

پارامترهای ژنتیکی، پایداری و انتخاب ژنوتیپ‌های عدس در شرایط دیم به صورت کاشت پاییزه با استفاده از روش‌های AMMI و WAASB، BLUP

پیام پزשکپور^{۱*}، رضا امیری^۱، ایرج کرمی^۲، امیر میرزایی^۳

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

۲. محقق، مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، معاونت سرارود، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

۳. استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۹

چکیده

ادغام دو روش ارزیابی پایداری بهترین پیش‌بینی‌های نارایب خطی (BLUP) و AMMI در آزمایش‌های ناحیه‌ای بر پایه شاخص پایداری میانگین وزنی نمرات مطلق (WAASB)، به ارزیابی بهتر ژنوتیپ‌های گیاهی کمک می‌کند. در پژوهش حاضر پایداری ۱۳ ژنوتیپ پیشرفته و ارقام عدس، در سه منطقه خرم‌آباد (لرستان)، زنجیره (ایلام) و سرارود (کرمانشاه) طی سه سال زراعی (۴۰۱-۱۳۹۸) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط، دو روش AMMI و BLUP با معرفی دو شاخص WAASB و WAASBY تلفیق شدند و پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها با رسم نمودارهای گوناگون ارزیابی گردید. با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر پایه نتیجه آزمون درست‌نمایی نسبی (LRT)، امکان تجزیه داده‌ها به روش BLUP وجود داشت. بر این اساس بالاترین عملکرد دانه پیش‌بینی شده با روش BLUP مربوط به ژنوتیپ ۱۲ و پس از آن ژنوتیپ‌های ۶، ۴، ۳، ۵ و ۹ بودند که عملکرد دانه پیش‌بینی شده بیشتر از میانگین کل داشتند. به منظور فراهم کردن امکان گزینش همزمان بر اساس عملکرد و پایداری، با تلفیق دو شاخص عملکرد دانه و پایداری (WAASB)، شاخص WAASBY بدست آمد. با در نظر گرفتن سهم ۵۰ درصد برای هر یک از دو جزء عملکرد و پایداری، ۷ ژنوتیپ دارای WAASBY بالاتر از میانگین بودند. مقدار WAASBY به ویژه در مورد ژنوتیپ‌های ۳، ۶، ۵ و ۲ به طور قابل توجهی بالاتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود و بر اساس عملکرد دانه و پایداری به عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند.

کلیدواژگان: تجزیه مقادیر منفرد، گزینش همزمان، میانگین وزنی نمرات مطلق، نمودار موزائیکی، تجزیه BLUP

مقدمه

عدس (*Lens culinaris* Medik.) یکی از قدیمی‌ترین حبوبات و از محصولات خوراکی است (Sandhu & Singh, 2007). عدس بومی خاورمیانه است و این محصول به بهترین وجه برای تولید در آب و هوای معتدل سازگار است، اما اکنون در بسیاری از مناطق جهان تولید می‌شود (Tullu *et al.*, 2011). علاقه به حبوبات به جای غلات، که منبع اصلی جایگزین پروتئین به جای گوشت برای آینده هستند، در حال حاضر در حال افزایش است (Sellami *et al.*, 2021). عدس نقش بسزایی در تغذیه انسان و محیط زیست، کاهش اتکا به منابع تجدیدنپذیر و مواد شیمیایی (Ruisi *et al.*, 2017) و بهبود حاصلخیزی خاک دارد (Sarker *et al.*, 2011). به دلیل رابطه همزیستی آن با باکتری ریزوبیوم، می‌تواند نیتروژن اتمسفر (N₂) را تثبیت کند و تقاضا برای کودهای نیتروژن را به حداقل برساند. عدس یک منبع غذایی با ارزش بالا است که دارای محتوای پروتئینی است که می‌تواند تا ۳۰٪ برسد. وجود ویتامین‌ها نیز به ویژه در گروه B در عدس قابل توجه است. آهن به میزان بیشتری نسبت به دانه گندم و برنج در دانه عدس وجود دارد (Muehlbauer *et al.*, 1985). دانه‌های عدس منبع کم هزینه‌ای از پروتئین و نشاسته هستند که در مقایسه با نشاسته غلات، و گیاهان غده‌ای، نشاسته عدس مقاومتر می‌باشد (Tayade *et al.*, 2019). عدس منبع مهم مواد معدنی و ویتامین‌ها در رژیم غذایی انسان است (Karaköy *et al.*, 2012). علاوه بر این، غنی از کربوهیدرات است، که کاه آن علوفه با ارزشی برای حیوانات را فراهم می‌کند (Muehlbauer *et al.*, 2006; Sarker & Singh, 2003; Singh *et al.*, 2017). عدس از حبوبات دانه‌ای سرما دوست است. ورود 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 کمک کند، چرخه‌های بیماری را مختل کرده و به طور کلی به ایجاد محیط تولید بهتر برای سایر محصولات، کمک کند (Gan *et al.*, 2017). یکی از دلایل اصلی کاهش کشت عدس فقدان ارقام اصلاح شده و پایداری ضعیف آنها و استفاده از توده‌های محلی در شرایط مختلف محیطی است (Zaccardelli *et al.*, 2010; Muehlbauer *et al.*, 1985).

به صورت دیم می‌باشد که عملکرد آن تابعی از میزان و پراکنش بارش‌های آسمانی می‌باشد. عملکرد دانه عدس به شدت تحت تاثیر تنش‌های غیرزیستی و زیستی قرار می‌گیرد (Sellami *et al.*, 2019). 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 اهمیت می‌باشد. توزیع نامناسب بارندگی و کاهش بارندگی از عوامل عمده کاهش عملکرد عدس در واحد سطح است (Pezeshkpour *et al.*, 2021)، بنابراین به کارگیری ژنوتیپ‌های سازگار به شرایط نامساعد محیطی، می‌تواند نقش مهمی در افزایش عملکرد در چنین شرایطی داشته باشد (Karakov *et al.*, 2012). اهداف اصلی اصلاح ژنتیکی عدس پایداری تولید، کیفیت بذر و افزایش راندمان تثبیت بیولوژیکی نیتروژن بالاتر است. اخیراً یک فعالیت انتخاب ژنتیکی دقیق برای انتخاب گونه‌های عدس غنی از پروتئین و مناسب برای برداشت مکانیزه انجام یافته است (Zaccardelli, *et al.*, 2010). برهمکنش ژنوتیپ × محیط موجب ناپایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های گوناگون می‌شود و تابعی از متغیرهای گوناگون آگروکولوژیکی، اقلیمی، زراعی و ژنتیکی می‌باشد. ژنوتیپی که در شرایط محیطی گوناگون عملکرد بالا و پایداری داشته باشد به عنوان ژنوتیپی پایدار و سازگار شناخته می‌شود (Pawar *et al.*, 2010). 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. این برهمکنش ژنوتیپ × محیط به ویژه برای عملکرد دانه، به عنوان یک صفت کمی پیچیده از اهمیت بیشتری برخوردار است (Elias *et al.*, 2016). تحت آزمایشات عملکرد چند ناحیه‌ای، عملکرد تحت تاثیر ساختار ژنتیکی، محیطی و برهمکنش ژنوتیپ × محیط قرار می‌گیرد (Yan *et al.*, 2006). مقدار پایداری AMMI (Additive main effect and multiplicative interaction) and متداول‌ترین شاخص پایداری مورد استفاده است، بر اساس انحراف مربع است، برعکس شاخص WAASB (Weighted average of

منفرد (Singular value decomposition) SVD، که پایه تجزیه AMMI است، یک معیار پایداری ژنوتیپی به نام شاخص پایداری میانگین وزنی نمرات مطلق (WAASB) معرفی شد که حاصل تلفیق دو روش AMMI و BLUP است (Olivoto *et al.*, 2019). در این روش، برای تلفیق جنبه‌های پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها، شاخص WAASBY نیز معرفی شده است که در آن گزینش ژنوتیپ‌ها برای میانگین عملکرد و پایداری، به طور همزمان انجام می‌شود و بسته به هدف به نژادگر می‌توان وزن‌های متفاوتی به هر کدام از دو شاخص میانگین عملکرد یا پایداری داد (Olivoto *et al.*, 2019). در پژوهش‌های مختلفی برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ \times محیط در عدس گزارش شده است (Sellami *et al.*, 2021; Shobeiri *et al.*, 2021a; Abbas *et al.*, 2019; 2021; Tadesse *et al.*, 2021). نتیجه با روش‌های 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 \times محیط با روش‌های تجزیه GGE بای پلات و AMMI در عدس (Jeberson *et al.*, 2019; Sellami *et al.*, 2021; Tedesse *et al.*, 2021; Azam *et al.*, 2020) بیشتر انجام شده است. در سال‌های اخیر از مزایای دو روش AMMI و BLUP به صورت همزمان و تلفیقی استفاده شده است که در آن، یک ماتریس برهمکنش ژنوتیپ \times محیط با مدل مختلط خطی مبتنی بر BLUP بدست می‌آید و از تجزیه این ماتریس با یک روش شبه AMMI- با تجزیه ارزش منفرد (SVD)، یک معیار پایداری ژنوتیپی به نام شاخص پایداری میانگین وزنی نمرات مطلق (WAASB) محاسبه می‌شود که در حقیقت حاصل تلفیق دو روش AMMI و BLUP است و قادر به وزن‌دهی بین صفت وابسته (عملکرد دانه) و پایداری عملکرد است (Olivoto & Lucio, 2020). علاوه بر این شاخص، شاخص دیگری به نام WAASBY نیز معرفی شده است که در آن، هر دو معیار عملکرد و پایداری عملکرد همزمان در نظر گرفته می‌شوند تا علاوه بر کاهش برهمکنش ژنوتیپ \times محیط، گزینش‌ها دقیق‌تر و قابل ارزیابی باشند (Olivoto *et al.*, 2019). در این شاخص

absolute scores بر اساس انحراف مطلق است که منجر به افزایش استحکام و عدم حساسیت به داده‌های پرت می‌شود (Olivoto *et al.*, 2019). امروزه توجه به سمت مدل‌های مختلط خطی (Linear mixed-effects model) LMM به صورت ترکیبی می‌باشد، بنابراین برهمکنش ژنوتیپ \times محیط با استفاده از این مدل‌ها (G \times E. LMM) می‌تواند مهم باشد و این مدل، مؤلفه بهترین پیش‌بینی ناریب خطی (Best linear unbiased predictors) BLUP، و عملکرد یک ژنوتیپ را در یک محیط معین پیش‌بینی می‌کند. وزن‌دهی بین میانگین وزنی نمرات مطلق (WASSB) و مقدار میانگین عملکرد انتخاب همزمان برای ارزیابی و پایداری را از طریق یک شاخص برتر به نام WAASBY (Weighted average of absolute scores yield) تسهیل می‌کند (Olivoto *et al.*, 2019). در آزمایشات مقایسه عملکرد چند محیطی، عملکرد دانه تحت تأثیر ساختار ژنتیکی و برهمکنش ژنوتیپ \times محیط قرار می‌گیرد (Yan *et al.*, 2006). به نژادگران اغلب برهمکنش ژنوتیپ \times محیط را به عنوان یک مانع در نظر می‌گیرند. با این حال، اگر به طور دقیق اندازه‌گیری شود، می‌توان از آن برای بهبود عملکرد، بهره‌برداری کرد. آگاهی از برهمکنش ژنوتیپ \times محیط، به نژادگران یاری می‌رساند تا در ارزیابی ژنوتیپ‌ها، با دقت بیشتری عمل کرده و بهترین ژنوتیپ‌ها را برگزینند. پایداری عملکرد صفتی موروثی است (Karimizadeh *et al.*, 2021) که به روش‌های مختلفی شامل تک متغیره پارامتری و ناپارامتری و چندمتغیره ارزیابی می‌شود. در بین روش‌های چندمتغیره می‌توان روش اثرات اصلی جمع پذیر و برهمکنش ضرب پذیر (AMMI) و (Genotype + GGE (Genotype \times environment اثر اصلی ژنوتیپ + برهمکنش ژنوتیپ \times محیط) بای پلات (Yan *et al.*, 2006) را نام برد. به تازگی، روش بهترین پیش‌بینی‌های خطی ناریب (BLUPs) نیز برای ارزیابی داده‌های آزمایش‌های چند محیطی به کار گرفته شده است، که میانگین‌ها را با دقت بالا به ویژه در مدل‌های مختلط برآورد می‌کند (Olivoto *et al.*, 2019) و در هنگام وجود اثر مختلط خطی (LMM)، پتانسیل پیش‌بینی دقیق اثرات تصادفی را فراهم می‌کند (Sharifi, 2020). در این روش، برای بهره‌گیری از مزایای دو روش AMMI و BLUP با مدل مختلط خطی مبتنی بر BLUP یک ماتریس برهمکنش ژنوتیپ \times محیط به دست می‌آید و از تجزیه این ماتریس با تجزیه ارزش

چنگائی خرم آباد (لرستان)، زنجیره (ایلام) و سرارود (کرمانشاه) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار و به مدت سه سال زراعی (۴۰۱-۱۳۹۸) 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 ۳۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به هنگام آماده سازی زمین، به طور یکنواخت مصرف و با خاک مخلوط شد. بذره‌های ارقام و ژنوتیپ‌های آزمایش قبل از کاشت به منظور جلوگیری از بیماری‌های قارچی با قارچ کش کاربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضد عفونی 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 سانتی متر انجام شد.

به نژادگر بسته به هدف اصلاحی خود، وزن‌های متفاوتی به هر کدام از دو معیار میانگین عملکرد یا پایداری عملکرد داده و ارزیابی ژنوتیپ‌ها را بر اساس آن انجام می‌دهد. 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 \times محیط بوده است.

مواد و روش‌ها

ده ژنوتیپ پیشرفته عدس دانه درشت که از آزمایشات مقایسه عملکرد ژنوتیپ‌های پیشرفته عدس اقلیم معتدل در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ انتخاب شده بودند (جدول ۱)، به همراه سه رقم شاهد توده محلی، کیمیا و بيله سوار در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سراب

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

نام ژنوتیپ	کد ژنوتیپ
FLIP2014-019L	G1
FLIP2012-121L	G2
FLIP2012-48L	G3
FLIP2012-86L	G4
FLIP2012-149L	G5
FLIP2012-172L	G6
FLIP2012-176L	G7
FLIP2013-53L	G8
FLIP2013-55L	G9
FLIP2012-54L	G10
LOCAL	G11
KYMIA	G12
BILEH SAVAR	G13

جدول ۲- ویژگی‌های جغرافیایی و هواشناسی مکان‌های آزمایشی

مکان - سال	علامت اختصاری	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	میانگین دمای سالیانه (درجه سانتی‌گراد)	میانگین بارندگی سالیانه (میلی‌متر)
خرم آباد سال اول	E1	۱۱۲۵	48° 28' E	33° 39' N	۱۵/۴۴	۵۳۳/۶
خرم آباد سال دوم	E2				۱۶/۵	۳۰۴/۹
خرم آباد سال سوم	E3				۱۴/۶	۳۰۷
سرارود سال اول	E4	۱۳۵۱	47° 20' E	34° 20' N	۱۵/۶	۵۱۸/۹
سرارود سال دوم	E5				۱۳/۱	۳۱۲
سرارود سال سوم	E6				۱۵	۲۶۱
ایلام سال اول	E7	۹۷۵	46° 36' E	33° 47' N	۱۵/۰۵	۶۰۳/۶
ایلام سال دوم	E8				۱۷/۵	۳۰۲
ایلام سال سوم	E9				۱۵/۹	۲۲۳/۶

آزمون نسبت درست نمایی انجام شد. برای هر یک از ارقام، BLUP به صورت مجموع میانگین کلیه محیط‌ها و اثر ژنوتیپی پیش بینی شد. برای تعیین کمیت پایداری ژنوتیپی، از تجزیه مقادیر منفرد (SVD)، بر روی ماتریس بهترین پیش بینی‌های ناریب خطی (BLUP ها) بر همکنش‌های ژنوتیپ \times محیط \times (Genotype \times GEI (environment interaction) با یک مدل اثر آمیخته خطی (LMM) استفاده شد. در محاسبه شاخص میانگین وزنی نمرات مطلق بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی (WAASB)، تجزیه AMMI به جای اینکه بر روی داده‌های خام انجام گیرد بر روی بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی (BLUPs) انجام گردید و دو روش AMMI و BLUP در یکدیگر تلفیق شدند. در این محاسبات از آماره‌های تجزیه AMMI و نیز آماره‌های مبتنی بر تجزیه AMMI بر ماتریس برهم‌کنش ژنوتیپ \times محیط بدست آمده از بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی (BLUP) استفاده شد. تجزیه‌های آماری با استفاده از بسته تجزیه آمایش‌های چند محیطی Metan (Olivoto, 2019) و GGE (Wright and Laffont, 2018) در نرم افزار R انجام شد. از پارامترهای تجزیه‌های AMMI که شامل همچنین پارامترهای مبتنی بر تجزیه AMMI که شامل WAASB و WAASBY روی ماتریس برهمکنش ژنوتیپ \times محیط حاصل از بهترین پیش‌بینی ناریب خطی (BLUP) استفاده شد. با استفاده از میانگین وزنی نمرات مطلق حاصل از تجزیه ارزش منفرد ماتریس (WAASB) BLUPs، پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها ارزیابی گردید (Olivoto et al., 2019). در تمام این شاخص‌ها، ژنوتیپ‌های با مقادیر پایین این شاخص‌ها، پایدارترین ژنوتیپ‌ها در نظر

کلیه عملیات داشت شامل کوددهی و وجین به صورت یکسان برای همه کرت‌ها انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز پهن برگ و باریک برگ به صورت 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، آزمون نرمال بودن خطاهای آزمایشی و متجانس بودن واریانس‌ها (آزمون بارتلت) انجام شد. آزمون نرمال بودن خطاهای، با استفاده از آزمون کولموگراف-اسمیرنوف و استفاده از نرم افزار MINITAB 16 انجام شد. هر محیط ترکیبی از سال و مکان بود. بنابراین، ۹ محیط برای تجزیه و تحلیل پایداری ۱۳ ژنوتیپ و رقم انتخاب شد. پس از جمع‌آوری داده‌های آزمایشی و بررسی مفروضات تجزیه واریانس و همگنی واریانس خطاهای آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت، به منظور بررسی اثرات اصلی و متقابل مکان‌های اجرای آمایش و ژنوتیپ‌های بررسی شده، تجزیه واریانس مرکب داده با در نظر گرفتن اثر تصادفی برای سال و اثر ثابت برای مکان و ژنوتیپ با استفاده از نرم افزار SAS ver.9.1 انجام شد. تجزیه پایداری برای عملکرد دانه بر اساس مدل AMMI انجام شد. با انجام تجزیه واریانس AMMI با استفاده از نرم افزار R، مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای هر ژنوتیپ و محیط به دست آمد. برای تجزیه داده‌های آزمایشی، مدل LMM نیز با در نظر گرفتن اثر ژنوتیپ و اثر برهمکنش ژنوتیپ \times محیط به صورت تصادفی مورد استفاده قرار گرفت. بررسی معنی داری آثار تصادفی با

مشاهده شده در بین ژنوتیپ ها است. جنبه های دیگری از تلفیق دو روش AMMI و BLUP بهره گیری از ابزارهای گرافیکی تجزیه AMMI در شاخص های برآورده شده است. به طوری که برای کمک به تفسیر چشمی، گرافهایی برای نشان دادن میانگین متغیر پاسخ در برابر WAASB ایجاد شدند (Olivoto et al., 2019). خروجی های گرافیکی که در پدید آوری آنها از ابزارهای AMMI و بای پلات های GGE بهره گرفته می شوند، برای نشان دادن چشمی جایگاه ژنوتیپها از نظر پایداری و میزان عملکرد بسیار کاربردی هستند. کلیه پارامترهای اندازه گیری شده و مدل های آماری و گراف های رسم شده با استفاده از بسته آماری Metan (Olivoto and Lucio, 2020) در نرم افزار R محاسبه شدند.

نتایج و بحث

واریانس برآورد شده به سه جزء واریانس ژنوتیپی، برهمکنش ژنوتیپ × محیط و باقیمانده تفکیک شد. بر اساس اطلاعات جدول ۴ و شکل ۲، ۳۱/۶۷ درصد از واریانس توسط برهمکنش ژنوتیپ × محیط توجیه می شود، حال آنکه اثر ژنوتیپ، تنها توجیه کننده ۴/۲۹ درصد از واریانس برآورد شده است. عمده واریانس (۶۴ درصد) نیز توسط اثر باقیمانده توجیه گردید. اثر باقیمانده عمدتاً به اثر محیط مربوط می شود که با توجه به تفاوت های زیاد بین محیط های آزمایشی از نظر ویژگی های خاک، مقدار و پراکنش بارندگی و سایر عوامل قابل توجیه است. نتایج تحقیقات محققان روی سایر گیاهان نیز نشان داده است که بخش عمده واریانس توسط اثر محیط توجیه می شود (Abo-Hegazy et al., 2013; Karimizadeh et al., 2021; Barrios et al., 2016; Akbari et al., 2021; Yadav et al., 2016). تجزیه واریانس جداگانه در هر کدام از محیطها نشان داد که اثر ژنوتیپ در شش محیط مطالعه شده معنی دار بود (نتایج ارائه نشده اند). بنابراین ژنوتیپها در محیط های آزمایشی دارای تنوع کافی بودند و برای ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط نیاز به تجزیه های پایداری بود. متوسط عملکرد دانه در ژنوتیپها با دامنه ۴۸۴ (ژنوتیپ ۱۱) و ۷۱۴/۵۳ (ژنوتیپ ۱۲) برابر با ۶۳۴/۳۸ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳). در این پژوهش اثر محیط بیشترین سهم را در توجیه مجموع مربعات کل به خود اختصاص داد که این موضوع نشان دهنده دامنه وسیع تر اثرات اصلی محیط نسبت به اثرات اصلی ژنوتیپ بود. ابتدا تجزیه واریانس ساده (داده ها نشان داده نشده است) برای هر

گرفته شدند. اجزای واریانس با روش حداکثر درست نمایی مقید (Restricted maximum likelihood) REML برآورد شدند و برای ارزیابی معنی داری اثرهای تصادفی، آزمون نسبت درست نمایی (Likelihood Ratio Test) LRT به کار گرفته شد. در واقع استفاده از مدل REML محدودیت تجزیه واریانس به روش کمترین مربعات را برای داده های نامتعادل و همچنین نامتناس برطرف می کند (Holland, 2006) و از طرف دیگر، چنین مدلی برای بدست آوردن اجزای واریانس و برآورد مقادیر ژنتیکی و اجزای واریانس کارایی بهتری دارند (Resende, 2016)، لذا روش REML/BLUP به دلیل در نظر گرفتن مقادیر ژنوتیپی (نه مقادیر فنوتیپی) دقت بیشتری در روند برنامه های اصلاحی دارد و اجازه انتخاب بهترین ژنوتیپ ها را فراهم می کند. از کمیت های پایداری WAASBi و WAASBYi برای کمی سازی پایداری با رابطه های ۱ و ۲ بهره گرفته شد.

رابطه ۱

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

رابطه ۲

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

که در آن، WAASBi، میانگین وزنی نمرات مطلق ژنوتیپ i ام، $IPCA_{ik}$ ، نمره ژنوتیپ i ام در K امین محور مؤلفه اصلی برهمکنش (IPCA)، و EP_k ، مقدار واریانس توجیه شده توسط K امین IPCA است. ژنوتیپ با کمترین مقدار WAASB پایدار در نظر گرفته می شود (Olivoto et al., 2019). انتخاب همزمان برای میانگین عملکرد و پایداری (Mean performance and stability) MPE با شاخص WAASBY انجام شد که در آن به میانگین عملکرد (Y) و شاخص پایداری (WAASB) وزن داده می شود و $WAASBY_i$ ، میانگین وزنی WAASB و عملکرد دانه (GY) برای ژنوتیپ i ام، W_Y ، وزن داده شده به متغیر پاسخ (در این مورد، عملکرد دانه)، GY_i ، میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ i ام 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)؛ $WAASBi$ ، میانگین وزنی نمرات مطلق ژنوتیپ i ام، و $WAASB_{min}$ ، کمترین مقدار WAASB

تنوع در بین محیط‌ها می‌تواند استفاده شود. به طوری که ژنوتیپ‌های ۱۱، ۱۰ و ۱۳ دارای تنوع بیشتر در محیط‌های مطالعه شده بودند (شکل ۴ ج). بررسی چشمی پراکنش میانگین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مطالعه شده نشان دهنده 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 (فینلی و ویلکینسون ۱۹۶۳). پژوهشگران دیگری نیز واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌های عدس را در محیط‌های مختلف گزارش کرده اند (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 (GE) با بهره‌گیری از نمودار موزائیکی از یکدیگر جدا شدند (شکل ۴-الف). در این نمودار که به وسیله لافونت و همکاران (Laffont *et al.*, 2007) 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 ۴/۳ درصد از تنوع کل است و نواحی با رنگ روشن، تنوع ناشی از برهمکنش ژنوتیپ × محیط را نشان می‌دهد که ۹۵/۷ درصد از تنوع کل را در بر می‌گیرد (شکل ۴-الف). ستون‌های این نمودار وابسته به محورهای مؤلفه اصلی است، به گونه‌ای که ستون اول در برگیرنده ۳۳/۳ درصد از کل مساحت مربع است و اولین مؤلفه اصلی از مجموع مربعات کل را تشکیل می‌دهد. ستون (مؤلفه اصلی) دوم ۲۷/۳ درصد از مجموع مربعات کل را در بر می‌گیرد. این دو مؤلفه اصلی، با یکدیگر ۶۰/۶ درصد از مجموع مربعات کل، ۸۰/۶ درصد (۵۴/۲ درصد + ۲۶/۴۳ درصد) از مجموع مربعات ژنوتیپ و ۶۰/۶ درصد (۳۳/۳ و ۲۷/۳ درصد) از مجموع مربعات برهمکنش ژنوتیپ × محیط را تشکیل می‌دهند. در هر ستون، ردیف‌های نمودار موزائیکی، آن ستون (یا 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

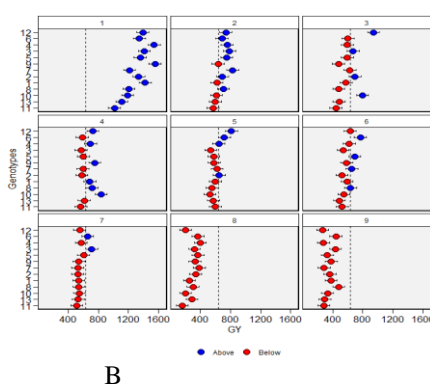
محیط انجام و آزمون بارتلت برای بررسی همگن بودن واریانس‌های خطای آزمایش‌ها نیز انجام شد. با انجام آزمون بارتلت روی داده‌های ۹ محیط، فرض همگنی واریانس خط-های آزمایش مورد تأیید قرار گرفت. بر اساس آزمون کولموگروف - اسمیرنوف (Sadiyah & Hadi, 2016; Smirnov, 1948) توزیع داده‌ها نرمال بود. با مقایسه داده‌های بارندگی و متوسط درجه حرارت در زمان آزمایش و داده‌های دراز مدت، 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. تغییرات قابل توجه شرایط سال‌ها، مکان‌ها و ارقام آزمایشی ممکن است به تغییرات در شرایط محیطی و ساختار ژنتیکی گیاه نسبت داده شود که از یک محیط به محیط دیگر متفاوت بود. این امر سبب شد تا عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس از محیطی به محیط دیگر متفاوت باشد.

در شکل ۱-الف، میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر یک از محیط‌ها به نمایش گذاشته شده است. همانگونه که مشخص است، ایستگاه سرارود کمترین تغییر عملکرد کلی را طی سه سال داشت، در حالیکه مقدار این تغییرات در ایستگاه‌های ایلام و لرستان بالاست (شکل ۱-الف و ب). این موضوع می‌تواند از نوسان‌های بیشتر در وضعیت اقلیمی سه سال آزمایش در این دو منطقه که واجد اقلیم معتدل هستند، ناشی شود. برای پی بردن به پراکنش عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف از نمودار حرارتی استفاده شد (شکل ۴ 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 نمایش داده شده است. در این نمودار، ژنوتیپ دارای عملکرد یکنواخت در تمام محیط‌ها می‌تواند پایدار باشد. براین اساس ژنوتیپ‌های ۵، ۴، ۲، ۶ و ۱۲ را می‌توان پایدار در نظر گرفت. در این نمودار، عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر محیط بیانگر تنوع درون آن محیط است، به طوری که هر اندازه رنگ‌های مربوط به ژنوتیپ‌های درون یک محیط متفاوت‌تر باشند، بیانگر گوناگونی بین ژنوتیپ‌های درون آن محیط است. در محیط‌های ۸، ۹، ۳، ۵ و ۲ ژنوتیپ‌ها از تنوع بیشتری برخوردار بودند. از طرفی دیگر، عملکرد هر ژنوتیپ در محیط‌های مختلف نیز برای بررسی

نشان داد که این سه جزء به ترتیب ۴/۲۸ درصد، ۳۱/۶۷ درصد و ۶۴ درصد از واریانس فنوتیپی را توجیه کردند (جدول ۴). واریانس ژنوتیپی پایین ترین سهم را از واریانس فنوتیپی داشت. این موضوع حاکی از تأثیر پایین ژن‌ها در ایجاد تنوع میان ژنوتیپ‌ها بود، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه، تحت تأثیر شرایط محیطی قرار گرفتند. از آنجایی که نسبت تنوع ژنتیکی به محیطی کمتر است، کارایی گزینش کاهش خواهد یافت و شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب از نامطلوب به شکل صحیح‌تری انجام نخواهد شد. واریانس پایین برهمکنش ژنوتیپ \times محیط نسبت به واریانس محیط مبین تأثیر گذاری کم این اثر بر بیان فنوتیپی عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های مختلف عدس بود که سبب ایجاد نوسان کمتر عملکرد دانه از محیطی به محیط دیگر شد. پژوهشگران دیگری نیز برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ \times 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 پیش بینی، برای گزینش درست ژنوتیپ‌ها، توصیه ژنوتیپ‌ها و شناسایی محیط‌های کلان (Mega-environment) بسیار مهم است (Olivoto *et al.*, 2019). بنابراین برخی از پارامترهای ژنتیکی برآورد شدند که نشان می‌داد میزان وراثت پذیری عمومی برای عملکرد دانه در این تحقیق ۰/۰۴۲ بود. ضریب تبیین برهمکنش ژنوتیپ \times محیط و میزان وراثت پذیری بر میانگین به ترتیب برابر با ۰/۳۱۳۶ و ۰/۴۲۱۱ درصد بود. دقت گزینش ژنوتیپ و همبستگی بین ارزش‌های ژنوتیپی در سراسر محیط‌ها نیز به ترتیب ۰/۶۴۹ و ۰/۳۳۰۹ بود. ضریب تغییرات ژنوتیپی، ضریب تغییرات باقیمانده و همچنین نسبت این دو ضریب تغییرات به ترتیب برابر با ۶/۶۶ درصد، ۲۵/۷۸ درصد، و ۰/۲۵۸ نسبت برهمکنش ژنوتیپ \times محیط بر اثر ژنوتیپی هفت برابر بود. برای افزایش دقت پیش بینی، استفاده از مدل‌های آماری با توانایی پیش بینی بهتر همچون بهترین پیش‌بینی نارایب خطی (BLUP)، یکی از گزینه‌های پیش روی به نژادگران است که تجزیه پایداری به روش AMMI می‌تواند بر روی این پیش‌بینی‌ها انجام شود (Olivoto *et al.*, 2019). بر اساس نتایج تجزیه واریانس AMMI، اثر محیط، و

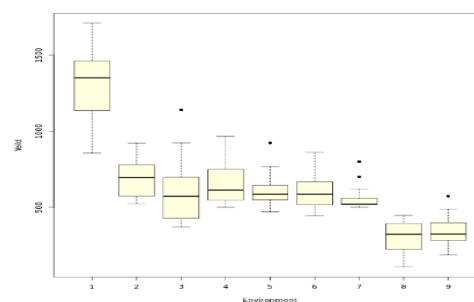
(۵۴/۲ درصد) در نخستین محور مؤلفه اصلی بیشتر از اثر ژنوتیپ \times محیط (۴۵/۸ درصد) است، می‌توان این محور را محور ژنوتیپ نامید و بر اساس آن تفاوت میانگین ژنوتیپ‌ها را از نظر عملکرد دانه با یکدیگر سنجید. مجموع مربعات محور مؤلفه اصلی دوم، سهم بیشتری از اثرهای ژنوتیپ \times محیط (۷۳/۵۷ درصد) را نسبت به اثرهای ژنوتیپ (۲۷/۳ درصد) دارد، بنابراین می‌توان این ستون را به عنوان محور برهمکنش ژنوتیپ \times محیط نام نهاد، هر چند نقش مؤلفه‌های بعدی به ویژه سوم و چهارم با سهم به ترتیب ۱۶/۶ و ۹/۳ 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 برای شناسایی بهترین شمار مؤلفه‌های توجیه کننده برهمکنش ژنوتیپ \times محیط استفاده شد. نتایج نشان داد که تا مؤلفه اصلی چهارم هر کدام از مؤلفه‌ها سهم قابل توجهی در توجیه برهمکنش ماتریس ژنوتیپ \times محیط حاصل از BLUP داشتند (شکل ۳)، به طوری که مؤلفه اصلی اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب ۳۳/۳۸، ۲۷/۳۱، ۱۶/۶ و ۹/۳ 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 \times محیط در شکل‌های ۳ و ۴- ب نمایش داده شده است. با توجه به بهره‌گیری از مدل مختلط LMM در تجزیه داده‌ها، از آزمون نسبت درست‌نمایی (LRT) برای ارزیابی معنی داری عوامل آزمایشی استفاده شد. نتایج نشان داد که اثر برهمکنش ژنوتیپ \times محیط بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ \times 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.*, 2019). و از این رو اقدام به برآورد بهترین پیش‌بینی‌های نارایب خطی (BLUPها) گردید و تجزیه پایداری به روش AMMI روی این BLUPها انجام شد. ارزیابی نسبت اجزای واریانس برآورد شده به روش درست‌نمایی محدود شده (REML) شامل واریانس ژنوتیپی، برهمکنش ژنوتیپ \times محیط و باقیمانده به واریانس فنوتیپی

وجود برهمکنش ژنوتیپ \times محیط، نیاز به تشخیص سازگاری عملکرد ژنوتیپ‌ها را بر اساس ارزیابی در چند مکان و سال نشان می‌دهد. کاهش برهمکنش ژنوتیپ \times محیط متضمن گزینش ژنوتیپ‌هایی با بالاترین پایداری عملکرد در طیف گسترده‌ای از محیط‌ها است. تجزیه عملکرد در AMMI و BLUP ابزارهای مهمی برای به دست آوردن درک درستی از عوامل دخیل در پدید آوری برهمکنش ژنوتیپ \times محیط هستند. از این رو، نخست پایداری ژنوتیپ‌ها با شاخص‌های مختلف AMMI سنجیده شده و سپس با ابزارهای گرافیکی مختلف و تلفیق روش‌های AMMI و BLUP، ژنوتیپ‌های با پایداری عملکرد شناسایی شدند.



B

برهمکنش ژنوتیپ \times محیط معنی‌دار بود (نتایج ارائه نشده). چهار مؤلفه اصلی اول نقش مهمی در توجیه برهمکنش ژنوتیپ \times محیط داشتند. این مؤلفه‌های اصلی در مجموع ۸۶/۵ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ \times محیط را توجیه می‌کردند. اثر معنی‌دار محیط، و برهمکنش ژنوتیپ \times محیط نشان دهنده پیش زمینه گسترده مواد ژنتیکی و تنوع مکان‌های آزمایشی و سال‌های زراعی است. نتایج تحقیقات پیشین نیز اثر ژنتیکی و برهمکنش ژنوتیپ \times محیط را برای عملکرد دانه عدس گزارش داده اند (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 b).



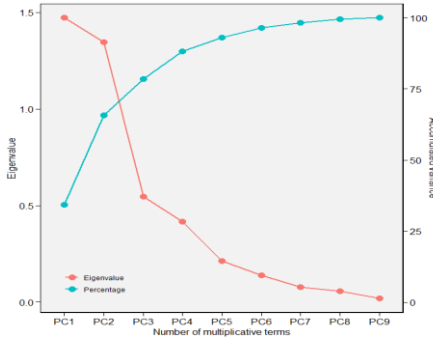
A

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

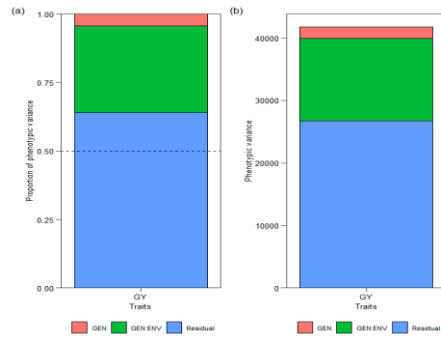
محیط‌های نه گانه به ترتیب، E1: خرم آباد سال اول، E2: خرم آباد سال دوم، E3: خرم آباد سال سوم، E4: سرارود سال اول، E5: سرارود سال دوم، E6: سرارود سال سوم، E7: ایلام سال اول، E8: ایلام سال دوم و E9: ایلام سال سوم، دایره آبی: عملکرد دانه بالاتر از میانگین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف و دایره قرمز: عملکرد دانه پایین‌تر از میانگین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف

کیمیا و در پی آن ژنوتیپ‌های ۳، ۴، ۵ و ۹ بود که دارای عملکرد پیش‌بینی شده‌ی بیشتر از میانگین کل بودند. ژنوتیپ ۱۲ که ژنوتیپی پایدار می‌باشد، همان رقم شاهد کیمیا است که پیش از این با پشت سر گذراندن مراحل مختلف گزینش و آزمایش‌های ارزیابی عملکرد به عنوان رقم آزاد شده بود و جای‌گیری چنین رقمی شاهدی در بیشتر نمودارها گواهی بر اهمیت استفاده از این شاخص‌ها و نمودارهای مربوطه در گزینش و معرفی رقم است.

برای افزایش دقت پیش‌بینی، یکی از گزینه‌های پیش‌روی به نژادگران، بهره‌گیری از مدل‌های آماری با توانایی پیش‌بینی بهتر همچون بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی (BLUP) است که تجزیه پایداری به روش AMMI می‌تواند بر روی این پیش‌بینی‌ها انجام شود (Olivoto *et al.*, 2019). در شکل ۵، میانگین‌های پیش‌بینی شده عملکرد دانه با روش BLUP نشان داده شده است که بیانگر آن است که بالاترین عملکرد پیش‌بینی شده با روش BLUP برای رقم



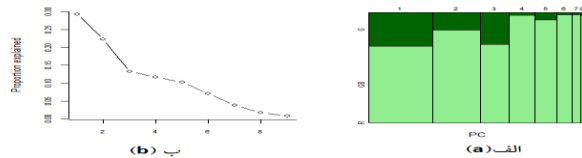
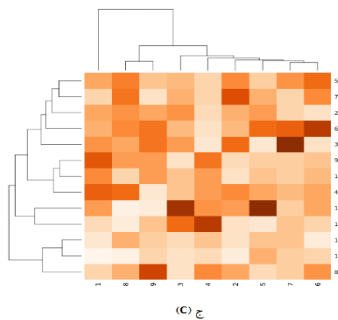
شکل ۳- مقادیر ویژه ماتریس BLUP GEI عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس در آزمایش‌های چند محیطی



شکل ۴- اجزای تنوع در ژنوتیپ‌های عدس در آزمایش‌های چند محیطی

جدول ۳- عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) ژنوتیپ‌های عدس در محیط‌های آزمایشی

E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	میانگین ژنوتیپ	بهره وری از بارش (کیلوگرم بر متر مکعب)	کد ژنوتیپ
۱۴۹۹/۲	۵۷۲/۵	۵۵۵/۸	۷۱۰	۵۸۶/۷	۵۸۶/۷	۵۲۰	۲۲۳/۳	۳۹۸	۶۲۸	۱/۷۱	۱
۱۳۵۱/۳	۶۹۵/۱	۷۵۲/۹	۵۳۰	۶۷۵	۴۶۹/۲	۵۰۰	۳۵۸/۳	۳۷۲	۶۳۳/۸	۱/۷۸	۲
۱۴۶۲/۹	۸۴۰/۹	۶۹۷/۷	۵۰۰	۴۷۰	۴۸۷/۵	۸۰۰	۳۲۳/۳	۴۸۸	۶۷۴/۵	۱/۸۶	۳
۱۶۸۱/۸	۷۸۰	۵۶۶/۳	۷۰۶/۷	۶۴۵	۶۲۰	۵۶۰	۴۴۷	۲۱۴	۶۹۱/۲	۱/۸۶	۴
۱۳۷۶/۸	۷۸۳/۸	۵۷۲/۷	۵۵۶/۷	۵۴۹/۲	۷۵۲/۵	۶۲۰	۴۰۵	۳۰۸	۶۵۸/۳	۱/۸۴	۵
۱۳۴۹/۵	۶۶۵/۹	۵۷۷/۸	۵۲۰	۷۶۷/۵	۸۶۱/۷	۷۰۰	۳۹۳/۳	۴۸۸	۷۰۲/۶	۲/۰۱	۶
۱۱۴۲/۹	۹۲۲/۹	۶۳۶/۷	۵۵۳/۳	۶۲۳/۳	۶۹۰	۵۰۰	۴۳۷	۲۴۳	۶۳۸/۸	۱/۸۲	۷
۱۱۳۶/۳	۷۲۳/۱	۳۹۳/۹	۷۶۰	۵۲۰/۸	۶۶۷/۵	۵۲۰	۳۰۵	۵۷۳	۶۲۲/۲	۱/۷۷	۸
۱۷۱۰/۶	۵۹۱/۱	۳۸۱/۱	۸۱۳/۳	۵۵۱/۷	۵۷۲/۵	۵۲۰	۳۴۰	۳۹۴	۶۵۲/۷	۱/۷۵	۹
۱۱۰۶/۲	۵۶۳/۸	۹۲۳/۶	۹۶۶/۷	۴۷۰	۵۱۹/۲	۵۴۰	۱۴۰	۳۲۵	۶۱۷/۲	۱/۶۸	۱۰
۸۵۶/۶	۵۲۵/۲	۳۷۱/۷	۵۴۶/۷	۶۲۹/۲	۵۱۶/۷	۵۲۰	۱۰۷	۲۸۳	۴۸۴	۱/۳۴	۱۱
۱۴۲۰	۷۴۴/۹	۱۱۴۱/۳	۷۵۰	۹۲۳/۳	۶۳۰	۵۲۰	۱۱۳/۳	۱۸۸	۷۱۴/۵	۱/۹۷	۱۲
۱۰۰۶/۴	۵۶۶	۴۲۷/۷	۶۱۳/۳	۵۷۴/۲	۴۴۵	۵۴۰	۳۰۵	۲۸۶	۵۲۹/۳	۱/۵۱	۱۳
۱۳۱۵/۴	۶۹۰/۴	۶۱۵/۳	۶۵۵/۹	۶۱۴/۳	۶۰۱/۴	۵۶۶/۲	۲۹۹/۸	۳۵۰/۸	-	-	میانگین
									-	-	آزمون حداقل تفاوت
۴۹۸	۱۶۹/۶	۱۴۱/۱	۲۵۱/۲	۲۳۰/۴	۲۱۱/۸	۴۲/۱۵	۲۵/۲۹	۹۷/۱۴			معنی دار (٪۵)
۲۷/۱	۱۷/۶	۱۶/۴	۲۷/۴	۲۶/۹	۲۵/۲	۵/۳	۶	۱۹/۸	-	--	ضریب تغییرات (٪)



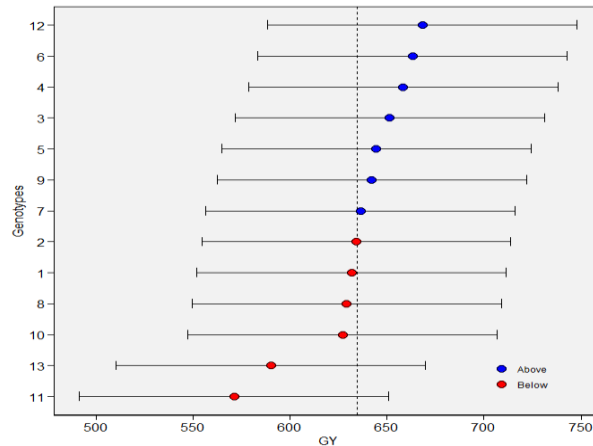
شکل ۴- پیش تجزیه‌های برهمکنش ژنوتیپ × محیط (GEI). الف. نمودار موزائیکی جهت نمایش سهم مؤلفه‌ها از واریانس G+GE. ب. ریشه مشخصه ماتریس GEI، ج. نمودار حرارتی پراکنش عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها

جدول ۴- ارزیابی معنی داری فاکتور ها در مدل مختلط و برآورد اجزای واریانس با روش حداکثر درست نمایی محدود شده در ژنوتیپ های عدس

آزمون نسبت درست نمایی (LRT)		
آماره	ژنوتیپ × محیط	ژنوتیپ
کای اسکوئر χ^2	۲۹/۹۸۷۶	۱/۸۳۵۵
P- Value مقدار احتمال	۰/۰۰۰۰۰۰۰۴۳۴۸	۰/۱۷۵۵
اجزای واریانس		
پارامترهای برآورد شده به روش درست نمایی محدود شده	برآوردها (%)	
REML	۱۷۸۹ (۴/۲۸۶)	
واریانس ژنوتیپی	۱۳۲۲۳ (۳۱/۶۷)	
واریانس ژنوتیپ × محیط	۲۶۷۴۱ (۶۴/۰۴)	
واریانس باقیمانده	۴۱۷۵۴	
واریانس فنوتیپی	۰/۰۴۲۸۹	
وراثت پذیری عمومی	۰/۳۱۶۷	
ضریب تشخیص اثرهای GEI	۰/۴۲۱۱	
وراثت پذیری میانگین ژنوتیپی	۰/۶۴۹۰	
دقت انتخاب ژنوتیپ	۰/۳۳۰۹	
همبستگی بین مقادیر ژنوتیپی در میان محیطها	۶/۶۶۸	
ضریب تغییرات ژنوتیپی (/.)	۲۵/۷۸	
ضریب تغییرات مقادیر باقیمانده (/.)	۰/۲۵۸۷	
نرخ ضریب تغییرات ژنوتیپی بر ضریب تغییرات مقادیر باقیمانده	۳۳۷/۲۴	
انحراف معیار	۱۸/۰۳	
خطای استاندارد		

ادغام دو روش BLUP و AMMI موجب افزایش کارایی هر دو روش می‌شود و یافته‌های حاصل از آزمایش‌های چند محیطی دقیق‌تر تفسیر خواهند شد (singh, & Ajay, 2021). روش BLUP این ویژگی را دارد که میانگین‌ها را با دقت بالا، به‌ویژه در مدل‌های مختلط، تخمین بزند (Macon *et al.*, 2016; Olivoto *et al.*, 2019; Olivoto *et al.*, 2019). 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 پیش بینی دقیق اجزای واریانس ژنوتیپی مؤثر بوده‌اند.

ژنوتیپ‌های ۹، ۷ و ۵ عملکرد پیش‌بینی شده بسیار نزدیک به میانگین داشتند و کمترین پیش بینی عملکرد با فاصله زیاد از میانگین کل مربوط به ژنوتیپ ۱۱ بود. برآورد دقیق میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها بویژه در مدل‌های مختلط از جمله مزیت‌های عمده روش BLUP می‌باشد (Olivoto *et al.*, 2019). افزون بر این در صورتی که اثر مختلط خطی وجود داشته باشد، BLUP امکان پیش‌بینی بهینه اثرهای تصادفی را امکان پذیر می‌سازد (Smith *et al.*, 2005). روش BLUP کارایی خود را در بهبود دقت پیش‌بینی اثرهای تصادفی ثابت کرده است و یکی از مزیت‌های دیگر روش BLUP برآورد دقیق میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها به ویژه در مدل‌های مختلط خطی می‌باشد (Piepho *et al.*, 2008).

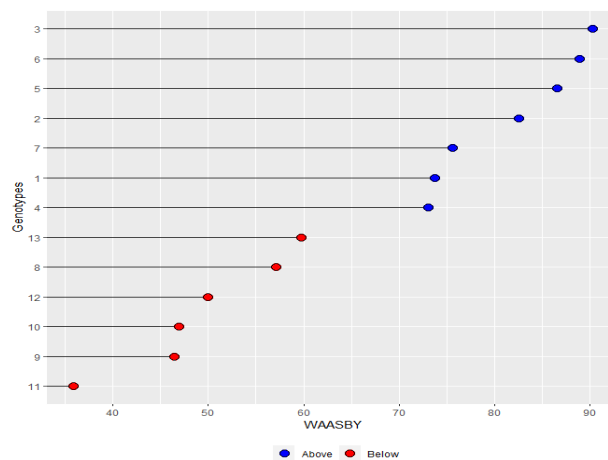


شکل ۵- عملکرد دانه پیش بینی شده (بهترین پیش بینی ناریب خطی، BLUP) ژنوتیپ‌های عدس.

دایره‌های آبی و قرمز به ترتیب ژنوتیپ‌هایی دارای BLUP بالاتر و پایین تر از میانگین BLUP هستند. میله‌های خطی افقی نشان دهنده فاصله اطمینان ۹۵ درصد از پیش بینی بر اساس آزمون t دو طرفه هستند.

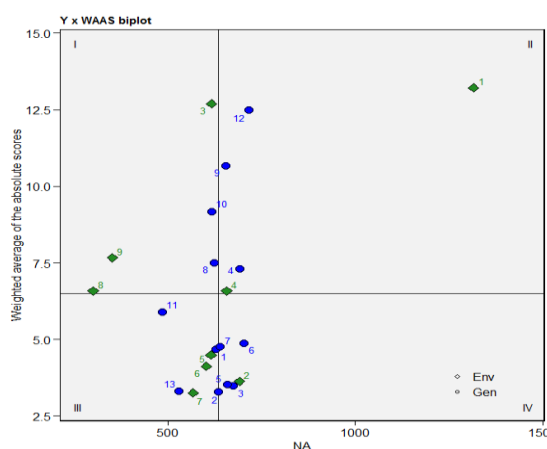
پایداری AMMI (ASV) را برای گزینش و توصیه ژنوتیپ‌های پایدار عدس برده‌اند (Branković, Radojčić *et al.*, 2018; Karimizadeh *et al.*, 2008; Karimizadeh and Mohammadi, 2010)، اما اگر سهم این مؤلفه‌ها در برهمکنش ژنوتیپ \times محیط پایین باشد، تفسیر نتایج باید با احتیاط انجام گردد، زیرا تنها بخش ساده برهمکنش ژنوتیپ \times محیط (GEI) را می‌توان در مؤلفه‌های اصلی نخست مشاهده کرد و ممکن است بخش پیچیده ژنوتیپ \times محیط (GEI) در این بای پلات‌ها حذف شده باشد (Olivoto *et al.*, 2019). در چنین مواقعی، بای پلات $WAASB \times GY$ (شکل ۴ ب) یا نمودار $WAASBY$ (شکل ۵) برای شناسایی ژنوتیپ‌های پر محصول و با پایداری گسترده می‌تواند بهتر باشد.

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 ۵۰:۵۰ برای هر دو شاخص عملکرد دانه و شاخص پایداری (WAASB) استفاده شد که بیانگر یکسان نگریستن به پایداری و عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و اهمیت یکسان هر دو شاخص در گزینش یک ژنوتیپ است. بر اساس وزن‌دهی ۵۰:۵۰ ژنوتیپ‌های ۳، ۶ و ۵ با داشتن بیشترین مقدار $WAASBY$ ژنوتیپ‌های پایدار و دارای عملکرد دانه بالا بودند. بسیاری از پژوهشگران، ارزش



شکل ۶- مقادیر برآورد شده از میانگین وزنی پایداری (WAASB) و میانگین عملکرد (WAASB) (Y) برای ۱۳ ژنوتیپ عدس با توجه به وزن در نظر گرفته شده ۵۰:۵۰ برای عملکرد و پایداری

دلیل داشتن مقادیر بالای متغیر پاسخ و همچنین توانایی تشخیص خوب می‌تواند به صورت ویژه مورد توجه واقع شود. ژنوتیپ‌های ۱۱، ۱۳ و ۱ در چارک سوم (ربع III)، با آنکه عملکرد کمتر از میانگین کل داشتند، اما به دلیل پایین بودن مقادیر WAASB (هر قدر 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 ۳، ۵ و ۷ بودند.



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

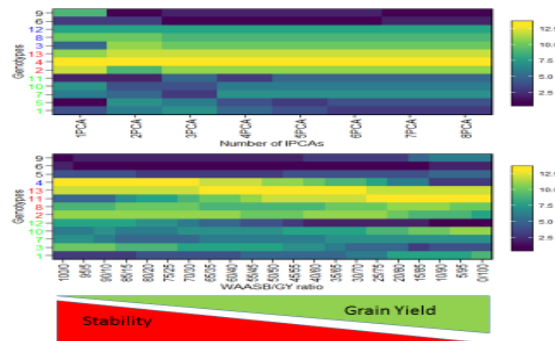
این شکل مقادیرهای WAASBY با در نظر گرفتن نسبت‌های گوناگون از WAASB و GY ارائه شده‌اند و همانگونه که دیده می‌شود رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها با شاخص WAASBY بسته به اینکه چه نسبتی از شاخص WAASB و عملکرد در نظر گرفته شوند، دگرگونی زیادی پیدا می‌کند. به طوری که در نخستین ستون سمت چپ این نمودار، رتبه‌بندی فقط بر 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) ۵ 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 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

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 به طور همزمان ارزیابی می‌شوند. در چارک اول (ربع I)، ژنوتیپ‌های ۸ و ۱۰ با توجه به سهم زیاد در برهمکنش ژنوتیپ × محیط، ژنوتیپ‌های ناپایدار و دارای عملکرد کمتر از متوسط کل بودند (Olivoto *et al.*, 2019). در چارک دوم (ربع II)، ژنوتیپ‌های ۴، ۹ و ۱۲ با وجود داشتن عملکرد بالاتر از میانگین کل، به دلیل مقدار بالای WAASB، ناپایدار هستند. محیط‌های واقع در این ناحیه (به ویژه محیط ۱) به

بای پلات WAASB × GY (شکل ۸) که تفسیر همزمان پایداری و عملکرد را انجام می‌دهد، می‌تواند برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار برای همه محیط‌ها به کار رود. مهم‌ترین مزیت این بای پلات نسبت به دو بای پلات AMMI، بهره‌گیری از همه محورهای مؤلفه‌های اصلی در محاسبه آن است که از آن بخشی از برهمکنش ژنوتیپ × محیط که در مؤلفه‌های اصلی اول و دوم بروز پیدا نکرده است را نیز در رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها به کار می‌برد (Olivoto *et al.*, 2019). بعلاوه در رسم این نمودار بای پلات (شکل ۸) رویکرد مدل مختلط به کار برده می‌شود که امکان تخمین پارامترهای مهم در ژنتیک کمی همچون واریانس‌های ژنوتیپی، برهمکنش ژنوتیپ × محیط، وراثت‌پذیری عمومی، وراثت‌پذیری بر اساس میانگین و همبستگی‌های ژنتیکی واریانس را هم فراهم می‌کند (Olivoto *et al.*, 2019). در شکل ۸ به دو شاخص متغیر وابسته (GY) و پایداری (WAASB) وزن‌های متفاوتی داده شده است. در

در رتبه‌های اول تا چهارم گزینش همزمان با پایداری عملکرد و عملکرد دانه (WAASBY) قرار داشتند. با در نظر گرفتن سهم برابر (۵۰:۵۰) برای پایداری و عملکرد، در میانه شکل دیده می‌شود که ژنوتیپ‌های ۵، ۶ و ۹ در رتبه‌های برتر قرار گرفته‌اند. یکی از مزیت‌های شاخص WAASBY این است که بسته به هدف برنامه به‌نژادی می‌توان در محاسبه آن به هر یک از دو جزء پایداری و عملکرد وزن‌های گوناگونی داد تا سهم هر جزء پررنگ‌تر یا کم‌رنگ‌تر شود. رتبه بندی ژنوتیپ‌ها با شاخص WAASBY، امکان مد نظر گرفتن همزمان عملکرد (Y) و پایداری (WAASB) ژنوتیپ‌ها را فراهم می‌کند. در محاسبه این شاخص می‌توان وزن‌های گوناگونی به هر یک از دو جز عملکرد و پایداری داد و بر اساس آن نسبت، ژنوتیپ‌ها را رتبه بندی نمود. همانگونه که نشان داده شده است براین اساس ژنوتیپ ۹ با فاصله قابل توجه در رتبه نخست قرار می‌گیرد و پس از آن ژنوتیپ‌های ۶ و ۵ قرار دارند. در بخش پایین رتبه بندی، هر دو رقم شاهد کیمیا و گچساران قرار دارند.

(GY) هر دو وزن ۵۰ داده شده بود. در نخستین ستون سمت چپ، ژنوتیپ‌های ۵، ۶ و ۹ پایدارترین هستند و ژنوتیپ‌های ۱۳ و ۴ کمترین پایداری را دارند. البته از آنجا که در این رتبه‌بندی هیچ گونه 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 ۱۲، ۶، ۳ و ۵ برترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه بودند و ژنوتیپ‌های ۱۱ و ۱۳ 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 ۵، ۶ و ۹ دارای عملکرد بالا و پایدار (اعداد سیاه رنگ)، ژنوتیپ ۴ پر محصول اما ناپایدار (اعداد رنگ آبی)، ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۱، ۸ و ۲ ناپایدار و کم محصول (اعداد رنگ قرمز)، و ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۷، ۱۰ و ۱۲ پر محصول محصول و پایدار (اعداد رنگ سبز) از نظر عملکرد دانه بودند، که بر اساس وزن ۵۰:۵۰ برای دو شاخص نیز



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 بدست آمده است. آخرین رتبه سمت راست نیز با در نظر گرفتن عملکرد دانه بدست آمده است. بیان این دو انتها، رتبه‌ها از وزن‌های مختلف پایداری و عملکرد بدست آمده است. چهار خوشه، چهار گروه ژنوتیپی را نشان می‌دهد: (۱) ژنوتیپ‌های ضعیف از نظر عملکرد و ناپایدار (سبز رنگ)، (۲) ژنوتیپ‌های پر محصول اما ناپایدار (قرمز رنگ)، (۳) ژنوتیپ‌های پایدار اما کم محصول (آبی رنگ)، و (۴) ژنوتیپ‌های بسیار پر محصول و پایدار (مشکی رنگ)

نتیجه‌گیری کلی

بالایی از تنوع ژنوتیپی و محور مؤلفه اصلی دوم سهم بالایی از تنوع ژنوتیپ \times محیط را داشتند. مقایسه میانگین‌های پیش بینی شده عملکرد دانه با روش BLUP نشان داد که هیبریدهای شماره ۱۲، ۶، ۴، ۳، ۵ و ۹ بیشترین میانگین پیش بینی شده را داشتند. با توجه به اینکه در محاسبه بای پلات AMMI2، تمام مؤلفه‌های اصلی

در این پژوهش پس از بدست آوردن اطمینان از اثر معنی‌دار برهمکنش ژنوتیپ \times 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 موزائیکی مشاهده شد که نخستین محور مؤلفه اصلی سهم

مانند تجزیه عاملی، BLUP و AMMI در شناسایی ژنوتیپ‌های برگزیده بینجامد. 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 بخشی از پروژه پژوهشی به شماره مصوب ۰۹۹۸-۰۳۷-۱۵-۱۵-۰ و با عنوان "بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه لاین‌های عدس در کشت پاییزه مناطق معتدل دیم" در موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور می‌باشد.

سهیم نیستند و فقط مؤلفه‌های اصلی اول و دوم با توجه ۳۳/۳ و ۲۷/۳ درصد از برهمکنش ژنوتیپ × محیط به کار گرفته شده‌اند. از شاخص پایداری ژنوتیپی WAASBY استفاده شد که پتانسیل ارائه برآوردهای قابل اطمینان از پایداری عملکرد را دارد و امکان تفسیر همزمان بر پایه میانگین عملکرد و پایداری عملکرد را در یک نمودار دو بعدی فراهم می‌آورد. بر اساس این شاخص ژنوتیپ‌های ۵،۶ و ۹ بسیار پر محصول و پایدار بودند. در مجموع به نظر می‌رسد که برای یک نتیجه‌گیری با اطمینان 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

منابع

- Abbas, G., Asghar, M. J., Shahid, M., Hussain, J., Akram, M., & Ahmad, F. (2019). Yield performance of some lentil genotypes over different environments. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 2(1), 1-3.
- Abo-Hegazy, S. R. E., Selim, T., & Ashrie, A. A. M. (2013). Genotype × environment interaction and stability analysis for yield and its components in lentil. *Journal Plant Breed. Crop Science*, 5(5), 85-90.
- Akbari, S., Akbarpour, O., & Pezeshkpour, P. (2021). Evaluation of grain yield stability of lentil genotypes using non-parametric methods. *Plant Genetic Researches*, 8(1), 95-114. (In Persian).
- Akinci, C., Biçer, B. T., Kızılgöçü, F., Albayrak, Ö., & Yıldırım, M. (2018). Stability parameters in lentil genotypes. *El-Cezeri*, 5(2), 287-291.
- Azam, M. G., Iqbal, M. S., Hossain, M. A., & 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), 1-15.
- Barrios, A., Aparicio, T., Rodríguez, M. J., de la Vega, M. P., & 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), e0702-e0702.
- Barbosa, M. H., Ferreira, A., Peixoto, L. A., Resende, M. D., Nascimento, M., & 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, 1619-1626.
- Baretta, D., Nardino, M., Carvalho, I. R., Oliveira, A. D., Souza, V. D., & Maia, L. D. (2016). Performance of maize genotypes of Rio Grande do Sul using mixed models. *Científica*, 44(3), 403-411.
- Bermejo, C., Cazzola, F., Maglia, F., & Cointy, 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), 12-25.
- Branković-Radojčić, D., Babić, V., Girek, Z., Živanović, T., Radojčić, A., Filipović, M., & Srdić, J. (2018). Evaluation of maize grain yield and yield stability by AMMI analysis. *Genetika*, 50(3), 1067-1080.
- Chen, C., Etemadi, F., Franck, W., Franck, S., Abdelhamid, M. T., Ahmadi, J., Mohammed, Y. A., Lamb, P., Miller, J., Carr, P. M., & McPhee, K. (2022). Evaluation of environment and cultivar impact on lentil protein, starch, mineral nutrients, and yield. *Crop Science*, 62(2), 893-905.
- Dehghani, H., Sabaghpour, S. H., & Sabaghnia, N. (2008). Genotype × environment interaction for grain yield of some lentil genotypes and relationship among univariate stability statistics. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6(3), 385-394.
- Elias, A. A., Robbins, K. R., Doerge, R. W., & Tuinstra, M. R. (2016). Half a century of studying genotype × environment interactions in plant breeding experiments. *Crop Science*, 58, 2090-2105.
- Gan, Y., Hamel, C., Kutcher, H. R., & Poppy, L. (2017). Lentil enhances agroecosystem productivity with increased residual soil water and nitrogen. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 32(4), 319-30.
- Holland, J. B. (2006). Estimating genotypic correlations & their standard errors using multivariate restricted maximum likelihood estimation with SAS Proc MIXED. *Crop science*, 46(2), pp.642-654.
- Jeberson, M. S., Shashidhar, K. S., Wani, S. H., Singh, A. K., & Dar, S. A. (2019). Identification of stable lentil (*Lens culinaris* Medik) genotypes through GGE biplot and AMMI analysis for North Hill Zone of India. *Environment*, 2(22.7432), 11-3716.

- Laffont, J.L., Hanafi, M., & Wright, K. (2007). Numerical and graphical measures to facilitate the interpretation of GGE biplots. *Crop Science*, 47(3), 990-996.
- Karaköy, T., Erdem, H., Baloch, F.S., Toklu, F., Eker, S., Kilian, B., & Özkan, H. (2012). Diversity of macro- and micronutrients in the seeds of lentil landraces. *The Scientific World Journal*, 1-9.
- Karimizadeh, R., Safikhani Nasimi, M., Mohammadi, M., Seyyedi, F., Mahmoodi, A. A., & Rostami, B. (2008). Determining Rank and Stability of Lentil Genotypes in Rainfed Condition by Nonparametric Statistics. *JWSS-Isfahan University of Technology*. 43(1), 93 -103 (In Persian).
- Karimizadeh, R., & Mohammadi, M. (2010). AMMI adjustment for rainfed lentil yield trials in Iran. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 16(1), 66-73.
- Karimizadeh, R., Mohammadi, M. & Sabaghnia, N. (2013). Site regression biplot analysis for matching new improved lentil genotypes into target environments. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 3(2), 51-65.
- Karimizadeh, R., Pezeshkpour, P., Barzali, M., Mehraban, A. & 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), 160-170. (In Persian).
- Karimizadeh, R., Pezeshkpour, P., & Mirzaii, A. (2021). Evaluation of grain yield stability of rainfed lentil genotypes by parametric and non-parametric methods. *Applied Field Crops Research*, 34(3), 155-140. (In Persian).
- Muehlbauer, F. J., Cubero, J. I., & Summerfield, R. J. (1985). Lentil (*Lens culinaris* Medic. In Grain Legume Crops; Summerfield, R. J., Roberts, E. H., Eds.; Collins: London, UK. pp. 266–311.
- Namdari, A., Pezeshkpour, P., Mehraban, A., Mirzaei, A., & Vaezi, B. (2022). Evaluation of genotype× environment interaction of advanced rainfed lentil genotypes by multivariate GGE biplot method. *Journal of Crop Production*, 15, 2.203-218. (In Persian).
- Maicon, N., Diego, B., Ivan, R. C., Tiago, O., Diego, N. F., Vincius, J. S., & Velci, Q. D. S. (2016). Restricted maximum likelihood/best linear unbiased prediction (REML/BLUP) for analyzing the agronomic performance of corn. *African Journal of Agricultural Research*, 11(48), 4864-4872.
- Olivoto, T. (2019). Metan: multi environment trials analysis. R package version 1.1.0. <https://github.com/TiagoOlivoto/metan>.
- Olivoto, T., Lúcio, A. D., da Silva, J. A., Marchioro, V. S., de Souza, V. Q., & Jost, E. (2019). Mean performance and stability in multi-environment trials I: combining features of AMMI and BLUP techniques. *Agronomy Journal*, 111(6), 2949-2960.
- Olivoto, T., & Lúcio, A. D. C. (2020). metan: An R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(6), 783-789.
- Piepho, H. P., Mohring, J., Melchinger, A. E., & Buchse, A. (2008). BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. *Euphytica*, 161, 209–228.
- Pawar, I. S., & 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., & Barzali, M. (2021). Analysis of yield stability of lentil genotypes using AMMI Method. *Journal of Crop Breeding*, 13(37), 132-145. (In Persian).
- Resende, M. D. V. D. (2016). Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 16(04), 330-339.
- Ruisi, P., Amato, G., Badagliacca, G., Frenda, A.S., Giambalvo, D., & Di Miceli, G. (2017). Agro-ecological benefits of faba bean for rainfed Mediterranean cropping systems. *Italian Journal of Agronomy*, 12(3), 1459-66.
- Sa'diyah, H., & Hadi, A. F. (2016). AMMI Model for yield estimation in multi-environment trials: A comparison to BLUP. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9, 163-169.
- Sandhu, J. S., & Singh, S. (2007). History and origin. Lentil: An ancient crop for modern times.1-9.
- Sarker, A., & Kumar, S. (2011). Lentils in production and food systems in West Asia and Africa. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria. *Grain Legumes*, 57, 46–48.
- Sarker, A., Erskine, W., & Singh, M. (2003). Regression models for lentil seed and straw yields in Near East. *Agricultural and forest meteorology*, 116(1-2), 61-72.
- Sellami, M. H., Pulvento, C., Aria, M., Stellacci, A. M., & Lavini, A. (2019). A systematic review of field trials to synthesize existing knowledge and agronomic practices on protein crops in Europe. *Agronomy*, 9(6), p.292.
- Sellami, M. H., Pulvento, C., & 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), 1807-1820.
- Sharifi, P. (2020). Application of multivariate analysis methods in agricultural sciences. Rasht branch, Islamic Azad University Press. 288 P. (In Persian).

- Shobeiri, S., Sadeghzadeh Ahari, D., Pezeshkpour, P., & 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), 1-10.
- Singh, D., Singh, C. K., Kumari, S., Singh Tomar, R. S., Karwa, S., Singh, R., Singh, R. B., Sarkar, S. K., & Pal, M. (2017). Discerning morpho-anatomical, physiological and molecular multiformity in cultivated and wild genotypes of lentil with reconciliation to salinity stress. *PLoS One*, 12(5), p.e0177465.
- Smith, A. B., Cullis, B. R., & 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), 449-462.
- Smirnov, N. (1948). Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions. *The annals of mathematical statistics*, 19(2), 279-281.
- Subedi, M., Khazaei, H., Arganosa, G., Etukudo, E., & Vandenberg, A. (2021). Genetic stability and genotype× environment interaction analysis for seed protein content and protein yield of lentil. *Crop Science*, 61(1), 342-356.
- Tadesse, T., Sefera, G., Asmare, B., & Tekalign, A. (2021 a). AMMI analysis for grain yield stability in lentil genotypes tested in the highlands of Bale, southeastern Ethiopia. *Journal of Plant Sciences*, 9(1), 9-12.
- Tadesse, T., Tekalign, A., & Asmare, B. (2021 b). Identification of Stable Lentil Genotypes Using AMMI Analysis for the Highlands of Bale, Southeastern Ethiopia. *Chemical and Biomolecular Engineering*, 6(4), 74-79.
- Thennarasu, K. (1995). On Certain Non-parametric Procedures for Studying Genotype-Environment Interactions and Yield Stability." PhD diss., IARI, Division of Agricultural Statistics, New Delhi.
- Tullu, A., Diederichsen, A., Suvorova, G., & Vandenberg, A. (2011). Genetic and genomic resources of lentil: status, use and prospects. *Plant Genetic Resources*, 9(1), 19-29.
- Wright, K. & 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., & 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), 238539.
- Yan, W., & Tinker, N. A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(3), 623-645.
- Zaccardelli, M., Lupo, F., Campanile, F., Infantino, A., & Et, A., (2010). Leguminose minori (cece, lenticchia, cicerchia, fava). Progetto di ricerca per potenziare la competitività di orticole in aree meridionali. 73pp.

Genetic parameters, stability and selection of lentil genotypes under rainfed conditions for autumn planting using BLUP, WAASB and AMMI methods

Payam pezeshkpour^{*1}, Reza Amiri¹, Iraj Karami², Amir Mirzaei³

1. Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Khorramabad, Iran
2. Researcher, Dryland Agricultural Research Institute, Sararood Branch, Agricultural Research, Education and Extension (AREEO), Kermanshah, Iran
3. Assistant Professor, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, (AREEO), Ilam, Iran

Received: 09-05-2024

Accepted: 09-07-2024

Abstract

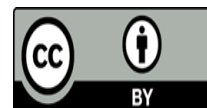
The integration of the two stability assessment methods of the best linear unbiased predictions (BLUP) and AMMI in multi-environment experiments based on the stability index of weighted average absolute scores (WAASB) helps to better evaluate plant genotypes. In the present study, the seed yield stability of 13 advanced lentil genotypes was evaluated in a multi-environment trial in three locations including; Khorramabad, Ilam and Kermanshah in 2019-2022 cropping seasons. The experimental design was randomized complete block design with three replications. 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. 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 highest predicted seed yield by BLUP method belonged to genotype no. 12 followed by genotypes no. 6, 4, 3, 5 and 9 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, seven genotypes showed above average WAASBY. Genotypes no. 3, 6, 5 and 2 had considerably higher WAASBY when compared with other genotypes and was identified.

Keywords: Single value decomposition (SVD), simultaneous selection, weighted average of absolute scores, mosaic plot, BLUP

Citation: pezeshkpour, P., Amiri, R., Karami, A., & Mirzaei, A. (2024). Genetic parameters, stability and selection of lentil genotypes under rainfed conditions for autumn planting using BLUP, WAASB and AMMI methods. *Plant Production and Genetics*, 5(2), 183-200. <https://doi.org/10.22034/plant.2024.141328.1105>

Copyrights:

Copyrights rights for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Plant Production and Genetics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



*Corresponding Author Email: p.pezeshkpour@areeo.ac.ir