

## Investigation of genotype $\times$ environment interaction using GGE biplot method on grain yield in sesame

Hossein Movahedi<sup>1</sup>, Khodadad Mostafavi<sup>2</sup>, Majid Shams<sup>\*3</sup>, Ahmad Reza Golparvar<sup>3</sup>.

1,3,4. Department of Plant Breeding, Agriculture Faculty, Islamic Azad University of Khorasgan, Isfahan, Iran.

2. Department of Agronomy and Plant Breeding, Islamic Azad University of Karaj, Karaj, Iran.

(Received: November 18, 2020 - Accepted: February 14, 2021)

### ABSTRACT

Sesame is one of the most important oil, industrial and medicinal plants that is cultivated in a large area of tropical and subtropical regions. In this study, fifteen sesame genotypes are cultivated to identify the superior genotypes in terms of yield and stability (minimum environmental impact) in four locations (Arak, Birjand, Karaj, and Shiraz) for two years. In combine variance analysis, effect of location, genotype and interaction effect of location  $\times$  genotype were not significant. The first and second main components of bipod analysis explained 84.06% and 8.40% (92.46% in total), of environment derived changes on genotypes, respectively. According to the plots, Arak, Birjand, and Shiraz genotypes had a high correlation in term of grain yield. The best genotypes in Arak, Birjand, Karaj, and Shiraz were Darab 14, Safiabad 1, local Ahvaz, and local Isfahan. Also the Karaj location, Fars local cultivar, Khondab local cultivar, and Darab 1 were evaluated as superior. In general, Safiabad 1 and local Khondab were the best genotypes terms of yield and high stability. In contrast, TS-3 and Yellow White genotypes received the most impact from their environment, in addition to low yield. Environment had the least and most impact on Shiraz and Birjand genotypes. Finally, the study area of this experiment were divided into two megaenvironments : Arak, Birjand and Shiraz megaenvironment and Karaj megaenvironment.

**Keywords:** Compatibility, effect, environment, genotype, grain yield stability, multi-dimensional, GGE biplot.

### مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط با استفاده از روش بای پلات GGE برای عملکرد دانه در کنجد

حسین موحدی<sup>۱</sup>، خداداد مصطفوی<sup>۲</sup>، مجید شمس<sup>\*۳</sup>، احمدرضا گل پرور<sup>۳</sup>

۱-۳- به ترتیب دانش آموخته، دانشیار گروه ژنتیک و به نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان،

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۲۸ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۶)

### چکیده

کنجد یکی از گیاهان مهم روغنی، صنعتی و دارویی است که به خصوص در سالیان اخیر، بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است و در سطح وسیعی از مناطق گرمسیر و نیمه گرمسیر کشت می شود. در تحقیق حاضر، ۱۵ ژنوتیپ کنجد برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد و پایداری در چهار منطقه شامل اراک، بیرجند، کرج و شیراز طی دو سال مورد بررسی قرار گرفتند در تجزیه واریانس مرکب، اثرات مستقیم مکان، ژنوتیپ و همچنین اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  مکان غیرمعنی دار بود. دو مؤلفه اصلی اول و دوم در تجزیه بای پلات، به ترتیب ۸۴/۰۶ و ۸/۴۰ (مجموع ۹۲/۴۶) درصد از تغییرات ناشی از تاثیر محیط بر روی ژنوتیپ‌ها را توجیه نمودند. بر اساس نمودارهای ترسیم شده و از نظر عملکرد دانه، ژنوتیپ‌ها در محیط‌های اراک، بیرجند و شیراز دارای همبستگی بالایی با یکدیگر بودند. ژنوتیپ‌های برتر در مکان‌های اراک، بیرجند و شیراز به ترتیب داراب ۱۴، صفی آباد ۱، محلی اهواز و محلی اصفهان بودند. همچنین در کرج، ژنوتیپ‌های محلی فارس، محلی خنداب و داراب ۱ برتر ارزیابی شدند. در مجموع دو ژنوتیپ صفی آباد ۱ و محلی خنداب، برترین ژنوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد و پایداری بالابودند. در مقابل، دو ژنوتیپ TS-3 و Yellow White علاوه بر عملکرد پائین، بیشترین تاثیر را از محیط خود پذیرفته بودند. ژنوتیپ‌ها در محیط شیراز و بیرجند، به ترتیب حداقل و حداکثر تاثیرپذیری از محیط را داشتند. در نهایت، مناطق مورد بررسی این آزمایش، به دو ابر محیط اراک، بیرجند و شیراز و ابر محیط کرج تقسیم شدند.

**واژه‌های کلیدی:** اثر متقابل، پایداری عملکرد دانه، چند وجهی، ژنوتیپ، سازگاری، محیط، GGE biplot.

## مقدمه

بالایی در محیط‌های مختلف می‌باشند، از ثبات عملکرد دانه کمتری برخوردارند و پایداری پائینی دارند (Agaei, 1993). وجود اثر متقابل ژنوتیپ با محیط، سبب کاهش پایداری عملکرد ارقام در برخی از محیط‌ها می‌شود (Pham & Kang, 1988). این اثر سبب بروز تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای بین تظاهر ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف شده و باعث کاهش ارتباط بین بروز صفات فنوتیپی و مقادیر ژنوتیپی صفات می‌شود (DeLacy *et al.*, 1990). اگر اثر متقابل ژنوتیپ و محیط باعث تغییر در رتبه ژنوتیپ‌ها نشود، قابل چشم‌پوشی است، اما تغییر رتبه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف باید مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد (Raiger & Prabhakaran, 2001). اثر متقابل ژنوتیپ با محیط برای پژوهشگران علوم اصلاح نباتات دارای اهمیت ویژه‌ای است و یکی از مسائل پیچیده برنامه‌های به‌نژادی برای تهیه ژنوتیپ پر محصول و پایدار به شمار می‌رود (Cornelius & Crossa, 1999; Yan *et al.*, 2007). وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، باعث کاهش بازده روش‌های اصلاحی و سودمندی وسعت کشت ژنوتیپ‌های اصلاح می‌شود و محققین را وادار می‌سازد تا برای مکان‌های مختلف، ژنوتیپ‌های متفاوتی را اصلاح و جهت کشت معرفی نمایند (Becker & Leon, 1988). همچنین وجود تفاوت‌های قابل ملاحظه بین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، سبب کاهش میزان اثر ژنوتیپ می‌شود (DeLacy *et al.*, 1990; Abdollahi Nezhad *et al.*, 2005). اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، یکی از عوامل کند کننده برنامه‌های اصلاح و آزادسازی ارقام در مناطق مختلف است (Kang, 1997). نتیجه‌گیری از آزمایشات به‌نژادی و به‌زرعی، بدون شناخت و بررسی دقیق اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، دارای اعتبار چندانی نمی‌باشد. یکی از روش‌های کاهش اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، روش انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار است، به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های منتخب، حداقل تاثیرپذیری را از محیط دارند (Sadegh Zadeh Ahari *et al.*, 2005).

کنجد (*Seasamum indicum* L.) گیاهی یکساله، دولپه‌ای و پیوسته گلبرگ<sup>۱</sup>، متعلق به راسته کاسنی‌داران<sup>۲</sup> و خانواده کنجدها<sup>۳</sup> می‌باشد که ارتفاع آن در حدود یک متر است. این خانواده دارای ۱۶ جنس و حدود ۶۰ گونه است. گل‌ها در این گیاه به‌طور منفرد و در کناره برگ‌های قسمت انتهایی ساقه قرار گرفته است و شامل قطعات پنج تایی به هم پیوسته می‌باشد و تعداد پرچم‌ها در آن چهار عدد است. میوه کنجد به صورت کپسول و محتوی دانه‌های کوچک مسطح و بیضوی است که به دلیل دارا بودن روغن قابل استخراج، تنها بخش مورد استفاده گیاه است. سیستم ریشه‌ای کنجد، کاملاً رشد یافته است که سبب مقاومت به خشکی و سازگاری بالایی نسبت به تغییرات محیطی می‌شود (Wikipedia, 2017). از نظر ژنتیکی، تعداد کروموزوم‌های موجود در هر سلول کنجد برابر با  $2n=2x=26$  است (Nyongesa *et al.*, 2014). اصل و منشأ کنجد به هند و قاره آفریقا برمی‌گردد، اما نخستین دست نوشته‌های مربوط به این دانه به حدود ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح در تمدن آشوری تعلق دارد. بیشترین کاربرد کنجد، به‌صورت مصرف خوراکی و صنایع روغن‌کشی بوده است و در صنعت داروئی نیز کاربرد دارد (Shokohfar & Yaghoobi Nejad, 2012; Wikipedia, 2017). بر اساس آمار سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد، میانگین عملکرد کنجد در دنیا و ایران، به‌ترتیب ۸۰۳ و ۶۹۱ کیلوگرم در هکتار بوده است (FAOStat, 2018).

پایداری به تولید ثابت محصول (ثبات عملکرد) در مکان‌ها و سال‌های مختلف گفته می‌شود (Fernandez, 1991). هدف مراکز به‌نژادی، به‌دست آوردن ارقام با سازگاری وسیع، عملکرد بالا، پایدار و مقاوم به انواع تنش‌های محیطی، جهت استفاده در برنامه‌های اصلاحی و توزیع در میان کشاورزان است (Rajaram, 1983). ژنوتیپ‌هایی که دارای اثر متقابل

<sup>1</sup> - Sympetalae

<sup>2</sup> - Tubiflorae

<sup>3</sup> - Pedaliaceae

است و ژنوتیپ‌ها در محیط‌های دارای بردارهای بلندتر، از قابلیت تمایز بیشتری برخوردار می‌باشند (Yan & Kang, 2002; Baraki & Gebremariam, 2018). علاوه بر موارد فوق، با استفاده از این بای‌پلات می‌توان محیط‌های مختلف آزمایش را گروه‌بندی و ابرمحیط‌ها را مشخص نمود.

۲- انتخاب ژنوتیپ برتر جهت هر محیط: در این نمودار دورترین ژنوتیپ‌ها در بای‌پلات، به‌وسیله خطوطی به هم متصل و یک چند ضلعی تشکیل می‌دهند. بر هر ضلع، یک خط عمود از مبدأ رسم و چند ضلعی به چندین بخش مختلف تقسیم می‌شود. ژنوتیپ‌هایی که در هر بخش قرار دارند، دارای بهترین عملکرد در درون مکان‌های همان بخش هستند (Burgueño *et al.*, 2001; Yan, 2001a; Ansarifard *et al.*, 2020).

۳- میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها و پایداری آن‌ها: دو محور میانگین عملکرد و محور اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در این نمودار قابل مشاهده است. ژنوتیپ‌های پایدار، دارای میانگین عملکرد بالا و حداقل فاصله با محور اثر متقابل ژنوتیپ و محیط هستند (Yan & Hunt, 2002; Yan & Tinker, 2006; Saremi-Rad *et al.*, 2020).

۴- رتبه‌بندی محیط‌ها بر اساس محیط ایده‌آل فرضی: هدف، شناسایی محیطی است که بهینه‌ترین الگوی پاسخ ژنوتیپی را دارا باشد (Saremi-Rad *et al.*, 2020).

۵- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل: از نظر تئوری، ژنوتیپ ایده‌آل شناخته می‌شود که هم میانگین عملکرد بالا و هم پایداری بالا داشته باشد. چنین ژنوتیپ ایده‌آلی را می‌توان به عنوان مرجعی برای مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها استفاده نمود (Karimzadeh *et al.*, 2013; Kindeya *et al.*, 2020).

اهداف این تحقیق شامل بررسی وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار، توصیه ژنوتیپ‌های پایدار برای هر یک از مکان‌های آزمایش و همچنین کاهش هزینه‌های اصلاح از طریق گروه‌بندی ابر محیط‌ها بود.

جهت برآورد اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، از تجزیه واریانس مرکب استفاده می‌گردد (Miller *et al.*, 1959). بدین منظور آزمایشات یکنواختی طی سال‌ها و مکان‌های مختلف اجرا و پس از تجزیه آماری، واریانس فنوتیپی به اجزای اصلی و اثرات متقابل آنها تجزیه می‌شود و به‌نژادگر از این تفکیک واریانس، به میزان اثر متقابل ژنوتیپ با محیط پی می‌برد. در صورت عدم وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، متوسط اختلاف بین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف ثابت خواهد بود (Xie & Mosjidis, 1996). مدل این روش به صورت زیر می‌باشد:

$$Y_{ger} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \theta_{ge} + \varepsilon_{ger} \quad (1)$$

در این رابطه،  $Y_{ger}$ : عملکرد ژنوتیپ  $g$ ام در محیط  $e$ ام و با تکرار  $r$ ام،  $\alpha$  و  $\beta$ : به ترتیب اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط،  $\theta_{ge}$ : اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و  $\varepsilon_{ger}$ : اثر خطا می‌باشند (Zobel *et al.*, 1988).

در روش بای‌پلات، با بهره‌گیری از نمایش گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، پایداری ژنوتیپ‌های برتر و همچنین روابط بین محیط‌ها و شناسایی محیط‌های مناسب در برنامه‌های اصلاحی آینده را بررسی می‌شود (Yan, 2001b). منشاء بسیاری از تغییرات در عملکرد، محیط می‌باشد، اما ارزیابی ژنوتیپ‌ها، ارتباطی با اثر اصلی محیط ندارد و نیاز است تا با حذف آن، به متغیرهای ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ با محیط توجه شود (Yan & Kang, 2002).

روش بای‌پلات، نوعی تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، برای اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط می‌باشد که که نمودارهای گرافیکی ترسیمی، تصویری از روابط بین ژنوتیپ و محیط ارائه و اطلاعات ذیل را به محقق ارائه می‌نمایند:

۱- بررسی روابط متقابل بین محیط‌ها: کوسینوس زاویه بین دو بردار محیطی را ضریب همبستگی بین محیط‌ها تعریف می‌کنند (Yan, 2001b). نتایج آزمایشات در محیط‌های دارای همبستگی مثبت، قابل تعمیم به یکدیگر است و می‌توان آزمایشات را در یکی از آن محیط‌ها انجام داد تا هزینه آزمایشات کاهش و کارایی اصلاح افزایش یابد. همچنین طول بردار محیط‌ها، تقریبی از انحراف معیار درون هر محیط

## مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی سازگاری و پایداری ارقام مورد بررسی کنجد در شرایط آب و هوایی مختلف، ۱۵ ژنوتیپ مختلف که فهرست آن‌ها در جدول ۱ آورده شده

است، در آزمایشی در چهار منطقه آب و هوایی شامل اراک، بیرجند، شیراز و کرج، با مشخصات گفته شده در جدول ۲، طی سال‌های ۹۶ و ۹۷ مورد ارزیابی قرار گرفتند.

جدول ۱- نام ژنوتیپ‌های کنجد کشت شده در این تحقیق

Table 1. Sesame genotypes used in this study

No.	Genotype	No.	Genotype	No.	Genotype
1	Dashtestan 5	6	Darab 2	11	Sirjan Local Cultivar
2	TS-3	7	Darab 1	12	PF3
3	Yellow white	8	Darab 14	13	Isfahan Local Cultivar
4	Jirouf 13	9	Safi Abad 1	14	Fars Local Cultivar
5	Oltan	10	Ahwaz Local Cultivar	15	Khondab Local Cultivar

جدول ۲- مناطق آزمایشی و مشخصات آن‌ها

Table 2. Characteristics of the study sites

Area	Longitude	Latitude	Elevation AMSL (m)	Tempert (°C)	Mean of Annual precipitation (mm)
Arak	49°46'E	34°06'N	1708	-3.0 - 39.8	341.7
Birjand	59°12'E	32°52'N	1491	-0.5 - 42.5	170.8
Karaj	50°54'E	35°55'N	1312	-0.4 - 40.7	243.8
Shiraz	52°36'E	29°32'N	1484	0.6 - 41.2	346

تنک کردن در مرحله دو برگگی گیاه و مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی صورت انجام شد. برای ارزیابی صفت عملکرد دانه، بوته‌های یک متر میانی هر کرت برداشت و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد و داده‌ها بر اساس کیلوگرم در هکتار محاسبه شدند. از نرم افزار SAS برای تجزیه و تحلیل داده‌ها جهت وجود اثر متقابل ژنوتیپ در محیط و از برنامه آماری GenStat 12<sup>th</sup> جهت ترسیم بای‌پلات‌ها استفاده شد.

## نتایج و بحث

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب (جدول شماره ۳)، اثرات مستقیم ژنوتیپ و مکان غیرمعنی‌دار ارزیابی شدند که به معنی عدم تفاوت معنی‌دار ژنوتیپ‌ها در صفت عملکرد دانه و همچنین اختلاف ناچیز ژنوتیپ‌های مورد آزمون در چهار مکان مورد آزمایش می‌باشد؛ همچنین اثر متقابل ژنوتیپ در مکان نیز معنی‌دار نشد. اما اثر ساده زمان (سال) و متقابل سال در مکان، ژنوتیپ در سال و ژنوتیپ در مکان در سال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد که این موضوع نشان دهنده تاثیر محیط بر صفت عملکرد دانه می‌باشد. در جدول ۴ نیز نتایج مربوط به عملکرد دانه

در فصل بهار و پس از گاو رو شدن مزرعه و تأمین دمای پایه لازم برای جوانه‌زنی کنجد، با انجام شخم عمیق، دیسک‌زنی، ایجاد ردیف‌های کشت و کرت و نیز ایجاد نه‌رها، نسبت به عملیات آماده سازی زمین اقدام شد. مطابق بررسی وضعیت شیمیایی خاک، کودهای حاوی نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب از منابع اوره (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، سوپر فسفات تریپل (۷۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۶۰ کیلوگرم در هکتار) استفاده شدند. تلاش شد تا مشخصات زراعی اجرای طرح در همه مناطق یکسان باشد. آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. طول هر کرت دو متر بود و درون هر کرت، چهار خط با فاصله ۵۰ سانتیمتر قرار داشت. فواصل کاشت ۱۰ سانتیمتر و عمق کاشت در حدود ۲/۵ سانتیمتر در نظر گرفته شد. تاریخ‌های کاشت و برداشت با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه متفاوت بودند که تاریخ تقریبی آن طی دو سال انجام آزمایش در جدول شماره ۲ آورده شده است. کاشت به صورت خطی و با دست انجام شد و بلافاصله پس از کاشت، آبیاری صورت پذیرفت. دوره‌های آبیاری بر اساس رژیم حرارتی منطقه و پتانسیل تبخیر آب صورت گرفت.

هر ژنوتیپ در چهار مکان مورد آزمایش آورده شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفت عملکرد دانه در دو سال و چهار مکان  
Table 3. Combined variance analysis of grain yield in 2 years and 4 locations.

Source	df	SS	MS
Location	3	13860.5010	4620.1670 <sup>ns</sup>
Year	1	543333.5672	543333.5672 <sup>**</sup>
Year * Location	3	25165.7844	8388.5948 <sup>**</sup>
Rep(year * location)	16	18351.2923	1146.9558
Genotype	14	243646.7522	17403.3394 <sup>ns</sup>
Location* Genotype	42	57506.6640	1369.2063 <sup>ns</sup>
Year * Genotype	14	158862.5046	11347.3218 <sup>**</sup>
Year * Location * Genotype	42	46514.7550	1107.4942 <sup>**</sup>
Error	224	125899.588	562.052
C.V. : 13.65%			

ns و \*\*: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

<sup>ns</sup> and \*\*: Non significant and significant at 1% of probability level, respectively.

جدول ۴- میانگین عملکرد دانه هر ژنوتیپ در هر یک از مکان‌های مورد آزمایش

Table 4 . Genotypes mean grain yield in each location

Genotype	Arak	Birjand	Karaj	Shiraz
G1	1705.80	1500.47	1690.93	1967.17
G2	1314.35	1218.38	908.33	1198.33
G3	1348.17	1355.17	963.33	1166.83
G4	1628.17	1590.40	1640.00	1703.40
G5	1555.05	1516.22	1775.00	1752.37
G6	1813.52	1457.68	1798.33	1713.55
G7	1974.43	1670.85	2021.67	1782.62
G8	2244.10	1830.35	1936.67	2134.00
G9	1993.82	2004.03	1908.33	1904.73
G10	1920.58	1876.33	1816.67	1973.07
G11	1604.67	1457.35	1728.33	1361.52
G12	2006.83	1761.07	1530.00	1793.65
G13	2097.98	1782.12	1895.00	2107.08
G14	2118.90	1787.25	2221.67	1738.38
G15	1851.90	1802.88	2161.67	2095.83

Values are base on kg/ha

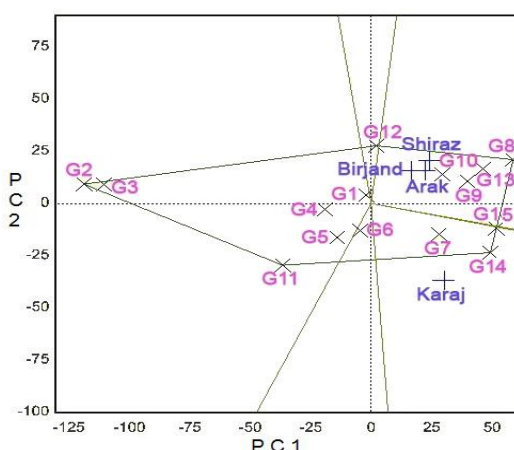
مقادیر برحسب کیلوگرم بر هکتار می‌باشند

معنای عدم اعتبار بای‌پلات نمی‌باشد (Yan *et al.*, 2007). اگر نمودار بای‌پلات قادر به توجیه حداقل ۶۰ درصد از واریانس داده‌ها باشد، می‌توان برای تعیین ابر محیط‌ها از آن استفاده نمود (Yang *et al.*, 2009). طی آزمایشی که بر روی شانزده ژنوتیپ کنجد در سه مکان و طی چهار سال در کشور اوگاندا انجام شد، اثرات مستقیم سال و ژنوتیپ و همچنین اثرات متقابل سال در مکان، تیمار در مکان و تیمار در سال در مکان، بسیار معنی‌دار برآورد شد، در صورتی که اثر مستقیم مکان و متقابل تیمار در سال غیر معنی‌دار بودند؛ همچنین مؤلفه‌های اصلی اول و دوم ۴۷/۲۱ و

بر اساس روش GGE biplot، دو مؤلفه اصلی اول و دوم به ترتیب ۸۴/۰۶ و ۸/۴۰ درصد از تغییرات را توجیه نمودند. این بدان معنی است که بای‌پلات این دو مؤلفه، ۹۲/۴۶ درصد از تغییرات ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط را توجیه می‌نماید که بیانگر اعتبار نسبتاً بالای نمودار بای‌پلات حاصل از این مطالعه در تبیین تغییرات ژنوتیپ همراه اثر متقابل ژنوتیپ در محیط است. به‌طور کلی، عدم تبیین بالای تغییرات موجود مجموع مؤلفه‌های اصلی اول و دوم، نشانگر ماهیت پیچیده اثر متقابل ژنوتیپ و محیط خواهد بود (Yan & Tinker, 2005)، اما این امر به

تقریباً فاقد همبستگی بودند و به عبارتی، ژنوتیپ‌ها در این دو مجموعه، روند عملکردی مستقلی از یکدیگر داشتند. محیط‌های کرج و شیراز، طول بردارهای بلندتری داشتند و ژنوتیپ‌ها در این محیط‌ها، از قابلیت تمایز بالاتری برخوردار بودند. همچنین مناطق مورد بررسی به دو ابر محیط کرج و ابر محیط اراک، بیرجند و شیراز تقسیم شدند.

در شکل ۲، ژنوتیپ‌های TS-3 (G2)، داراب ۱۴ (G8)، محلی سیرجان (G11)، PF3 (G12)، محلی فارس (G14) و محلی خنداب (G15) در رئوس چندضلعی قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های برتر (از نظر عملکرد و حداقل تاثیرپذیری از محیط) در محیط کرج که در رأس چند ضلعی بخش کرج قرار دارند، شامل محلی فارس (G14) و محلی خنداب (G15) و پس از آن ژنوتیپ قابل توصیه برای محیط مذکور، داراب ۱ (G7) بود.



شکل ۲- بای پلات چند ضلعی جهت تعیین ژنوتیپ‌های مناسب برای هر محیط

Figure 2. Biplot of assign appropriate genotypes for each environment

ضعیف در اکثر محیط‌ها بودند. همچنین ژنوتیپ‌های دشتستان ۵ (G1) و داراب ۲ (G6)، تقریباً در مرکز بای پلات قرار گرفتند که نشان‌دهنده عکس‌العمل یکسان و ضعیف آن‌ها در بیشتر محیط‌های مورد مطالعه بود.

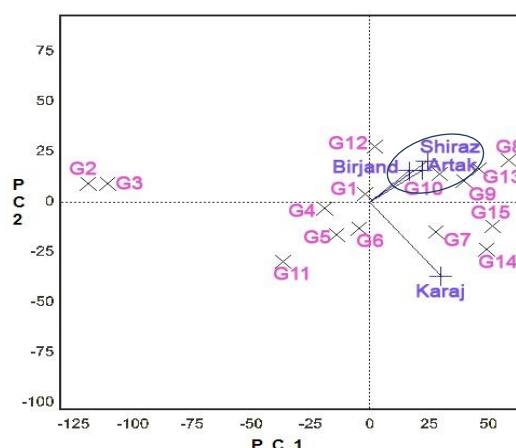
بر مبنای شکل ۳، ژنوتیپ داراب ۱۴ (G8)، بالاترین میزان عملکرد و ژنوتیپ TS-3 (G2)، کمترین میزان میانگین عملکرد دانه را دارا بودند. همچنین ژنوتیپ‌های

۱۴/۲۵ درصد ارزیابی شدند (Okello-Anyanga *et al.*, 2016).

بر اساس تحقیقی که بر روی لاین‌های پیشرفته گیاه علوفه‌ای خللر انجام شد، کلیه منابع تغییر اعم از اثرات مستقیم و متقابل، معنی‌دار ارزیابی شدند که نشان‌گر وجود اثرات متقابل ژنوتیپ (لاین در  $\times$  محیط می‌باشند (Ahmadi *et al.*, 2016).

نمودارهای بای پلات بر اساس چهار الگوی زیر ترسیم و ارائه شد:

در شکل ۱، بین مکان‌های اراک، بیرجند و شیراز، همبستگی مثبت و بالایی وجود داشت، بنابراین ژنوتیپ‌ها در این مکان‌ها، پاسخ مشابهی داشتند و تفاوت چندانی بین رتبه عملکرد ژنوتیپ‌ها مشاهده نشد و می‌توان از یکی از این سه مکان برای کاهش هزینه‌ها برای تحقیقات آینده استفاده نمود. همچنین محیط‌های بیرجند، شیراز و اراک با محیط کرج،



شکل ۱- بای پلات روابط بین محیط‌ها و ابر محیط‌ها

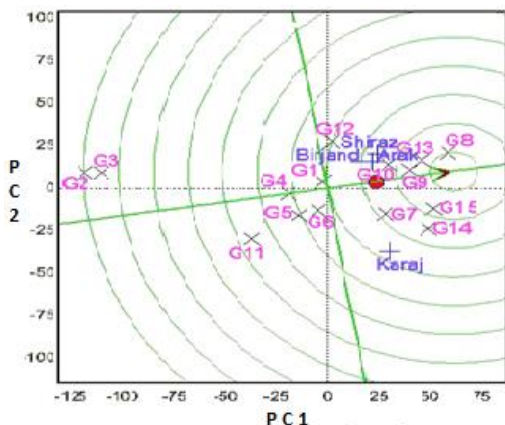
Figure 1. Biplot of relation between environments & mega-environments

در محیط‌های اراک، بیرجند و شیراز، داراب ۱۴ (G8) برترین ژنوتیپ و پس از آن ژنوتیپ‌های صفی آباد ۱ (G9)، محلی اهواز (G10) و محلی اصفهان (G13) عملکرد بیشتر و پایداری بالاتری از سایر ژنوتیپ‌ها از خود نشان دادند. ژنوتیپ‌های TS-3 (G2)، Yellow (G3)، White (G4)، اولتان (G5)، داراب ۲ (G6)، محلی سیرجان (G11) و PF3 (G12) در هیچ محیطی برتری نداشتند و جزو ژنوتیپ‌های

در تحقیقی که بر روی کنجد در چند مکان مختلف صورت گرفت، اثر مستقیم ژنوتیپ و متقابل ژنوتیپ و محیط بسیار معنی‌دار ارزیابی شدند. همچنین دو مؤلفه اصلی اول و دوم، به ترتیب ۹۲/۵۰ و ۴/۹۴ درصد (در مجموع ۹۷/۴۴ درصد) از تغییرات اثر مستقیم ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط را توجیه نمود. به علاوه با کمک نمودار بای پلات چند ضلعی تعیین بهترین ژنوتیپ‌ها برای هر یک از مکان‌ها و بای پلات میانگین صفت و پایداری ژنوتیپ‌ها، ارقام برتر و ایده‌آل شناسایی شدند (Jahanfar *et al.*, 2014). در بررسی بای پلات‌های رسم شده اثر متقابل ژنوتیپ و محیط ۱۶ ژنوتیپ کنجد در سه مکان طی دو سال، مکان‌های آزمون به دو ابر محیط تقسیم و با رسم چند ضلعی ژنوتیپ‌های مناسب برای هر محیط مشخص شد. به علاوه بای پلات میانگین صفت و پایداری ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها نیز ترسیم شد. بای پلات‌های دیگر ترسیمی این آزمون شامل بای پلات روابط بین محیط‌ها، رتبه‌بندی محیط‌ها بر اساس محیط ایده‌آل فرضی و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل فرضی بودند (Okello-Anyanga *et al.*, 2016).

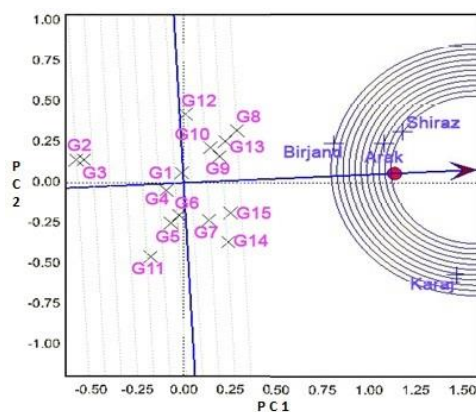
محلی سیرجان (G11)، بیشترین ناپایداری را از خود نشان داد. ژنوتیپ‌های صفی آباد ۱ (G9) و محلی خنداب (G15)، برترین (از نظر عملکرد و پایداری) ژنوتیپ‌ها شناخته شدند، زیرا علاوه بر این که در سمت راست نمودار و خط رسم شده از محور PC1 قرار داشتند، دارای کمترین فاصله با خط ترسیمی از محور PC2 بودند. همچنین محیط شیراز به علت قرار گرفتن در نزدیکترین دایره نسبت به مرکز دوایر متحدالمرکز، به

عنوان بهترین ایستگاه شناخته شد و پس از آن به ترتیب اراک، کرج و بیرجند قرار گرفتند. محیط بیرجند به علت بیشترین فاصله از مرکز دوایر متحدالمرکز، به عنوان ضعیف‌ترین مکان در این تحقیق بود. مطابق بای پلات ترسیمی شماره ۴، ژنوتیپ داراب ۱۴ (G8) در مرکز بای پلات قرار گرفت و به عنوان ایده‌آل‌ترین ژنوتیپ شناخته شد و پس از آن ژنوتیپ‌های محلی اصفهان (G13)، صفی آباد ۱ (G9) و محلی خنداب (G15) به عنوان ژنوتیپ‌های ایده‌آل شناخته شدند؛ ژنوتیپ‌های TS-3 (G2) و Yellow و White (G3) نامناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند.



شکل ۴- بای پلات رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل

Figure 5. Biplot of genotypes classified based on hypothetical ideal genotype



شکل ۳- بای پلات میانگین صفت و پایداری ژنوتیپ‌ها و رتبه‌بندی محیط‌ها بر اساس محیط ایده‌آل فرضی

Figure 3. Biplot of average property and stability of genotypes & environments classified based on hypothetical ideal environment

### نتیجه‌گیری کلی

بین محیط‌ها، میزان تاثیرپذیری هر یک ژنوتیپ‌ها در سه محیط اراک، بیرجند و شیراز، تشابه زیادی با آن ژنوتیپ در محیط دیگر داشت و بنابراین جهت تحقیقات آینده می‌توان تنها یکی از این سه محیط را برای مراحل اولیه اصلاحی انتخاب کرد و هزینه‌ها را کاهش داد.

در کل، برترین ژنوتیپ دارای بیشترین عملکرد و پایداری بالا در کلیه محیط‌هایی مورد تحقیق، داراب ۱۴ (G8) بود. ژنوتیپ‌های برتر قابل توصیه برای محیط کرج شامل محلی فارس (G14) و محلی خنداب (G15) و برای محیط‌های اراک، بیرجند و شیراز داراب ۱۴ (G8) بودند. بر اساس بای‌پلات روابط

### REFERENCES

1. Abdollahi Nezhad, K., Alishah, O. & Sirani, S. (2005). The assessment of genotype environment interaction and yield stability on new cotton hybrids using parametric methods. *Agricultural Sciences and Natural Resources*, 12(4), 71-79 (In Persian).
2. Agaei, M. (1993). Study of genotype× environment interaction in barely cultivars on Tabriz. *Journal of Agricultural Science*, 1(2), 28-40.
3. Ahmadi, j., Vaezi, B. & Pour-Aboughadareh, A.R. (2016). Evaluation of Forage Yield Stability of Advanced lines of Grass pea (*Lathyrus sativa* L.) by Parametric and Non- parametric Methods. *Journal of Crop Breeding*, 8(17), 149-159 (In Persian).
4. Ansarifard, I., Mostafavi, K., Khosroshahli, M., Reza Bihamta, M. & Ramshini, H. (2020). A study on genotype–environment interaction based on GGE biplot graphical method in sunflower genotypes (*Helianthus annuus* L.). *Food Science & Nutrition*, 8, 3327–3334.
5. Baraki, F. & Gebremariam, G. (2018). Genotype environment interaction and stability of oil content of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes in Northern Ethiopia. *Journal of Cereals and Oilseeds*, 9(3), 20–28.
6. Becker, H. C. & Leon, J. (1988). Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding*, 101(1), 1–23.
7. Burgueño, J., Crossa, J. & Vargas, M. (2001). *SAS programs for graphing GE and GGE biplots*. Mexico: CIMMYT Int.
8. Cornelius, P. L. & Crossa, J. (1999). Prediction assessment of shrinkage estimators of multiplicative models for multi-environment cultivar trials. *Crop Science*, 39(4), 998–1009.
9. DeLacy, I. H., Eisemann, R. L. & Cooper, M. (1990). The importance of genotype-by-environment interaction in regional variety trials. *Genotype-by-Environment Interaction and Plant Breeding*. Louisiana State University, Baton Rouge, LA, 287–301.
10. Food and Agriculture Organization. (2018). *FAOStat: Food and agriculture data*. Retrieved June 15, 2020, from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
11. Fernandez, G. C. J. (1991). Analysis of genotype× environment interaction by stability estimates. *HortScience*, 26(8), 947–950.
12. Jahanfar, V., Mostafavi, K. & Bihamta, M. R. (2014). Evaluation of seed yield stability of sesame genotypes using GGE biplot method. In *1st International and 13th Iranian Genetics Congress*, 24-26 May, Tehran, (pp. 1–5), (in Persian).
13. Kang, M. S. (1997). Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. In *Advances in Agronomy*, 62, 199–252).
14. Karimzadeh, R., Mohammadi, M., Sabaghni, N., Mahmoodi, A. A., Roustami, B., Seyyedi, F. & Akbari, F. (2013). GGE biplot analysis of yield stability in multi-environment trials of lentil genotypes under rainfed condition. *Notulae Scientia Biologicae*, 5(2), 256–262.
15. Kindeya, Y. B., Mekbib, F. & Alle, E. A. (2020). AMMI and GGE Bi-plot analysis for seed yield and oil content of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes in Tigray, Northern Ethiopia. *Journal of Agriculture and Crops*, 6(4), 58–67.
16. Miller, P. A., Williams, J. C. & Robinson, H. F. (1959). Variety× environment interactions in cotton variety tests and their implications on testing methods 1. *Agronomy Journal*, 51(3), 132–134.
17. Nyongesa, B. O., Were, B. A., Gudu, S., Dangasuk, O. G. & Onkware, A. O. (2014). Genetic relationship between sesame (*Sesamum indicum* L.) and related wild species based on chromosome counts and isozyme markers. *African Journal of Agricultural Research*, 9(12), 1052–1060.
18. Okello-Anyanga, W., Rubaihayo, P., Gibson, P. & Okori, P. (2016). Genotype by environment interaction in sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars in Uganda. *African Journal of Plant Science*, 10(10), 189–202.



19. Pham, H. N. & Kang, M. S. (1988). Interrelationships among and repeatability of several stability statistics estimated from international maize trials. *Crop Science*, 28(6), 925–928.
20. Raiger, H. L. & Prabhakaran, V. T. (2001). A study on the performance of a few non-parametric stability measures using pearl-millet data. *Indian J. Genet*, 61(1), 7–11.
21. Rajaram, S. (1983). Adaptation, stability and high yield potential of certain 1B/1R CIMMYT wheats. In *proceedings of 6th international wheat genetics symposium.*, November 28-December 3, Held at Kyoto, Japan, pp. 613–621.
22. Sadegh Zadeh Ahari, D., Hosseini, S. K., HosseinPour, T., Jafarbay, J., Khalilzade, G. & Alizade Disaj, K. (2005). Study on adaptability and stability of grain yield in durum wheat lines in warm and semi-warm dryland areas. *Seed and Plant*, 21(4), 561-576 (In Tehran).
23. Saremi-Rad, A., Mostafavi, K. & Mohammadi, A. (2020). Genotype-environment interaction study base GGE biplot method for kernel yield in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. *Journal of Crop Breeding*, 12(34), 43–53.
24. Shokohfar, A. & Yaghoobi Nejad, S. (2012). The effect of drought stress on yield components of Sesame (*Sesumum Indicum* L.) cultivars. *Agronomy & Plant Breeding of Iran*, 8(4), 19-29 (In Tehran).
25. Wikipedia. (2017). *Sesame*. Retrieved January 7, 2021 from <https://www.en.wikipedia.org/wiki/Sesame>.
26. Xie, C. & Mosjidis, J. A. (1996). Selection of stable cultivars using phenotypic variances. *Crop Science*, 36(3), 572–576.
27. Yan, W. (2001a). *A study on the methodolgy of cultivar evaluation based on yield trial data with special reference to winter wheat in Ontario*. Ph.D. Thesis. Faculty of Agriculture University of Guelph, Canada.
28. Yan, W. (2001b). GGEbiplot—A Windows application for graphical analysis of multienvironment trial data and other types of two-way data. *Agronomy Journal*, 93(5), 1111–1118.
29. Yan, W. & Hunt, L. A. (2002). 19 Biplot analysis of multi-environment trial data. <http://www.ggebiplot.com/Yan&Hunt2003.pdf>, accessed July 9, 2020.
30. Yan, W. & Kang, M. S. (2002). *GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists*. CRC press.
31. Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods, S. & Cornelius, P. L. (2007). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 47(2), 643–653.
32. Yan, W. & Tinker, N. A. (2005). An integrated biplot analysis system for displaying, interpreting, and exploring genotype× environment interaction. *Crop Science*, 45(3), 1004–1016.
33. Yan, W. & Tinker, N. A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. In *Canadian Journal of Plant Science*, 86, 623–645).
34. Yang, R., Crossa, J., Cornelius, P. L. & Burgueño, J. (2009). Biplot analysis of genotype× environment interaction: Proceed with caution. *Crop Science*, 49(5), 1564–1576.
35. Zobel, R. W., Wright, M. J. & Gauch Jr, H. G. (1988). Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 80(3), 388–393.