"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و چهارم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.5.8

ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ و محیط با استفاده از شاخص‌های WAASB و WAASBY در آزمایش چندمحیطی مقایسه عملکرد ژنوتیپ‌های عدس (*Lens culinaris* L.) دیم

Evaluation of genotype × environment interaction using WAASB and WAASBY indices in multi-environment yield trials of rainfed lentil (*Lens culinaris* L.) genotypes

امین نامداری[۱]، پیام پزشکپور[۲]، اصغر مهربان[۳]، امیر میرزایی[۴] و بهروز واعظی[۵]

چکیده

نامداری، ا.، پ. پزشکپور، ا.مهربان، ا. میرزایی و ب. واعظی. ۱۴۰۱. ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ و محیط با استفاده از شاخص‌های WAASB و WAASBY در آزمایش چندمحیطی مقایسه عملکرد ژنوتیپ‌های عدس (*Lens culinaris* L.) دیم. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۴ (۲):۱۸۰ -۱۶۵.**

ادغام دو روش ارزیابی پایداری بهترین پیش‌بینی‌های نااُریب خطی(BLUP) و اثرات اصلی جمع پذیر 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 تعداد ۱۴ لاین پیشرفته عدس، در قالب آزمایش چند محیطی در چهار منطقه گچساران، خرم‌آباد، مغان و ایلام طی دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در قالب طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه‌های آماری ویژه آزمایش‌های چند محیطی انجام شد. با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ و محیط برپایه نتیجه آزمون درست نمایی نسبی (LRT)، امکان تجزیه داده‌ها به روش BLUP وجود داشت. بر این اساس بالاترین عملکرد دانه پیش‌بینی شده با روش BLUP مربوط به ژنوتیپ ۹ و پس از آن ژنوتیپ‌های ۱۱ ، ۱۰ و ۵ بودند که عملکرد دانه پیش‌بینی شده بیشتر از میانگین کل داشتند. به منظور فراهم کردن امکان گزینش همزمان براساس عملکرد و پایداری، با تلفیق دو شاخص عملکرد (Y) و پایداری (WAASB)، شاخص WAASBY بدست آمد. با در نظر گرفتن سهم ۵۰ درصد برای هر یک از دو جزء عملکرد و پایداری، هشت ژنوتیپ دارای WAASBY بالاتر از میانگین بودند. مقدار WAASBY بویژه در مورد ژنوتیپ ۹ به طور قابل توجهی بالاتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود و بر این اساس به‌عنوان بهترین ژنوتیپ شناسایی شد. پس از آن ژنوتیپ ۱۰ و سپس ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۱۲، ۱۴، ۷ و ۱۳ قرار داشتند. هر دو رقم شاهد گچساران و سپهر (ژنوتیپ‌های ۱۵ و ۱۶)، WAASBY کمتر از میانگین داشتند. در مجموع، ژنوتیپ‌های ۹، ۱۰، ۱ با در نظر گرفتن شاخص WAASBY به عنوان ژنوتیپ‌های واجد هر دو ویژگی عملکرد بالاتر از میانگین و ارقام شاهد و همچنین دارا بودن پایداری بالا، شناسایی شدند که می‌توان آنها را جهت معرفی به‌عنوان ارقام جدید در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: تجزیهBLUP، تجزیه AMMI، عملکرد دانه، پایداری عملکرد دانه و عدس دیم

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵ تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۰۱/۲۱ این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی شماره ۹۷۱۱۷۶-۰۸۹-۱۵-۵۶-۰ مصوب موسسه تحقیقات کشاورزی دیم می باشد

۱- استادیار موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: aminnamdari61@gmail.com)
۲- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران
۳- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران
۴- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران
۵- مربی پژوهشی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-08]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.5.8]

مقدمه

مجموع سطح زیرکشت عدس (*Lens culinaris* L.) در کشور بیش از ۱۱۲ هزار هکتار بوده است که از این مقدار بیش از ۱۰۸ هزار هکتار به کشت دیم اختصاص دارد. عملکرد عدس دیم در کشور ۵۲۰ کیلوگرم در هکتار و عملکرد عدس آبی ۱۲۹۰ کیلوگرم در هکتار است (Ahmadi *et al*., 2020). با توجه به اینکه تقریبا کل سطح زیرکشت عدس در کشور به صورت دیم است، هرگونه افزایش عملکرد با روش‌های به زراعی یا به‌نژادی، باعث افزایش چشمگیر کل تولید عدس می‌شود. معرفی رقم‌های جدید با پتانسیل عملکرد بالا و سازگاری بالا به شرایط مختلف محیطی، یکی از روش‌های مهم افزایش عملکرد در هر گیاه زراعی از جمله عدس محسوب می‌شود.

در انتهای هر برنامه به‌نژادی، سرمایه‌گذاری قابل توجهی جهت سنجش ژنوتیپ‌ها مورد نیاز است. در این مرحله عموما از میان تعداد انبوهی از ژنوتیپ‌ها که وارد برنامه به‌نژادی شده‌اند، تنها معدودی ژنوتیپ با عنوان ژنوتیپ‌های پیشرفته وارد مرحله آزمایش در چند محیط در قالب یکسان می‌شوند. این قبیل آزمایش‌ها اصطلاحا آزمایش‌های چند محیطی(MET) نامیده می‌شوند (Olivoto *et al*., 2019a). آزمایش‌های چند محیطی امکان شناسایی ژنوتیپ‌هایی با نوسان محدود عملکرد از محیطی به محیط دیگر را فراهم می‌کنند (Yan and Kang, 2003). با توجه به اینکه عوامل محیطی اعم از زنده و غیر زنده از محیطی به محیط دیگر تفاوت دارند، این امکان وجود دارد که عملکرد یک ژنوتیپ از محیطی به محیط دیگر بسیار متفاوت باشد. در آزمایش‌های چند محیطی، چنانچه رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های آزمایشی نوسان زیادی داشته باشد، به این معنی است که برهمکنش بالایی بین ژنوتیپ و محیط وجود دارد. این نوع از برهمکنش، به اصطلاح برهمکنش کیفی یا متقاطع نامیده می‌شود. نوع دیگر برهمکنش، مربوط به تغییر کمیت داده‌ها بدون نوسان زیاد در رتبه‌بندی ژنوتیپ‌هاست که برهمکنش کمی یا نامتقاطع نامیده می‌شود (Olivoto *et al*., 2019a).

برای ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ و محیط در آزمایش‌های چند محیطی، روش‌های مختلف تک متغیره و چند متغیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله مهم‌ترین روش‌های چند متغیره، روش اثرهای اصلی جمع پذیر و برهمکنش‌های ضرب پذیر (AMMI) است که در ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های گیاهان زراعی به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hasani *et al*., 2021; Samonte *et al*., 2005; Zali *et al*., 2009). افزون بر روش AMMI، روش بهترین پیش‌بینی‌های نااُریب خطی (BLUP) نیز برای سنجش داده‌های آزمایش‌های اجرا شده در چند محیط مورد استفاده قرار گرفته است (Smith *et al*., 2005). این روش میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها را در مدل‌های مختلط، با کارایی بالایی برآورد می‌کند. از نظر کاربردی، روش‌های BLUP و AMMI را می‌توان به عنوان دو رویکرد متمایز برای رسیدن به هدف یکسان (متمایز کردن الگوی برهمکنش ژنوتیپ و محیط از خطای تصادفی) در نظر گرفت. تجزیه AMMI، عمده برهمکنش ژنوتیپ و محیط را در نخستین محور مولفه اصلی برهمکنش (IPCA) تشریح می‌کند، در حالیکه بیشتر خطای تصادفی به IPCA های پایانی مربوط می‌شود (Gauch, 2013). در روش BLUP در وهله نخست اثرهای مدل تجزیه واریانس (ANOVA) تخمین زده شده و سپس به آنها وزن داده می‌شود (Piepho, 1994). به‌منظور استفاده از از مزایای هر دو روش AMMI و BLUP، شاخصی با عنوان "شاخص پایداری میانگین وزنی نمرات مطلق بهترین پیش‌بینی‌های نااریب خطی" یا WAASB معرفی شده است که در واقع ادغام دو روش AMMI و BLUP می‌باشد (Olivoto *et al*., 2019a). به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های برتر جهت معرفی به عنوان رقم‌های جدید،

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.5.8]

به‌نژادگران هر دو ویژگی عملکرد و پایداری را به طور همزمان در نظر می‌گیرند تا افزون بر کاهش برهمکنش ژنوتیپ و محیط، ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا برگزیده شوند (Sharifi *et al*., 2021). براین اساس و با در نظر گرفتن دو شاخص WAASB به عنوان مقیاسی از پایداری و عملکرد دانه (Y)، شاخص WAASBY نیز معرفی شده است که در آن هر دو ویژگی عملکرد و پایداری عملکرد به طور همزمان مورد توجه قرار گرفته و مقیاس مناسبی جهت شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در اختیار به‌نژادگر قرار می‌دهد (Olivoto *et al*., 2019a). لازم به ذکر است که شاخص‌های ذکرشده به تازگی معرفی شده (Olivoto *et al*.,2019a) و تا کنون پژوهش‌های محدودی در ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های گیاهان زراعی با استفاده از این شاخص‌ها انجام شده است (Karimizadeh *et al*., 2021; Sharifi *et al*., 2021).

در این تحقیق هدف استفاده از شاخص‌های WAASB و WAASBY حاصل از ترکیب دو روش AMMI و BLUP و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد دانه و پایداری عملکرد در آزمایش چند محیطی ارزیابی ژنوتیپ‌های عدس دیم بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در قالب آزمایش چند محیطی با ۱۴ ژنوتیپ برگزیده عدس از آزمایش‌های پیشرفته به همراه دو رقم گچساران و سپهر (به‌عنوان شاهد)، اجرا شد. آزمایش طی دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در چهار مکان گچساران، خرم‌آباد، ایلام و مغان، انجام شد. فهرست محیط‌های آزمایشی (سال و مکان) به ترتیب زیر بود: گچساران سال اول و دوم:E1 و E2، خرم‌آباد سال اول و دوم: E3 و E4، مغان سال اول و دوم: E5 و E6، ایلام سال اول و دوم: E7 و E8. فهرست شجره/نام ژنوتیپ‌های عدس در جدول ۱ ارائه شده است. برخی ویژگی‌های عمومی ایستگاه‌های محل اجرای آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. آزمایش در هر محیط در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل چهار ردیف کاشت شش متری و با لحاظ تراکم ۲۰۰ بوته در متر مربع بود. مبارزه با علف‌های هرز در طی فصل طی دو مرحله انجام شد. با در نظر گرفتن دو ردیف کاشت در هر کرت به عنوان حاشیه، برداشت در هر کرت از سطح ۴/۵ متر مربع انجام شد. تاریخ کاشت در در هر مکان متناسب با وقوع بارندگی مؤثر و در حد فاصل آذر تا اواسط دی انجام شد. وضعیت اقلیمی هر یک از مکان‌های اجرای آزمایش در دو سال از نظر مقدار بارندگی و میانگین دمای ماهیانه در طی فصل رشد، در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. برای انجام تجزیه‌های آماری از نرم افزار R و بسته ارائه شده ویژه آزمایش‌های چند محیطی با عنوان METAN (Olivoto *et al*., 2019a) استفاده شد. در این روش از شاخص‌های تجزیه AMMI و شاخص‌های مبتنی بر تجزیه AMMI روی ماتریس برهمکنش ژنوتیپ و محیط بدست آمده از BLUP استفاده شد. روابط مربوط به محاسبه شاخص‌های تجزیه AMMI در سایر منابع گزارش شده است و در اینجا به محاسبه دو شاخص حاصل از تلفیق روش‌های AMMI و BLUP اشاره می‌شود.

میانگین وزنی نمرات مطلق (WAASB):

$$WAASB_i = \frac{\sum_{k=1}^{p} \left| IPCA_{ik} \times EP_k \right|}{\sum_{k=1}^{p} EP_k} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

WAASB: میانگین وزنی نمره‌های ژنوتیپ i ام، $IPCA_{ik}$: نمره ژنوتیپ iاُم در kاُمین محور مولفه اصلی بر همکنش، EP_K: مقدار واریانس توجیه شده توسط kاُمین IPCA هستند.

میانگین وزنی پایداری و عملکرد (WAASBY):

(رابطه ۲)

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

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.5.8]

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.5.8]

جدول۱- نام/شجره لاین‌ها و ارقام عدس

Table 1. Name/pedigree of lentil lines and cultivars

ژنوتیپ‌های عدس Lentil genotypes	منشا Origin	نام/شجره Name/Pedigree	ژنوتیپ‌های عدس Lentil genotypes	منشا Origin	نام/شجره Name/Pedigree
G1	ICARDA	FLIP2012-2L(ILL10977)-ILL7985/ILL6037	G9	ICARDA	FLIP2012-240L(ILL11215)-ILL7711XILL8176
G2	ICARDA	PRECOZ(ILL4605)-ILL 5888 / ILL 5782	G10	ICARDA	FLIP2012-244L(ILL11219)-ILL7711XILL5480
G3	ICARDA	FLIP2011-43L(ILL10947)-ILL 7537 X ILL 590	G11	ICARDA	FLIP2014-103L(ILL11513)-ILL9892 x ILL7978 ICARDA 3 111 139 45 4.0 732 98 C
G4	ICARDA	FLIP2014-021L(ILL11431)-ILL9977 x ILL 1005	G12	ICARDA	ILL8006
G5	ICARDA	FLIP2014-032L(ILL11442)-ILL5883 x ILL6458	G13	ICARDA	FLIP2010-95L(ILL10825)-ILL 7620 X 91517
G6	ICARDA	FLIP2014-031L(ILL11441)-ILL5883 x ILL6458	G14	ICARDA	FLIP 86-16L(ILL6002)-ILL 4349 x ILL 4605
G7	ICARDA	FLIP2014-029L(ILL11439)-ILL6037 x ILL7012	G15	IRAN	Gachsaran (Check 1)
G8	ICARDA	FLIP2012-77L(ILL11052)-ILL6129XILL7980	G16	IRAN	Sepehr (Check 2)

ICARDA: International Center for Agricultural Research in Dry Areas

جدول ۲- ویژگی‌های عمومی ایستگاه‌های محل اجرای آزمایش

Table 2. General characteristics of experiment stations

Location	مکان	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع از سطح دریا Height above sea level (m)	میانگین بارش سالیانه بلندمدت Long term average annual rainfall (mm)	بافت خاک Soil texture	اسیدیته خاک Soil pH	کربن آلی خاک Organic carbon (%)
Gachsaran	گچساران	30°15'N	50°45'E	710	450	Silty Clay Loam	7.3	1% ≥
Moghan	مغان	39°3'N	47°61'E	10	312	Loam Clay	6.7	1% ≥
Khoramabad	خرم‌آباد	33°30'N	48°25'E	1147	445	loam	7.1	1% ≥
Ilam	ایلام	33°36'N	46°36'E	975	350	Clay loam	7	1% ≥

جدول ۳- مقدار بارندگی و میانگین دمای ماهانه (سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷)

Table 3. Monthly rainfall and average temperature ((2018-2019 cropping year)

		گچساران (محیط ۱) Gachsaran (E1)		خرم‌آباد (محیط ۳) Khoram Abad (E3)		مغان (محیط ۵) Moghan (E5)		ایلام (محیط۷) Ilam (E7)	
		بارش Rainfall (mm)	دما Temperature (˚c)	بارش Rainfall (mm)	دما Temperature (˚c)	بارش Rainfall (mm)	دما Temperature (˚c)	بارش Rainfall (mm)	دما Temperature (˚c)
Sep	مهر	47.2	26.1	9	22.2	1.3	19.1	35.5	23.7
Oct	آبان	135.6	18.6	139	13.8	26.7	12.5	187	14.2
Nov	آذر	150	13.9	151	8.6	27.9	8.1	159	9.2
Dec	دی	67	11.7	127	6.1	5.7	5.3	108	6.4
Jan	بهمن	161	11.7	115	6.5	32.9	6.5	157	7.8
Fev	اسفند	28	11.7	97	7.4	19.1	8.9	62.4	12.2
Mar	فروردین	160	18.2	309	12.3	47.1	11.5	178.4	12.6
Apr	اردیبهشت	15	22.8	6.1	17.8	21.1	18.8	12.8	18.8
Sum	مجموع	763.8		953.1		181.7		900.1	

جدول ۴- مقدار بارندگی و میانگین دمای ماهانه (سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸)

Table 4. Monthly rainfall and average temperature ((2019-2020 cropping year)

		گچساران (محیط ۲) Gachsaran (E2)		خرم‌آباد (محیط ۴) Khoram Abad (E4)		مغان (محیط ۶) Moghan (E6)		ایلام (محیط ۸) Ilam (E8)	
		بارش Rainfall (mm)	دما Temperature (˚c)	بارش Rainfall (mm)	دما Temperature (˚c)	بارش Rainfall (mm)	دما Temperature (˚c)	بارش Rainfall (mm)	دما Temperature (˚c)
Sep	مهر	0	27.8	12.4	22.9	10.5	19.1	15	24.8
Oct	آبان	64.5	19.1	54	13	3.4	12.1	44.6	14.2
Nov	آذر	111	13.6	112	7.7	27.4	7	134.4	9.4
Dec	دی	59.4	11	69	6.4	15.5	6.1	37.4	7.1
Jan	بهمن	41	11.2	36	5.6	18.6	6.3	44.3	6.4
Fev	اسفند	35.4	15.7	189	11.4	19.5	10.2	283.1	11.8
Mar	فروردین	97.2	17.6	39.6	13	22.3	11.1	33.5	14
Apr	اردیبهشت	27	24.1	12	18.8	43	17.1	11.3	20.2
	مجموع	435.5		524		160.2		603.6	

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.5.8]

WAASBYi: میانگین وزنی پایداری (WAASB) و عملکرد (Y) برای ژنوتیپ iاُم، W_Y: وزن داده شده به عملکرد دانه، W_S: وزن نسبت داده شده به شاخص WAASB، GYi: میانگین عملکرد ژنوتیپ iاُم، GY_{max}: بیشترین میانگین عملکرد ثبت شده، WAASBmin: کمترین مقدار WAASB محاسبه شده در میان ژنوتیپ‌ها هستند.

نتایج و بحث

واریانس برآورد شده به سه جزء، واریانس ژنوتیپی، برهمکنش ژنوتیپ و محیط و باقیمانده تفکیک شد. بر اساس اطلاعات شکل ۱، بیش از ۲۵ درصد از واریانس فنوتیپی توسط برهمکنش ژنوتیپ و محیط توجیه می‌شود، حال آنکه اثر ژنوتیپ، تنها توجیه کننده حدود یک درصد از واریانس برآورد شده است. عمده واریانس فنوتیپی (بیش از ۷۰ درصد) نیز توسط اثر باقیمانده توجیه می‌شود. اثر باقیمانده عمدتا به اثر محیط مربوط می‌شود که با توجه به تفاوت‌های زیاد بین محیط‌های آزمایشی از نظر ویژگی‌های خاک، مقدار و پراکنش بارندگی و سایر عوامل قابل توجیه است. نتایج تحقیقات سایر پژوهشگران روی سایر گیاهان نیز نشان داده است که بخش عمده واریانس توسط اثر محیط توجیه می‌شود (Brankovic-Radojcic *et al.*, 2018; Tekalign *et al.*, 2017). در شکل ۲، تعداد مولفه‌های موثر در برهمکنش ژنوتیپ و محیط نمایش داده شده است. برهمکنش ژنوتیپ و محیط از نه مولفه تشکیل شده است که چهار مولفه نخست، بیش از ۸۰ درصد تنوع موجود را توجیه کردند.

میانگین عملکرد هر یک از ژنوتیپ‌های عدس در هر یک از محیط‌ها، میانگین کل عملکرد هر ژنوتیپ در همه محیط‌ها و همچنین میانگین عملکرد هر محیط در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس اطلاعات جدول ۵ و شکل ۳، هم رتبه‌بندی و هم مقدار عملکرد ژنوتیپ‌های عدس در محیط‌های مختلف تفاوت زیادی داشتند. در بین مکان‌های اجرای آزمایش، کمترین بارندگی مربوط به مغان بوده (جداول ۳ و ۴) و در هر دو سال آزمایش، دارای کمترین عملکرد دانه بود. البته بارش بیشتر الزاما با عملکرد بالاتر همراه نیست. در ایستگاه خرم‌آباد با وجود بارش‌های زیاد در سال ۹۸-۱۳۹۷، عملکرد دانه در این سال به طور چشمگیری کمتر از سال ۹۹-۱۳۹۸ با بارندگی کمتر بود. دلیل این موضوع مربوط به آسیب ناشی از آب ایستایی در سطح زمین و نیز شیوع بیماری‌ها است. همچنین در گچساران با وجود تفاوت ۷۵ درصدی در مقدار بارش دو سال زراعی، مقدار عملکرد در سال پربارش‌تر، تنها ۱۲ درصد بیشتر بود. به‌منظور ارزیابی یکنواختی واریانس در هر یک از محیط‌ها، از آزمون بارتلت استفاده شد و نتایج آن نشان دهنده یکنواختی واریانس‌ها بود (χ^2=11.7). با در نظر گرفتن تفاوت‌های زیاد در وضعیت اقلیمی هشت محیط آزمایشی و واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های عدس در این محیط‌ها و معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ و محیط برپایه نتیجه آزمون درست نمایی نسبی (جدول ۶)، تفسیر این تفاوت‌ها و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر با تجزیه پایداری عملکرد ضروری است. به‌منظور شناسایی مولفه‌های موثر بر توجیه برهمکنش ژنوتیپ و محیط، از آزمون اسکریت استفاده شد. نتایج نشان داد که چهار مولفه اول تاثیر قابل توجهی در توجیه برهمکنش حاصل از BLUP داشتند، اما تنها سهم دو مولفه نخست، معنی‌دار بود. این دو مولفه در مجموع نزدیک به ۷۰ درصد از برهمکنش ژنوتیپ و محیط را توجیه کردند.

در شکل ۳، رتبه بندی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس در هر یک از محیط‌ها به صورت نمودار گرمایی نمایش داده شده است. این شکل تصویر ساده‌تری از وضعیت عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف را نمایش می‌دهد. یک نمونه از واکنش متفاوت عملکرد ژنوتیپ‌های عدس در محیط‌ها را می‌توان در مورد ژنوتیپ ۵ مشاهده کرد. ژنوتیپ ۵ در محیط‌های ۳ و ۴

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.5.8]

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

Table 5. Seed yield (kg.ha^{-1}) of lentil genotype in experimental environments

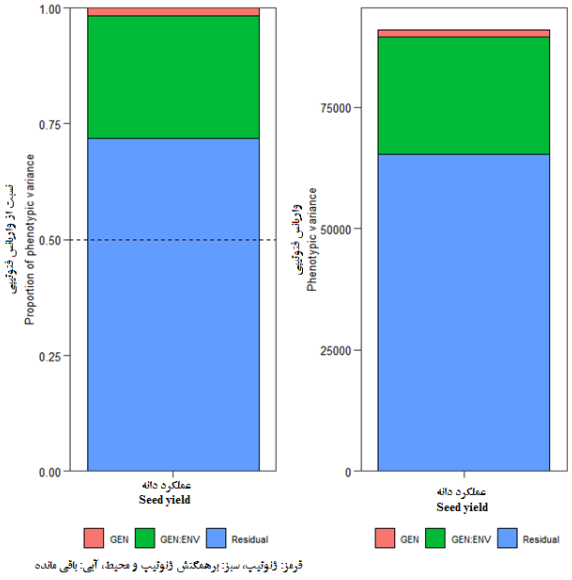
ژنوتیپ‌های عدس Lentil genotype	گچساران Gachsaran E1	E2	خرم‌آباد Koram Abad E3	E4	مغان Moghan E5	E6	ایلام Ilam E7	E8	میانگین ژنوتیپ Mean of genotype	بهره‌وری بارش Precipitation productivity (kg.m-3)
G1	1660	1538	1378	1550	769	290	875	1717	1222	2.49
G2	1840	1394	775	1486	774	337	1166	1983	1219	2.52
G3	1411	1587	1117	1310	693	320	682	1900	1127	2.36
G4	1458	1338	826	1830	676	542	780	1483	1117	2.47
G5	1675	1293	1356	2130	617	290	1241	1233	1229	2.41
G6	1284	958	1030	1767	750	377	1445	2167	1222	2.50
G7	1486	1031	1183	1804	760	456	893	1758	1172	2.49
G8	945	768	1037	1441	775	510	1016	1442	992	2.22
G9	1560	1497	1261	1962	847	451	842	2108	1316	2.80
G10	1802	1244	1153	1937	726	496	994	1775	1266	2.65
G11	1882	1710	1059	2095	796	448	755	1500	1281	2.75
G12	1450	1334	1085	1669	743	372	1140	1525	1165	2.43
G13	1517	1444	974	1334	770	559	1013	1875	1186	2.60
G14	1625	1465	837	1475	760	369	1143	1983	1207	2.53
G15	1147	1320	761	1292	685	360	803	2025	1049	2.26
G16	1437	1486	1005	1263	695	504	1290	2100	1223	2.58
میانگین محیط Mean of environment	1511	1338	1052	1646	740	418	1005	1786		

E1 و E2: گچساران سال اول و دوم، E3 و E4: خرم‌آباد سال اول و دوم، E5 و E6: مغان سال اول و دوم، E7 و E8: ایلام سال اول و دوم

E1, E2: Gachsaran first and second year, E3, E4: Khoram Abad first and second year, E5, E6: Moghan first and second year, E7, E8: Ilam first and second year

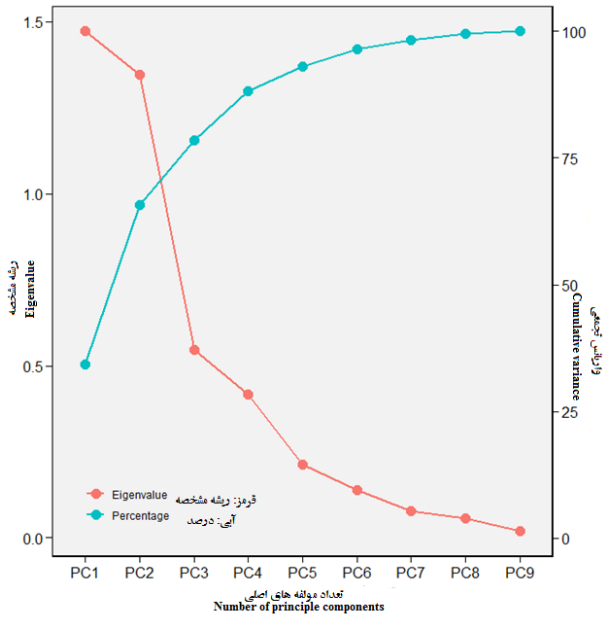
[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.5.8]



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

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

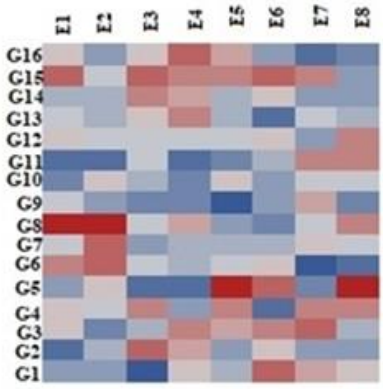


شکل ۲- مقادیر ویژه ماتریس BLUP GEI عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس در آزمایش چند محیطی

Fig. 2. Eigenvalues of the BLUP_GEI matrix of seed yield of lentil genotypes in multi-environment yield trial

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.5.8]



شکل ۳- نمودار گرمایی پراکنش عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس در محیط‌های آزمایشی. شدت رنگ آبی نشان دهنده عملکرد بیشتر و شدت رنگ قرمز نشان دهنده عملکرد پایین‌تر می‌باشند

Fig. 3. Thermal diagrams of the lentil genotypes seed yield distribution in experimental environments. Blue color intesity shows higher yield and red color intensity shows lower yield

E1 و E2: گچساران سال اول و دوم، E3 و E4: خرم‌آباد سال اول و دوم، E5 و E6: مغان سال اول و دوم، E7 و E8: ایلام سال اول و دوم

E1, E2: Gachsaran first and second year, E3, E4: Khoram Abad first and second year, E5, E6: Moghan first and second year, E7, E8:
Ilam first and second year

که به خرم آباد مربوط هستند، بالاترین عملکرد را داشت، در حالیکه در سایر محیط‌ها، عملکرد این ژنوتیپ نوسان زیادی داشت. بر عکس این موضوع را می‌توان در مورد ژنوتیپ ۱۲ مشاهده کرد که تقریبا در کلیه محیط‌ها عملکرد نسبتا کم، اما ثابتی داشته است. در مورد دو مکان مغان (محیط‌های ۵ و ۶) و ایلام (محیط های ۷و۸) از شکل ۳ می‌توان تشخیص داد که در مغان، ژنوتیپ ۱۳، دارای عملکرد بالایی بود، در حالیکه در سایر محیط‌ها عملکرد این ژنوتیپ در رتبه‌های پایینی قرار داشت. در ایلام ژنوتیپ ۱۶ (رقم سپهر) در کنار ژنوتیپ ۶ دارای بالاترین عملکرد بودند، در حالیکه این دو ژنوتیپ در سایر محیط‌ها عملکرد ضعیف‌تری داشتند. لازم به یادآوری است که نمودار ذکرشده تنها رتبه بندی ژنوتیپ‌ها را در محیط‌های مختلف نشان می‌دهد و مقدار عملکرد در این محیط‌ها ممکن است بسیار متفاوت باشد.

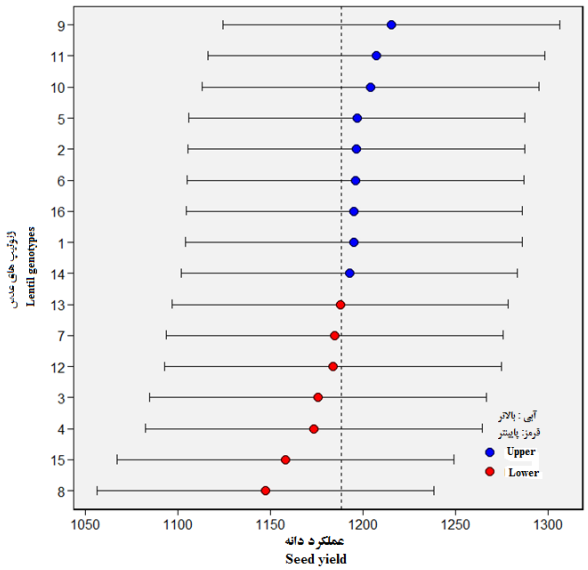
با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ و محیط (LRT=20.9***) برپایه نتیجه آزمون درست نمایی نسبی (LRT)، امکان تجزیه BLUP روی داده‌ها وجود داشت. در شکل ۴، میانگین‌های پیش‌بینی شده عملکرد دانه هر یک از ژنوتیپ‌های عدس با روش BLUP نشان داده شده است. بر این اساس، بالاترین عملکرد پیش‌بینی شده با روش BLUP مربوط به ژنوتیپ ۹ و پس از آن ژنوتیپ‌های ۱۱، ۱۰ و ۵ بود که دارای عملکرد پیش‌بینی شده بیشتر از میانگین کل بودند. در سوی دیگر، ژنوتیپ‌های ۸، ۱۵، ۴، و ۳ جای داشتند که عملکرد پیش‌بینی شده آنها پایین‌تر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها بود. در مدل BLUP ، بهترین پیش‌بینی‌های نااُریب خطی روی ماتریس ژنوتیپ و محیط پیش بینی می‌شوند و در ادامه می‌توان تجزیه پایداری به روش AMMI را روی این پیش‌بینی‌ها انجام داد. برآورد دقیق میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های عدس، بویژه در مدل‌های مختلط، از جمله مزیت‌های عمده روش BLUP است (Olivoto *et al.*, 2019a). افزون بر این در صورتی که اثر مختلط خطی وجود داشته باشد، BLUP امکان پیش بینی بهینه‌تر اثرهای تصادفی را امکان پذیر می‌سازد

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.5.8]

(Smith *et al.*, 2005). کارایی روش BLUP در بهبود دقت پیش بینی اثرهای تصادفی ثابت شده است (Piepho *et al.*, 2008). در همین باره، روش بهترین پیش‌بینی‌های نااریب خطی به طور موفقیت آمیزی برای شناسایی ژنوتیپ‌های سیب زمینی سازگار به مناطق با اقلیم نیمه گرمسیری در هند مورد استفاده قرار گرفت (Sood *et al.*, 2020). ادغام دو روش BLUP و AMMI باعث افزایش کارایی هر دو روش شده و در نتیجه نتایج حاصل از آزمایش‌های چند محیطی دقیق‌تر تفسیر خواهند شد (Ajay and Singh, 2021).

در شکل ۵، نمودار مربوط به نمره‌های نخستین محور مؤلفه اصلی محیطی برهمکنش (IPCA1) در برابر عملکرد اسمی نشان داده شده است. در این شکل، برای هر ژنوتیپ یک خط با معادله y=a+bx رسم شده است که در آن x، عدد مربوط به محور مؤلفه اصلی محیطی نخست، a میانگین هر ژنوتیپ و b نخستین مؤلفه اصلی مربوط به هر ژنوتیپ است. در این شکل، شیب خط‌های رسم شده برای هر ژنوتیپ نشان دهنده تاثیر آن ژنوتیپ در برهمکنش ژنوتیپ و محیط است، به نحوی که هرچه شیب خط کمتر باشد، نشان دهنده اثر کمتر آن ژنوتیپ در برهمکنش ژنوتیپ و محیط است و بر عکس. همانطور که در شکل مشخص است، بیشترین شیب خط مربوط به ژنوتیپ ۵ بود و پس از آن ژنوتیپ‌های ۱۱، ۱۵ و ۱۶ نیز از شیب خطی بالایی برخوردار بودند که نشان دهنده ناپایداری عملکرد آنها است. در مقابل، ژنوتیپ های ۹ و ۸ کمترین شیب خط را داشتند و پایدارتر بودند. مقایسه شکل ۵ با بهترین پیش بینی‌های نااریب خطی (شکل ۴)، نشان می‌دهد که با وجود اینکه عملکردهای پیش‌بینی شده برای ژنوتیپ‌های ۹، ۱۱ و ۱۰ نزدیک به هم هستند، اما شیب خط بدست آمده برای این ژنوتیپ‌ها تفاوت زیادی داشته و نشان دهنده ناپایداری بیشتر ژنوتیپ ۱۱ است. اعداد ارائه شده از یک تا هشت در بخش پایینی شکل، نشان دهنده شماره محیط‌های آزمایشی است. به این ترتیب امکان تشخیص اینکه در هر محیط کدام ژنوتیپ عملکرد بهتری داشته است، فراهم می‌شود. باید توجه داشت که نمودار یادشده تنها برپایه مولفه اصلی نخست، رسم شده است که بخشی از برهمکنش

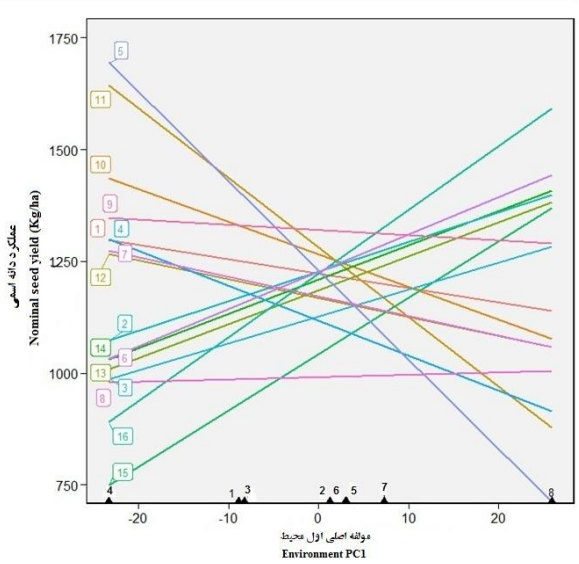


شکل۴- عملکرد دانه پیش‌بینی شده ژنوتیپ‌های عدس بر پایه بهترین پیش‌بینی نااریب خطی (BLUP)

Fig. 4. Predicted seed yield (BLUP) plot for lentil genotypes

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.5.8]



شکل ۵ - نمودار نمره‌های نخستین محور مؤلفه اصلی محیطی برهمکنش در برابر عملکرد اسمی ژنوتیپ‌های عدس

Fig. 5. Nominal seed yield of lentil genotypes and the first environmental interaction principal component axis (IPCA1) plot

ژنوتیپ و محیط را توجیه می‌کند، بنابراین در تفسیر این نمودار باید دقت نمود (Sharifi *et al.*, 2021). گزارش شده است که این نمودار نوع دیگری از نمودار "کدام-برنده-کجا" در تجزیه GGE بای‌پلات است (Sharifi *et al.*, 2021). این نوع نمودار درا رزیابی پایداری ژنوتیپ های گیاهان زراعی در روش GGE بای‌پلات به طور گسترده‌ای موردا ستفاده قرار گرفته است (Barati *et al.*, 2020; Donoso-Ñanculao *et al.*, 2018; Farayedi *et al.*, 2020). این نوع نمودار، بویژه در هنگامی که نیاز به شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار برای هر منطقه وجود داشته باشد، حائز اهمیت است، زیرا در بسیاری از موارد در آزمایش‌های چند محیطی، ژنوتیپی وجود ندارد که در کلیه محیط‌ها دارای بهترین عملکرد باشد و نیاز به شناسایی ژنوتیپ‌هایی که واجد سازگاری منطقه‌ای هستند، وجود دارد (Olivoto *et al.*, 2019b). این نوع نمودار، امکان شناسایی همزمان سازگاری عمومی و سازگاری خصوصی در میان ژنوتیپ‌ها را فراهم می‌کند.

در شکل ۶، میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس در محور افقی و میانگین وزنی نمره‌های مطلق برای بهترین پیش‌بینی‌های ناأریب خطی (WAASB) در محور عمودی ارائه شده است. کل نمودار به چهار بخش تقسیم شده و ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها بسته به عملکرد و مقدار WAASB در یکی از این بخش‌ها قرار می‌گیرند. در بخش یک، تنها ژنوتیپ ۱۵ (رقم شاهد گچساران) و محیط هفت قرار داشتند. ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که در این بخش قرار دارند، عملکردی کمتر از میانگین دارند و به علت مقدار بالای WAASB، پایداری کمتری از میانگین نیز دارند. در بخش دوم نمودار، ژنوتیپ‌هایی که عملکرد و WAASB بالاتر از میانگین داشتند، قرار گرفتند که به مفهوم عملکرد بیشتر و پایداری کمتر از میانگین است. ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۱، ۶ و ۵ در این بخش قرار داشتند. ژنوتیپ ۱۱ با وجود عملکرد دانه بالا، ناپایدار بوده و ژنوتیپ ۵ نیز ناپایدارترین ژنوتیپ در کل آزمایش شناخته شد. رقم شاهد سپهر (ژنوتیپ ۱۶) با وجود عملکرد بیشتر از

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-08]

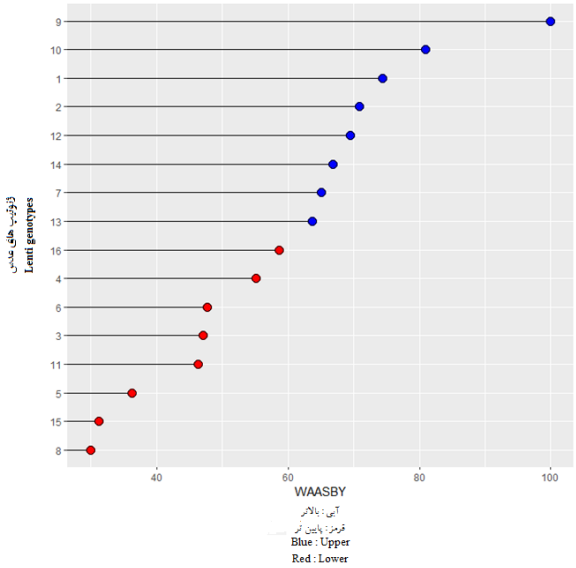
[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.5.8]

میانگین، از نظر پایداری عملکرد در جایگاه ضعیفی قرار داشت. در واقع بر اساس معیار پایداری، بین دو رقم شاهد قدیمی‌تر (گچساران) و جدیدتر (سپهر) تفاوتی وجود نداشته و برتری رقم سپهر به عملکرد بالاتر محدود شد. در بخش سوم نمودار، ژنوتیپ‌هایی قرار داشتند که عملکردی پایینتر از میانگین، اما پایداری عملکرد بالا داشتند. ژنوتیپ‌های ۱۲، ۴، ۷، ۱۳ و ۸ در این بخش قرار گرفتند. بخش چهارم نشان دهنده بخش هدف در نمودار است و ژنوتیپ‌های واقع در این بخش، افزون بر عملکرد بالا، دارای پایداری عملکرد مناسب نیز هستند. همانطور که در کادر قرمز مشخص شده است، ژنوتیپ ۹ پایدارترین ژنوتیپ بوده و بعلاوه عملکرد دانه بالایی نیز داشت و در واقع در رتبه اول هم از نظر عملکرد دانه و هم از نظر پایداری قرار گرفت. پس از آن، ژنوتیپ ۱۰ با پایداری و عملکرد بالا قرار داشت. ژنوتیپ‌های ۱، ۲ با وجود پایداری عملکرد مناسب از نظر عملکرد در حد رقم شاهد سپهر بودند و ژنوتیپ ۱۴ عملکردی کمتر از رقم سپهر داشت. در محاسبه WAASB، همه مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار مورد استفاده قرار می‌گیرند، بنابراین WAASB ارزیابی درست‌تری از پایداری ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد (Olivoto *et al.*, 2019a). برتری بای‌پلات WAASB و عملکرد نسبت به بای‌پلات AMMI1 (مولفه اصلی نخست در برابر عملکرد) این است که در محاسبه WAASB از همه محورهای IPCA استفاده می‌شود و از این‌رو رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها دقیق‌تر و با خطای کمتری انجام می‌شود. در سایر پژوهش‌ها درصد IPCA1 در حد نسبتا کمی قرار داشت از جمله در نیشکر ۳۳ درصد (Ramburan *et al.*, 2011)، در ذرت ۲۶/۴ درصد (Balestre *et al.*, 2009)، در گندم ۳۲/۱ درصد (Tigabu *et al.*, 2017). در این موارد باید در تفسیر بای پلات AMMI1 دقت کرد، زیرا IPCA1 تنها درصد کمی از کل تنوع مشاهده شده را توجیه می‌کند. بنابراین استفاده از بای‌پلات WAASB × GY به جای AMMI1 می‌تواند روش مناسبی برای شناسایی دقیق‌تر و قابل اطمینان‌تر ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار باشد. شاخص WAASB از ترکیب دو روش AMMI و BLUP بدست می‌آید، بدین ترتیب که در آن یک ماتریس G×E با مدل BLUP بدست آمده و از تجزیه این ماتریس، شاخص پایداری میانگین وزنی نمرات مطلق (WAASB) تعیین می‌شود. این شاخص می‌تواند به عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها وزن‌های متفاوتی را بدهد. افزون بر WAASB شاخص دیگری با نام WAASBY نیز معرفی شده که در آن پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها همزمان درنظر گرفته می‌شوند تا امکان ارزیابی درست‌تر ژنوتیپ‌ها فراهم شود (Olivoto *et al.*, 2019a). در همین رابطه گزارش شده است که نتایج حاصل شده در ارزیابی ژنوتیپ‌ها با شاخص WAASBY در مقایسه با نتایج حاصل از تجزیه AMMI به تنهایی، قابل اعتمادتر هستند (Karimizadeh *et al.*, 2021). از شاخص WAASBY به طور موثری در رتبه بندی و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر برنج نیز استفاده شده است (Sharifi *et al.*, 2021).

در شکل ۶، امکان گزینش همزمان بر اساس عملکرد (Y) و پایداری (WAASB) فراهم شده است. شاخص WAASBY در واقع تلفیق WAASB و عملکرد دانه (Y) است. در شاخص WAASBY می‌توان نسبت‌های گوناگونی را برای هر یک از اجزای آن شامل WAASB و Y، در نظر گرفت. شکل بر مبنای نسبت برابر برای عملکرد و WAASB است. دایره‌های آبی نشان دهنده مقدار شاخص WAASBY بالاتر از میانگین و دایره‌های قرمز نشان دهنده مقدار کمتر از میانگین هستند. هشت ژنوتیپ WAASBY بالاتر از میانگین داشتند. مقدار WAASBY بویژه در مورد ژنوتیپ ۹ به طور قابل توجهی بالاتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود که بر این اساس این ژنوتیپ با فاصله، به عنوان بهترین ژنوتیپ شناسایی شد. پس از آن ژنوتیپ ۱۰ و با فاصله، ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۱۲، ۱۴، ۷ و ۱۳ قرار داشتند.

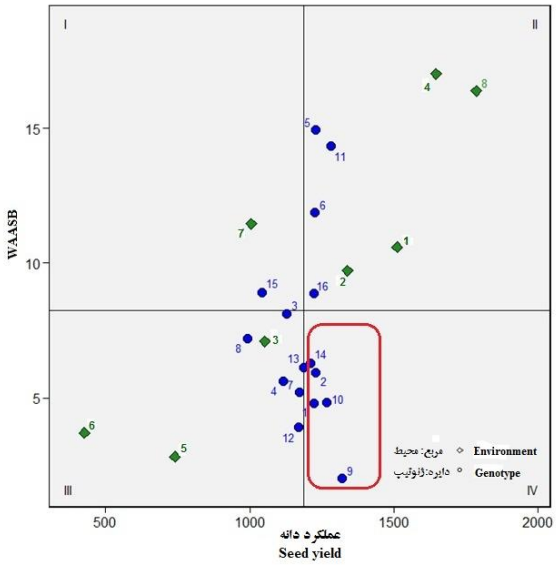
[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.5.8]



شکل ۶- بای‌پلات عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس در برابر WAASB

Fig. 6. Biplot of seed yield of lentil genotypes vs WAASB



شکل۷- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های عدس با در نظرگرفتن وزن برابر برای عملکرد دانه و پایداری

Fig. 7. Ranking of lentil genotypes considering equal weight for seed yield and stability

هر دو رقم شاهد گچساران و سپهر (ژنوتیپ‌های ۱۵ و ۱۶)، WAASBY کمتر از میانگین داشتند. مقایسه ژنوتیپ‌های برتر (۹ و ۱۰) با ارقام شاهد نشان‌دهنده برتری چشمگیر این ژنوتیپ‌ها بود. بر این اساس این دو ژنوتیپ دارای پتانسیل قابل توجهی در بهبود میانگین و پایداری عملکرد داشته و می‌توان آنها را برای معرفی به‌عنوان رقم‌های جدید در نظر گرفت. یکی از مزیت‌های مهم ادغام دو روش AMMI1 و BLUP، این است که می‌توان هماهنگ با هدف اصلی برنامه به‌نژادی، به عملکرد و پایداری عملکرد، وزن‌های مختلفی را اختصاص داد (Ajay and Singh, 2021).

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.5.8]

نتیجه‌گیری

استفاده از روش AMMI در ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های گیاهان زراعی در آزمایش‌های چند محیطی به طور گسترده‌ای رایج بوده و نتایج خوبی نیز به همراه داشته است. یکی از ایرادهای روش AMMI این است که در آن کلیه مولفه‌های برهمکنش ژنوتیپ و محیط مورد توجه قرار نمی‌گیرند که این موضوع می‌تواند باعث بروز خطا در ارزیابی ژنوتیپ‌ها شود. ادغام روش AMMI با روش بهترین پیش‌بینی‌های نااریب خطی (BLUP) که نتایج آن در پژوهش اخیر نیز گزارش شد، می‌تواند تا حد زیادی این نقطه ضعف را پوشش دهد. ادغام این دو روش با معرفی شاخص‌های WAASB و WAASBY انجام می‌گیرد. در محاسبه این شاخص‌ها کلیه مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار مورد استفاده قرار می‌گیرند و بنابراین نتایج دقیق‌تری حاصل می‌شوند. در پژوهش حاضر ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های پیشرفته عدس دیم با استفاده از شاخص‌های WAASBو WAASBY، باعث شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا شد. با توجه به اهمیت هر دو شاخص عملکرد و پایداری عملکرد، به هر کدام از این دو شاخص وزن یکسانی در محاسبات داده شد و در نتیجه ژنوتیپ‌های ۱، ۹ و ۱۰ به عنوان مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند . ژنوتیپ ۱۱ نیز به عنوان ژنوتیپی با سازگاری خصوصی بالا به دو منطقه گچساران و خرم آباد شناسایی شد.

منابع مورد استفاده

References

Ahmadi, K., H. Ebadzadeh, F. Hatami, H. Abdshah and H. Kazemian. 2020. Statistics of Agricultural Products (Crops, 2018-2019). Ministry of Ariculture Jihad. (In Persian).

Ajay, V. and G. P. Singh. 2021. AMMI with BLUP analysis for stability assessment of wheat genotypes under multi locations timely sown trials in central zone of India. Int. J. Agric. Sci. Food Technol. 7: 118-124.

Balestre, M., R. G. Von Pinho, J. C. Souza and R. L. Oliveira. 2009. Genotypic stability and adaptability in tropical maize based on AMMI and GGE biplot analysis. Genet. Mol. Res. 8: 1311–1322.

Barati, A., I. Lakzadeh, M. Jabbari, O. Poodineh, J. Alt Jafarbby, K. Shahbazihomonlo, A. Gholipour and N. A. Tabatabaei Fard. 2020. Evaluation of grain yield stability of irrigated barley (*Hordeum vulgare* L.) promising lines in warm regions of Iran using GGE biplot analysis. Iran. J. Crop. Sci. 22(3): 212-224. (In Persian with English abstract).

Brankovic-Radojcic, D, V. Babic, Z. Girek, T. Ţivanovic, A. Radojcic, M. Filipovic and J. Srdic. 2018. Evaluation of maize grain yield and yield stability by AMMI analysis. Genetika, 50: 1067-1080.

Donoso-Ñanculao, G., M. Paredes., V. Becerra., C. Arrepol and C. Balzarini. 2018. GGE- Biplot analysis of multienvironment yield trials of rice produced in a temperate climate. Chil. J. Agric. Res. 76 (2): 152-157.

Farayedi, Y., A. Asadi, F. Ahakpaz, A. Saeed, H. Kanoni and A. Ehsan nosrati. 2020. Evaluation of genotype - environment interaction for grain yield of chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) in cold agro-climate zone of Iran by GGE Biplot method. J. Crop Breed. 12 (36): 66-76. (In Persian with English abstract).

Gauch, H. G. 2013. A simple protocol for AMMI analysis of yield trials. Crop Sci. 53(5): 1860-1869.

Hasani, M., H. Hamze and H. Mansori. 2021. Evaluation of adaptability and stability of root yield and white sugar yield (*Beta vulgaris* L.) in sugar beet genotypes using multivariate AMMI and GGE Biplot Method. J.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.5.8]

Crop Breed. 13 (37): 222-235. (In Persian with English abstract).

Karimizadeh, R., H. Ghojogh, T. Hosseinpour, M. Armion, K. Shahbazi Homonlo and P. Sharifi. 2021. Evaluating of the efficiency of AMMI and BLUP models and their integration for identifying high-yielding durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) genotypes adapted to warm rainfed regions of Iran. Iran. J. Crop Sci. 23: 30-48. (In Persian with English abstract).

Olivoto, T., A. D. C. Lúcio, J. A. G. Da Silva, B. G. Sari and M. I. Diel. 2019a. Mean performance andstability in multi-environment trials II: selection based on multiple traits. Agron. J. 111(6): 2961–2969.

Olivoto, T., A. D. C. Lúcio, J. A. G. Da Silva, V. S. Marchioro, V. Q. de Souza and E. Jost. 2019b. Mean performance and stability in multi-environment trials I: combining features of AMMI and BLUP techniques. Agron. J. 111(6): 2949–2960.

Piepho, H. P. 1994. Best linear unbiased prediction (BLUP) for regional yield trials: a comparison to additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) analysis. Theor. Appl. Genet. 89(5): 647-654.

Piepho, H. P, J. Mohring, A. E. Melchinger and A. Buchse. 2008. BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. Euphytica, 161: 209–228.

Ramburan, S, M. Zhou and M. Labuschagne. 2011. Interpretation of genotype × environment interactions of sugarcane: Identifying signifcant environmental factors. Field. Crops. Res. 124: 392–399.

Samonte, S. O. P. B., L. T. Wilson, A. McClung and J. C. Mand Medley. 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analysis. Crop. Sci. 45: 2414-2424.

Sharifi, P., A. Abbasian and Mohaddesi, A. 2021. Evaluation the mean performance and stability of rice genotypes by combining features of AMMI and BLUP techniques and selection based on multiple traits. Plant. Genet. Res. 7 (2): 163-180. (In Persian with English abstract).

Smith, A. B., B. R. Cullis and R. Tompson. 2005. Te analysis of crop cultivar breeding and evaluation trials: An overview of current mixed model approaches. J. Agric. Sci. 143: 449–462.

Sood, S., V. Bhardwaj, V. Kumar and V. K. Gupta. 2020. BLUP and stability analysis of multi-environment trials of potato varieties in sub-tropical Indian conditions. Helyon. 6 (11): 1-10.

Tekalign, A., J. Sibiya, J. Derera and A. Fikre. 2017. Analysis of genotype × environment interaction and stabilitfor grain yield and chocolate spot (*Botrytis fabae*) disease resistance in faba bean (*Vicia faba*). Aust. J. Crop Sci. 11(10): 1228-1235.

Tigabu, D. A., Z. Tadesse, H. Zegeye and A. Assefa. 2017. Seasonal variability and genetic response of elite bread wheat lines in drought prone environments of Ethiopia. J. Plant. Breed. Genet. 5: 15–21.

Yan, W. and M. S. Kang. 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL. USA.

Zali, H., S. H. Sabbaghpour, A. A. Farshadfar and P. Pezeshkpour. 2009. Stability analysis of chickpea genotypes using ASV parameter compare to other stability methods. Iran. J. Field. Crop. Sci. 2: 21-29. (In Persian with English abstract).

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.5.8]

Evaluation of genotype × environment interaction using WAASB and WAASBY indices in multi-environment yield trials of rainfed lentil (*Lens culinaris* L.) genotypes

Namdari, A. [1], P. Pezeshkpoor [2], A. Mehraban [3], A. Mirzaie [4] and B. Vaezi [5]

ABSTRACT

Namdari, A., P. Pezeshkpoor, A. Mehraban, A. Mirzaie and B. Vaezi. 2022. Evaluation of genotype × environment interaction using WAASB and WAASBY indices in multi-environment yield trials of rainfed lentil (*Lens culinaris* L.) genotypes. **Iranian Journal of Crop Sciences. 24(2): 165-180. (In Persian).**

Combinining features of the best linear unbiased predictions (BLUP) and additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) through "Weighted average of absolutescores of best linear unbiased predictions" (WAASB) index in multi-environment experiments may lead to more percise evaluation of genotypes and assessment of genotype × environment interaction. In the present study, the seed yield stability of 14 advanced lentil lines was evaluated in a multi-environment trials in four locations including; Gachsaran, Khorramabad, Moghan and Ilam, Iran in 2018-2019 and 2019-2020 cropping seasons. The experimental design was s randomized complete block design with three replications. Statistical analyzes were performed using multi-environment trials analysis. Considering the significant G×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. 9 followed by genotypes no. 11, 10, 5, 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, eight genotypes showed above average WAASBY. Genoype no. 9 had considerably higher WAASBY when compared with other genotypes and was identified as the best genotype followed by genotypes no. 10, 1, 2, 12, 14, 7 and 13 were ranked respectively. Both control cultivars (genotypes 15 and 16) had lower than average WAASBY. In conclusion, considering WAASBY index, genotypes 9, 10, 1 were identified as genotypes with highe seed yield and yield stability, and can be considered for being released as new lentil cultivars.

Key words: AMMI, BLUP, Rainfed lentil, Seed yield and Yield stability

Received: January, 2022 Accepted: April, 2022

1. Assistant Prof., Kohgiloyeh and Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran (Corresponding author) (Email: aminnamdari61@gmail.com)
2. Assistant Prof., Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran
3. Assistant Prof., Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Moghan, Iran
4. Assistant Prof., Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ilam, Iran
5. Researcher, Kohgiloyeh and Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-01-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.5.8]