



"مقاله پژوهشی"

غربال لاین‌های بومی عدس با استفاده از روش GGE biplot تحت شرایط دیم

سهیلا مرادی^۱، جلال صبا^۲، افشین توکلی^۳ و کامران افصحی^۴

۱- دانشجوی دکتری، زنجان، دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی، گروه ژنتیک و تولید گیاهی (نویسنده مسؤل: moradi_s998@gmail.com)

۲- استاذ، زنجان، دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی، گروه ژنتیک و تولید گیاهی

۳- دانشیار، زنجان، دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی، گروه ژنتیک و تولید گیاهی

۴- استادیار، زنجان، دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی، گروه ژنتیک و تولید گیاهی

تاریخ ارسال: ۹۹/۰۷/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۰۲

صفحه: ۱۱۹ تا ۱۳۱

چکیده

مهم‌ترین هدف در تمام برنامه‌های اصلاحی محصولات زراعی افزایش عملکرد است و بهبود عملکرد نیاز به استفاده از روش‌های آماری کارآمد برای تعیین ژنوتیپ‌های برتر دارد. در تعیین برتری ژنوتیپ علاوه بر عملکرد بالا، پایداری عملکرد در محیط‌های مختلف نیز باید در نظر گرفته شود. تجزیه بای‌پلات روش مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر و افزایش کارایی انتخاب است. در این تحقیق از روش GGE biplot برای بررسی پایداری عملکرد دانه ۲۰۵ لاین و رقم عدس در قالب طرح آگمنت طی سه سال زراعی در دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان تحت شرایط دیم استفاده شد. نتایج تجزیه مرکب ارقام شاهد نشان داد که اثر سال و اثر متقابل سال × رقم برای عملکرد دانه معنی‌دار بود به این ترتیب لاین‌ها با استفاده از روش گرافیکی GGE biplot مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج نشان داد که مؤلفه اول و دوم به ترتیب ۶۸/۳ و ۲۸/۵ درصد (در مجموع ۹۶/۸ درصد) از کل تغییرات عملکرد را توجیه نمودند که نشان دهنده اعتبار بالای بای‌پلات در تبیین تغییرات G+GE است. همچنین نتایج نشان داد لاین‌های ۱۷۰ و ۱۶۴ بهترین لاین در سال اول و لاین‌های ۱۵۷ و ۱۸۳ بهترین لاین در سال سوم بودند. لاین شماره ۱۶۷ علاوه بر داشتن عملکرد بالا نوسانات عملکرد کمتری داشت. این لاین با قرار گرفتن در مرکز دایره به عنوان لاین ایده‌آل و لاین‌های ۱۶۴، ۱۷۰، ۱۴۷، ۱۲۲ و ۷ بعد از آن در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. لاین‌های ۱۴۷، ۱۲۸، ۷، ۱۶۰، ۵۱، ۱۴۸، ۱۵۶ و ۱۶۰ نیز علاوه بر داشتن عملکردی بیشتر از عملکرد میانگین دارای فاصله کمی با محور پایداری بوده و نوسانات عملکرد کمتری داشتند. لاین‌های شماره ۸، ۵۷، ۱۵۷، ۸۶، ۱۸۶، ۸۳، ۱۴۰، ۱۶۴ و ۱۷۰ با وجود داشتن عملکرد بالا، دارای نوسانات عملکرد بالا بودند. بررسی چند ضلعی بای‌پلات منجر به شناسایی دو ابرمحیط شد که در بین این محیط‌ها سال اول بیشترین قدرت تمایز کنندگی را در بین سال‌ها داشت. وجود زاویه ۹۰ درجه بین سال اول و دوم نشان‌دهنده عدم همبستگی بین این دو سال و متفاوت بودن شرایط آن‌ها و زاویه بزرگتر از ۹۰ درجه سال دوم با این سال‌ها نشان‌دهنده همبستگی منفی آن با سال اول و دوم بود.

واژه‌های کلیدی: ابرمحیط، پایداری عملکرد، شرایط دیم، عدس، لاین ایده‌آل

مقدمه

پرمحصول جهت تأمین پروتئین مورد نیاز انسان باشد (۳۲). میانگین عملکرد عدس در دنیا نزدیک ۱۰۳۸/۱ و میانگین عملکرد عدس در ایران ۵۳۵/۶ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (۷). سطح زیر کشت این محصول در ایران در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶، ۱۴۵۴۱۴ هکتار بوده است که از این مقدار ۱۴۱۵۷۴ هکتار به‌صورت دیم مورد کشت قرار گرفته است و میزان تولید آن ۸۳۴۸۲ تن بوده است. در این سال عملکرد عدس آبی ۱۳۷۹ کیلوگرم در هکتار و عملکرد عدس دیم ۵۵۲ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (۱). از مهم‌ترین دلایل پایین بودن میزان عملکرد دانه عدس در کشور می‌توان به کشت این محصول در مناطق دارای حاصلخیزی کم و اراضی حاشیه، عدم انجام عملیات زراعی مناسب، به‌کارگیری محدود نهاده‌های کشاورزی و عدم کشت ارقام و ژنوتیپ‌های پرمحصول اشاره کرد (۲۱). قسمت اعظم سطح زیرکشت حبوبات از جمله عدس در مناطق دیم صورت می‌گیرد. از آنجایی که شرایط دیم از سالی به سال دیگر متفاوت می‌باشد، رقم مطلوب برای شرایط دیم رقمی است که هم در شرایط تنش خشکی و هم در شرایط مطلوب پرمحصول بوده و از پایداری عمومی خوبی برخوردار باشد

عدس (*Lens culinaris Medik*) از مهم‌ترین منابع پروتئین گیاهی بعد از سویا و یکی از قدیمی‌ترین، پرمصرف‌ترین و با ارزش‌ترین حبوبات در جهان است (۱۱). در حقیقت اهمیت حبوباتی مانند عدس در چند سطح قابل بررسی است: (۱) در سطح سیستم غذایی، به‌دلیل اینکه یک منبع غنی از پروتئین هم برای انسان و هم برای دام هستند و به‌دلیل نقشی که در سلامت انسان‌ها دارند، و نقش این محصولات در ایجاد تعادل اسیدهای آمینه و تولید پروتئین گیاهی مورد نیاز انسان در بسیاری از مناطق جهان از جمله در آسیا و اروپا (۲) در سطح سیستم تولید، به‌دلیل توانایی تثبیت نیتروژن اتمسفری که به‌طور بالقوه ورود این محصولات را به سیستم‌های کم نهاده امکان‌پذیر می‌کند و به این ترتیب باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شوند، (۳) در سطح سیستم زراعی، به‌دلیل نقش مهمی که در تناوب زراعی داشته و سبب شکستن سیکل آفات و بیماری‌ها می‌شوند (۲۹). بنابراین، شناخت عوامل مؤثر بر عملکرد و محدودیت‌هایی که در رابطه با عملکرد بالا در این گیاهان وجود دارد، می‌تواند اقدام مؤثری در راستای تولید ارقام

دارای عملکرد بالا و پایدار برای هر منطقه شناسایی و معرفی شد (۴).

موفقیت در برنامه‌های اصلاحی به میزان تنوع ژنتیکی موجود در جمعیت و وراثت‌پذیری صفات مطلوب بستگی دارد (۱۹). ارزیابی تنوع ژنتیکی و روابط میان ژرم‌پلاس، علاوه بر کمک به اعتبار منابع ژنتیکی، در شناسایی مواد یا ابزار احتمالی برای اهداف خاص اصلاحی، به‌ویژه در عدس زراعی و گونه‌های دیگری که پایه ژنتیکی محدودی دارند، اهمیت دارد (۱۵). اگرچه مطالعات زیادی در خصوص سازگاری ژنوتیپ‌ها به شرایط دیم در کشور انجام شده و یا در حال انجام است، اما بیشتر این مطالعات روی نمونه‌های ارسالی از مراکز بین‌المللی نظیر ایکاردا انجام شده و یا می‌شود، در حالی که توده‌های بومی این گیاه دارای پتانسیل اصلاحی بالایی می‌باشند. توده‌های بومی به دلیل سازشی که در طی زمان کسب نموده‌اند، دارای ژن‌های مطلوبی نظیر مقاومت به خشکی، شوری و مقاومت به آفات و بیماری‌ها شده‌اند و گاهی دارای پتانسیل تولیدی بالایی می‌باشند (۳۱). استفاده از سازگاری طولانی‌مدت واریته‌ها و توده‌های بومی در شرایط کنونی یک ابزار خلاقانه و مدرن می‌باشد که یک فرصت چالش برانگیز برای استفاده از آن‌ها در کشاورزی پایدار مدرن است، چرا که یک سرمایه‌گذاری بی‌نظیر با بازده فوری است (۶). با توجه به اهمیت مطالعات ژنتیکی در اصلاح گیاهان و گسترش روزافزون کشت و تولید حبوباتی از جمله عدس، شناخت توان ژنتیکی نهفته موجود در این گیاهان از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. از طرفی گیاهان زراعی علاوه بر اینکه باید کارایی بالایی برای عملکرد و سایر صفات از خود نشان دهند، برتری آن‌ها باید در دامنه وسیعی از شرایط محیطی محرز شود. لذا مطالعه حاضر به‌منظور تعیین لاین‌های عدس بومی دارای نوسان کمتر عملکرد با استفاده از روش GGE biplot در شرایط دیم استان زنجان انجام شد.

مواد و روش‌ها

در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴، ۴۹۲ لاین برتر انتخاب شده از بین ۱۰۴۰ تک بوته جمع‌آوری شده از پنج منطقه استان زنجان شامل شهرستان‌های خرمدره، خدابنده، ایجرود، ماهنشان و زنجان (ارمغانخانه) به همراه ۱۵ لاین پیشرفته و پنج رقم اصلاح شده (شامل ارقام کیمیا، بیل‌سوار، کوهین سبز قزوین، گچساران و مراغه) به‌عنوان شاهد، در قالب آزمایش مقدماتی عملکرد (طرح آگمنت) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان واقع در ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۶۲۰ متر از سطح دریا کشت شده و مورد ارزیابی و گزینش قرار گرفتند. پارامترهای هوشناسی در دانشگاه زنجان از اول اسفند ماه تا آخر تیر ماه طی سه سال زراعی ۹۷-۱۳۹۴ در جدول ۱ ذکر شده است. زمین مورد کشت پیش از اجرای طرح و پیش از بارندگی‌های پاییزه شخم زده شد و تا اواخر اسفند به صورت دست‌نخورده باقی ماند.

به‌عبارتی در شرایط مختلف نوسان عملکرد کمتری داشته باشد (۲۷). ممکن است ژنوتیپ‌های مختلف هنگام قرار گرفتن در شرایط مختلف رشد، واکنش متفاوتی داشته باشند و این امر انتخاب بین ژنوتیپ‌هایی را که در محیط‌های مختلف رشد می‌کنند، مشکل می‌سازد. به‌عبارت دیگر اثر متقابل ژنوتیپ در محیط اعتبار گزینش لاین‌های اصلاحی در یک محیط را محدود و توانایی به‌نژادگر در انتخاب صحیح ژنوتیپ را کاهش می‌دهد (۱۸). روش‌های مختلفی برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در محیط‌های مختلف وجود دارد. مدل

(Genotype+Genotype×EnvironmentInteractions; GGE) یکی از بهترین روش‌ها برای تعیین ژنوتیپ‌های برتر و سازگار است. در روش گرافیکی GGE biplot بر خلاف سایر روش‌های رایج، گزینش‌ها و تصمیمات بر مبنای آنالیز گرافیکی اطلاعات انجام می‌گیرد. این روش دارای قابلیت‌های فراوان، سهولت و دقت بیشتر در انجام آنالیزها و سادگی در تفسیر خروجی‌ها است (۲، ۳۴). مدل GGE biplot به‌طور همزمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها را ارزیابی کرده، محیط‌های مطلوب برای ژنوتیپ‌های خاص را تعیین نموده و محیط‌ها را به یک یا چند ناحیه بزرگ (Mega-environments) دسته‌بندی می‌کند. روش GGE را می‌توان برای برآورد اثر GY و پایداری ژنوتیپ‌ها به‌صورت سال به سال و یا طی چند سال به کار برد (۵). این روش برای ارزیابی صفات در محیط‌های مختلف در چندین محصول زراعی از جمله گندم (۲۸، ۱۴)، یولاف (۳، ۱۶، ۲۴)، سویا (۲)، نخود (۱۲) لوبیا (۲۵، ۲۲) و عدس (۱۳) مورد استفاده قرار گرفته است. در مطالعه‌ای که به‌منظور بررسی ۲۱ ژنوتیپ عدس در سه مکان طی سال زراعی ۱۳-۲۰۱۴ انجام شد، نتایج حاصل از تجزیه پایداری به‌روش GGE biplot برای گزینش همزمان میانگین عملکرد و پایداری عملکرد منجر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی که در تمام محیط‌ها نسبتاً پایدار بودند (ژنوتیپ‌های ۴، ۱۲، ۶، ۱۳ و ۲) و محیط متمایزکننده که بیشترین تغییرات را برای عملکرد نشان داد محیط ۱ بود. محققین این مطالعه عنوان کردند روش GGE biplot روش مناسبی برای تمایز ژنوتیپ‌ها بر اساس پایداری و عدم پایداری آن‌ها در محیط‌های مختلف است (۱۰). در مطالعه‌ای که با هدف بررسی پایداری شش ژنوتیپ عدس در هشت محیط با استفاده از روش GGE biplot انجام شد، دو ابرمحیط شناسایی و ژنوتیپ شماره ۳ به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ دارای عملکرد مناسب معرفی شد، ژنوتیپ شماره ۷ بالاترین میزان پایداری را داشته و محیط ۷ متمایزکننده‌ترین محیط برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی داشت. محققان این مطالعه عنوان کردند روش گرافیکی GGE biplot بهترین روش برای مشاهده ارتباط بین محیط‌ها، ژنوتیپ‌ها و صفات مختلف است (۳۰). در تحقیقی دیگر نیز با استفاده از روش GGE biplot، پایداری عملکرد ۱۳ ژنوتیپ لوبیا طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ در دو مکان مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از نتایج حاصل ژنوتیپ

در هر سال در طول دوره رشد و نمو گیاه، صفات مختلف شامل درصد سبز شدن، روز تا ۵۰ درصد گلدهی، غلاف‌دهی و رسیدگی فیزیولوژی، طول دوره‌های گلدهی، غلاف‌دهی و پر شدن دانه، ارتفاع بوته، ارتفاع اولین انشعاب شاخه و ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین و اختلاف دمای کانوپی و پس از برداشت تعداد غلاف، تعداد غلاف پر، تعداد غلاف خالی و تعداد دانه در بوته، تعداد دانه در غلاف، زیست‌توده و عملکرد دانه و شاخص برداشت بوته و زیست‌توده، عملکرد و شاخص برداشت کل و وزن هزاردانه ارقام و لاین‌های مختلف اندازه‌گیری شد.

با توجه به متفاوت بودن شرایط سه سال آزمایش، جهت بررسی لاین‌ها و کسب اطلاعات بیشتر در مورد واکنش ارقام از لحاظ عملکرد در این سه سال از روش گرافیکی GGE biplot استفاده شد. به این منظور تجزیه واریانس مرکب با استفاده از داده‌های ارقام شاهد، با فرض ثابت بودن اثر ژنوتیپ‌ها و تصادفی بودن اثر محیط‌ها پس از انجام آزمون بارتلت برای بررسی یکنواختی واریانس خطاها انجام شد. با توجه به معنی‌دار شدن اثر سال، برای ۲۰۰ لاین و پنج رقم شاهد که طی سه سال زراعی حضور داشتند، تجزیه گرافیکی با استفاده از روش GGE بای‌پلات (۳۳،۳۶) مطابق با رابطه زیر انجام شد:

$$Y_{ij} - \bar{Y}_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{j1} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{j2} + \varepsilon_{ij}$$

در این رابطه Y_{ij} : میانگین عملکرد ژنوتیپ i در محیط j ، \bar{Y}_j : میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در محیط j ، λ_1 و λ_2 : به‌ترتیب مقادیر ویژه برای PC_1 و PC_2 (به‌ترتیب)، ξ_{i1} و ξ_{i2} : نمرات PC_1 و PC_2 (به‌ترتیب) برای ژنوتیپ i ، η_{j1} و η_{j2} : نمرات PC_1 و PC_2 (به‌ترتیب) برای محیط j ، ε_{ij} : باقیمانده مدل مربوط به ژنوتیپ i در محیط j است. به این منظور میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در سال‌های مختلف به‌صورت یک ماتریس دو طرفه تنظیم و به نرم‌افزار GGE biplot (۹) معرفی گردید. برای انجام تجزیه واریانس مرکب داده‌ها از نرم‌افزار SAS (9.1) (۲۶) استفاده شد.

به منظور تأمین نیتروژن مورد نیاز از کود اوره به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار به عنوان کود آغازین (استارتر) همزمان با کاشت استفاده شد. عملیات کاشت به صورت دستی و در تاریخ ۲۳ اسفند انجام شد. بذره‌های عدس قبل از کاشت با سم بنومیل به نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. در این سال، هر واحد آزمایشی شامل یک ردیف یک متری بود. فاصله بین ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۵ سانتی‌متر و عمق کاشت ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در آغاز و انتهای هر بلوک که شامل ۹۲ ردیف کاشت می‌شد دو ردیف عدس کوهین سبز قزوین به عنوان حاشیه کشت شد. در این سال ارقام و لاین‌های مورد بررسی در ۶ تکرار ارزیابی شدند. کنترل علف‌های هرز به صورت دستی و به هنگام نیاز انجام شد. کل مراحل آزمایش در شرایط دیم کامل سپری شد. اندازه‌گیری صفات مختلف در طی مراحل مختلف رشد گیاه و پس از برداشت انجام پذیرفت. در نهایت، با توجه به تجزیه‌های آماری لازم ۳۶۰ لاین برتر انتخاب شد.

در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵، ۳۶۰ لاین برتر انتخابی به‌همراه ۱۵ لاین پیشرفته و پنج رقم اصلاح‌شده مزبور مجدداً در قالب طرح آزمایشی آگمنت در شرایط دیم مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی در ردیف‌های ۱/۵ متری کشت شده و در ۶ تکرار مورد ارزیابی و گزینش قرار گرفتند و از بین آن‌ها ۲۰۰ لاین انتخاب شد. عملیات کاشت در این سال در ۲۰ اسفند انجام و کل مراحل آزمایش نیز مانند سال گذشته در شرایط دیم کامل سپری شد.

در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶، از بین لاین‌های جمع‌آوری شده و لاین‌های پیشرفته ارسالی از ایکاردا ۱۹۵ لاین برتر انتخاب و همراه با پنج رقم اصلاح‌شده مزبور در قالب طرح آزمایشی آگمنت، در ردیف‌های یک متری، در ۴ تکرار و در شرایط دیم مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی کشت شده و مورد ارزیابی و گزینش قرار گرفتند. عملیات کاشت در این سال در ۱۵ اسفند انجام و کل مراحل آزمایش مانند سال‌های گذشته در شرایط دیم کامل سپری شد.

جدول ۱- پارامترهای هواشناسی در دانشگاه زنجان از اول اسفند ماه تا آخر تیر ماه طی سه سال زراعی ۹۷-۱۳۹۴
Table 1. Climatological parameters in Zanjan University from the first of March to the end of July during the three cropping years 2015-18

سال	ماه	حداقل دما (°C)	حداکثر دما (°C)	میانگین دما (°C)	میزان بارش (mm)	رطوبت نسبی (%)
سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴	اسفند	۲/۶	۱۵	۸/۸	۳۱/۶	۵۶
	فروردین	۳/۷	۱۵/۳	۹/۵	۶۲	۶۱
	اردیبهشت	۸/۶	۲۴/۴	۱۶/۵	۲۸/۱	۵۵
	خرداد	۱۱/۱	۲۸/۶	۱۹/۹	۱۵/۹	۴۷
	تیر	۱۶/۵	۳۲/۹	۲۴/۷	۱/۶	۴۶
سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵	اسفند	-۲/۴	۱۱	۴/۳	۴۲/۲	۶۰
	فروردین	۴/۵	۱۶/۷	۱۰/۶	۳۹/۸	۵۸
	اردیبهشت	۹/۳	۲۵/۲	۱۷/۲	۲۲/۱	۵۱
	خرداد	۱۰/۹	۳۱/۴	۲۱/۲	۰	۳۷
	تیر	۱۶/۹	۳۴/۱	۲۵/۵	۱/۳	۴۲
سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶	اسفند	۱/۷	۱۳/۳	۷/۵	۲۶/۸	۶۱
	فروردین	۴/۵	۱۹	۱۱/۸	۱۴/۵	۴۶
	اردیبهشت	۶/۸	۱۹/۷	۱۳/۳	۶۱/۱	۶۱
	خرداد	۱۰/۶	۲۸	۱۹/۳	۲۵/۸	۵۵
	تیر	۱۶/۶	۳۵/۲	۲۵/۹	۰/۴	۳۵

نتایج و بحث

مقادیر پارامترهای آماری شامل درصد ضریب تغییرات، دامنه تغییرات و میانگین صفات در ۲۰۰ لاین مورد بررسی طی سه سال زراعی همچنین میانگین ارقام شاهد به منظور مقایسه لاین‌ها و ارقام شاهد در جدول ۲ ارائه شده است. بیش‌ترین ضریب تغییرات مربوط به صفت تعداد غلاف خالی در بوته (۴۷/۲) و کمترین ضریب تغییرات مربوط به تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی بود (۱/۸). عملکرد دانه در مترمربع دارای ضریب

تغییرات نسبتاً بالایی بود (۲۹/۶) و میانگین کل جامعه برای عملکرد دانه در لاین‌های مورد بررسی ۲۵/۱ گرم در مترمربع بود. نتایج این پارامترها نشان‌دهنده وجود تنوع قابل ملاحظه‌ای در میان لاین‌های مورد ارزیابی بوده که می‌تواند برای گزینش جهت بهبود خصوصیات کیفی و کمی عدس مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۲- ضریب تغییرات، دامنه تغییرات و میانگین صفات مورد بررسی در لاین‌ها و ارقام شاهد عدس طی سه سال زراعی ۱۳۹۴-۹۷
Table 2. Coefficient of variation, range and mean of studied traits in lines and control cultivars of lentil during three cropping years 2015-2018

صفت	ضریب تغییرات	دامنه تغییرات	میانگین لاین‌ها	کیمیا	کوهین	مراغه	گچساران	بیله‌سوار
درصد سبز شدن	۷/۴	۶۵/۵-۱۰۰	۸۷/۴	۶۶/۸	۶۵/۱	۵۹/۲	۶۲	۶۲/۶
اختلاف دمای کانوبی (°C)	۳۹	-۰/۳-۷/۵	۳/۴	۳/۲	۳/۳	۳/۷	۳/۲	۳/۱
ارتفاع بوته (cm)	۵/۸	۱۳/۱-۱۸/۷	۱۳/۲	۱۵/۷	۱۶/۴	۱۶/۳	۱۵/۹	۱۶/۸
ارتفاع اولین انشعاب شاخه (cm)	۳۲/۱	۰/۲-۲/۵	۰/۸	۰/۷	۰/۸	۱/۲	۱	۱/۱
ارتفاع اولین غلاف (cm)	۱۰/۷	۶/۸-۱۲/۳	۹/۳	۸/۵	۹/۳	۹/۲	۹/۵	۱۰/۱
روز تا ۵۰٪ گلدهی	۱/۸	۷۱/۳-۷۹	۷۴/۲	۷۲/۴	۷۲/۱	۷۱/۹	۷۳/۵	۷۳/۵
طول دوره گلدهی	۲۸/۱	۲/۳-۱۲	۵/۹	۵/۱	۵/۳	۵	۷/۴	۱۰/۲
روز تا ۵۰٪ غلاف‌دهی	۱/۹	۷۸/۳-۸۶/۳	۸۱/۷	۷۹/۵	۷۹/۴	۷۹/۱	۸۰/۴	۷۹/۶
طول دوره غلاف‌دهی	۳۱	۱/۳-۱۱/۳	۵/۹	۵/۵	۵/۱	۴/۹	۶/۷	۸/۳
روز تا ۵۰٪ رسیدگی فیزیولوژیک	۲	۹۳/۶-۱۰۳/۳	۹۸/۸	۹۶/۴	۹۷/۲	۹۴/۸	۹۷/۳	۹۶
طول دوره پرشدن دانه	۱۱/۳	۱۲/۳-۲۲/۶	۱۷	۱۶/۸	۱۷/۸	۱۵/۶	۱۶/۹	۱۶/۳
تعداد غلاف در بوته	۲۶/۲	۳/۶-۱۳/۲	۷/۳	۷	۸/۵	۵/۳	۳/۲	۵/۵
تعداد غلاف‌های پر در بوته	۳۲/۲	۲/۳-۱۲/۲	۵/۴	۵/۲	۵/۷	۳/۹	۲/۱	۲/۷
تعداد غلاف‌های خالی در بوته	۴۷/۲	۰/۱-۵/۳	۱/۸	۱/۸	۲/۸	۱/۳	۱	۲/۸
تعداد دانه در بوته	۳۴/۷	۲/۶-۱۴/۲	۶/۷	۶/۵	۶/۹	۴/۴	۲/۴	۳
تعداد دانه در غلاف	۱۱/۹	۰/۷-۱/۵	۱/۱	۱/۱	۱/۱	۱	۱/۱	۱
عملکرد دانه در بوته (gr)	۳۳/۱	۰/۰۹-۰/۶۲	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۱
زیست‌توده در بوته (gr)	۱۹/۳	۰/۶-۲/۳	۱/۴	۱/۳	۱/۸	۱	۰/۸	۱
وزن کاه‌وکلش در بوته (gr)	۲۱	۰/۵-۲	۱/۱	۱	۱/۵	۰/۸	۰/۷	۰/۸
شاخص برداشت در بوته	۲۵/۵	۷-۳۳/۳	۲۱/۳	۲۰/۱	۱۶/۹	۱۷/۲	۱۱/۹	۱۴/۹
تعداد دانه (عدد در مترمربع)	۳۱/۵	۲۰/۷-۱۰۹/۷	۵۴۹/۷	۵۰۰/۵	۵۲۱/۱	۳۶۰/۴	۲۲۱/۷	۲۲۴/۸
عملکرد دانه (gr/m ²)	۲۹/۶	۸/۵-۴۷/۷	۲۵/۱	۲۲/۱	۲۲/۹	۱۴/۷	۱۰/۲	۱۱
زیست‌توده (gr/m ²)	۱۹/۳	۵۴/۷-۱۷۵/۹	۱۱۸/۹	۱۰۷/۸	۱۴۴/۷	۸۰/۶	۷۴/۹	۸۳/۳
وزن کاه‌وکلش (gr/m ²)	۲۰/۶	۳۹-۱۴۵/۳	۹۳/۷	۸۵/۷	۱۲۱/۷	۶۵/۸	۶۴/۷	۷۲/۳
شاخص برداشت	۲۱/۴	۱۰/۳-۳۲/۵	۲۰/۷	۲۰/۹	۱۵/۹	۱۹/۲	۱۶/۳	۱۳/۵
وزن هزاردانه (gr)	۱۳	۲۳/۸-۵۹/۴	۴۶	۴۶/۶	۴۷/۲	۴۱/۸	۴۷	۴۹/۶

بر اساس نتایج تجزیه مرکب پنج رقم شاهد، اثر سال از نظر کلیه صفات به غیر از صفات درصد سبز شدن، ارتفاع اولین غلاف و طول دوره گلدهی معنی‌دار بود و اختلاف بین سال‌ها برای تمامی صفات اندازه‌گیری شده بجز صفت تعداد دانه در غلاف در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار بود نتایج تجزیه مرکب روی عملکرد دانه نشان داد که اختلاف بین سه سال زراعی، ارقام شاهد و اثر متقابل رقم × سال، در سطح احتمال یک درصد

معنی‌دار بود. معنی‌دار شدن اثر سال نشان‌دهنده اختلاف سال‌ها از نظر عملکرد ژنوتیپ‌ها و متفاوت بودن شرایط آن‌ها و تأثیر بر عملکرد ژنوتیپ‌ها است. معنی‌دار بودن اثر متقابل رقم × سال به این معنی است که ارقام شاهد در شرایط مختلف سه سال زراعی پاسخ‌های متفاوتی نشان داده و پایداری عملکرد دانه می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد، به عبارتی شرایط سال‌های آزمایش تأثیر یکسانی بر همه رقم‌ها نداشته است (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفات مورد ارزیابی در ارقام شاهد عدس

Table 3. Combined analysis of variance of studied traits in control cultivars of lentil

میانگین مربعات													
منابع تغییر	درجه آزادی	درصد سبز شدن	اختلاف دمای کانوبی	ارتفاع بوته	ارتفاع اولین انشعاب شاخه	ارتفاع اولین غلاف	روز تا ۵۰٪ گلدهی	طول دوره گلدهی	روز تا ۵۰٪ غلاف‌دهی	طول دوره غلاف‌دهی	روز تا ۵۰٪ رسیدگی	طول دوره پر شدن دانه	تعداد غلاف در بوته
سال	۲	۰/۰۲۴ ^{ns}	۰/۷۱۷ ^{ns}	۱۴۱/۵۱ ^{ns}	۰/۵۱۴ ^{ns}	۰/۰۰۸ ^{ns}	۶۹۹/۲۴ ^{ns}	۰/۰۶۱ ^{ns}	۱۰۰۲/۱۷ ^{ns}	۱۲۵/۴۳۱ ^{ns}	۶۵۹/۷۷۸ ^{ns}	۰/۰۲۷ ^{ns}	۰/۰۱۱ ^{ns}
تکرار (سال)	۱۳	۰/۰۱۲	۰/۰۲۷	۳/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۱۳	۷/۰۷	۰/۰۲۱	۲/۳۴۴	۳/۷۲۳	۱۳/۳۹۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴
رقم	۴	۰/۰۰۹ ^{ns}	۰/۰۱۹ ^{ns}	۵/۸۰ ^{ns}	۰/۰۲۵ ^{ns}	۰/۰۱۰ ^{ns}	۶/۳۰ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۱/۸۸۸ ^{ns}	۲۷/۲۳۲ ^{ns}	۹/۷۳۰ ^{ns}	۰/۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۱۹ ^{ns}
سال × رقم	۸	۰/۰۱۵ ^{ns}	۰/۰۴۶ ^{ns}	۳/۵۳ ^{ns}	۰/۰۲۸ ^{ns}	۰/۰۲۱ ^{ns}	۴/۵۴ ^{ns}	۰/۰۲۰۴ ^{ns}	۹/۳۵۶ ^{ns}	۱۱/۶۷۳ ^{ns}	۶/۳۱۱ ^{ns}	۰/۰۰۹ ^{ns}	۰/۰۸۳ ^{ns}
خطا	۵۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۶	۳/۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۱۱	۴/۳۹	۰/۰۲۰	۲/۱۵۸	۴/۵۹۲	۶/۶۳۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات (%)	-	۴/۷۰	۱۲/۶۸	۱۰/۸۹	۱۶/۳۲	۱۰/۵۳	۲/۹۱	۱۶/۸۲	۱/۸۶	۳۳/۷۴	۲/۶۹	۵/۰۴	۹/۷۷

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفات مورد ارزیابی در ارقام شاهد عدس

Continued Table 3. Combined analysis of variance of studied traits in control cultivars of lentil

میانگین مربعات													
منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد غلاف خالی	تعداد دانه در بوته	تعداد دانه در غلاف	عملکرد دانه در بوته	زیست‌توده بوته	شاخص برداشت بوته	وزن کاه و کلش بوته	تعداد دانه	عملکرد دانه	زیست‌توده	وزن کاه و کلش	شاخص برداشت
سال	۲	۱/۶۶۹ ^{ns}	۲/۰۵۲ ^{ns}	۰/۰۵۴ ^{ns}	۰/۰۵۹ ^{ns}	۰/۴۲۴ ^{ns}	۱/۷۱۴ ^{ns}	۰/۴۰۳ ^{ns}	۴/۶۵۱ ^{ns}	۶/۴۹۴ ^{ns}	۳/۴۴۷ ^{ns}	۳/۵۹۸ ^{ns}	۱/۷۶۳ ^{ns}
تکرار (سال)	۱۳	۰/۰۰۸	۰/۰۲۵	۰/۰۱۳	۰/۰۰۲	۰/۰۲۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	۰/۰۴۰	۰/۰۸۰	۰/۰۲۰
شاهد	۴	۰/۱۸۸ ^{ns}	۰/۲۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۱۲ ^{ns}	۰/۰۵۶ ^{ns}	۰/۰۵۴ ^{ns}	۰/۰۴۳ ^{ns}	۰/۲۱۶ ^{ns}	۰/۲۷۰ ^{ns}	۰/۲۱۳ ^{ns}	۰/۳۵۰ ^{ns}	۰/۱۱۱ ^{ns}
سال × شاهد	۸	۰/۰۹۱ ^{ns}	۰/۱۱۴ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۲۰ ^{ns}	۰/۰۷۴ ^{ns}	۰/۰۱۷ ^{ns}	۰/۰۹۲ ^{ns}	۰/۱۲۴ ^{ns}	۰/۰۷۶ ^{ns}	۰/۱۵۳ ^{ns}	۰/۰۴۰ ^{ns}
خطا	۵۲	۰/۰۱۶	۰/۰۱۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۲۲	۰/۰۰۴	۰/۰۱۲	۰/۰۱۵	۰/۰۳۷	۰/۰۸۵	۰/۰۲۷
ضریب تغییرات (%)	-	۲۰/۹۶	۱۷/۰۴	۳۲/۰۰	۴۱/۸۲	۲۲/۸۸	۱۲/۴۰	۲۵/۸۹	۱۰/۴۴	۵/۳۷	۱۰/۷۶	۱۷/۴۵	۱۳/۱۹

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

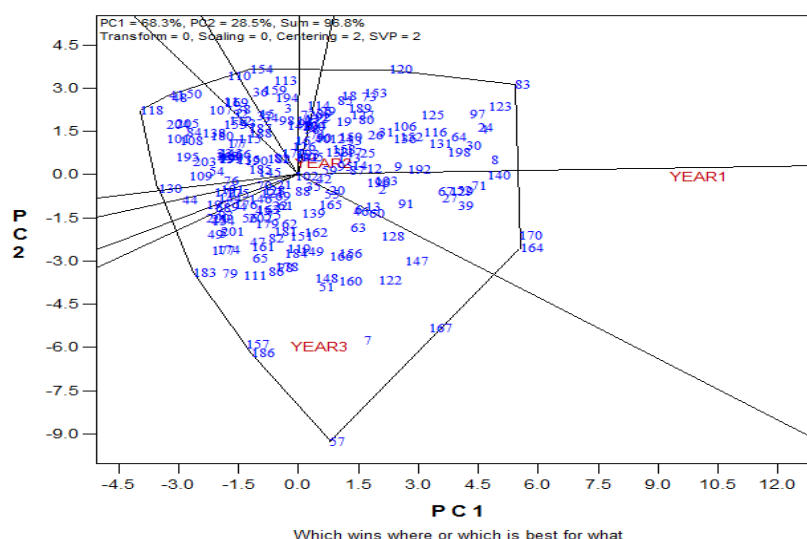
۱۱۰ و ۱۵۴ در رأس این چندضلعی قرار گرفته‌اند. سال اول در بخشی قرار گرفته که لاین‌های ۱۷۰ و ۱۶۴ در رأس آن قرار گرفته است. این بدان معنی است که لاین‌های ۱۷۰ و ۱۶۴ بهترین لاین‌ها در سال اول بوده‌اند. سال سوم در بخشی قرار گرفته که لاین‌های ۵۷ و ۱۸۳ در رأس آن قرار گرفته‌اند به عبارت دیگر، این لاین‌ها بهترین لاین‌ها در سال سوم بوده‌اند. مهم‌ترین نکته این است که هیچ محیطی در داخل بخش‌هایی که لاین‌های ۱۳۰، ۱۱۸، ۱۵۰ و ۱۱۰ در رأس آن قرار گرفته‌اند وجود ندارد که حاکی از این موضوع است که لاین‌های ۱۳۰، ۱۱۸، ۱۵۰، ۱۱۰ و ۱۵۴ هیچ ابرمحیطی برتری ندارند. این لاین‌ها در هیچ یک از سال‌ها لاین‌های خوبی نبودند.

این بای‌پلات خاصیت گروه‌بندی محیط‌ها را نیز دارد. در واقع می‌توان ابرمحیط‌های مختلف را شناسایی کند. در این بای‌پلات سال اول به عنوان اولین ابرمحیط و سال سوم به عنوان دومین ابرمحیط شناسایی شدند. سال دوم در مرکز بای‌پلات قرار گرفته و لاین‌ها نسبت به این سال هیچ واکنشی نشان ندادند. بعضی از لاین‌ها که در نزدیکی مرکز بای‌پلات قرار داشتند، دارای عملکرد متوسط و سازگاری عمومی به شرایط سال‌های آزمایشی بودند یعنی این لاین‌ها در سال‌های مختلف دارای رتبه یکسان بودند. در مطالعه‌ای دیگر با استفاده از روش GGE biplot اثر متقابل ژنوتیپ در محیط برای عملکرد عدس در ایران مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل از این روش سه محیط بزرگ را شناسایی کرد (۱۱). صباغ‌نیا و همکاران (۲۳) نیز با ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط با استفاده از روش GGE biplot برای عملکرد عدس در ایران سه ابرمحیط را شناسایی کردند.

با توجه به متفاوت بودن شرایط سه سال آزمایش، جهت بررسی لاین‌ها و کسب اطلاعات بیشتر در مورد واکنش ارقام و لاین‌ها در این سه سال از روش گرافیکی GGE biplot استفاده شد. بر اساس نتایج حاصل از این روش مجموع دو مؤلفه اصلی اول و دوم ($PC_1=68/3\%$ و $PC_2=28/5\%$)، ۹۶/۸ درصد از تغییرات را توجیه کردند که به این معنی است که این دو مؤلفه توانسته‌اند ۹۶/۸ درصد از تغییرات مربوط به عملکرد دانه را تبیین نمایند که بیانگر اعتبار بالایی نمودار بای‌پلات حاصل از این مطالعه در تبیین تغییرات G+GE است.

پیچیده بودن ماهیت اثر متقابل ژنوتیپ در محیط گاه‌ها باعث می‌شود که مجموع دو مؤلفه اول نتواند اکثر تغییرات موجود را تبیین نماید اما این امر به معنی نامعتبر بودن بای‌پلات نیست (۳۷). هنگامی که نمودار بای‌پلات حداقل ۶۰ درصد از واریانس داده‌ها را توجیه نماید، می‌توان از آن برای تعیین محیط‌های بزرگ استفاده کرد (۳۸).

برای تعیین ابرمحیط‌ها (Mega-environments) و بهترین لاین‌ها در هر محیط بای‌پلات شکل ۱ رسم شد که در آن یک چندضلعی مشاهده می‌شود که از متصل کردن دورترین لاین‌ها (از مبدأ بای‌پلات) به یکدیگر ایجاد شده است و اطلاعات جامعی در اختیار قرار می‌دهد. با استفاده از این بای‌پلات و چندضلعی درون آن می‌توان ابرمحیط‌ها و رقم‌های برتر از لحاظ عملکرد برای هر سال را شناسایی کرد. در این بای‌پلات توسط خطوطی که بر این چندضلعی عمود گشته است ۱۰ بخش قابل مشاهده می‌باشد. لاین‌های موجود در رأس چندضلعی لاین‌های برتر برای سال‌هایی هستند که در این چندضلعی واقع شده‌اند. ژنوتیپ‌های شماره ۸۳، ۱۷۰ و ۱۶۴، ۵۷، ۱۸۳، ۱۳۰، ۱۱۸، ۱۵۰،

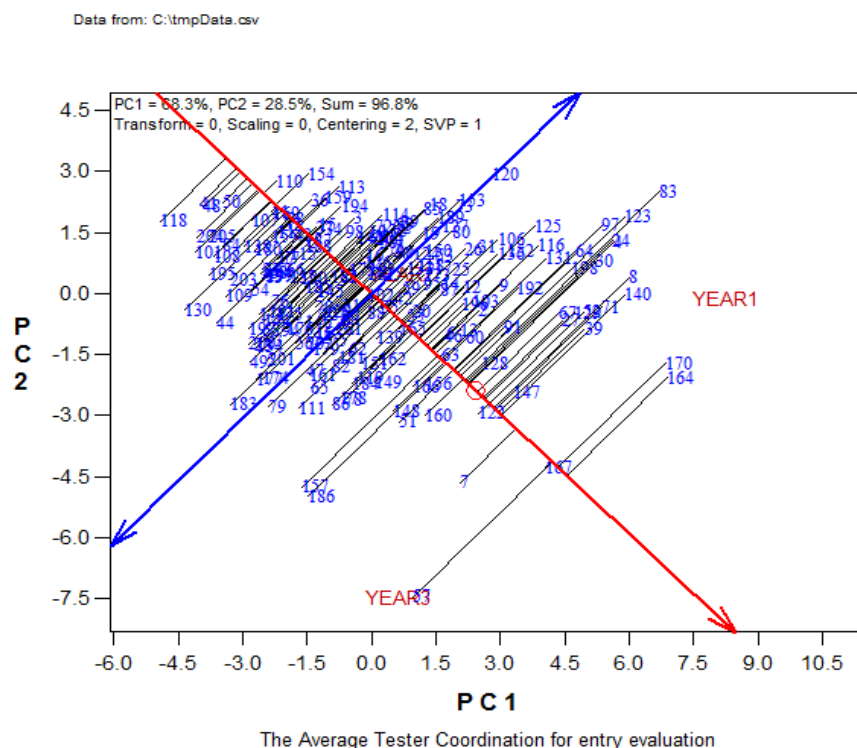


شکل ۱- نمودار چندضلعی روش GGE biplot برای تعیین ابرمحیط‌ها و بهترین لاین‌ها برای هر محیط (سال)
Figure 1. Polygons of GGE biplot method for determine the mega-environments and appropriate cultivars in every environment (year)

عملکردی بیشتر از عملکرد میانگین دارای فاصله کمی با محور پایداری بوده و نوسانات عملکرد کمی دارند. در حالی که لاین شماره ۵۷ (۴۴/۸ گرم در مترمربع) علیرغم داشتن عملکرد بالا پایدار نبوده و بیشترین واکنش این ژنوتیپ مربوط به سال سوم بوده است (یعنی در سال سوم دارای عملکرد بالا بوده است)، ژنوتیپ‌های شماره ۱۵۷ (۳۱/۸ گرم در مترمربع)، ۱۸۶ (۳۴/۱ گرم در مترمربع)، ۸۶ (۳۳ گرم در مترمربع) و ۱۱۱ (۲۶/۶ گرم در مترمربع) نیز دارای عملکرد بالاتر از عملکرد میانگین بودند اما نسبت به سال سوم پاسخ داشته‌اند. لاین‌های شماره ۱۶۴ (۴۷/۷ گرم در مترمربع) و ۱۷۰ (۴۶/۹ گرم در مترمربع) نیز بیشترین واکنش را به سال اول داشته و لاین‌های پایداری نمی‌باشند علاوه بر این لاین‌ها، لاین‌های شماره ۳۹ (۳۸/۴ گرم در مترمربع)، ۷۱ (۳۷/۵)، ۱۴۰ (۳۷/۸ گرم در مترمربع)، ۸ (۴۰/۳ گرم در مترمربع)، ۶۴ (۳۶/۸ گرم در مترمربع)، ۹۷ (۳۵/۶ گرم در مترمربع)، ۹۱ (۶ گرم در مترمربع)، ۱۱۶ (۳۲/۶ گرم در مترمربع)، ۱۳۱ (۳۴/۷ گرم در مترمربع)، ۱۲۵ (۳۰/۷ گرم در مترمربع) و ۱۰۶ (۲۸/۸ گرم در مترمربع) نیز با داشتن عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد نسبت به سال اول پاسخ داشته‌اند. کریم‌زاده و همکاران (۱۳) نیز از روش GGE biplot جهت بررسی پایداری عملکرد دانه ۱۸ ژنوتیپ عدس در چهار مکان استفاده کردند. این محققان با استفاده از این روش سه ابرمحیط و ژنوتیپ‌های دارای بیشترین عملکرد برای هر ابرمحیط، ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپ‌های دارای بالاترین عملکرد و ژنوتیپ‌های با بیشترین میزان پایداری عملکرد را شناسایی کردند. در یک مطالعه دیگر که به منظور ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های بومی نخود تیپ کابلی و دستیابی به نمونه‌های برتر نخود تیپ کابلی در شرایط متغیر حاکم بر نواحی دیم کشور انجام شد، نتایج تجزیه پایداری به روش GGE biplot نشان داد که پنج ژنوتیپ از ۲۲ ژنوتیپ مورد بررسی به دلیل داشتن عملکرد بالاتر و پایدارتر و داشتن سازگاری عمومی‌تر قابل توصیه برای توسعه کشت در مناطق دیم بودند (۲۰).

با استفاده از بای‌پلات شکل ۲ میانگین عملکرد و پایداری لاین‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در این بای‌پلات محور افقی که دارای یک فلش است از دایره کوچکی که بیانگر میانگین محیط است و نیز مبدأ مختصات می‌گذرد. تصویر ژنوتیپ‌ها روی این محور نشان‌دهنده مقدار تقریبی عملکرد آن‌ها است. لاین شماره ۱۶۴ با قرار گرفتن در سمت مثبت محور افقی بالاترین میزان عملکرد (۴۷/۷ گرم در مترمربع) و لاین شماره ۱۱۸ با قرار گرفتن در جهت منفی محور کمترین میزان عملکرد (۸/۵ گرم در مترمربع) را نشان می‌دهند. به همین ترتیب لاین‌هایی که در سمت راست محور قرار گرفته‌اند دارای عملکردی بالاتر از میانگین کل بوده و لاین‌های سمت چپ محور میانگینی کمتر از میانگین کل دارند. محور عمودی نیز که از مبدأ مختصات می‌گذرد و عمود بر محور میانگین است بیانگر اثر متقابل ژنوتیپ در محیط بوده و پایداری ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد. هر چقدر که تصویر ژنوتیپ‌ها روی این محور بدون در نظر گرفتن جهت آن‌ها بلندتر باشد، نشان‌دهنده ناپایداری آن‌ها است. به این ترتیب لاین‌هایی که بیشترین طول خط عمود بر محور افقی را نسبت به بقیه لاین‌ها دارند، دارای بیشترین ناپایداری و نوسان عملکرد می‌باشند. برعکس لاین‌هایی مانند لاین ۱۶۷ (۴۵/۱ گرم در مترمربع) و ۱۲۲ (۳۹/۶ گرم در مترمربع) که دارای کمترین طول خط (کمترین واریانس) و عملکرد بالاتر از میانگین کل (۲۵/۱ گرم در مترمربع) هستند جزو پایدارترین لاین‌ها شناخته شدند.

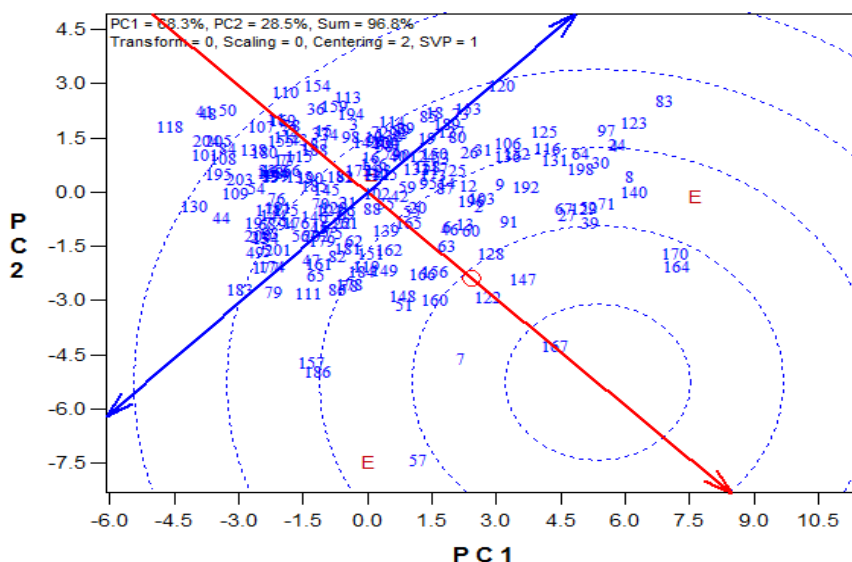
در مجموع می‌توان گفت لاین‌های شماره ۱۶۷ (۴۵/۱ گرم در مترمربع)، ۱۲۲ (۳۹/۶ گرم در مترمربع)، ۶۳ (۳۴ گرم در مترمربع) لاین‌هایی هستند که علاوه بر داشتن عملکرد بالا به علت قرار گرفتن روی محور و داشتن کمترین فاصله با محور پایداری، نوسانات عملکرد کمتری نیز دارند، لاین‌های شماره ۱۴۷ (۳۹/۵ گرم در مترمربع)، ۱۲۸ (۳۳/۸ گرم در مترمربع)، ۷ (۴۰/۸ گرم در مترمربع)، ۱۶۰ (۳۴/۹)، ۵۱ (۳۵/۲ گرم در مترمربع)، ۱۴۸ (۳۳/۶ گرم در مترمربع)، ۱۵۶ (۳۲/۴ گرم در مترمربع) و ۱۶۰ (۳۴/۹ گرم در مترمربع) نیز علاوه بر داشتن



شکل ۲- ارزیابی همزمان میانگین و پایداری عملکرد ارقام و لاین‌های عدس در سال‌های مختلف
Figure 2. Simultaneous evaluation of seed yield means and stability of lentil cultivars and lines in different years

دوایر به‌عنوان لاین ایده‌آل و لاین‌های ۱۶۴، ۱۷۰، ۱۴۷، ۱۲۲ و ۷ بعد از آن در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. محققان دیگر نیز به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های سویا دارای عملکرد دانه بالا و پایدار در مناطق مختلف در جنوب برزیلی سال‌های زراعی ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ از روش GGE biplot استفاده کردند. این محققان با استفاده از این روش ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا و سازگاری گسترده برای مناطق مختلف را شناسایی کردند. همچنین این محققان عنوان کردند تجزیه در طول همه سال‌های کشت نسبت به تجزیه سال به سال برای شناسایی ژنوتیپ ایده‌آل بهتر است (۵).

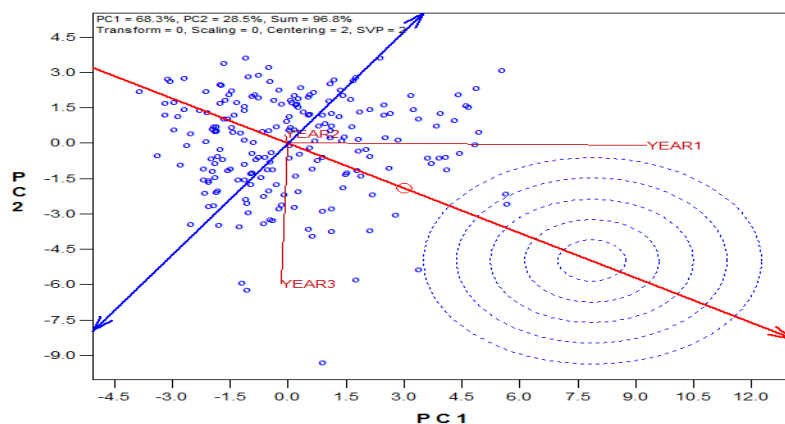
رسم نمودار لاین ایده‌آل به‌منظور تعیین گرافیکی فاصله بین لاین‌های مورد مطالعه با لاین ایده‌آل فرضی است. لاین ایده‌آل لاینی است که پایداری و پر محصول‌ترین لاین بوده و بر اساس بیشترین طول روی بردار میانگین لاین‌های با عملکرد بالا و دارای حداقل نقش در اثر متقابل ژنوتیپ در محیط تعریف و به‌صورت یک دایره کوچک روی محور میانگین عملکرد لاین‌ها نشان داده شده است. میزان مطلوبیت لاین‌ها به فاصله آن‌ها از لاین ایده‌آل بستگی دارد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود مرکز دوایر متحدالمرکز جایی است که لاین ایده‌آل قرار می‌گیرد. بنابراین لاین ۱۶۷ با قرار گرفتن در مرکز



شکل ۳- تعیین ژنوتیپ ایده‌آل با استفاده از روش GGE biplot
Figure 3. Determination of the ideal genotype using the GGE biplot method

نظر گرفتن همزمان میانگین عملکرد و پایداری، سه ژنوتیپ که در تمام محیط‌ها نسبتاً پایدار بودند را شناسایی کرده و عنوان کردند محیط E_1 بیشترین مقدار تمایزکنندگی را داشته و ژنوتیپ‌ها در این محیط بیشترین تغییرات را در عملکرد دانه داشتند. از این رو این محققین روش GGE biplot را روشی مناسب برای تمایز بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ ماهیت پایداری و عدم پایداری در محیط‌ها معرفی کردند (۱۰).

محیط ایده‌آل، ایده‌آل‌ترین الگوی پاسخ ژنوتیپی را نشان می‌دهد یعنی دارای بیشترین مقدار تمایزکنندگی بین ژنوتیپ‌ها است. بر طبق شکل ۴ هیچ‌کدام از سال‌های مورد بررسی در محدوده دوایر متحدالمرکز قرار نگرفته‌اند. بنابراین هیچ‌کدام از سال‌ها شرایط سال ایده‌آل را نداشتند. در مطالعه‌ای که به‌منظور تعیین پایداری ژنوتیپ‌های عدس در نواحی شمالی منطقه هیل در هند با از دو روش GGE biplot و AMMI انجام شد، محققین بر اساس نتایج تجزیه به‌روش GGE biplot و با در



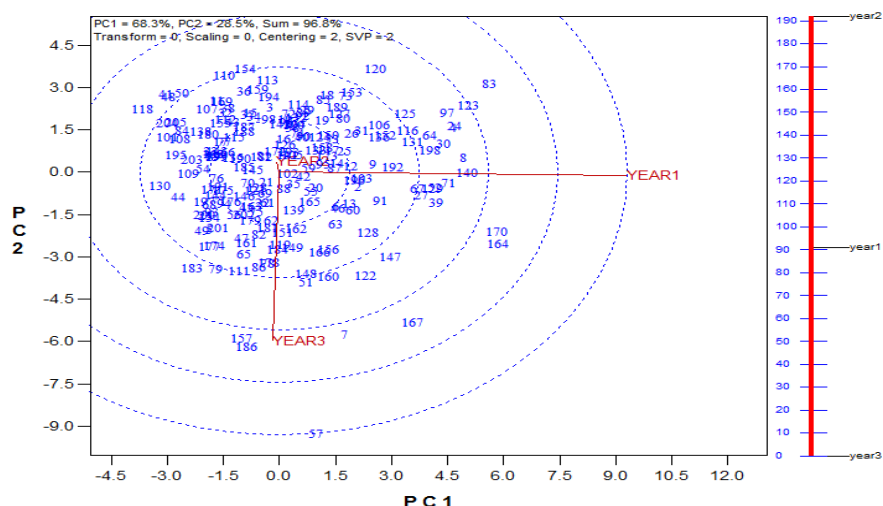
شکل ۴- تعیین محیط ایده‌آل با استفاده از روش گرافیکی GGE biplot
Figure 4. Determination of the ideal environment using the GGE biplot method

زاویه بین بردارها کوچکتر از ۹۰ درجه باشد نشان‌دهنده همبستگی مثبت بین آن‌ها می‌باشد. زاویه ۹۰ درجه بین بردارها

در بای‌پلات شکل ۵، همبستگی بین محیط‌ها از طریق زاویه‌ای که بین آن‌ها وجود دارد تعیین می‌شود. در واقع اگر

برآوردی از انحراف معیار درون هر محیط بوده و در واقع معیاری از قدرت تمایز محیط‌های آزمایشی است (۳۶). بر همین اساس، در این تحقیق سال اول طولی‌ترین بردار و بیشترین قدرت تمایز را در بین دیگر سال‌ها داشته است. بعد از این سال، سال سوم متمایزکننده‌ترین سال بوده و سال دوم با داشتن کم‌ترین طول بردار قدرت تمایزکنندگی بسیار کمی در بین سه سال اجرای آزمایش را داشته است.

نشان‌دهنده مستقل بودن محیط‌ها است. زاویه بزرگتر از ۹۰ درجه به معنای همبستگی منفی بین محیط‌هاست. با توجه به شکل وجود زاویه بزرگتر از ۹۰ درجه نشان‌دهنده همبستگی منفی بین سال‌ها است که به معنی پاسخ متفاوت ارقام و لاین‌ها در این سال‌ها است. محققان گزارش کردند که وجود رابطه نزدیک بین محیط‌های آزمایشی نشان‌دهنده اطلاعات مشابه درباره محیط‌ها است (۸، ۱۷، ۳۵). طول بردارهای محیطی،



شکل ۵- بای‌پلات روابط بین محیط‌های مختلف
Figure 5. Biplot of interrelationships among different environments

لاین با قرار گرفتن در مرکز دوایر به عنوان لاین ایده‌آل تعیین شد. لاین‌های ۱۴۷، ۱۲۸، ۷، ۱۶۰، ۵۱، ۱۴۸، ۱۵۶ و ۱۶۰ نیز علاوه بر داشتن عملکردی بیشتر از عملکرد میانگین دارای فاصله کمی با محور پایداری بوده و نوسانات عملکرد کمی داشتند. استفاده از این لاین‌ها برای برنامه‌های اصلاحی و ادامه روند گزینش پیشنهاد می‌شود.

بر اساس نتایج حاصل از مطالعه حاضر، روش GGE biplot روشی کارا برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط بوده و اطلاعات مفیدی در خصوص ژنوتیپ‌ها و محیط‌های تحت بررسی ارائه می‌دهد. با استفاده از این روش در مطالعه حاضر مشخص شد در بین سال‌های آزمایش، شرایط محیطی سال اول سبب بیشترین تمایز بین ژنوتیپ‌ها شده است. لاین شماره ۱۶۷ علاوه بر داشتن عملکرد بالا نوسانات عملکرد کمتری داشت. این

منابع

1. Agricultural Statistics Booklet. 2018. Volume I: Crop production. Ministry of Jihad-e-Keshavarzi. Office of Statistics and Information Technology. Available at: <http://amar.maj.ir/Portal/Home/Default.aspx?CategoryID=117564e0-507c-4565-9659-fbabfb4acb9b>. pp. (In Persian).
2. Bhartiya, A., J.P. Aditya, V. Kumari, N. Kishore, J.P. Purwar, A. Agraval and L. Kant. 2017. GGE Biplot & AMMI Analysis of Yield Stability in Multienvironment Trial of Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] Genotypes Under Rainfed Condition of North Western Himalayan Hills. The Journal of Animal & Plant Sciences, 27(1): 227-238.
3. Chen, X., B. Wu and Z. Zhang. 2016. Evaluation of adaptability and stability for important agronomic traits of oat (*Avena* spp.) germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 17(4): 577-585.
4. Correa, A.M., P.E. Teodoro, M.C. Gonsalves, A. Santos and F.E. Torres. 2016. Selection of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes using a genotype plus genotype x environment interaction biplot. Genetics and Molecular Research, 15(3): 2-9.
5. Dallo, S.C., A.D. Zdziarski, L.G. Woyann, A.S. Milioli, R. Zanella, J. Conte and G. Benin. 2019. Across year and year-by-year GGE biplot analysis to evaluate soybean performance and stability in multi-environment trials. Euphytica, 215: 113-125.
6. Ellstrand, N.C. 2014. Is gene flow the most important evolutionary force in plants. American Journal of Botany, 101737-753.
7. FAOSTAT. 2018. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Production Statistics. <http://faostat.fao.org/>
8. Gedif, M. and D. Yigzaw. 2014. Genotype by environment interaction analysis for tuber yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) using a GGE biplot method in Amhara Region, Ethiopia. Agricultural Sciences, 5: 239-249.
9. GGE-biplot. 2009. GGE-biplot software version 5.2. The Complete Biplot Analysis System: GGEbiplot Pattern Explorer. Copy Right Weikai Yan, 2001-2009, USA.
10. Jeberson, M.S., K.S. Shashidhar, S.H. Wani, A.K. Singh and S.A. Dar. 2019. Identification of stable lentil (*Lensculinaris* Medik) genotypes through GGE biplot and AMMI analysis for North Hill Zone of India. Legume Research, 42(4): 467-472.
11. Joshi, M., B. Adhikari, J. Panozzo and P. Aldren. 2010. Water uptake and its impact on the texture of lentils (*Lens culinaris*). Journal of Food Engineering, 100:61-69.
12. Kanouni, H., Y. Farayedi, A. Saeid and S.H. Sabaghpour. 2015. Stability analyses for seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in the Western Cold Zone of Iran. Journal of Agricultural Science, 7(5): 219-230 (In Persian).
13. Karimizadeh, R., M. Mohammadi, N. Sabaghnia, A.A. Mahmoodi, B. Roustami, F. Seyyedi and F. Akbari. 2013. GGE Biplot Analysis of Yield Stability in multi-environment Trials of Lentil Genotypes under Rainfed Condition. Notulae Scientia Biologicae, 5(2): 256-262.
14. Karimizadeh, R., T. Hosseinpour, J. Alt Jafarby, K. Shahbazi Homonlo, M. Armion and P. Sharifi. 2020. Stability Analysis of Durum Wheat Genotypes by GGE Biplot Method. Journal of Crop Breeding, 12(35): 1-17 (In Persian).
15. Khazaei, H., C.T. Caron, M. Fedoruk, M. Diapari, A. Vandenberg, C.J. Coyne, R. McGee and K.E. Bett. 2016. Genetic Diversity of Cultivated Lentil (*Lensculinaris* Medik.) and Its Relation to the World's Agro-ecological Zones. Frontiers in Plant Science, 7: 1093.
16. Li, X.P., M.Y. Li, A.J. Ling, X.Z. Hu, Z. Ma, L. Liu, Y.X. and Li YX. 2017. Effects of genotype and environment on avenanthramides and antioxidant activity of oats grown in northwestern China. Journal Cereal Science, 73: 130-137. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.12.005>
17. Mohamed, N. and A.A. Ahmed. 2013. Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) and GGE-biplot analysis of genotype x environment interactions for grain yield in bread wheat (*Triticumaestivum* L.). African Journal of Agricultural Research, 8: 5197-5203.
18. Mokhtarifar, K., R. Abdolshahi and S. Pour Seyyedy. 2016. Yield Stability Analysis of Eight Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars in Kerman Province Condition. Journal of Crop Breeding, 8(17): 96-103 (In Persian).
19. Nath, U.K., M. Santona Rani, R. Paul, M.N. Alam and B. Horneburg. 2014. Selection of Superior Lentil (*Lensesculenta* M.) Genotypes by Assessing Character Association and Genetic Diversity. The Scientific World Journal, Article ID 372405, 6 pp.
20. Pouresmael, M., H. Kanouni, H. Asterki, M. Hajhassani and A. Mirakhorli. 2017. Yield Evaluation of Kabuli Type Chickpea Landraces in Rainfed Conditions. Seed and Plant Production, 1(33): 29-43 (In Persian).

21. Rahimi, M.H., S. Houshmand, M. Khadambashi, B. Shiran and S. Mohammadi. 2017. Evaluation of Recombinant Pure Lines of Lentil under Drought Stress. *Journal of Crop Breeding*, 9(22): 82-97 (In Persian).
22. Rezene, Y. 2019. GGE-Biplot Analysis of Multi-Environment Yield Trials of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in the southern Ethiopia. *Journal of Plant Studies*, 8(1): 35.
23. Sabaghnia, N., H. Dehghani and S.H. Sabaghpour. 2008. Graphical analysis of genotype by environment interaction for lentil yield in Iran. *Agronomy Journal*, 100: 760-764 (In Persian).
24. Sanchez-Martin, J., N. Rispail, F. Flores, A.A. Emeran, J.C. Sillero, D. Rubiales and E. Prats. 2017. Higher rust resistance and similar yield of oat landraces versus cultivars under high temperature and drought. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(1): 3-15.
25. Santos, P.R., T.R. Oliveira, P. Skeen, M.R. Nascimento, K.D. Silva Costa, E.R. Araújo, H.S. Pereira and A.F. Costa. 2019. GGE Biplot and REML/BLUP based-analysis of yield stability and adaptability for common beans in multi-environment trials. *Revista Brasileira de Ciencias Agrarias*, 14(2):1-8. 10.5039/agraria.v14i2a5657
26. SAS Institute. 2004. SAS/STAT user's guide. V.9.1. SAS Inst., Cary, North Carolina.
27. Shobeiri, S.S., H. Mostafaei, M.R. Shahab and M. Kamel. 2015. Adaptation and Seed Yield Stability of Advanced Lentil Lines under Cold Dryland Conditions of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal*, 1(31): 491-508 (In Persian).
28. Silva, C.L., E. Bornhofen, M.H. Todeschin, A.S. Milioli, D.M. Trevisan and G. Benin. 2015. Selecting wheat genotypes for yield and baking quality in multi-environment trials. *Revista Ceres*, 62(4): 360-371.
29. Stagnari, F., A. Maggio, A. Galiena and M. Pisante. 2017. Multiple benefits of legumes for agricultural sustainability: An overview. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4(2): 2-15.
30. Turk, Z. and E. Kendal. 2017. The practice of AMMI and GGE biplot analysis of lentil genotypes assessment in multi-environment trials. *Philippine Journal of Crop Science*, 42(3): 39-48.
31. Turner, N.J., L.J. Luczaj, P. Migliorini, A. Pieroni, A.L. Dreon, L.E. Sacchetti and M.G. Paoletti. 2011. Edible and tended wild plants, traditional ecological knowledge and agroecology. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(1-2):198-225.
32. Vanda, M. 2014. Determination of Gene Locations Controlling Grain Yield and its Components in Lentils (*Lens culinaris* Medik). PhD Thesis. Agricultural faculty. Plant breeding group. Shahrekord University (In Persian).
33. Yan, W. 2001. GGEbiplot-a windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. *Agronomy Journal*, 93: 1111-1118.
34. Yan, W. 2016. Analysis and Handling of $G \times E$ in a Practical Breeding Program. *Crop Science*, 56: 2106-2118. doi: 10.2135/cropsci2015.06.0336
35. Yan, W. and I. Rajcan. 2002. Biplot analysis of sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*, 42: 11-20.
36. Yan, W. and M.S. Kang. 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC Press, Boca Raton, 605 pp.
37. Yan, W., M.S. Kang, B. Ma, S. Woods and P.L. Cornelius. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 47: 643-655.
38. Yang, R.C., J. Crossa, P.L. Cornelius and J. Bugueno. 2009. Biplot analysis of genotype \times environment interaction: Proceed with caution. *Crop Science*, 49: 1564-1576.

Screen of Native Lentil Lines Yield under Dryland Conditions using GGE Biplot Method

Soheila Moradi¹, Jalal Saba², Afshin Tavakoli³ and Kamran Afsahi⁴

1- PhD Student, Zanzan, Zanzan University, Faculty of Agriculture, Department of Genetics and Plant Production, (Corresponding author: moradi_s998@ymail.com)

2- Professor, Zanzan, Zanzan University, Faculty of Agriculture, Department of Genetics and Plant Production

3- Associate Professor, Zanzan, Zanzan University, Faculty of Agriculture, Department of Genetics and Plant Production

4- Assistant Professor, Zanzan, Zanzan University, Faculty of Agriculture, Department of Genetics and Plant Production

Received: October 7, 2020

Accepted: December 22, 2020

Abstract

The most important goal in all crop breeding programs is to increase yield, and yield improvement requires the use of efficient statistical methods to identify superior genotypes. In determining the superiority of genotype, in addition to high yield, yield stability in different environments must also be considered. Biplot analyses are good tools for selecting superior genotypes and to increase efficiency in selection. In this study, GGE biplot method was used to evaluate the stability of grain yield of 205 lines and lentil cultivar in augmented design during three cropping years in the Faculty of Agriculture of Zanzan University under rainfed conditions. The results of combined analysis of control cultivars showed that the effect of year and year \times cultivars interaction were significant for grain yield. Thus, the lines were examined using GGE biplot graphic method. The results showed that the first component and second component explained 68.3 and 28.5 percent (in total 96.8 percent) of total variation respectively, which indicates the high validity of the biplot in the explain. The results also showed that lines 170 and 164 were the best lines in the first year and lines 157 and 183 were the best lines in the third year. Line 167, in addition to having high yield, had lower stable yield. This line was placed in the center of the circle as the ideal line and the lines 164, 170, 147, 122 and 7 were placed in the next ranks. Lines 147, 128, 7, 160, 51, 148, 156 and 160, in addition to having higher yield than the average, had a short distance from the stability axis and had low unstable yield. Lines 8, 57, 157, 86, 186, 83, 140, 164 and 170, despite having high performance, had high unstable yield. Biplot polygonal analysis led to the identification of two mega-environments, among which the first year had the most discriminating ability among the years. Existence of 90° angle between the first and second year showed no correlation between these two years and their conditions were different and greater than 90° angle of the second year with these years showed its negative correlation with the first and second year.

Keywords: Ideal line, Lentil, Mega-environment, Rainfed conditions, Yield stability