپ‌های G101، G46، G19، G76، G27، G34، G98، G6، G83، G102، G57، G80، G30، G88، G32، G59 و G44 با کم‌ترین مقدار واریانس و ضریب تغییرات محیطی، بیشترین پایداری عملکرد دلنه را دارا هستند (جدول ۵). لازم به ذکر است که یکی از معایب این دو روش این است که معمولاً ارقام کم محصول که تغییرات کمتری نشان می‌دهند به‌عنوان رقم پایدار معرفی می‌گردند (Francis and Kannenberg, 1978).

در مدل پایداری ابرهات راسل، ضریب رگرسیون برابر یک همراه با انحراف از رگرسیون برابر صفر و میانگین عملکرد بالا نشان‌دهنده پایداری و سازگاری عمومی مطلوب می‌باشد (Eberhart and Russell, 1966). در مقابل زمانی که با عملکرد دانه پایین همراه باشند ژنوتیپ‌ها سازگاری ضعیفی به‌تمامی محیط‌ها دارند. در این تحقیق دامنه نوسانات ضرایب رگرسیونی از  $-0.81$  تا  $3.21$  متغیر بود که بیانگر تفاوت در پاسخ ژنوتیپ‌ها به تغییرات محیطی می‌باشد (جدول ۵).

ضرایب رگرسیونی بیش از یک تخمین‌کننده ژنوتیپ‌هایی با حساسیت بالا به تغییرات محیطی می‌باشند (زیر پایداری

Mohammadi *et al.*, ) گلرنگ (Mostafavi *et al.*, 2018)، باقلا (Sheikh *et al.*, 2021) گزارش شده است. بنابراین از ژنوتیپ‌های منتخب این آزمایش می‌توان در مطالعات تکمیلی و در نهایت برای کشت در مناطق هدف استفاده کرد. با استفاده از شش عامل میانگین عملکرد، واریانس و ضریب تغییرات محیطی، ضریب رگرسیون، واریانس انحراف از خط رگرسیون و ضریب تبیین، ژنوتیپ‌های G14، G19، G42، G80، G46، G69، G44 و G43 با میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل، ضریب رگرسیون نزدیک به یک، واریانس و ضریب تغییرات محیطی پایین، واریانس انحراف از خط رگرسیون کم‌تر و ضریب تبیین بالا، از ژنوتیپ‌های پر محصول با عملکرد پایدار بودند.

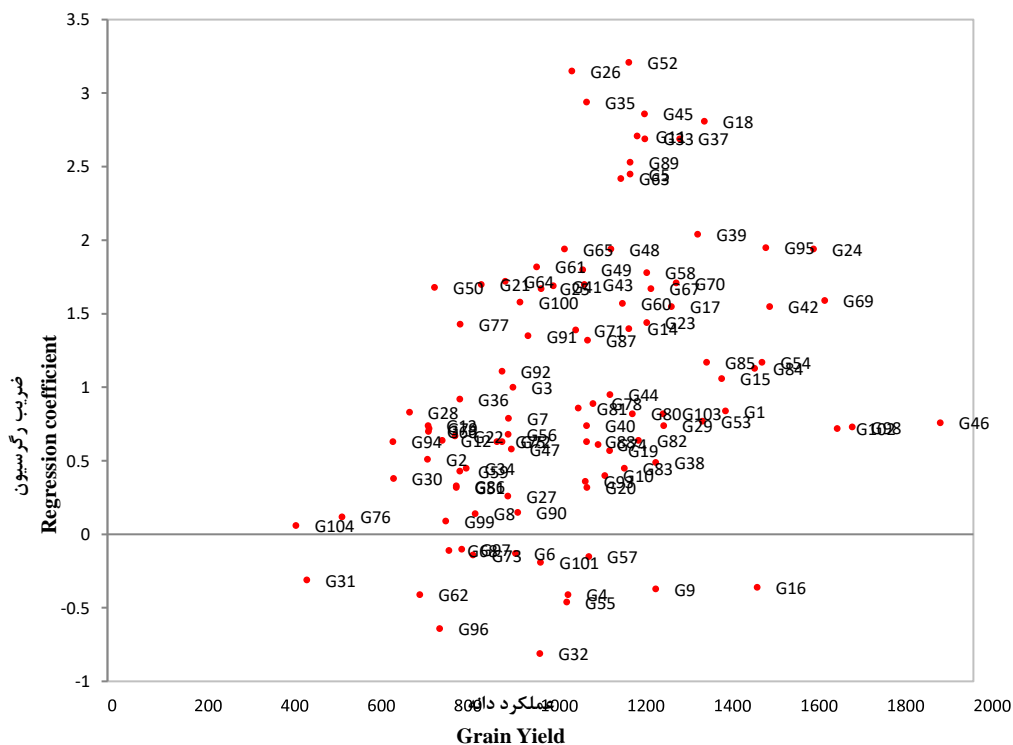
اکووالانس ریک، سهم هر ژنوتیپ در مجموع مربعات برهمکنش ژنوتیپ  $\times$  محیط (GE) را نشان می‌دهد و مقدار پایین این آماره، بیان‌گر پایدار بودن آن ژنوتیپ است (Wricke, 1962). بر اساس روش پیشنهادی شوکلا، هرچه مقدار واریانس پایداری شوکلا کم‌تر باشد، رقم یا ارقام پایدارتر هستند (Shukla, 1972). ژنوتیپ‌های G3، G28، G80، G92، G44، G14، G19، G46، G13، G22، G12، G85، G42، G36، G34، G23، G30، G69، G66، G88، G64، G59 و G43 دارای کم‌ترین مقدار اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا می‌باشند و در نتیجه پایدارترین ژنوتیپ‌ها محسوب می‌شوند و از طرفی این ژنوتیپ‌ها به‌جز G3، G12، G13، G22، G28، G30، G34، G36، G59، G64، G66 و G92 دارای عملکردی بالاتر از میانگین هستند که می‌توان گفت نسبت به محیط‌های مختلف سازگاری عمومی دارند و برای اکثر مناطق توصیه می‌شوند (جدول ۵). ژنوتیپ‌های G9، G26، G39، G52، G55، G35، G71، G16، G45، G48 و G18 با بالاترین مقدار اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا در بین ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی ناپایدارتر بودند. نتایج حاصل از بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها بر پایه واریانس برهمکنش شوکلا و اکووالانس ریک کاملاً یکسان بوده و بیان‌گر تشابه این دو پارامتر در تعیین ژنوتیپ‌های پایدار می‌باشد. همان‌طور که در تحقیقات دیگر مشابه بودن نتایج دو آماره اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا بیان گردید، مشابه بودن آماره‌های درون یک گروه مورد انتظار می‌بود (Lin *et al.*, 1986; Karimizadeh *et al.*, 2006). مطالعه‌ای که در جهت برآورد پارامترهای پایداری برای

محیطی توضیح داده می‌شود. بر اساس روش واریانس انحراف از خط رگرسیون، هرچه مقدار واریانس انحراف نزدیک به صفر یا حداقل باشد ژنوتیپ‌ها پایدارتر هستند. ژنوتیپ‌های G39، G71، G9، G93، G70، G55، G48، G29، G54، G1، G16 و G15 بالاترین انحراف از خط رگرسیون را داشتند که حاکی از ناپایدار بودن عملکرد آن‌ها در بین ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی بود (جدول ۵). ژنوتیپ‌های G14، G19، G42، G32، G65، G64، G101، G28، G34، G76، G80، G30، G3، G92، G58، G46، G69، G44، G13، G43، G12، G22، G21 و G31 کمترین انحراف از خط رگرسیون را دارا بودند که بیانگر پایداری عملکرد دانه این ژنوتیپ‌ها می‌باشد (طبق پارامتر انحراف از خط رگرسیون). در بررسی پایداری عملکرد دانه ۳۶ ژنوتیپ کنجد، ژنوتیپ شماره ۱۰ (توده بومی از منطقه حاجی آباد هرمزگان) با ضریب رگرسیون معادل یک، کم‌ترین واریانس انحراف از خط رگرسیون و میانگین عملکرد مطلوب به‌عنوان ژنوتیپ پایدار در جایگاه مناسبی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها قرار گرفت و می‌توان از پتانسیل آن در برنامه‌های اصلاحی آتی استفاده نمود (Masoudi *et al.*, 2020). در بررسی پایداری عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های زمستانه کلزا به روش ابره‌ارت و راسل، ژنوتیپ‌های SW103، HW101، Karaj1، SW101، L183 و Karaj2 با داشتن میانگین عملکرد بیشتر، ضریب رگرسیون معادل یک و واریانس انحراف از خط رگرسیون غیرمعنی دار، به‌عنوان لاین‌های پر محصول و پایدار معرفی شدند (Jafari *et al.*, 2015).

میزان ضریب تبیین در دامنه ۰/۰۱ در ژنوتیپ‌های G8، G68، G73، G90، G97، G99 و G104 تا یک در ژنوتیپ‌های G14 و G42 قرار داشت که در آن میانگین عملکرد دانه با واکنش ژنوتیپ‌ها در تمامی محیط‌ها بیان می‌شود (جدول ۵)؛ بنابراین از نظر این شاخص، ژنوتیپ G14، G42، G19، G65، G64، G58، G37، G43، G69، G32، G21، G11، G28، G52، G92، G3، G33، G23، G25، G80، G24، G26 و G45 پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند و ژنوتیپ‌های G8، G68، G73، G90، G97، G99، G104، G93، G57 و G9 کم‌ترین پایداری عملکرد را در محیط‌های آزمایشی داشتند. مفید بودن این معیار برای گزینش ژنوتیپ‌های پایدار کنجد (Daba *et al.*, 2014; Mekonnen *et al.*, 2015; Raikwar, 2016;

عملکرد دانه را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارا می‌باشند (Daba *et al.*, 2014). در مطالعه‌ای روی تعدادی از لاین‌های گلرنگ اثر معنی‌دار ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط خطی را مشاهده شد و لاین LRV.51.51 به‌عنوان یک ژنوتیپ پایدار معرفی گردید (Sharrifmoghaddasi and Omiditabrizi, 2010). در بررسی که به‌منظور پایداری عملکرد شکر در هیبریدهای چغندرقد انجام گرفت مشخص شد که بر اساس روش ضریب رگرسیونی، انحراف از رگرسیون، واریانس برهمکنش شوکلا، اکووالانس ریک، واریانس درون مکانی، ضریب تغییرات، روش ضریب تبیین و رگرسیون تای، ژنوتیپ G2 مناسب‌ترین ژنوتیپ از نظر پایداری عملکرد شکر است (Fasahat *et al.*, 2020). تحقیق دیگری که جهت تجزیه پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های گلرنگ با توجه به ۷ آماره پایداری شامل واریانس محیطی، ضریب تغییرات محیطی، اکووالانس ریک، واریانس پایداری شوکلا، ضریب رگرسیون فیلی و ویلکینسون و انحراف معیار انحراف از خط رگرسیون انجام پذیرفت. ژنوتیپ‌های ۳ (PI251268) به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و سازگار برای مناطق مورد مطالعه معرفی شدند (Mohammadi *et al.*, 2015).

انتخاب ارقام برتر انجام گرفت، گزارش شد روش ریک و شوکلا برای معرفی ارقام پایدار و پر محصول به‌عنوان معیارهای پایداری مخصوصاً در شرایط دیم مناسب‌تر می‌باشند (Roostaei *et al.*, 2014). به‌منظور تعیین ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد دانه بالا با استفاده از ضریب رگرسیون، موقعیت ژنوتیپ‌ها برحسب میانگین عملکرد دانه (محور افقی) و ضریب رگرسیون خطی (محور عمودی) در محورهای دوبعدی ترسیم گردید (شکل ۱). با توجه به شکل ۱، ژنوتیپ‌هایی که روی خط  $b=1$  قرار گرفته‌اند بالاترین سازگاری عمومی را دارند؛ بنابراین ژنوتیپ‌های G85, G84, G1, G103, G80, G15, G44, G78, G81, G3 و G54 به‌خاطر داشتن عملکرد بالاتر از متوسط کل و ضریب رگرسیون معادل یک مورد توجه قرار گرفتند و می‌توان گفت سازگاری عمومی مطلوبی دارند. تحقیقات مشابهی در مورد بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه با استفاده از روش‌های مختلف پایداری تک متغیره در گیاهان صورت گرفته و منجر به شناسایی و معرفی ارقام جدید شده است. در این راستا، با بررسی ۱۰ ژنوتیپ کنگد در چهار منطقه اتیوپی به مدت دو سال با استفاده از پارامترهای پایداری مشخص گردید که ژنوتیپ‌های EW002 و BG006 پایدارترین و بهترین



شکل ۱- نمودار پراکنش ژنوتیپ‌های کنگد برحسب عملکرد دانه و ضریب رگرسیون

Figure 1- Sesame genotypes distribution based on grain yield and coefficient of regression

جدول ۵- میانگین عملکرد دانه و پارامترهای پایداری اندازه‌گیری شده برای ۱۰۴ ژنوتیپ کنجد در ۴ محیط

**Table 5- Mean grain yield and stability parameters estimated for 104 sesame genotypes across four environments**

شماره ژنوتیپ Genotype No.	میانگین Mean	واریانس محیطی ( $S_e^2$ )	ضریب تغییرات محیطی (CV)	اکووالانس ریک ( $Wi^2$ )	واریانس پایداری شوکلا ( $\sigma_e^2$ )	ضریب رگرسیون ( $b_i$ )	ضریب تبیین ( $R^2$ )	واریانس انحراف از خط رگرسیون ( $Sd_e^2$ )
G1	1427	236076.6	34.05	585309.90	197667.72	0.84	0.18	268034.1
G2	739	62975.0	33.94	185909.78	61951.55	0.51	0.25	48782.49
G3	936	66659.5	27.58	19931.97	5552.29	1.00	0.90	-12321.5
G4	1063	110405.7	31.25	661825.51	223667.72	-0.41	0.09	127883.2
G5	1207	511090.7	59.25	827184.22	279856.61	2.45	0.71	201009.5
G6	942	23435.5	16.24	299070.91	100403.71	-0.13	0.04	11295.78
G7	926	169332.4	44.42	404278.49	136153.24	0.79	0.22	175722.4
G8	849	93125.2	35.96	409166.17	137814.08	0.14	0.01	115586
G9	1266	256211.1	39.98	1084590.67	367323.32	-0.37	0.03	349468.4
G10	1148	165596.4	35.45	531969.33	179542.59	0.40	0.06	211415.2
G11	1223	478564.3	56.58	636364.53	215016.08	2.71	0.92	32007.2
G12	773	35084.2	24.23	54528.13	17308.07	0.64	0.70	-6751.06
G13	740	43280.7	28.13	41379.65	12840.22	0.74	0.77	-7516.98
G14	1204	117889.4	28.53	28785.37	8560.68	1.40	1.00	-22173
G15	1418	245142.7	34.91	531414.02	179353.89	1.06	0.28	243056.7
G16	1500	190005.6	29.06	880760.80	298061.93	-0.36	0.04	251112.2
G17	1302	241050.7	37.70	342738.77	115242.05	1.55	0.60	121648.2
G18	1378	555455.1	54.08	829245.68	280557.09	2.81	0.86	95201.73
G19	1159	19605.0	12.08	34478.45	10495.19	0.57	0.99	-22005.5
G20	1107	83824.3	26.15	317551.62	106683.45	0.32	0.07	94321.83
G21	863	187878.9	50.21	127448.94	42086.56	1.70	0.93	-3495.72
G22	802	38288.1	24.38	52707.69	16689.48	0.67	0.71	-5694.13
G23	1245	141173.3	30.19	81399.95	26439.11	1.44	0.89	506.382
G24	1630	261901.5	31.39	264181.30	88548.22	1.94	0.87	29783.7
G25	1001	189935.5	43.54	147410.37	48869.45	1.67	0.88	11211.7
G26	1072	689735.8	77.46	1110320.98	376066.48	3.15	0.87	115204.2
G27	924	19525.6	15.12	147134.56	48775.73	0.26	0.20	1093.736
G28	697	45734.8	30.68	16538.76	4399.28	0.83	0.92	-16535.9
G29	1284	245376.1	38.58	647505.00	218801.61	0.74	0.14	295566.2
G30	660	14395.0	18.17	85081.34	27690.05	0.38	0.62	-14065.2
G31	460	18510.3	29.61	349421.41	117512.81	-0.31	0.32	-3309.11
G32	998	42294.5	20.60	602566.41	203531.48	-0.81	0.94	-18767.5
G33	1241	487457.4	56.28	667509.96	225599.29	2.69	0.90	51378.74
G34	828	16608.7	15.56	68234.10	21965.36	0.45	0.73	-15638.9
G35	1106	622879.2	71.35	986415.58	333963.42	2.94	0.84	131527.5
G36	813	71573.3	32.92	60989.85	19503.76	0.92	0.72	7692.307
G37	1321	461651.3	51.42	591570.19	199794.96	2.69	0.95	14660.3
G38	1266	115065.0	26.79	347121.11	116731.16	0.49	0.13	128156.5
G39	1363	565247.0	55.17	1139376.79	385939.65	2.04	0.44	450165.4
G40	1106	152188.3	35.26	370057.91	124525.09	0.74	0.22	156569.5
G41	1029	255258.2	49.10	333604.29	112138.15	1.69	0.68	100985.9
G42	1529	145601.2	24.95	56767.11	18068.87	1.55	1.00	-21234.1
G43	1101	185063.1	39.08	119742.58	39467.94	1.70	0.95	-7088.34
G44	1160	63967.3	21.80	28012.95	8298.21	0.95	0.86	-8483.96
G45	1240	569312.9	60.83	853445.63	288780.24	2.86	0.87	91355.95
G46	1923	43359.6	10.83	34829.22	10614.38	0.76	0.81	-9956.22
G47	932	75899.1	29.55	198170.22	66117.65	0.58	0.27	60945.02
G48	1162	452687.3	57.92	835682.45	282744.31	1.94	0.50	315131.3
G49	1097	240901.4	44.74	251706.27	84309.20	1.80	0.81	45534.48
G50	755	268587.4	68.61	376990.80	126880.89	1.68	0.64	123849.7

ادامه جدول ۵- میانگین عملکرد دانه و پارامترهای پایداری اندازه‌گیری شده برای ۱۰۴ ژنوتیپ کنجد در ۴ محیط

114074.7	0.06	0.32	119659.01	355737.48	38.72	97200.1	805	G51
73211.72	0.91	3.21	365412.94	1078968.59	68.88	687328.3	1204	G52
177391	0.21	0.77	137723.17	408898.63	29.91	168942.4	1374	G53
292033.7	0.28	1.17	214108.81	633694.52	35.75	291753.2	1511	G54
317094.1	0.05	-0.46	359922.57	1062810.95	46.10	238825.0	1060	G55
180684.6	0.17	0.68	143092.08	424698.84	43.66	163070.9	925	G56
31941.02	0.03	-0.15	116433.96	346246.47	17.41	37438.2	1111	G57
-10410	0.96	1.78	44574.62	134771.08	35.91	199798.7	1245	G58
7775.093	0.35	0.43	39451.84	119695.20	21.66	31015.4	813	G59
30492.41	0.81	1.57	54973.21	165373.15	36.18	184859.1	1189	G60
152789.1	0.63	1.82	159117.39	471859.86	56.78	316608.0	991	G61
21434.77	0.26	-0.41	151145.34	448398.84	27.52	39388.5	721	G62
84104.31	0.83	2.42	195660.63	579403.23	55.02	425255.0	1185	G63
-18155.5	0.98	1.72	33749.52	102913.80	46.45	181934.9	918	G64
-18749.8	0.99	1.94	55224.68	166113.20	45.34	228856.6	1055	G65
17911.76	0.53	0.70	31503.93	96305.25	32.13	56677.2	741	G66
66290.6	0.74	1.67	86650.74	258597.21	38.00	227510.9	1255	G67
110925.4	0.01	-0.11	164793.98	488565.54	37.95	89507.3	788	G68
-9887.02	0.95	1.59	28617.38	87810.37	24.21	160834.3	1656	G69
321332.9	0.43	1.71	263125.05	777944.79	48.48	405106.7	1313	G70
432393.8	0.28	1.39	317135.22	936891.72	59.92	419721.3	1081	G71
222932.7	0.13	0.63	173667.29	514678.86	47.58	187748.5	911	G72
111742.5	0.01	-0.14	169149.10	501382.24	35.63	90455.6	844	G73
40386.54	0.35	0.61	50720.86	152858.89	22.38	64254.9	1133	G74
196155.7	0.14	0.63	155760.74	461981.56	45.78	169409.0	899	G75
-15262.5	0.15	0.12	51446.08	154993.14	13.72	5519.2	541	G76
114030.7	0.57	1.43	102579.44	305473.89	56.76	213586.7	814	G77
100654.7	0.37	0.89	83063.15	248039.26	32.16	129862.0	1121	G78
136881	0.23	0.72	111631.44	332113.08	50.05	137762.0	742	G79
-14075.4	0.88	0.82	6384.11	22379.93	17.67	45920.1	1212	G80
86199.52	0.38	0.86	73678.68	220421.63	31.48	117169.0	1087	G81
196369.7	0.15	0.64	155183.24	460282.00	33.70	170789.5	1226	G82
20834.43	0.30	0.45	46561.47	140618.18	16.99	41078.0	1193	G83
70608.7	0.55	1.13	62956.05	188865.93	24.96	139041.3	1494	G84
3164.519	0.83	1.17	17834.70	56077.96	22.80	99455.8	1383	G85
74109.03	0.09	0.33	92207.21	274949.37	33.01	70693.7	805	G86
110135.2	0.55	1.32	95222.84	283824.09	39.75	194045.4	1108	G87
14704.98	0.50	0.63	32145.42	98193.09	20.00	48947.4	1106	G88
90427.88	0.84	2.53	219391.03	649239.60	56.29	461445.3	1207	G89
144020.1	0.01	0.15	155802.36	462104.03	35.39	112308.8	947	G90
43258.64	0.71	1.35	50744.93	152929.72	40.34	153253.8	971	G91
-11424.4	0.91	1.11	6912.95	23936.25	31.37	81674.8	911	G92
324654.4	0.03	0.36	259445.49	767116.19	44.35	239292.1	1103	G93
70856.81	0.28	0.63	70467.04	210970.06	44.53	86110.4	659	G94
84252.35	0.76	1.95	126507.72	375892.62	36.05	300117.9	1520	G95
72202.28	0.28	-0.64	228631.58	676433.68	38.61	87774.2	767	G96
45034.26	0.01	-0.10	118989.83	353768.14	26.08	45485.3	818	G97
38621.68	0.44	0.73	44590.53	134817.89	15.70	72948.9	1720	G98
57863.79	0.01	0.09	103897.45	309352.68	29.74	53952.4	781	G99
14220.87	0.86	1.58	44242.66	133794.15	43.92	174889.7	952	G100
-16779.7	0.38	-0.19	90244.50	269173.30	7.71	5944.3	1000	G101
58783.69	0.37	0.72	58607.41	176068.27	17.36	85566.5	1685	G102
130552.5	0.28	0.82	104728.59	311798.64	29.37	142095.7	1283	G103
18430.52	0.01	0.06	80965.50	241866.05	38.01	27352.8	435	G104
450165.4	1	3.21	385939.7	1139377	77.46	689735.8	1923	حداکثر
-22173	0.01	-0.81	4399.28	16538.76	7.71	5519.2	435	حداقل

## نتیجه گیری کلی

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها حاکی از اثر معنی‌دار ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ × محیط بود که بیانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بود و از این‌رو، امکان تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها وجود داشت. بر اساس پارامترهای اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا پایین‌تر، ضریب رگرسیون معادل یک، کمترین واریانس لحنراف از خط رگرسیون، ضریب تبیین بالا و کم‌ترین میزان واریانس و ضریب تغییرات محیطی به همراه عملکرد بیش‌تر از میانگین کل، ارقام محلی جیرفت، محلی دزفول، TN78-84، SG90154-137، JL18(82)، SG90154-71 و TN78-369 و هلیل به‌عنوان ارقام پایدار انتخاب گردیدند. برخی از این ژنوتیپ‌ها، توده‌های بومی بوده و نوسانات کم‌تری را در محیط‌های مورد آزمون نشان دادند و از نظر میانگین عملکرد نیز در جایگاه مناسبی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها قرار دارند و می‌توان از پتانسیل آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی آتی بهره برد. همچنین پیشنهاد می‌گردد جهت بدست آوردن اطلاعات جامع‌تر و کامل‌تر در زمینه پایداری ژنوتیپ‌ها، آزمایشات در سال‌ها و مکان‌های مختلف

انجام شود و در صورت ایجاد شرایط تنش‌های مختلف دیگری نتایج مطلوب‌تری با صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌ها هم‌چون مطالعه حال حاضر بدست خواهد آمد.

## سپاس‌گزاری

از بنیاد ملی علوم ایران (INSF) به جهت تأمین هزینه‌های اجرایی تحقیق در قالب پروژه پژوهشی به شماره مصوب ۴۰۰۰۸۷۷ تشکر و قدردانی می‌گردد. هم‌چنین، این تحقیق توسط کمک‌هزینه پژوهشی (UOZ-GR-3014) دانشگاه زابل حمایت شده است. نویسنده اول از مدیر مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان و کارشناسان مراکز تحقیقاتی محل اجرای پروژه که در اجرای این پژوهش با مجری همکاری و مساعدت لازم را مبذول داشته‌اند، سپاس‌گزاری می‌کند.

## تعارض منافع

نویسندگان اظهار می‌نمایند که هیچ‌گونه تعارض منافی در رابطه با نشر این مقاله وجود ندارد.

## References

- Abate, M., 2015. Genotype × Environment analysis for seed yield and its components in sesame (*Sesamum indicum* L.) evaluated across diverse agroecology's of the awash valleys in Ethiopia. *Journal of Advanced Studies in Agricultural, Biological and Environmental Sciences (JABE)*, 2, pp.14.
- Akter, A., Hasan, M.J., Kulsum, M.U., Rahman, M.H., Paul, A.K., Lipi, L.F. and Akter, S., 2015. Genotype × environment interaction and yield stability analysis in hybrid rice (*Oryza sativa* L.) by AMMI biplot. *Bangladesh Rice Journal*, 19, pp.83-90. doi: 10.3329/brj.v19i2.28168
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. *Fao, Rome*, 300-309.
- Arshad, M., Bakhsh, A., Haggani, A.M. and Bashier, M., 2003. Genotype x Environment Interaction for grain yield in chick pea (*Cicer arietinum* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 35(22), pp.181-186.
- Baraki, F. and Gebremariam, G., 2018. Genotype × environment Interaction and Stability of Oil Content of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Genotypes in Northern Ethiopia. *Journal of Plant Breeding and Genetics*, 6, pp.57-65. doi: 10.5897/jco2018.0183
- Baraki, F., Tsehaye, Y. and Abay, F., 2016. Analysis of genotype x environment interaction and seed yield stability of sesame in Northern Ethiopia. *Journal Plant Breeding and Crop Science*, 8(11), pp.240-249. doi: 10.5897/jpbcs2016.0568

- Barati, A., Lakzadeh, I., Jabbari, M., Poudineh, O., Alt, J.J., Khanzadeh, G.A.H. and Kheirgoo, M., 2020. Selection of barley genotypes for warm regions of Iran using stability statistics and AMMI analysis. *Seed and Plant Journal*, 36(2), pp.223-240. [In Persian]. doi: **10.22092/spi.2020.123206**
- Ceccarelli, S., Grando, S. and Booth, R.H., 2006. International Breeding program and resource-poor farmers. *Crop Improvement in Difficult Environments*, 4, pp.26-29.
- Daba, C., Ayana, A., Zeleke, H. and Wakjira, A., 2014. Association of stability parameters and yield stability of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes in Western Ethiopia. *East African Journal Science*, 8(2), pp.125-134.
- Dashtaki, M., Yazdan Sepas, A., Najafi Mirak, T., Ghanadha, M.R., Jokar, R., Eslampour, M., Moaiedi, A., Kochaki, A., Nazeri, M., Abedi Oskoie, M. and Aminzadeh, Gh., 2004. Stability of grain yield and harvest index in winter and facultative bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Seed and Plant Improvement Journal*, 20, pp.263-279. [In Persian].
- Eberhart, S.A. and Russell, W.A., 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6, pp.36-40.
- Farrokhi, A. and Ahmadi, M.R., 1998. Comparison of different of stability parameters on sesame varieties of north of Iran. *Iranian Journal Agriculture Science*, 29(2), pp.275-283. [In Persian].
- Fasahat, P., Khayamim, S., Soltani Idliki, J., Darabi, S., Pedram, A., Hasani, M., Jalilian, A. and Babaei, B., 2020. Stability analysis of genotype  $\times$  environment interaction effect on sugar yield in sugar beet hybrids. *Journal of Crop Breeding*, 32(11), pp.33-40. [In Persian]. doi: **I:10.29252/jcb.11.32.33**
- Fasahat, P., Rajabi, A., Rad, J.M. and Derera, J., 2016. Principles and utilization of combining ability in plant breeding. *Biometrics & Biostatistics International Journal*, 4(1), pp.1-24. doi: **10.15406/bbij.2016.04.00085**
- Fasahat, P., Rajabi, A., Mahmoudi, S.B., Noghabi, M.A. and Rad, J.M., 2015. An overview on the use of stability parameters in plant breeding. *Biometrics & Biostatistics International Journal*, 2(5), pp.1-11. doi: **10.15406/bbij.2015.02.00043**
- Francis, T.R. and Kannenberg, L.W., 1978. Yield stability studies in short-season maize. *Canadian Journal of Plant Science*, 58, pp.1029-1034.
- Gauch, H.G., 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*, 46(4), pp.1488-1500.
- Gebeyehu, C., Bulti, T., Dagnachew, L. and Kebede, D., 2019. Additive Main Effect and Multiplicative Interactions (AMMI) and Regression Analysis in Sorghum Varieties. *Journal Applied Bioscience*, 136, pp.13868-13877. doi: **10.4314/jab.v136i1.4**
- Gheysari, M., Mirlatifi, S.M. and Homaei, M., 2009. Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates. *Agricultural Water Management*, 96, pp.946-954.
- Hayward, A.D., Bosemark, N.O. and Romagosa, I., 1993. Plant Breeding. *Chapman and Hall*, U.K. 576 pp.
- Jafari, M., Zakarya, R.A., Alizadeh, B., Sofalyan, O. and Zare, N., 2015. Study of seed yield stability in winter rapeseed (*Brassica napus*) genotypes using Eberhart and Russell's method. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 45(4), pp.220-231. [In Persian]. doi: **10.22059/ijfcs.2014.53568**
- Karimizadeh, R., Dehghani, H. and Dehghanpour, Z., 2006. Using cluster analysis for stability of maize hybrids. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, 10(3), pp.337-348. [In Persian].

- Lin, C.S., Binns, M.R. and Lefkovitch, L.P., 1986. Stability analysis where do we stand. *Crop Science*, 26, pp.894-899.
- Masoudi, B., Abbasali, M., Aien, A. and Saif Amiri, S., 2021. Evaluation of sesame yield stability using statistical parameters and GGE biplot graphical methods. *Crop Production*, 3(13), pp.71-84. doi: **10.22069/ejcp.2021.17753.2306**
- Mekonnen, M., Mekbib, F. and Wakjira, A., 2015. Genotype  $\times$  environment interaction on sesame (*Sesamum indicum* L.) seed yield. *African Journal of Agricultural Research*, 10, pp.2226-2239.
- Mohammadi, M., Sharifi, P. and Karimizadeh, R.A., 2015. Stability analysis of seed yield of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Crop Breeding*, 16(7), pp.323-335.
- Mostafavi, M.J., Nassiri Mahallati, M. and Koocheki, A.R., 2018. Regression and path analysis of the relationship between seed yield and the most important yield components of sesame. *Plant Products Technology*, 18(2), pp.145-156. [In Persian].
- 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, pp.1013-1018. doi: **10.1080/13102818.2020.1816216**
- Oz, M., 2018. Yield and stability analysis of some sesame (*Sesamum indicum*) genotypes in Turkey. *International Journal of Agriculture and Biology*, 20(4), pp.821-825. doi: **10.17957/ijab/15.0569**
- Perkins, J.M. and Jinks, J.L., 1968. Environment and genotype-environment components of variability. *Heredity*, 23, pp.339-356.
- Raffi, S.A., Newaz, M.A. and Khan, N., 2004. Stability analysis for pod and seed production in dry bean. *Asian Journal of Plant Science*, 3, pp.239-242.
- Raikwar, R.S., 2016. Stability for grain yield and its contributing traits in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 7, pp.1033-1039.
- Roostaei, M., Mohammadi, R. and Amri, A., 2014. Rank correlation among different statistical models in ranking of winter wheat genotypes. *The Crop Journal*, 2, pp.154-163. doi: **10.1016/j.cj.2014.02.002**
- Sharifi-Alhosseini, M. and Taherian, M., 2018. Identification of drought tolerant barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) using drought tolerance indices. *Applied Field Crops Research*, 31(4), pp.90-105. [In Persian]. doi: **10.22092/aj.2019.121794.1293**
- Sharrifmoghaddasi, M. and Omidtabrizi, A.H., 2010. Stability analysis of seven Iranian winter safflower cultivars. *World Applied Sciences Journal*, 8, pp.1366-1369.
- Sheikh, F., Sharifi, P., Asteraki, H., Miri, K. and Sekhavat, R., 2021. Evaluation stability of seed yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes by parametric and non-parametric methods. *Journal of Crop Production*, 14(3), pp.125-144. doi: **10.22069/ejcp.2022.18908.2411**
- Shukla, G.H., 1972. Some statistical aspects for partitioning genotype-environment component of variability. *Heredity*, 29, pp.237-245.
- Wricke, C., 1962. Uber eine method Zur Er fassung der Ologischen sterubreite in feld versuchen. *Pflanzuecht*, 47, pp.92-96.

## Investigation of compatibility of internal and external sesame germplasm

Morvarid Rezaei Nia<sup>1</sup>, Nafiseh Mahdi Nezhad<sup>2\*</sup>, Fatemeh Ebrahimi<sup>3</sup>, Ahmad Aien<sup>4</sup>, Barat Ali Fakheri<sup>2</sup>, Abbasali Emamjomeh<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ph.D Graduate in Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

<sup>2</sup> Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

<sup>3</sup> Research & Technology Institute of Plant Production, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

<sup>4</sup> South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Jiroft, Iran

\*Corresponding Author: [nmahdinezhad@uoz.ac.ir](mailto:nmahdinezhad@uoz.ac.ir)

Received: 12 January 2023

Accepted: 11 March 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.380822.1312

### Abstract

**Introduction:** Sesame (*Sesamum indicum* L.) is an important oilseed crop belonging to the Pedaliaceae family with high quality yield, which can be said to have originated in some developing countries in the world due to the need for labor, and high rural harvest. Sesame is an edible plant that contains odorless oil. In addition, it is also a good source of protein and fat for humans and pets.

Crops are grown underwater in dry and semi-arid regions where water pressure is great. Furthermore, it is sensitive to the dry season, mainly in the vegetative stage in all growing districts, and its production potential is low in semi-arid areas due to water stress. Since much of Iran's land is located in arid and semi-arid areas, this has led breeders to enhance water or drought tolerance traits, which is one of the main goals of the program crop improvement. However, genotype  $\times$  environment interaction poses a major challenge in studying quantitative traits because it reduces yield stability across different environments and also complicates the interpretation of genetic experiments, and makes prediction difficult. A stable genotype has performance that remains constant or little changed regardless of any changes in environmental conditions. Several stability analyzes have been proposed to determine the linear relationship between genotype and environment performance. Among these, Eberhart and Russell (1966) proposed a method in which the environmental index is the average performance of all inputs in an environment. Therefore, further research into sesame's genetic differences and breeding is needed to progress and stabilize its yield under different environments. These findings may be applicable in detecting how sesame genetic resources may be used to develop novel cultivars suited to dry settings or enhance remaining cultivars.

**Materials and Methods:** In this regard to analyze genotype  $\times$  environment interaction and determine the grain yield stability of 104 sesame genotypes in the tropics and subtropical climates of Iran, an alpha lattice design with two replications during 2019 in two stations, including Kerman and Jiroft were evaluated under two conditions, normal irrigation, and drought stress at the end of the season (irrigation interruption in 50% of flowering). Then, the univariate statistics of regression coefficient (bi), mean squares of deviation from regression (Sdi<sup>2</sup>), Shukla's stability variance ( $\sigma_i^2$ ), Wricke's ecovalence (Wi<sup>2</sup>), Environmental variance (Si<sup>2</sup>), determination coefficient values (R<sup>2</sup>) and coefficient of variability (C.V) were used to evaluate the stability of the grain yield of genotypes.

**Results and Discussion:** Combined analysis of variance showed that the effects of genotype, environment  $\times$  genotype and genotype  $\times$  environment linear on grain yield were significant, suggesting that genotypes differ in response to changes in environment. In order to study the interactions of genotype  $\times$  environment more precisely and to determine genotypes with stable and high yields, different stability parameters were calculated for each genotype. Calculating stability parameters showed that genotypes G14, G19, G42, G80, G46, G69, G44, and G43 were recognized as genotypes with stable yield and suitable adaptation, respectively.

**Conclusion:** Different parametric and non-parametric stabilization procedures can be proposed to select drought-tolerant genotypes under different environmental conditions; these procedures can be used to identify the best genotypes under drought conditions. Therefore, yield stability analysis can

be used in combination with parametric and non-parametric methods to evaluate and identify drought-tolerant genotypes. In this research, the studied genotypes indicated various environmental responses and proved a high genetic ability to adapt to water-deficient stress conditions. According to the findings of this research, the genotypes Jiroft local cultivar, Dezful local cultivar, TN78-84, SG90154-137, JL18 (82), SG90154-71, TN78-369, and, Halil had the best at adapting to environments with water stress. Therefore, according to the above analysis results, these genotypes can be introduced to low-water areas of Iran.

**Keywords:** Eberhart and Russel method, Drought stress, Grain yield, Stability parameters