

## ارزیابی کارایی شاخص‌های WAASBY، WAASB و مدل اثرهای مختلط خطی (LMM) برای شناسایی ژنوتیپ‌های عدس پر محصول سازگار با مناطق دیم

پیام پزشکیپور<sup>۱\*</sup>، محمد آرمیون<sup>۲</sup>، برزو رستمی<sup>۳</sup>

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران

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

۳- موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، معاونت سرارود، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

\* مسئول مکاتبه: [papezeshkpour@yahoo.com](mailto:papezeshkpour@yahoo.com)

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.376438.1301

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۱

### چکیده

ادغام دو روش ارزیابی پایداری بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی (BLUP) و اثرات اصلی جمع‌پذیر و برهمکنش‌های ضرب‌پذیر (AMMI) در آزمایش‌های ناحیه‌ای بر پایه شاخص پایداری میانگین وزنی نمرات مطلق (WAASB)، به ارزیابی بهتر ژنوتیپ‌های گیاهی و دستیابی به نتایج دقیق‌تر کمک می‌کند. در پژوهش حاضر پایداری ۱۸ ژنوتیپ پیشرفته عدس، در سه منطقه خرم‌آباد (لرستان)، زنجره (ایلام) و سرارود (کرمانشاه) طی سه سال زراعی (۱۳۸۹-۹۲) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ در محیط بر پایه نتیجه آزمون درست‌نمایی نسبی (LRT)، امکان تجزیه داده‌ها به روش BLUP وجود داشت. بر این اساس بالاترین عملکرد دانه پیش‌بینی‌شده با روش BLUP مربوط به ژنوتیپ ۲ و پس از آن ژنوتیپ‌های ۴، ۱۹، ۵ و ۱ بودند که عملکرد دانه پیش‌بینی‌شده بیشتر از میانگین کل داشتند. به‌منظور فراهم کردن امکان‌پذیر هم‌زمان بر اساس عملکرد و پایداری، با تلفیق دو شاخص عملکرد دانه و پایداری WAASB، شاخص WAASBY به دست آمد. با در نظر گرفتن سهم ۵۰ درصد برای هر یک از دو جزء عملکرد و پایداری، ۱۴ ژنوتیپ دارای WAASBY بالاتر از میانگین بودند. مقدار WAASBY به‌ویژه در مورد ژنوتیپ‌های ۱۹، ۲، ۴، ۶، ۱ و ۳ به‌طور قابل توجهی بالاتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود و بر این اساس به‌عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. در مجموع با توجه به استفاده از مدل مختلط و همچنین تمام مؤلفه‌ها در محاسبه شاخص WAASBY، به نظر می‌رسد که این شاخص برتر از سایر شاخص‌ها باشد.

**واژه‌های کلیدی:** بای پلات، تجزیه مقادیر منفرد، گزینش هم‌زمان، میانگین وزنی نمرات مطلق

### مقدمه

کمک‌کنند، چرخه‌های بیماری را مختل کرده و به‌طور کلی به ایجاد محیط تولید بهتر برای سایر محصولات، کمک کند (Gan *et al.*, 2017). یکی از دلایل اصلی کاهش کشت عدس فقدان ارقام اصلاح‌شده و پایداری ضعیف آن‌ها در شرایط مختلف محیطی است (Zaccardelli *et al.*, 2010). حدود ۹۵ درصد سطح زیرکشت عدس در کشور به‌صورت دیم می‌باشد که عملکرد آن تابعی از میزان و پراکنش بارش‌های آسمانی می‌باشد. بروز تغییرات اقلیمی طی سال‌های اخیر و تغییر در میزان و پراکنش بارش‌های جوی، عوامل مهم محدودکننده عملکرد عدس در شرایط دیم می‌باشند و در این راستا دستیابی به رقم‌هایی که سازگاری مناسبی با این شرایط داشته باشند، حائز

عدس منبع مهم پروتئین، مواد معدنی و ویتامین‌ها در رژیم غذایی انسان است (Karakov *et al.*, 2012). علاوه بر این، غنی از مواد معدنی و کربوهیدرات است که گاه آن علوفه با ارزشی برای حیوانات را فراهم می‌کند (Muehlbaure *et al.*, 2006; Sarker and Singh, 2003). عدس از بقولات دانه‌ای سردادوست است که عموماً در مناطق معتدل نیمه‌خشک کشت می‌گردد (Sánchez-Gómez *et al.*, 2019). ورود بقولات دانه‌ای مانند عدس در سیستم‌های زراعی و تناوب با سایر محصولات، می‌تواند از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن اتمسفر به خاک، به پایداری چرخه نیتروژن و افزایش حاصلخیزی خاک

WAASB<sup>۲</sup> بر اساس انحراف مطلق است که منجر به افزایش استحکام و عدم حساسیت به داده‌های پرت می‌شود (Olivoto *et al.*, 2019 a).

تجزیه AMMI (بر اساس روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی یا تجزیه مقادیر منفرد) بر روی ماتریس بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی (BLUP ها) از برهمکنش‌های ژنوتیپ × محیط حاصل از یک مدل اثر مختلط خطی (LMM) انجام شده است و به بیانی دیگر بخشی از مزیت‌های دو روش AMMI و BLUP با یکدیگر ترکیب شده‌اند. برآورد دقیق میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها به‌ویژه در مدل‌های مختلط از جمله مزیت‌های عمده روش BLUP می‌باشد (Olivoto *et al.*, 2019 b). افزون بر این در صورتی که اثر مختلط خطی وجود داشته باشد، BLUP امکان پیش‌بینی بهینه اثرهای تصادفی را امکان‌پذیر می‌سازد (Smith *et al.*, 2005). روش BLUP کارایی خود را در بهبود دقت پیش‌بینی اثرهای تصادفی ثابت کرده است (Piepho *et al.*, 2008). ادغام دو روش BLUP و AMMI موجب افزایش کارایی هر دو روش می‌شود و یافته‌های حاصل از آزمایش‌های چند محیطی دقیق‌تر تفسیر خواهند شد (Ajay and Singh, 2021). روش BLUP این ویژگی را دارد که میانگین‌ها را با دقت بالا، به‌ویژه در مدل‌های مختلط، تخمین بزند (Nardino *et al.*, 2016; Olivoto *et al.*, 2019 a; Olivoto *et al.*, 2019 b).

در روش BLUP، در وهله نخست اثرهای مدل ANOVA تخمین زده می‌شوند و سپس وزن‌هایی به این اثرها داده می‌شود. در گیاهان زراعی مانند ذرت (Baretta *et al.*, 2016) و نیشکر (Barbosa *et al.*, 2014)، روش‌های مبتنی بر BLUP در ارزیابی کارایی ژنوتیپ‌ها و پیش‌بینی دقیق اجزای واریانس ژنوتیپی مؤثر بوده‌اند.

میانگین وزنی قدر مطلق امتیازات (WASSB) BLUP و مقدار میانگین عملکرد، انتخاب همزمان برای ارزیابی و پایداری را از طریق یک شاخص برتر به نام WASSBY تسهیل می‌کند (Olivoto *et al.*, 2019 a). در پژوهش‌هایی مختلفی برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ × محیط در عدس گزارش شده است (Sellami *et al.*, 2021; Shobeiri *et al.*, 2021; Tadesse )

اهمیت می‌باشد. توزیع نامناسب بارندگی و کاهش بارندگی از عوامل عمده کاهش عملکرد عدس در واحد سطح است (Pezeshkpour *et al.*, 2021)، بنابراین به‌کارگیری ژنوتیپ‌های سازگار به شرایط نامساعد محیطی، می‌تواند نقش مهمی در افزایش عملکرد در چنین شرایطی داشته باشد (Karakov *et al.*, 2012). معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ در محیط در مورد ویژگی‌های کمی همچون عملکرد دانه، موجب کاهش همبستگی فنوتیپی، ژنوتیپی و محدودیت در پیشرفت فرایند گزینش ژنوتیپ برتر می‌شود و بنابراین در فرایند گزینش باید مورد توجه قرار گیرد (Meng *et al.*, 2016). برهمکنش ژنوتیپ × محیط موجب ناپایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های گوناگون می‌شود و تابعی از متغیرهای گوناگون آگرو-اکولوژیکی، اقلیمی، زراعی و ژنتیکی می‌باشد. ژنوتیپی که در شرایط محیطی گوناگون عملکرد بالا و پایداری داشته باشد به‌عنوان ژنوتیپی پایدار و سازگار شناخته می‌شود (Pawar *et al.*, 2010). رایج‌ترین روش آماری به‌منظور ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط در آزمایش‌های یکنواخت سراسری چند محیطی، تجزیه مرکب می‌باشد. البته مؤثر بودن این روش منوط به یکنواختی واریانس خطا و افزایشی بودن اثرها می‌باشد و در صورت نقض این شرایط، موجب خطا در برآورد برهمکنش ژنوتیپ × محیط می‌شود. (Elias *et al.*, 2016).

ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط با دو روش پارامتری (تک متغیره و چند متغیره) و ناپارامتری انجام می‌گیرد. سرعت فرآیندهای به‌نژادی برای صفات کمی در گیاهان زراعی، وابسته به وجود برهمکنش‌های ژنوتیپ × محیط است و هر چه این واکنش‌ها بیشتر باشند، گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس فنوتیپ مشکل‌تر خواهد بود (Sharifi, 2020). این برهمکنش ژنوتیپ × محیط به‌ویژه برای عملکرد دانه، به‌عنوان یک صفت کمی پیچیده از اهمیت بیشتری برخوردار است (Elias *et al.*, 2016). تحت آزمایش‌های عملکرد چند ناحیه‌ای، عملکرد تحت تأثیر ساختار ژنتیکی، شرایط محیطی و برهمکنش ژنوتیپ × محیط قرار می‌گیرد (Yan *et al.*, 2006).

مدل پایداری AMMI<sup>۱</sup> که متداول‌ترین مدل پایداری مورد استفاده است، بر اساس انحراف مربع است، برعکس شاخص

<sup>2</sup> - Weighted average of absolute scores; WAASB

<sup>1</sup> - Additive main effect and multiplicative interaction (AMMI)

۳۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به هنگام آماده‌سازی زمین، به‌طور یکنواخت در کرت‌های آزمایشی مصرف شد. بذرهاى ارقام و ژنوتیپ‌های آزمایش قبل از کاشت به‌منظور جلوگیری از بیماری‌های قارچی با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. میزان بذر مصرفی ۲۰۰ دانه در متر مربع تعیین شد. کاشت بذرها در چهار خط به طول چهار متر و به فاصله خطوط ۲۵ سانتی‌متر انجام شد.

کلیه عملیات داشت شامل کود دهی و وجین به‌صورت یکسان برای همه کرت‌ها انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ به‌صورت وجین دستی و با استفاده از کولتیواتور دستی در دو مرحله در طول دوره رشد رویشی انجام شد. برداشت محصول پس از حذف حاشیه شامل دو ردیف کناری و ۲۵ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت، از سطحی معادل ۱/۷۵ مترمربع انجام شد. قبل از تجزیه واریانس مرکب، آزمون یکنواختی واریانس خط‌های آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت انجام شد. آزمون نرمال بودن داده‌های جمع‌آوری‌شده، با استفاده از آزمون کولموگراف-اسمیرنوف و نرم‌افزار MINITAB16 انجام شد.

هر محیط ترکیبی از سال و مکان بود؛ بنابراین، ۹ محیط برای تجزیه و تحلیل پایداری ۲۰ ژنوتیپ انتخاب شد. با ثابت در نظر گرفتن اثر ژنوتیپ و تصادفی در نظر گرفتن اثر محیط، تجزیه واریانس مرکب صورت گرفت. برای تعیین کمیت پایداری ژنوتیپی، از تجزیه مقادیر منفرد، بر روی ماتریس بهترین پیش‌بینی‌های نارایب خطی برهمکنش‌های ژنوتیپ × محیط<sup>۱</sup> با یک مدل اثر مختلط خطی استفاده شد. در محاسبه شاخص میانگین وزنی نمرات مطلق بهترین پیش‌بینی‌های نارایب خطی (Best linear unbiased predictors, BLUPs)، تجزیه AMMI به‌جای اینکه بر روی داده‌های خام انجام گیرد بر روی بهترین پیش‌بینی‌های نارایب خطی انجام می‌شود و به نحوی دو روش AMMI و BLUP در یکدیگر تلفیق می‌شوند. در این محاسبات از آماره‌های تجزیه AMMI و نیز آماره‌های مبتنی بر تجزیه AMMI بر ماتریس برهمکنش ژنوتیپ × محیط به‌دست‌آمده از بهترین پیش‌بینی‌های نارایب خطی استفاده شد.

گوناگون تک متغیره پارامتری و ناپارامتری و چند متغیره، پایداری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف ارزیابی شده است. پژوهش‌های اندکی درباره برآورد ارزش‌های ژنوتیپی در آزمایش‌های چند محیطی با BLUP گزارش شده است (Bermeio *et al.*, 2020; Karimizadeh *et al.*, 2020; ) (Karimizadeh *et al.*, 2021; Selammi *et al.*, 2021) اما مدل‌سازی الگوهای برهمکنش ژنوتیپ × محیط با روش‌های تجزیه GGE بای‌پلات و AMMI در عدس (Jeberson *et al.*, 2019; Karimizadeh and Mohammadi, 2010; Karimizadeh *et al.*, 2020; Pezeshkpour *et al.*, 2021; Tadesse *et al.*, 2021) و دیگر گیاهان مانند نخود (Azam *et al.*, 2020) بیشتر انجام شده است.

هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی کارایی مدل‌های استفاده شده در تجزیه پایداری برای شناسایی ژنوتیپ‌های پر محصول عدس سازگار با شرایط آب و هوایی مناطق دیم معتدل کشور با بهره‌گیری از شاخص‌های مختلف AMMI و ترکیب دو روش AMMI و BLUP با شاخص‌های WAASB و WAASBY و همچنین ترسیم نمودارهای مختلف برای درک بهتر برهمکنش ژنوتیپ × محیط بوده است.

## مواد و روش‌ها

تعداد ۱۸ ژنوتیپ پیش‌رفته عدس دانه‌درشت که از آزمایش‌های مقایسه عملکرد ژنوتیپ‌های پیش‌رفته عدس اقلیم معتدل در سال ۱۳۸۹-۱۳۸۸ انتخاب شده بودند (جدول ۱)، به همراه دو رقم شاهد کیمیا و گچساران در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سراب چنگائی خرم‌آباد (لرستان)، زنجیره (ایلام) و سرارود (کرمانشاه) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و به مدت سه سال زراعی (۱۳۹۲-۱۳۸۹) مورد ارزیابی قرار گرفتند. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های تحقیقاتی مذکور در جدول ۲ به نمایش درآمده است. زمین مورد کشت تحت تناوب غلات-حبوبات دیم بوده و عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح بود. کود مورد نیاز به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم و

<sup>۱</sup> -Genotype × environment interaction (GEI)

جدول ۱- اسامی ارقام و ژنوتیپ‌های امیدبخش عدس مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Names of promising cultivars and genotypes of lentils used in the experiment

نام ژنوتیپ	کد ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	کد ژنوتیپ
Genotype Name	Genotype code	Genotype Name	Genotype code
FLIP2006-9L	G11	FLIP2006-37L	G1
FLIP2006-10L	G12	FLIP2003-5L	G2
Flip2007-34L	G13	FLIP2003-5L	G3
Flip2007-11L	G14	FLIP2006-10L	G4
Flip2004-56L	G15	FLIP2003-29L	G5
Flip20073L	G16	FLIP2003-16L	G6
Flip2006-3L	G17	FLIP2004-26L	G7
Flip2005L	G18	FLIP2004-55L	G8
کیمیا	G19	FLIP2005-4L	G9
گچساران	G20	FLIP2005-6L	G10

جدول ۲- ویژگی‌های جغرافیایی و هواشناسی مکان‌های آزمایشی

Table 2- Geographical and meteorological characteristics of the experimental locations

مکان	ارتفاع از سطح دریا	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	میانگین دمای سالانه	میانگین بارندگی سالانه
Location	Altitude (m)	Longitude	latitude	Average annual temperature (°C)	Average annual rainfall (mm)
خرم‌آباد سال اول				15.1	364.25
Khorramabad first year					
خرم‌آباد سال دوم	1125	48°28'E	33 39 ' N	11.27	294.15
Khorramabad second year					
خرم‌آباد سال سوم				12.42	363.6
Khorramabad third year					
ایلام سال اول				16.51	385.1
Ilam first year					
ایلام سال دوم	975	46°36' E	33 47 ' N	15.36	329.3
Ilam second year					
ایلام سال سوم				17	396.1
Ilam third year					
سرارود سال اول				7.09	351.4
Sararod first year					
سرارود سال دوم	1351	47°20'E	34° 20 ' N	9.58	302.7
Sararod second year					
سرارود سال سوم				10.84	394.9
Sararod third year					

وزنی نمرات مطلق حاصل از تجزیه ارزش منفرد ماتریس، پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها ارزیابی گردید (Olivoto *et al.*, 2019 a). در تمام این شاخص‌ها، ژنوتیپ‌های با مقادیر پایین این شاخص‌ها، پایدارترین ژنوتیپ‌ها در نظر گرفته شدند. اجزای واریانس با روش حداکثر درست نمایی محدود شده<sup>۱</sup> برآورد شدند و برای ارزیابی معنی‌داری اثرهای تصادفی، آزمون نسبت درست نمایی<sup>۲</sup> به کار گرفته شد.

تجزیه‌های آماری با استفاده از بسته تجزیه آزمایش‌های چند محیطی (Wright) GGE و (Olivoto, 2019) Metan و (and Laffont, 2018) در نرم‌افزار R انجام شد. از پارامترهای تجزیه امی و همچنین پارامترهای مبتنی بر تجزیه AMMI که شامل WAASB و WAASBY روی ماتریس برهمکنش ژنوتیپ × محیط حاصل از بهترین پیش‌بینی نارایب خطی بر اساس رابطه‌های ۱ و ۱ استفاده شد. با استفاده از میانگین

<sup>2</sup> - Likelihood Ratio Test, LRT

<sup>1</sup> - Restricted maximum likelihood, REML

که با توجه به تفاوت‌های زیاد بین محیط‌های آزمایشی از نظر ویژگی‌های خاک، مقدار و پراکنش بارندگی و سایر عوامل قابل توجهیه است. نتایج تحقیقات محققان روی سایر گیاهان نیز نشان داده است که بخش عمده واریانس توسط اثر محیط توجیه می‌شود (Karimizadeh *et al.*, 2021; Barrios *et al.*, 2016; Akbari *et al.*, 2021; Yadav *et al.*, 2016; Abo – Hegazy *et al.*, 2013). ابتدا تجزیه واریانس ساده (داده‌ها نشان داده نشده است) برای هر محیط انجام و آزمون بارتلت برای بررسی همگن بودن واریانس‌های خطای آزمایش‌ها نیز انجام شد. تجزیه واریانس جداگانه در هر کدام از محیط‌ها نشان داد که اثر ژنوتیپ در تمام محیط‌های مطالعه شده معنی‌دار بود (نتایج ارائه نشده‌اند)؛ بنابراین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های آزمایشی دارای تنوع کافی بودند و برای ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط نیاز به تجزیه‌های پایدار بود. متوسط عملکرد دانه در ژنوتیپ‌ها ۹۴۰/۷ کیلوگرم در هکتار با دامنه ۷۲۳/۵ (ژنوتیپ ۲۰) و ۱۰۶۶/۴ (ژنوتیپ ۲) بود (جدول ۵). ابتدا تجزیه واریانس ساده (داده‌ها نشان داده نشده است) برای هر محیط انجام و آزمون بارتلت برای بررسی همگن بودن واریانس‌های خطای آزمایش‌ها نیز انجام شد. با انجام آزمون بارتلت روی داده‌های ۹ محیط، فرض همگنی واریانس خط‌های آزمایش مورد تأیید قرار گرفت. بر اساس آزمون کولموگروف – اسمیرنوف (Sadiyah and Hadi, 2016; Smirnov, 1948) توزیع داده‌ها نرمال بود. با مقایسه داده‌های بارندگی و متوسط درجه حرارت در زمان آزمایش و داده‌های درازمدت، به نظر می‌رسد که بیشترین میزان کاهش عملکرد، ناشی از کاهش بارندگی و افزایش درجه حرارت و به عبارتی عوامل ناشی از تغییرات تصادفی سال می‌باشد. این نتیجه در برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ × سال × مکان نیز دیده می‌شود. در شکل ۲- الف، میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر یک از محیط‌ها به نمایش گذاشته شده است. همان‌گونه که مشخص است، ایستگاه لرستان کمترین تغییر عملکرد کلی را طی سه سال داشت، در حالی که مقدار این تغییرات در ایستگاه‌های ایلام و سرارود بالاست (شکل ۲-ب). این موضوع می‌تواند از نوسان‌های بیشتر در وضعیت اقلیمی سه سال آزمایش در این دو منطقه که واجد اقلیم معتدل هستند، ناشی شود. پژوهشگران دیگری نیز واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌های عدس را در محیط‌های مختلف

(Olivoto *et al.*, 2019b) (۱)

$$WAASB_i = \frac{\sum_{k=1}^p |IPCA_{ik} \times EP_k|}{\sum_{k=1}^p EP_k}$$

(Olivoto *et al.*, 2019b) (۲)

$$WAASBY_i = \frac{\{W_Y \times \left[ \left( \frac{GY_i}{GY_{max}} \right) \times 100 \right]\} + \left[ W_S \times \left( 100 - \frac{WAASB_i}{WAASB_{min}} \right) \right]}{W_Y + W_S}$$

که در آن، WAASBi، میانگین وزنی قدر مطلق امتیازات ژنوتیپ نام،  $IPCA_{ik}$ ، نمره ژنوتیپ نام در Kامین محور مؤلفه اصلی برهمکنش (IPCA) و  $EP_k$ ، مقدار واریانس توجیه شده توسط Kامین IPCA است. ژنوتیپ با کمترین مقدار WAASB پایدار در نظر گرفته می‌شود (Olivoto *et al.*, 2019 a). WAASBYi میانگین وزنی WAASB و عملکرد دانه (GY) برای ژنوتیپ نام،  $W_Y$  وزن داده‌شده به متغیر پاسخ (در این مورد، عملکرد دانه)،  $GY_i$  میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ نام با توجه به تمام محیط‌ها،  $GY_{max}$  بالاترین متوسط عملکرد دانه مشاهده شده،  $W_S$  وزن نسبت داده شده به شاخص پایداری (در این مورد، شاخص WAASB) و  $WAASB_{min}$ ، کمترین مقدار WAASB مشاهده شده در بین ژنوتیپ‌ها است.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر معنی‌دار ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ × محیط بیان‌گر این است که عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها به طور قابل توجهی در محیط‌های مختلف، متفاوت هستند (جدول ۳). از اجزای برهمکنش ژنوتیپ × محیط، ناهمگونی ناشی از شاخص محیطی (اثر خطی) غیر معنی‌دار بود، در حالی که اثر غیر خطی (جزء باقیمانده) معنی‌دار بود. چنین نتیجه‌ای مشابه یافته‌های پیشین بود (Truberg and Huhn, 2000). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تعیین درجه پایداری برای هر ژنوتیپ ضروری است.

واریانس برآورد شده به سه جزء واریانس ژنوتیپی، برهمکنش ژنوتیپ × محیط و باقیمانده تفکیک شد. بر اساس اطلاعات جدول ۴ و شکل ۱، ۳۱/۲۶۶ درصد از واریانس توسط برهمکنش ژنوتیپ × محیط توجیه می‌شود، حال آنکه اثر ژنوتیپ، تنها توجیه‌کننده ۱۵/۴۵ درصد از واریانس برآورد شده است. عمده واریانس (۵۳/۲۹ درصد) نیز توسط اثر باقیمانده توجیه گردید. اثر باقیمانده عمدتاً به اثر محیط مربوط می‌شود

(GE) با بهره‌گیری از نمودار موزاییکی از یکدیگر جدا شدند (شکل ۳- الف). در این نمودار که به‌وسیله (Laffont *et al.*, 2019) پیشنهاد شده است، کل مربع نمودار ۱۰۰ درصد مجموع مربعات کل است و نواحی با رنگ تیره تنوع کل ناشی از اثر ژنوتیپی یا اختلاف بین میانگین ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد (Laffont *et al.*, 2007) که در این تحقیق ۱۵/۴۵ درصد از تنوع کل است و نواحی با رنگ روشن، تنوع ناشی از برهمکنش ژنوتیپ × محیط را نشان می‌دهد که ۸۴/۵۵ درصد از تنوع کل را در بر می‌گیرد (شکل ۳- الف).

ستون‌های این نمودار وابسته به محورهای مؤلفه اصلی است، به‌گونه‌ای که ستون اول در برگزیده ۳۷/۸ درصد از کل مساحت مربع است و اولین مؤلفه اصلی از مجموع مربعات کل را تشکیل می‌دهد. ستون (مؤلفه اصلی) دوم ۱۹/۱ درصد از مجموع مربعات کل را در بر می‌گیرد. این دو مؤلفه اصلی، با یکدیگر ۵۶/۹ درصد از مجموع مربعات کل، ۶۷/۹ درصد (۱۱/۶ درصد + ۵۶/۳ درصد) از مجموع مربعات ژنوتیپ و ۵۶/۸۸ درصد (۳۷/۸ + ۱۹/۱ درصد) از مجموع مربعات برهمکنش ژنوتیپ × محیط را تشکیل می‌دهند. در هر ستون، ردیف‌های نمودار موزاییکی، آن ستون (محور مؤلفه اصلی) را به بخش برآمده از مجموع مربعات ژنوتیپ و بخش برآمده از مجموع مربعات ژنوتیپ × محیط تقسیم می‌کند.

با توجه به اینکه سهم ژنوتیپ (۸۹/۶ درصد) در نخستین محور مؤلفه اصلی بیشتر از اثر ژنوتیپ × محیط (۱۰/۴۴ درصد) است، می‌توان این محور را محور ژنوتیپ نامید و بر اساس آن تفاوت میانگین ژنوتیپ‌ها را از نظر عملکرد دانه با یکدیگر سنجید. مجموع مربعات محور مؤلفه اصلی دوم، سهم بیشتری از اثرهای ژنوتیپ × محیط (۸۰/۹۲ درصد) را نسبت به اثرهای ژنوتیپ (۱۹/۰۷ درصد) دارد، بنابراین می‌توان این ستون را به‌عنوان محور برهمکنش ژنوتیپ × محیط نام نهاد، هر چند نقش مؤلفه‌های بعدی به‌ویژه چهارم، پنجم و ششم با سهم به ترتیب ۶/۱۱، ۹/۲ و ۵/۱ درصد را نمی‌توان در این برهمکنش نادیده گرفت و باید از آن برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بهره گرفت، بنابراین ارزیابی ژنوتیپ‌ها در رابطه با عملکرد و پایداری باید بر اساس مجموعه مؤلفه‌ها باشد. از آزمون اسکریت<sup>۱</sup> برای شناسایی بهترین شمار مؤلفه‌های

گزارش کرده‌اند (Abo – Hegazy *et al.*, 2013; Abbas *et al.*, 2019; Karimizadeh *et al.*, 2021; Sellami *et al.*, 2021).

برای پی بردن به پراکنش عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف از نمودار گرمایی استفاده شد (شکل ۳ ج). رنگ تیره‌تر در هر محیط، عملکرد بالاتر ژنوتیپ در آن محیط را نشان می‌دهد. همچنین گروه‌بندی درختی ژنوتیپ و محیط‌ها نیز به ترتیب در محورهای عمودی و افقی نماش داده شده است.

در این نمودار، ژنوتیپ دارای عملکرد یکنواخت در تمام محیط‌ها می‌تواند پایدار باشد. بر این اساس ژنوتیپ‌های ۶، ۲، ۱۹، ۴، ۵ و ۱ را می‌توان پایدار در نظر گرفت. در این نمودار، عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر محیط بیانگر تنوع درون آن محیط است، به‌طوری که هر اندازه رنگ‌های مربوط به ژنوتیپ‌های درون یک محیط متفاوت‌تر باشند، بیانگر گوناگونی بین ژنوتیپ‌های درون آن محیط است.

در محیط‌های ۱، ۴، ۷، ۲ و ۶ ژنوتیپ‌ها از تنوع بیشتری برخوردار بودند. از طرفی دیگر، عملکرد هر ژنوتیپ در محیط‌های مختلف نیز برای بررسی تنوع در بین محیط‌ها می‌تواند استفاده شود. به‌طوری که ژنوتیپ‌های ۱۶، ۸، ۷ و ۱۵ دارای تنوع بیشتر در محیط‌های مطالعه شده بودند (شکل ۳ ج). بررسی چشمی پراکنش میانگین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مطالعه شده نشان‌دهنده تفاوت ژنوتیپ‌های مختلف از نظر عملکرد دانه در یک محیط و همچنین تفاوت میانگین آن‌ها از محیطی به محیط دیگر است که نشان می‌دهد، گزینش ژنوتیپ‌ها فقط بر پایه عملکرد دانه در یک مکان، از اعتبار بالایی برخوردار نیست و باید برای به دست آوردن یک نتیجه درست، ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های مختلف ارزیابی شوند تا پایداری آن‌ها برآورد شود (Finlay and Wilkinson, 1963). پژوهشگران دیگری نیز واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌های عدس را در محیط‌های مختلف گزارش کرده‌اند (Chen *et al.*, 2022; Shobaeiri *et al.*, 2021; Subedi *et al.*, 2021; Tedesse *et al.*, 2021 b).

پیش از تجزیه پایداری، مجموع مربعات کل (TSS) به دو جزء مجموع مربعات ژنوتیپ (G) و برهمکنش ژنوتیپ × محیط

<sup>۱</sup> - Screenshot test

توجیه‌کننده برهمکنش ژنوتیپ × محیط استفاده شد.

نتایج نشان داد که تا مؤلفه اصلی چهارم هر کدام از مؤلفه‌ها سهم قابل توجهی در توجیه برهمکنش ماتریس ژنوتیپ × محیط حاصل از BLUP داشتند (شکل ۴)، به طوری که مؤلفه اصلی اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب ۳۷/۸، ۱۹/۱، ۱۴/۷ و ۱۱/۲ درصد از تغییرات را توجیه کردند، بنابراین نتایج تجزیه پایداری فقط بر اساس مؤلفه‌های اصلی اول و دوم ممکن است نتایج اشتباهی در پی داشته باشد.

سهم هریک از مؤلفه‌ها در توجیه برهمکنش ژنوتیپ × محیط در شکل‌های ۳- ب و ۴ نمایش داده شده است. نتایج تجزیه خطی مخلوط نشان داد که اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳ و ۴). برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ × محیط نشان داد که بیان فنوتیپی عملکرد دانه یک ژنوتیپ ممکن است در یک محیط بیشتر و در محیطی دیگر کمتر باشد (Thennarasu, 1995)، بنابراین، تجزیه BLUP برای چنین داده‌هایی مناسب است (Olivoto *et al.*, 2019a)؛ از این رو اقدام به برآورد بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی (BLUP) گردید و تجزیه پایداری به روش AMMI روی این BLUP ها انجام شد. پژوهشگران دیگری نیز برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ × محیط را بر عملکرد دانه عدس با تجزیه واریانس به روش کمترین مربعات گزارش کرده‌اند (dehghani *et al.*, 2008; Karimizadeh *et al.*, 2013) (Akinci *et al.*, 2018).

بسیاری از تلاش‌ها در گام‌های نهایی برنامه‌های به‌نژادی بر آزمایش‌های چند محیطی استوار است، از این رو، دقت پیش‌بینی، برای گزینش درست ژنوتیپ‌ها، توصیه ژنوتیپ‌ها و شناسایی محیط‌های کلان<sup>۱</sup> بسیار مهم است (Olivoto *et al.*, 2019 b)؛ بنابراین برخی از پارامترهای ژنتیکی برآورد شدند که نشان می‌داد میزان وراثت‌پذیری عمومی برای عملکرد دانه در این تحقیق ۰/۰۶۳ بود. ضریب تبیین برهمکنش ژنوتیپ × محیط و میزان وراثت‌پذیری بر میانگین به ترتیب برابر با ۰/۱۲۹۵ و ۰/۶۳۲۶ درصد بود.

دقت گزینش ژنوتیپ و همبستگی بین ارزش‌های ژنوتیپی در سراسر محیط‌ها نیز به ترتیب ۰/۷۹۵۴ و ۰/۱۳۸۳ بود.

ضریب تغییرات ژنوتیپی، ضریب تغییرات باقیمانده و همچنین نسبت این دو ضریب تغییرات به ترتیب برابر با ۶/۲۶۴۵ درصد، ۲۳/۰۲ درصد و ۰/۲۸ بود. نسبت برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر اثر ژنوتیپی دو برابر بود.

برای افزایش دقت پیش‌بینی، استفاده از مدل‌های آماری با توانایی پیش‌بینی بهتر همچون بهترین پیش‌بینی ناریب خطی (BLUP)، یکی از گزینه‌های پیش روی به‌نژادگران است که تجزیه پایداری به روش AMMI می‌تواند بر روی این پیش‌بینی‌ها انجام شود (Olivoto *et al.*, 2019 b). بر اساس نتایج تجزیه واریانس AMMI، اثر محیط و برهمکنش ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بود (جدول ۶).

چهار مؤلفه اصلی اول نقش مهمی در توجیه برهمکنش ژنوتیپ × محیط داشتند. این مؤلفه‌های اصلی در مجموع ۸۲/۸ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه می‌کردند (جدول ۶).

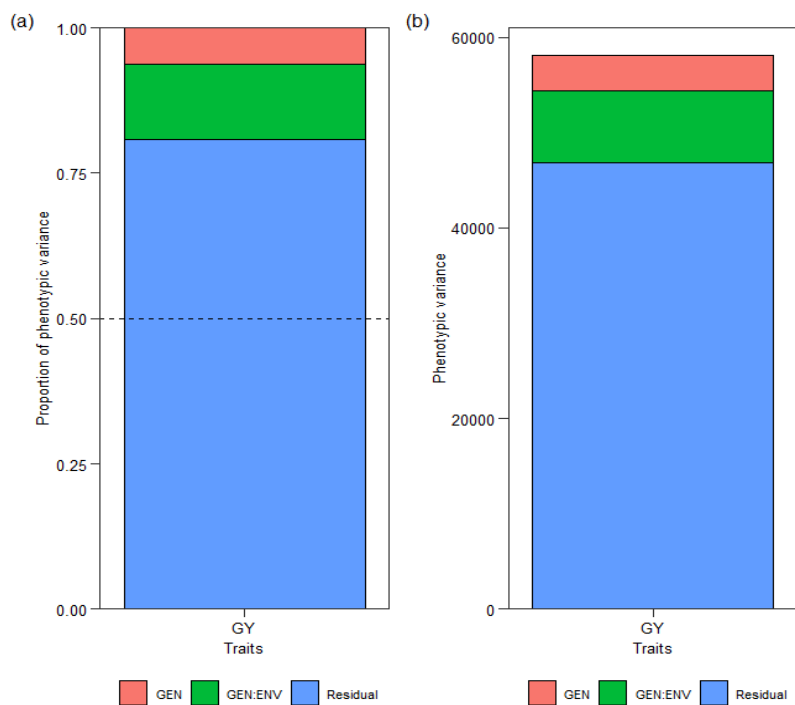
اثر معنی‌دار محیط و برهمکنش ژنوتیپ × محیط نشان‌دهنده پیش‌زمینه گسترده مواد ژنتیکی و تنوع مکان‌های آزمایشی و سال‌های زراعی است.

نتایج تحقیقات پیشین نیز اثر ژنتیکی و برهمکنش ژنوتیپ × محیط را برای عملکرد دانه عدس گزارش داده‌اند (Abo - Hegazy *et al.*, 2013; Dehghani *et al.*, 2008; Namdari *et al.*, 2022; Shobeiri *et al.*, 2021; Subedi *et al.*, 2021; Tadesse *et al.*, 2021 a).

در شکل ۵، میانگین‌های پیش‌بینی‌شده عملکرد دانه با روش BLUP نشان داده شده است که بیانگر آن است که بالاترین عملکرد پیش‌بینی‌شده با روش BLUP برای ژنوتیپ ۲ و در پی آن ژنوتیپ‌های ۶، ۴، ۱۹، ۵، ۱، ۱۱، ۱۵، ۳، ۹ و ۱۴ بود که دارای عملکرد پیش‌بینی‌شده‌ی بیشتر از میانگین کل بودند. ژ

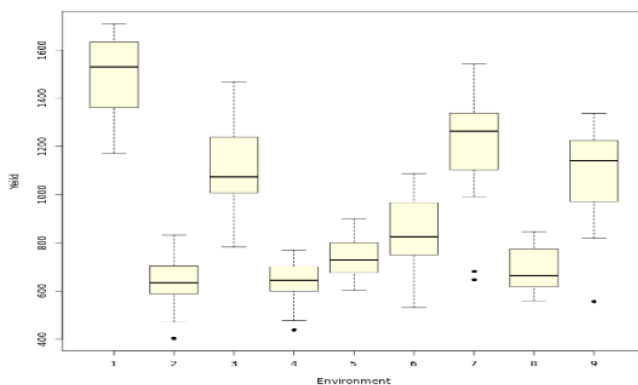
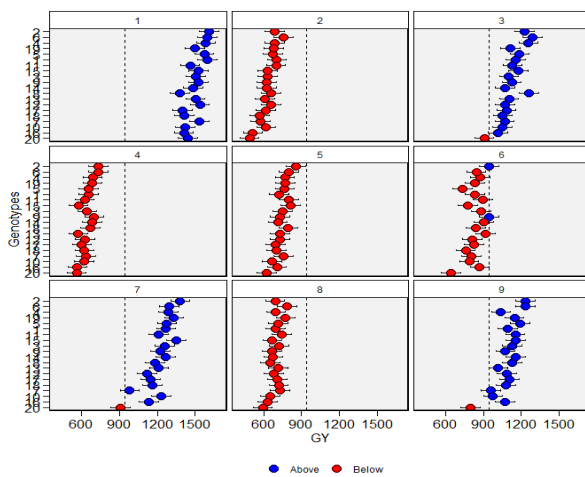
نوتیپ‌های ۸، ۱۴ و ۹ عملکرد پیش‌بینی‌شده بسیار نزدیک به میانگین داشتند و کمترین پیش‌بینی عملکرد با فاصله زیاد از میانگین کل مربوط به ژنوتیپ ۲۰ (رقم شاهد گچساران) بود. در مورد دیگر رقم شاهد یعنی ژنوتیپ ۱۹ (رقم کیمیا) نیز پیش‌بینی عملکردی بالاتر از میانگین صورت گرفت.

<sup>۱</sup> -Mega- environment



شکل ۱- اجزای تنوع در ژنوتیپ‌های عدس در آزمایش‌های چند محیطی

Figure 1- Components of the diversity of lentil genotypes in multi-environment yield trial



شکل ۲- نمایش باکس پلات میانگین عملکرد دانه (سمت راست ۱- A) و عملکرد ژنوتیپ‌ها (سمت چپ ۱- B) در محیط‌های نه‌گانه

Figure 2- Boxplot showing the average grain yield (A-1-right) and genotypes yield (B-1-left) in nine environments

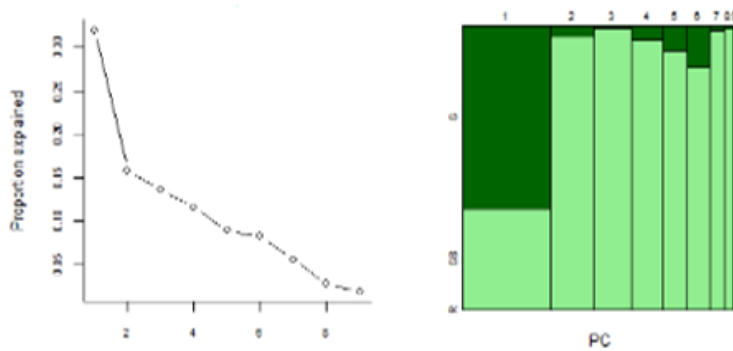
جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد دانه با روش کنگ

Table 3- Analysis of variance of grain yield by kang method

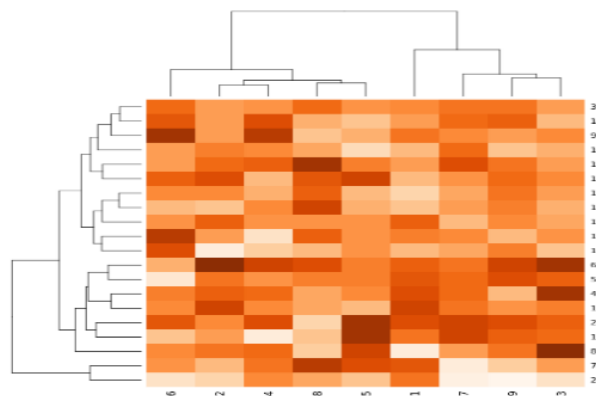
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
S.O.V	df	MS
کل	179	
Total		
ژنوتیپ	19	209281 **
Genotypes		
محیط	8	7339509 **
Environments		
برهمکنش ژنوتیپ × محیط	152	76968 **
Interaction G×E		
ناهمگونی	19	82386 <sup>ns</sup>
Heterogeneity		
باقیمانده	133	76194 **
Residual		
خطای ادغام شده	3249	46897
Pooled Error		

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

\*, \*\*: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively



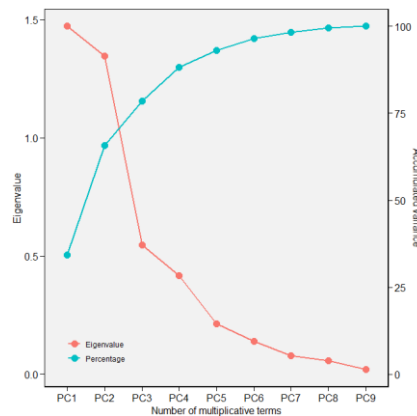
الف و ب



ج

شکل ۳- پیش تجزیه‌های برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GEI). الف. نمودار موزاییکی جهت نمایش سهم مؤلفه‌ها از واریانس G+GE، ب. ریشه مشخصه ماتریس GEI، ج. نمودار گرمایی پراکنش عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها.

Figure 3- Pre -an alysis of GEI. a. Mosaic plot for indication of PCs contribution in G+GE; b. Eigenvalues of the BLUP\_GEI matrix; c. Heatmap plot for yield of genotypes in environments;



شکل ۴ - مقادیر ویژه ماتریس BLUP GEI عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس در آزمایش‌های چند محیطی

Figure 4- Eigenvalues of the Blup-GEI matrix of seed yield of lentil genotypes in multi- environment yield trial

جدول ۴- ارزیابی معنی‌داری فاکتورها در مدل مختلط و برآورد اجزای واریانس با روش حداکثر درست‌نمایی محدودشده در ژنوتیپ‌های عدس

Table 4- Evaluation of significance of factors by LRT ( $\chi^2$ ) and estimation of variance components by REML in lentil genotypes

آماره Statistics	آزمون نسبت درست‌نمایی Likelihood ratio test	
	ژنوتیپ در محیط G × E	ژنوتیپ G
کای اسکور $\chi^2$	44.832	19.315
مقدار احتمال p- Value	2.147e-11	1.108e-05
اجزای واریانس Variance components		
پارامترهای برآورد شده به روش درست‌نمایی محدودشده	برآوردها (Estimates (%))	
<b>REML</b>		
واریانس ژنوتیپی GEN $\sigma^2$ g	2803 (15.45)	
واریانس ژنوتیپ در محیط $\sigma^2$ i GEN:ENV	5671 (31.26)	
واریانس باقیمانده $\sigma^2$ e Residual	96697 (53.29)	
واریانس فنوتیپی $\sigma^2$ P Phenotypic variance	58095	
وراثت‌پذیری عمومی h <sup>2</sup> g Heritability	0.06340	
ضریب تشخیص اثرهای برهمکنش ژنوتیپ در محیط R <sup>2</sup> GEI	0.1295	
وراثت‌پذیری میانگین ژنوتیپی h <sup>2</sup> mg	0.6326	
دقت انتخاب ژنوتیپ As	0.7954	
همبستگی بین مقادیر ژنوتیپی در میان محیط‌ها rge	0.1383	
ضریب تغییرات ژنوتیپی (%) CVg	6.453	
ضریب تغییرات مقادیر باقیمانده (%) CVe	23.02	
نرخ ضریب تغییرات ژنوتیپی بر ضریب تغییرات مقادیر باقیمانده CVg/CVe ratio	0.2803	
انحراف معیار Standard deviation	378.4	
خطای استاندارد Standard error	14.11	

جدول ۵- عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) ژنوتیپ‌های عدس در محیط‌های آزمایشی

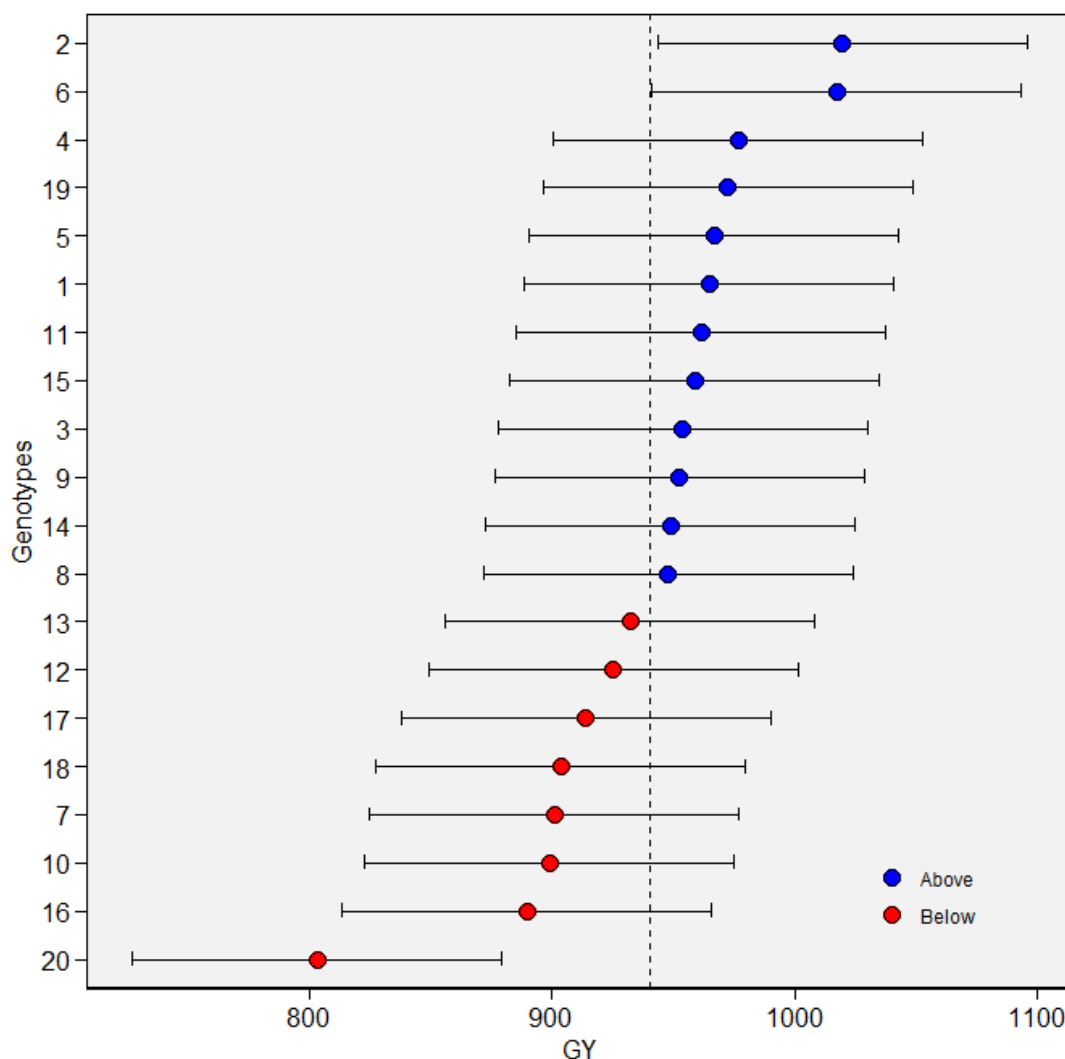
Table 5- Seed Yield (kg ha<sup>-1</sup>) of lentil genotype in experimental environments

کد ژنوتیپ Genotype code	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	میانگین ژنوتیپ Mean of genotype	بهره‌وری از بارش Precipitation productivity (kg m-3)
1	1708.50	772.25	1165.00	636.00	667.00	825.00	1320.50	651.00	1050.50	977.31	2.76
2	1661.00	642.25	1263.50	743.25	898.75	983.75	1520.50	559.50	1324.75	1066.36	3.02
3	1496.50	603.25	1050.50	624.00	734.50	925.00	1313.25	745.25	1165.00	961.92	2.72
4	1661.50	707.25	1409.00	698.75	748.75	870.00	1349.00	642.25	899.25	998.42	2.82
5	1644.25	684.00	1245.25	628.75	761.75	531.25	1334.75	705.25	1307.50	982.53	2.78
6	1623.00	832.00	1430.00	750.50	759.25	731.25	1299.25	800.75	1337.75	1062.64	3.01
7	1645.75	536.25	1045.25	682.00	839.00	818.75	682.00	839.00	818.75	878.53	2.49
8	1172.25	681.00	1468.75	694.25	862.25	825.00	1120.75	576.50	1170.50	952.36	2.69
9	1545.00	590.25	1107.75	769.25	685.25	1087.50	1227.50	599.50	1027.75	959.97	2.72
10	1357.00	660.25	1006.50	642.25	603.75	775.00	1327.50	643.75	859.25	875.03	2.48
11	1365.00	761.75	1108.75	560.50	852.75	950.00	1170.75	782.00	1216.25	974.19	2.76
12	1617.25	712.50	1008.75	622.25	723.00	800.00	992.25	676.50	1096.25	916.53	2.59
13	1518.50	587.50	1087.00	477.25	722.50	1056.25	1227.50	758.00	915.00	927.72	2.62
14	1442.50	590.00	974.50	735.00	646.00	987.50	1341.75	631.00	1239.00	954.14	2.70
15	1542.25	597.75	1232.25	438.50	895.50	650.00	1542.25	597.75	1232.25	969.83	2.74
16	1349.50	403.25	931.00	527.00	722.25	1001.25	1085.00	605.25	1117.75	860.25	2.43
17	1286.75	626.75	1060.75	577.50	660.00	850.00	1085.00	766.50	1176.50	898.86	2.54
18	1332.00	517.50	1001.00	647.75	685.25	693.75	1141.75	812.25	1112.25	882.61	2.50
19	1440.00	702.00	1051.00	703.50	760.50	768.75	1470.50	846.50	1179.00	991.31	2.80
20	1562.25	470.75	782.50	646.75	645.00	556.25	646.75	645.00	556.25	723.50	2.05
Mean	1498.54	633.93	1121.45	640.25	743.65	834.31	1209.93	694.18	1090.08	940.70	
LSD 0.05	461.32	115.19	205.62	196.51	183.09	250.04	234.54	195.54	307.01	84.11	
CV (%)	26.04	15.37	15.51	25.96	20.86	25.34	16.40	23.83	23.82	23.02	

جدول ۶- تجزیه واریانس مرکب روش امی برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس

Table 6- AMMI combined analysis of variance for seed yield of lentil genotypes

منابع تغییر Source variation	درجه آزادی Df	مجموع مربعات Mean square	سطح معنی داری Pr(>F)	درصد Percent
محیط ENV.	8	7347256.44	5.97E-09	
خطای محیط REP(ENV)	27	169697.49	2.23E-09	
ژنوتیپ GEN	19	208707.23	3.40E-05	
ژنوتیپ × محیط GEN × ENV	152	77036.92	0.00E+00	
مؤلفه اصلی اول PC1	26	170285.2	4.00E-03	37.8
مؤلفه اصلی دوم PC2	24	93056.29	3.07E-02	19.1
مؤلفه اصلی سوم PC2	22	78003.61	1.21E-01	14.7
مؤلفه اصلی سوم PC3	20	65389.1	5.18E-01	11.2
مؤلفه اصلی چهارم PC4	18	44701.19	6.86E-01	37.8
خطای آزمایش Residuals	16	37741.34		
کل Total	14	28844.49		



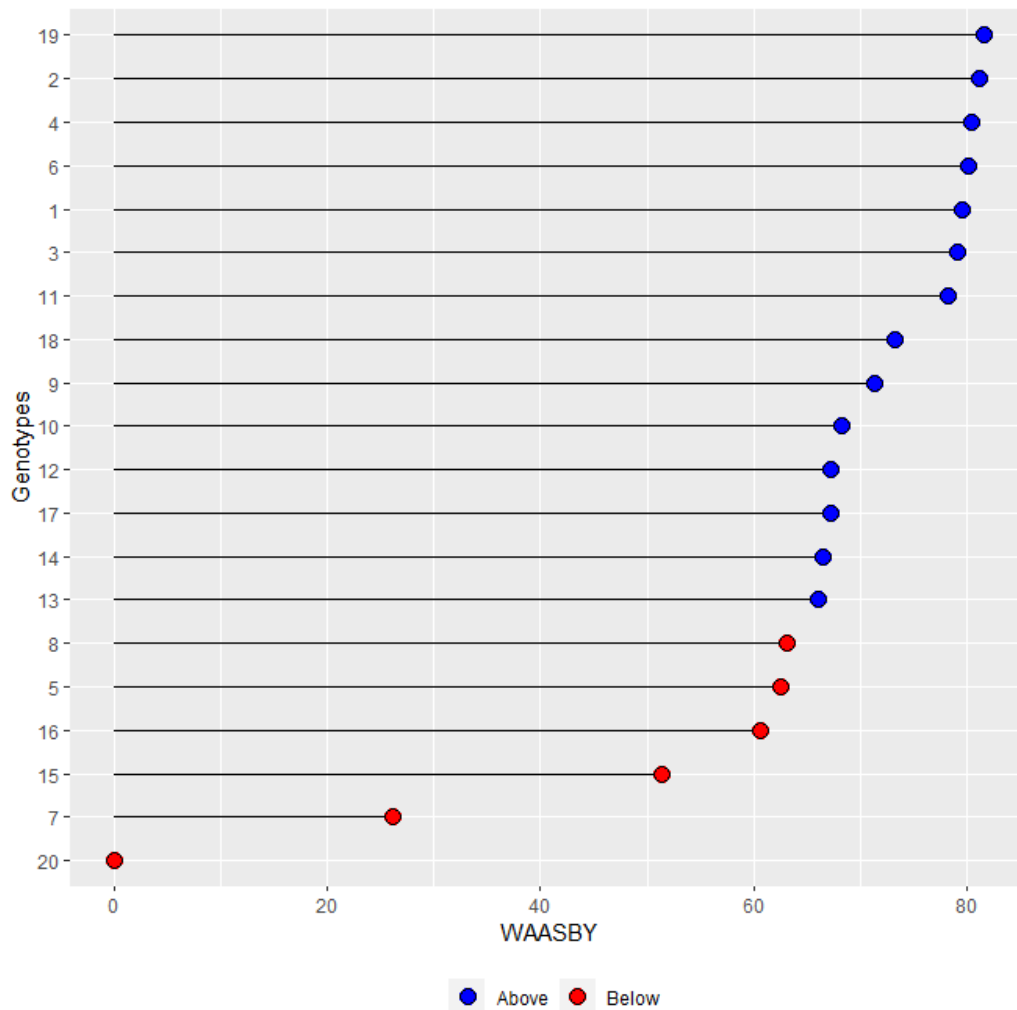
شکل ۵- عملکرد دانه پیش‌بینی‌شده ژنوتیپ‌های عدس بر پایه بهترین پیش‌بینی ناریب خطی (BLUP)

Figure 5- Predicted seed yield (BLUP) plot for lentil genotypes

را برای گزینش و توصیه ژنوتیپ‌های پایدار عدس بکار برده‌اند (Branković-Radojčić *et al.*, 2018; Karimizadeh *et al.*, 2010). اما (al., 2008; Karimizadeh and Mohammadi, 2010) اگر سهم این مؤلفه‌ها در برهمکنش ژنوتیپ در محیط پایین باشد، تفسیر نتایج باید با احتیاط انجام گردد، زیرا تنها بخش ساده برهمکنش ژنوتیپ در محیط را می‌توان در مؤلفه‌های اصلی نخست مشاهده کرد و ممکن است بخش پیچیده ژنوتیپ در محیط در این بای‌پلات‌ها حذف شده باشد (Olivoto *et al.*, 2019).

در چنین مواقعی، بای‌پلات  $WAASB \times GY$  (شکل ۷) یا نمودار  $WAASBY$  (شکل ۸) برای شناسایی ژنوتیپ‌های پر محصول و با پایداری گسترده می‌تواند بهتر باشد.

در شکل ۶ شناسایی ژنوتیپ‌ها با مقادیر  $WAASBY$  انجام شده است که نوعی معیار گزینش همزمان مبتنی بر میانگین عملکرد دانه (Y) و شاخص پایداری (WAASB) است و در محاسبه آن وزن‌های متفاوتی به عملکرد دانه و شاخص  $WAASB$  داده شده است. در این نمودار از وزن‌دهی برابر برای هر دو شاخص عملکرد دانه و شاخص پایداری (WAASB) استفاده شد که بیانگر یکسان نگرستن به پایداری و عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و اهمیت یکسان هر دو شاخص در گزینش یک ژنوتیپ است. بر اساس وزن‌دهی ۵۰:۵۰ ژنوتیپ‌های ۱۹، ۲۱، ۴، ۶، ۱، ۳ و ۱۱ با داشتن بیشترین مقدار  $WAASBY$  ژنوتیپ‌های پایدار و دارای عملکرد دانه بالا بودند. بسیاری از پژوهشگران، ارزش پایداری (ASV) AMMI

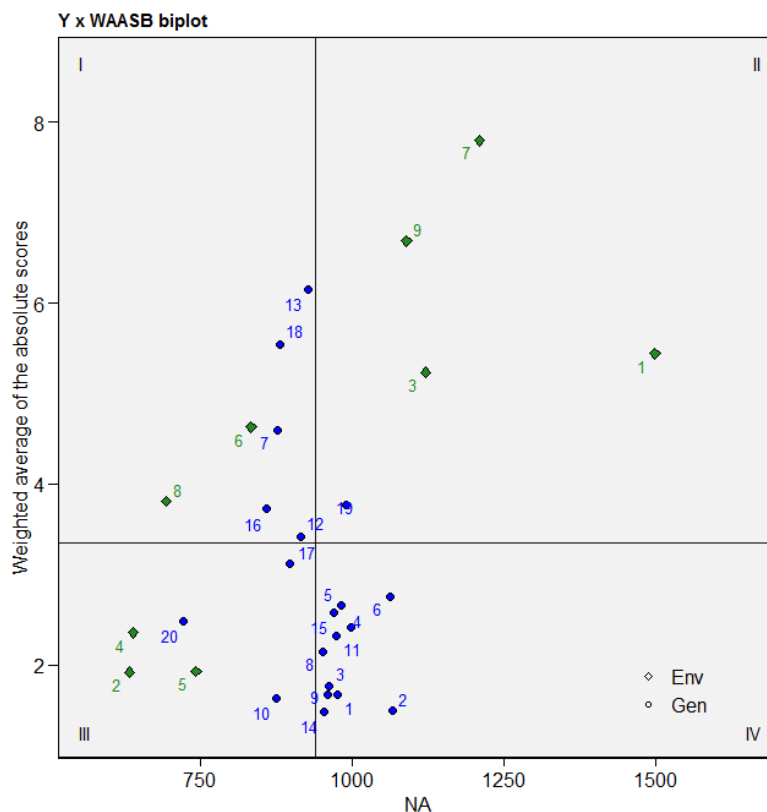


شکل ۶- مقادیر برآورد شده از میانگین وزنی پایداری (WAASB) و میانگین عملکرد (WAASB) (Y) برای ۲۰ ژنوتیپ عدس با توجه به وزن در نظر گرفته شده ۵۰:۵۰ برای عملکرد و پایداری

Figure 6- Estimated values of weighted average of the stability (WAASB) and mean performance (Y) (WAASBY) for 20 lentil Genotypes considering the weights of 50 and 50 for yielding and stability, respectively

WAASB، ناپایدار هستند. محیط‌های واقع در این ناحیه (به‌ویژه محیط ۶) به دلیل داشتن مقادیر بالای متغیر پاسخ و همچنین توانایی تشخیص خوب می‌تواند به‌صورت ویژه مورد توجه واقع شود. ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۰، ۱۷، ۱۶، ۱۲ و ۱۳ در چارک سوم (ربع III)، با آنکه عملکرد کمتر از میانگین کل داشتند، اما به دلیل پایین بودن مقادیر WAASB (هرقدر این شاخص پایین‌تر باشد، عملکرد ژنوتیپ پایدارتر خواهد بود)، دارای عملکرد پایدار شناخته شدند. ژنوتیپ‌های واقع در چارک چهارم (ربع IV) به دلیل بزرگی متغیر پاسخ (دارا بودن عملکرد بالا) و پایداری عملکرد بالا (مقادیر پایین WAASB)، بسیار پر محصول و دارای پایداری عملکرد بیشتری هستند که شامل ژنوتیپ‌های ۱، ۱۹، ۴، ۹، ۱۴، ۶، ۲، ۳ و ۱۱ بودند.

بای پلات نوع سوم عملکرد دانه در برابر میانگین وزنی نمرات مطلق یا (WAASB)، به چهار بخش یا چارک تقسیم شد (شکل ۷) که در آن ژنوتیپ‌ها از نظر پایداری با شاخص WAASB و میانگین عملکرد دانه به‌طور همزمان ارزیابی می‌شوند. در چارک اول (ربع I)، ژنوتیپ‌های ۷ و ۲۰ با توجه به سهم زیاد در برهمکنش ژنوتیپ در محیط، ژنوتیپ‌های ناپایدار و دارای عملکرد کمتر از متوسط کل بودند (Olivoto *et al.*, 2019 a)، بنابراین این ژنوتیپ‌ها علاوه بر ناپایداری بالا، با توجه به اینکه در این چارک هیچ محیطی قرار نداشت، به محیط‌های ویژه‌ای نیز سازگار نیستند و ژنوتیپ‌های مطلوبی محسوب نمی‌شوند. در چارک دوم (ربع II)، ژنوتیپ‌های ۵ و ۱۵ با وجود داشتن عملکرد بالاتر از میانگین کل، به دلیل مقدار بالای



شکل ۷- دیاگرام‌های ارزیابی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس در ۹ محیط و بای پلات عملکرد دانه در مقابل میانگین وزنی نمرات مطلق برای بهترین پیش‌بینی‌های نارایب خطی از برهمکنش ژنوتیپ‌ها با محیط (WAASB)

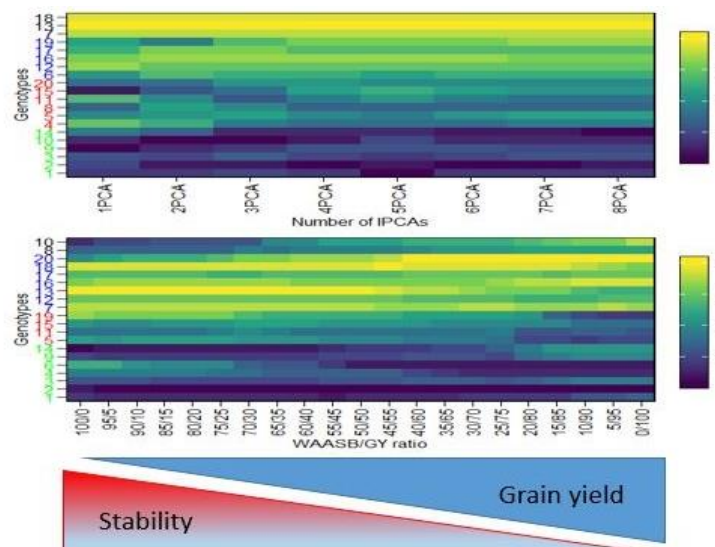
Figure 7- Diagrams for analysis the grain yield of lentil genotypes evaluated in 9 environments and biplot of the seed yield vs weighted average of absolute scores for the best linear unbiased predictions of the genotypes- environment interaction(WAASB)

وزن ۱۰۰ درصد) انجام شده است. نتیجه رتبه‌بندی ۵۰:۵۰ همچون شکل ۶ است که در آن به شاخص پایداری (WAASB) و شاخص متغیر وابسته (GY) هر دو وزن ۵۰ داده شده بود. در نخستین ستون سمت چپ، ژنوتیپ‌های ۲، ۱۴، ۱، ۹، ۱ و ۱۰ پایدارترین هستند و ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۸ و ۷ کمترین پایداری را دارند. البته از آنجا که در این رتبه‌بندی هیچ‌گونه توجهی به عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها نشده است، چنین رتبه‌بندی نمی‌تواند از اعتبار بالایی برخوردار باشد. در آخرین ستون سمت راست هم که رتبه‌بندی فقط بر اساس عملکرد دانه و بدون توجه به پایداری انجام شده است. ژنوتیپ‌های ۲، ۶، ۴ و ۱۹ برترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه بودند و ژنوتیپ‌های ۲۰، ۱۶ و ۷ کمترین عملکرد دانه را داشتند. این نتایج همچون نتایج حاصل از شکل ۵ است. خوشه‌های سمت چپ این نمودار، برای شناسایی گروه‌های ژنوتیپی با نمود مشابه پایداری عملکرد و میانگین عملکرد دانه به کار برده می‌شود. ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۹ و ۱۴ دارای عملکرد بالا و پایدار (شماره ژنوتیپ‌های

بای پلات  $WAASB \times GY$  (شکل ۸) تفسیر همزمان پایداری و عملکرد را انجام می‌دهد. در شکل ۸ به دو شاخص متغیر وابسته (GY) و پایداری (WAASB) وزن‌های متفاوتی داده شده است. در این شکل مقادیرهای WAASBY با در نظر گرفتن نسبت‌های گوناگون از WAASB و GY ارائه شده‌اند و همان‌گونه که دیده می‌شود رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها با شاخص WAASBY بسته به اینکه چه نسبتی از شاخص WAASB و عملکرد در نظر گرفته شوند، دگرگونی زیادی پیدا می‌کند. به طوری که در نخستین ستون سمت چپ این نمودار، رتبه‌بندی فقط بر اساس شاخص پایداری WAASB انجام شده است و در محور X آن، وزن ۱۰۰ به شاخص پایداری (WAASB) و صفر به شاخص متغیر وابسته (GY) داده شده است. در این نمودار از چپ به راست، در هر ستون به وزن متغیر پاسخ (عملکرد دانه) پنج درصد افزوده و از وزن شاخص پایداری (WAASB)، ۵ درصد کاسته شده است و در آخرین ستون سمت راست، رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها فقط بر اساس عملکرد دانه (با

یکی از مزیت‌های شاخص WAASBY این است که بسته به هدف برنامه به‌نژادی می‌توان در محاسبه آن به هریک از دو جزء پایداری و عملکرد وزن‌های گوناگونی داد تا سهم هر جزء پررنگ‌تر یا کم‌رنگ‌تر شود. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها با شاخص WAASBY، امکان مد نظر گرفتن همزمان عملکرد (Y) و پایداری (WAASB) ژنوتیپ‌ها را فراهم می‌کند. همان‌گونه که نشان داده شده است بر این اساس ژنوتیپ ۲ با فاصله قابل توجه در رتبه نخست قرار می‌گیرد و پس از آن ژنوتیپ‌های ۶ و ۴ قرار دارند. در بخش پایین رتبه‌بندی، هر دو رقم شاهد کیمیا و گچساران قرار دارند.

سبزرنگ)، ژنوتیپ ۵، ۱۱، ۱۵ و ۱۹ بر محصول اماناپایدار (شماره ژنوتیپ‌های قرمز رنگ)، ژنوتیپ‌های ۷، ۱۲، ۱۳، ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۲۰ پایدار اما کم محصول (شماره ژنوتیپ‌های رنگ آبی) و ژنوتیپ‌های ۸ و ۱۰ کم محصول و ناپایدار (شماره ژنوتیپ‌های رنگ سیاه) از نظر عملکرد دانه بودند که بر اساس وزن ۵۰:۵۰ برای دو شاخص نیز در رتبه‌های اول تا چهارم گزینش همزمان با پایداری عملکرد و عملکرد دانه (WAASBY) قرار داشتند. با در نظر گرفتن سهم برابر برای پایداری و عملکرد، در میانه شکل دیده می‌شود که ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۶ و ۱۴ در رتبه‌های برتر قرار گرفته‌اند.



شکل ۸- نقشه حرارتی، رتبه‌بندی ژنوتیپ بر اساس محورهای مؤلفه اصلی مورد استفاده برای تخمین شاخص WAASB و رتبه‌های ژنوتیپ‌های عدس با در نظر گرفتن وزن‌های مختلف برای پایداری و عملکرد دانه. اولین رتبه سمت چپ، صرفاً بر اساس پایداری به دست آمده است. آخرین رتبه سمت راست نیز با در نظر گرفتن عملکرد دانه به دست آمده است. بیان این دو انتها، رتبه‌ها از وزن‌های مختلف پایداری و عملکرد به دست آمده است. چهار خوشه، چهار گروه ژنوتیپی را نشان می‌دهد: (۱) ژنوتیپ‌های ضعیف از نظر عملکرد و ناپایدار (سبزرنگ)، (۲): ژنوتیپ‌های پر محصول اما ناپایدار (قرمز رنگ)، (۳) ژنوتیپ‌های پایدار اما کم محصول (رنگ آبی) و (۴) ژنوتیپ‌های بسیار پر محصول و پایدار (اعداد با رنگ سیاه)

**Figure 8- Heatmap shows the genotype ranking depending on the number of principal component axes used for estimating the WAASB index. And euclidean distance-based dendrogram is used for grouping the genotype ranking for both genotypes and principal component axes. Ranks of lentil genotypes considering different weights for stability and yielding. The most-left ranks were obtained considering the stability only. The most right-ranks were obtained considering the grain yield only. Between the extremes, the ranks were obtained different weights for stability and yielding. The four clusters represent four classes of genotypes: (1) Poorly productive and unstable genotypes (green color); (2) productive but unstable genotypes (Red color); (3) stable but poorly productive genotypes (blue color); and (4), highly productive and stable genotypes (Numbers in black)**

موزاییکی مشاهده شد که نخستین محور مؤلفه اصلی سهم بالایی از تنوع ژنوتیپی و محور مؤلفه اصلی دوم سهم بالایی از تنوع ژنوتیپ در محیط را داشتند. بر اساس این شاخص ژنوتیپ‌های ۲، ۶، ۴ و ۱۹ بسیار پر محصول و پایدار بودند. در مجموع به نظر می‌رسد که برای یک نتیجه‌گیری با اطمینان

## نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش پس از به دست آوردن اطمینان از اثر معنی‌دار برهمکنش ژنوتیپ در محیط با روش‌های مختلف تجزیه پایداری عملکرد دانه انجام شد و نتایج آن‌ها با یکدیگر سنجیده شد. البته پیش از انجام این تجزیه‌ها با نمودار

شناسایی شدند. با توجه به اینکه از مدل مختلط خطی و همچنین تمام مؤلفه‌ها در محاسبه شاخص WAASBY استفاده شد، به نظر می‌رسد که این شاخص برتر از سایر شاخص‌ها باشد.

### سپاسگزاری

این مقاله، برگرفته از نتایج پروژه پژوهشی به شماره مصوب ۰۰۲۹-۹۰-۱۵-۱۵ و با عنوان " بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه لاین‌های عدس در آزمایش‌های یکنواخت سراسری مناطق معتدل دیم" در موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور می‌باشد.

بالا، استفاده از نمودار WAASBY با وزن‌دهی متغیر از صفر تا صد برای شاخص WAASB و میانگین عملکرد دانه می‌تواند به نتایج مطمئن‌تری از تجزیه پایداری با بهره‌گیری از تجزیه‌هایی مانند تجزیه عاملی، BLUP و AMMI در شناسایی ژنوتیپ‌های برگزیده بینجامد. بالاترین عملکرد دانه پیش‌بینی‌شده با روش BLUP مربوط به ژنوتیپ ۲ و پس از آن ژنوتیپ‌های ۴، ۱۹، ۵ و ۱ بودند که عملکرد دانه پیش‌بینی‌شده بیشتر از میانگین کل داشتند. با در نظر گرفتن سهم ۵۰ درصد برای هر یک از دو جزء عملکرد و پایداری، ۱۴ ژنوتیپ دارای WAASBY بالاتر از میانگین بودند. مقدار WAASBY به‌ویژه در مورد ژنوتیپ‌های ۱۹، ۲، ۴، ۶، ۱، ۳ و ۱۱ به‌طور قابل توجهی بالاتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود و بر این اساس به‌عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها

### References

- Abbas, G., Asghar, M.J., Shahid, M., Hussain, J., Akram, M. and Ahmad, F., 2019. Yield performance of some lentil genotypes over different environments. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 2(1), pp.1-3. doi: **10.2134/age2018.10.0051**
- Abo-Hegazy, S.R.E., Selim, T. and Ashrie, A.A.M., 2013. Genotype× environment interaction and stability analysis for yield and its components in lentil. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 5(5), pp.85-90. doi: **10.5897/jpbcs12.066**
- Ajay, V. and Singh, G.P., 2021. AMMI with BLUP analysis for stability assessment of wheat genotypes under multi locations timely sown trials in Central Zone of India. *International Journal of Agriculture and Food Science*, (7), pp.118-124. doi: **10.17352/2455-815x.000098**
- Akbari, S., Akbarpour, O. and Pezeshkpour, P., 2021. Evaluation of grain yield stability of lentil genotypes using non-parametric methods. *Plant Genetic Researches*, 8(1), pp.95-114. doi: **10.52547/pgr.8.1.7**
- Akıncı, C., Biçer, B.T., Kızılgöçü, F., Albayrak, Ö. and Yıldırım, M., 2018. Stability parameters in lentil genotypes. *El-Cezeri*, 5(2), pp.287-291.
- Azam, M.G., Iqbal, M.S., Hossain, M.A. and Hossain, M.F., 2020. Stability investigation and genotype× environment association in chickpea genotypes utilizing AMMI and GGE biplot model. *Genetics and Molecular Research*, 19(3), pp.1-15.
- Barrios, A., Aparicio, T., Rodríguez, M.J., de la Vega, M.P. and Caminero, C., 2016. Winter sowing of adapted lines as a potential yield increase strategy in lentil (*Lens culinaris Medik.*). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(2), pp.e0702-e0702. doi: **10.5424/sjar/2016142-8092**
- Barbosa, M.H., Ferreira, A., Peixoto, L.A., Resende, M.D., Nascimento, M. and Silva, F.F., 2014. Selection of sugar cane families by using BLUP and multi-diverse analyses for planting in the Brazilian savannah. *Genetics and Molecular Research*, (13), pp.1619-1626. doi: **10.4238/2014.march.12.14**

- Baretta, D., Nardino, M., Carvalho, I.R., Oliveira, A.D., Souza, V.D. and Maia, L.D., 2016. Performance of maize genotypes of Rio Grande do Sul using mixed models. *Científica*, 44(3), pp. 403-411. doi: **10.15361/1984-5529.2016v44n3p403-411**
- Bermejo, C., Cazzola, F., Maglia, F. and Cointry, E., 2020. Selection of parents and estimation of genetic parameters using BLUP and molecular methods for lentil (*Lens culinaris* Medik.) breeding program in Argentina. *Experimental Agriculture*, 56(1), pp.12-25. doi: **10.1017/s0014479719000061**
- Branković-Radojčić, D.V., Babić, V., Filipović, M., Srdić, J., Girek, Z., Zivanović, T. and Radojčić, A., 2018. Evaluation of maize grain yield and yield stability by AMMI analysis. *Genetika*, 50(3), pp.1067-1080. doi: **10.2298/genstr1803067b**
- Chen, C., Etemadi, F., Franck, W., Franck, S., Abdelhamid, M.T., Ahmadi, J., Mohammed, Y.A., Lamb, P., Miller, J., Carr, P.M. and McPhee, K., 2022. Evaluation of environment and cultivar impact on lentil protein, starch, mineral nutrients, and yield. *Crop Science*, 62(2), pp.893-905. doi: **10.1002/csc2.20675**
- Dehghani, H., Sabaghpour, S.H. and Sabaghnia, N., 2008. Genotype x environment interaction for grain yield of some lentil genotypes and relationship among univariate stability statistics. *Spanish Journal of Agricultural Research*, (3), pp.385-394.
- Elias, A.A., Robbins, K.R., Doerge, R.W. and Tuinstra, M.R., 2016. Half a century of studying genotype× environment interactions in plant breeding experiments. *Crop Science*, 56(5), pp.2090-2105. doi: **10.2135/cropsci2015.01.0061**
- Finlay, K.W. and Wilkinson, G.N., 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14(6), pp.742-754.
- Gan, Y., Hamel, C., Kutcher, H.R. and Poppy, L., 2017. Lentil enhances agroecosystem productivity with increased residual soil water and nitrogen. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 32(4), pp.319-330. doi: **10.1017/s1742170516000223**
- Gauch Jr, H.G. and Zobel, R.W., 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science*, 37(2), pp.311-326.
- Jeberson, M.S., Shashidhar, K.S., Wani, S.H., Singh, A.K. and Dar, S.A., 2019. Identification of stable lentil (*Lens culinaris* Medik) genotypes through GGE biplot and AMMI analysis for North Hill Zone of India. *Legume Research-An International Journal*, 42(4), pp.467-472. doi: **10.18805/lr-3901**
- Laffont, J.L., Hanafi, M. and Wright, K., 2007. Numerical and graphical measures to facilitate the interpretation of GGE biplots. *Crop Science*, 47(3), pp.990-996. doi: **10.2135/cropsci2006.08.0549**
- Karaköy, T., Erdem, H., Baloch, F.S., Toklu, F., Eker, S., Kilian, B. and Özkan, H., 2012. Diversity of macro-and micronutrients in the seeds of lentil landraces. *The Scientific World Journal*, 2012(1), p.710412. doi: **10.1100/2012/710412**
- Karimizadeh, R., Safikhani Nasimi, M., Mohammadi, M., Seyyedi, F., Mahmoodi, A.A. and Rostami, B., 2008. Determining rank and stability of lentil genotypes in rainfed condition by nonparametric statistics. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 12(43), pp.93-102. [In Persian].

- Karimizadeh, R. and Mohammadi, M., 2010. AMMI adjustment for rainfed lentil yield trials in Iran. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 16(1), pp.66-73.
- Karimizadeh, R., Mohammadi, M. and Sabaghmia, N., 2013. Site regression biplot analysis for matching new improved lentil genotypes into target environments. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 3(2), pp.51-65.
- Karimizadeh, R., Pezeshkpour, P., Barzali, M., Mehraban, A. and Sharifi, P., 2020. Evaluation the mean performance and stability of lentil genotypes by combining features of AMMI and BLUP techniques. *Journal of Crop Breeding*, 12(36), pp.160-170. [In Persian]. doi: **10.52547/jcb.12.36.160**
- Karimizadeh, R., Pezeshkpour, P. and Mirzaii, A., 2021. Evaluation of grain yield stability of rainfed lentil genotypes by parametric and non-parametric methods. *Applied Field Crops Research*, 34(3), pp.155-140. [In Persian]. doi: **10.22092/aj.2022.351573.1500**
- Meng, Y., Ren, P., Ma, X., Li, B., Bao, Q., Zhang, H., Wang, J., Bai, J. and Wang, H., 2016. GGE Biplot-based evaluation of yield performance of barley genotypes across different environments in China. *Journal of Agricultural Science and Technology*, (18), pp.533-543. doi: **10.1149/ma2023-024556mtgabs**
- Muehlbauer, F.J., Cho, S., Sarker, A., McPhee, K.E., Coyne, C.J., Rajesh, P.N. and Ford, R., 2006. Application of biotechnology in breeding lentil for resistance to biotic and abiotic stress. *Euphytica*, 147, pp.149-165. doi: **10.1007/s10681-006-7108-0**
- Namdari, A., Pezeshkpour, P., Mehraban, A., Naseri, A., Vaezi, B. and Nazarli, H., 2022. Evaluation the grain yield stability of promising rainfed lentil genotypes using parametric and non-parametric statistics. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(3), pp.153-167. [In Persian]. doi: **10.22059/ijfcs.2021.330502.654854**
- Nardino, M., Baretta, D., Carvalho, I.R., Olivoto, T., Follmann, D.N., Szareski, V.J., Ferrari, M., de Pelegrin, A.J., Konflanz, V.A. and de Souza, V.Q., 2016. Restricted maximum likelihood/best linear unbiased prediction (REML/BLUP) for analyzing the agronomic performance of corn. *African Journal of Agricultural Research*, 11(48), pp.4864-4872. doi: **10.5897/ajar2016.11691**
- Olivoto, T. 2019. Metan: multi environment trials analysis. R package version 1.1.0. <https://github.com/TiagoOlivoto/metan>. doi: **10.1101/2020.01.14.906750**
- Olivoto, T., Lúcio, A.D., da Silva, J.A., Marchioro, V.S., de Souza, V.Q. and Jost, E., 2019. Mean performance and stability in multi-environment trials I: combining features of AMMI and BLUP techniques. *Agronomy Journal*, 111(6), pp.2949-2960. doi: **10.2134/agronj2019.03.0220**
- Olivoto, T., Lúcio, A.D., da Silva, J.A., Sari, B.G. and Diel, M.I., 2019. Mean performance and stability in multi-environment trials II: Selection based on multiple traits. *Agronomy Journal*, 111(6), pp.2961-2969. doi: **10.2134/agronj2019.03.0221**
- Olivoto, T. and Lúcio, A.D.C., 2020. metan: An R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(6), pp.783-789. doi: **10.1111/2041-210x.13384**
- Piepho, H.P., Möhring, J., Melchinger, A.E. and Büchse, A., 2008. BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. *Euphytica*, 161(1), pp.209-228. doi: **10.1007/s10681-007-9449-8**

- Pawar, I.S. and Singh, S., 2010. Theory and Application of Biometrical Genetics. CBS Publisher and Distributors Pvt. Ltd. Softcover, 1st edition. New Delhi, IND.
- Pezeshkpour, P., Karimizadeh, R., Mirzaei, A. and Barzali, M., 2021. Analysis of Yield Stability of lentil Genotypes using AMMI Method. *Journal of Crop Breeding*, 13(37), pp.132-145. [In Persian]. doi: **10.52547/jcb.13.37.132**
- Sa'diyah, H. and Hadi, A.F., 2016. AMMI Model for yield estimation in multi-environment trials: A comparison to BLUP. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9, pp.163-169. doi: **10.1016/j.aaspro.2016.02.113**
- Sharifi, P., 2020. Application of Multivariate Analysis Methods in Agricultural Sciences. *Rasht branch, Islamic Azad University Press*. pp. 288. [In Persian].
- Sarker, A., Erskine, W. and Singh, M., 2003. Regression models for lentil seed and straw yields in Near East. *Agricultural and Forest Meteorology*, 116(1-2), pp.61-72. doi: **10.1016/s0168-1923(02)00247-2**
- Sánchez-Gómez, D., Cervera, M.T., Escolano-Tercero, M.A., Vélez, M.D., de María, N., Diaz, L., Sánchez-Vioque, R., Aranda, I. and Guevara, M.Á., 2019. Drought escape can provide high grain yields under early drought in lentils. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 31, pp.273-286. doi: **10.1007/s40626-018-0136-z**
- Sellami, M.H., Pulvento, C. and Lavini, A., 2021. Selection of suitable genotypes of lentil (*Lens culinaris* Medik.) under rainfed conditions in south Italy using multi-trait stability index (MTSI). *Agronomy*, 11(9), p.1807. doi: **10.3390/agronomy11091807**
- Shobeiri, S., Sadeghzadeh Ahari, D., Pezeshkpour, P. and Azimi, M., 2021. Stability Analysis of Grain yield of *Lens Culinaris* L lentil Genotypes in Dryland Conditions by GGE biplot Method. *Journal of Crop Breeding*, 13(40), pp.1-10. [In Persian]. doi: **10.52547/jcb.13.40.1**
- Smith, A.B., Cullis, B.R. and Thompson, R., 2005. The analysis of crop cultivar breeding and evaluation trials: an overview of current mixed model approaches. *The Journal of Agricultural Science*, 143(6), pp.449-462. doi: **10.1017/s0021859605005587**
- Smirnov, N., 1948. Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions. *The Annals of Mathematical Statistics*, 19(2), pp.279-281.
- Subedi, M., Khazaei, H., Arganosa, G., Etukudo, E. and Vandenberg, A., 2021. Genetic stability and genotype× environment interaction analysis for seed protein content and protein yield of lentil. *Crop Science*, 61(1), pp.342-356. doi: **10.1002/csc2.20282**
- Tadesse, T., Sefera, G., Asmare, B. and Tekalign, A., 2021. AMMI Analysis for Grain Yield Stability in Lentil Genotypes Tested in the Highlands of Bale, Southeastern Ethiopia. *Journal of Plant Sciences*, 9(1), pp.9-12. doi: **10.11648/j.jps.20210901.12**
- Tadesse, T., Tekalign, A. and Asmare, B., 2021. Identification of stable lentil genotypes using AMMI analysis for the highlands of bale, Southeastern Ethiopia. *Chemical and Biomolecular Engineering*, 19(6), pp.74-79. doi: **10.11648/j.cbe.20210604.12**
- Thennarasu, K., 1995. *On Certain Non-parametric Procedures for Studying Genotype-Environment Interactions*

- and Yield Stability* (Doctoral dissertation, IARI, Division of Agricultural Statistics, New Delhi).
- Truberg, B. and Huehn, M., 2000. Contributions to the analysis of genotype× environment interactions: Comparison of different parametric and non-parametric tests for interactions with emphasis on crossover interactions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 185(4), pp.267-274. doi: **10.1046/j.1439-037x.2000.00437.x**
- Wright, K. and J.L. Laffont. 2018. Package ‘GGE’. <https://github.com/kwstat/gge/issues>.
- Yadav, N.K., Ghimire, S.K., Sah, B.P., Sarker, A., Shrestha, S.M. and Sah, S.K., 2016. Genotype x environment interaction and stability analysis in lentil (*Lens culinaris Medik.*). *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 1(3), pp.238539. doi: **10.22161/ijeab/1.3.7**
- Yan, W. and Tinker, N.A., 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(3), pp.623-645. doi: **10.4141/p05-169**
- Zaccardelli, M., Sonnante, G., Lupo, F., Branca, F. and de Falco, E., 2010. *Leguminose Minori (Cece, Lenticchia, Cicerchia, Fava)*; *Consiglio per Ricerca Sperimentazione Agricoltura: Rome, Italy*. pp.73.

## Evaluation of the efficiency of WAASB, WAASBY indices and linear mixed effects model (LMM) for identifying high- yielding lentil genotypes adapted to rainfed regions

Payam Pezeshkpour<sup>1\*</sup>, Mohammad Armion<sup>2</sup>, Borzo Rostami<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran

<sup>2</sup> Crop and Horticultural Science Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ilam, Iran

<sup>3</sup> Dryland Agricultural Research Institute, Sararood Branch, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran

\*Corresponding Author: [papezeshkpour@yahoo.com](mailto:papezeshkpour@yahoo.com)

Received: 12 December 2022 Accepted: 11 April 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.376438.1301

### Abstract

**Introduction:** lentil is one of the legumes due to its protein percentage and high nutritional value, and it can be cultivated in the fall in rainy conditions. Due to the different reactions of crop genotypes in different environments, the evaluation of the genotype  $\times$  environment interaction in the process of introducing new cultivars is fundamentally important. The development of high yielding cultivars with wide adaptability is the ultimate aim of plant breeders. However, attaining this goal is made more complicated by genotype-environment interactions. The genotype by environment interaction is a major problem in the study of quantitative traits because it complicates the interpretation of genetic experiments and makes predictions difficult, also it reduces grain yield stability in different environments. Multi-environment trials are often analyzed to assess the yield stability of genotypes. Combining features of the best linear unbiased predictions (BLUP) and additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) through “ Weighted average of absolute scores of best linear unbiased predictions ” (WAASB) index in multi- environment experiments may lead to more precise evaluation of genotypes and assessment of genotype  $\times$  environment interaction. This statistical models has been widely used to explain complicate G $\times$ E interaction, to enhance selection efficiency and to ensure genetic gain from selection. The objective of this study was to investigate the response of the lines in studied locations and to identify lines adapted to the test environments. The objective of this study was to investigate the response of the lines in studied locations and to identify lines adapted to the test environments.

**Materials and Methods:** In the present study, the seed yield stability of 18 advanced lentil genotypes was evaluated in a multi-environment trials in three locations including; Khorramabad, Ilam and Kermanshah, Iran in 2010-2013 cropping seasons. The experimental design was a randomized complete block design with three replications. Statistical analyzes were performed using multi-environment trials analysis. In order to evaluate genotype  $\times$  environment interaction, AMMI and BLUP methods were combined by introducing WAASB and WAASBY indicators and the yield stability was evaluated by drawing various graphs.

**Results and Discussion:** Considering the significant G $\times$ E interaction based on the results of the relative likelihood test (LRT), it was possible to perform BLUP analysis on the data. The results of the mosaic diagram showed that the contribution of genotype and genotype  $\times$  environment interaction were 15.45% and 84.55% of the total variation, respectively. The highest predicted seed yield by BLUP method belonged to genotype no. 2 followed by genotypes no. 4, 19, 5 and 1 which had higher than average predicted seed yield. To enable simultaneous selection based on both seed yield and yield stability, by combining seed yield (Y) and WAASB, a new index “WAASBY” was created. Considering 50% contribution of each of the two components of seed yield and yield stability, fourteen genotypes showed above average WAASBY. Genotypes no. 19, 2, 4, 6, 1, 3 and 13 had

considerably higher WAASBY when compared with other genotypes and was identified. control Gachsaran cultivar (genotype 20) had lower than average WAASBY

**Conclusion:** In conclusion, considering WAASBY index, genotypes 2, 4, 6, 1, 3 and 11 were identified as genotypes with high seed yield and yield stability, and can be considered for being released as new lentil cultivars. In general, using mixed model as well as all the components in calculation the WAASBY index, it can be concluded that this index is superior to other indices.

**Keywords:** Biplot, Single Value Decomposition (SVD), Simultaneous Selection, Weighted average of absolute scores