

تجزیه پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس با استفاده از شاخص‌های روش امی

رحمت‌الله کریمی‌زاده^{۱*}، پیام پزeshkpour^۲، اصغر مهربان^۳، پیمان شریفی^۴ و محمد برزعلی^۵

۱- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ۲- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ۳- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ۴- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ۵- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۲۲ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۲۸)

چکیده

در این پژوهش، ۱۲ ژنوتیپ امیدبخش عدس به همراه ارقام کیمیا و گچساران به مدت سه سال زراعی (۹۲-۱۳۸۹) در مناطق گچساران، گنبد، خرم‌آباد و مغان کشت شدند. تجزیه واریانس AMMI نشان داد که اثرات محیط، ژنوتیپ، برهمکنش ژنوتیپ و محیط و شش مؤلفه اصلی اول معنی‌دار بودند. ژنوتیپ شماره چهار (۱۱۹۶ کیلوگرم در هکتار) بیشترین عملکرد دانه را داشت. شاخص ASV، ژنوتیپ‌های هشت، ۱۱، ۱۴، ۱۰ و شش، شاخص SIPC، ژنوتیپ‌های نه، ۱۴، ۱۱، ۱۰ و ۱۲، شاخص EV، ژنوتیپ‌های نه، ۱۲، ۱۴، ۱۰ و چهار، شاخص ZA، ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۱، نه، هشت و شش و شاخص WAAS، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۱۴، هشت، شش و یک را به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب کردند. بر اساس شاخص ssiASV، ژنوتیپ‌های چهار، هشت، شش، ۱۰ و هفت، شاخص ssiSIPC، ژنوتیپ‌های نه، چهار، شش و هشت، شاخص ssiEV، ژنوتیپ‌های چهار، نه و ۱۲، شاخص ssiZA، ژنوتیپ‌های شش، هشت، نه و چهار و شاخص ssiWAAS، ژنوتیپ‌های چهار، شش و هشت برترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد و پایداری بودند. بر اساس بای‌پلات AMMI، ژنوتیپ‌های شش، چهار و هشت با عملکرد دانه بیشتر از عملکرد کل و کم‌ترین مقادیر IPCA1، به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا شناسایی شدند. در بای‌پلات AMMI2، ژنوتیپ‌های شماره چهار، هشت، نه و ۱۲، علاوه بر پایداری عمومی بالا، دارای عملکرد دانه‌ای بالاتر از میانگین کل بودند. پایدارترین ژنوتیپ‌ها در شاخص برتری ژنوتیپ‌های شماره چهار و شش بودند. در مجموع و بر اساس شاخص‌های مختلف، ژنوتیپ‌های شماره چهار، شش و هشت در بسیاری از محیط‌ها، دارای عملکرد بالا و در بیشتر روش‌ها، دارای پایداری مطلوبی بودند و می‌توانند گزینه معرفی ارقام جدید باشند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، پایداری عملکرد، سازگاری، شاخص برتری، عدس.

Grain yield stability analysis of lentil genotypes by AMMI method indices

Rahmatollah Karimizadeh^{*1}, Payam Pezeshkpour², Asghar Mehraban³, Peyman Sharifi⁴ and Mohammad Barzali⁵

1. , Kohgiluyeh and Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran
2. Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran. 3. Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Moghan, Iran. 4. Department of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran. 5. Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran.
(Received: October 13, 2020 - Accepted: November 18, 2020)

ABSTRACT

In this study, 12 promising lentil genotypes along with Kimia and Gachsaran cultivars were cultivated during three cropping years (2010-2011) in Gachsaran, Gonbad, Khorramabad and Moghan regions. AMMI analysis of variance showed that the effects of environment, genotype and their interaction and the first six main components were significant. Genotype 4 (1196 kg / ha) had the highest grain yield. 8, 11, 14, 10 and 6 genotypes based on ASV index, 9, 14, 11, 10 and 12 genotypes based on SIPC index, 9, 12, 14, 10 and 4 genotypes based on EV index, selected genotypes 14, 11, 9, 8 and 6 based on ZA index and 11, 14, 8, 6 and 1 genotypes based on WAAS index were selected as the most stable genotypes. The best genotypes in terms of yield and stability were 4, 8, 6, 10 and 7 genotypes based on ssiASV, 9, 4, 6 and 8 genotypes based on ssiSIPC index, 4, 9 and 12 genotypes based on ssiEV index, 6, 8, 9 and 4 genotypes based on ssiZA index and 4, 6 and 8 genotypes based on ssiWAAS index. Based on AMMI1 biplot, 6, 4 and 8 genotypes with mean grain yield higher than total yield average and lowest values of IPCA1 were identified as stable genotypes with high general compatibility. In AMMI2 biplot, 4, 8, 9 and 12 genotypes high general stability and higher grain yield than the total average. The most stable genotypes in the

* Corresponding author E-mail: r.karimizadeh@areeo.ac.ir

superiority index were 4 and 6 genotypes. In general, based on different indices, 4, 6 and 8 genotypes had high yield in many environments and in the most methods, had good stability and could be candidates for introduction of new cultivars.

Keywords: Adaptability, biplot, lentil, Priority index, Yield stability.

مقدمه

محیط‌های مختلف خواهد داشت و در نتیجه، دارای کم‌ترین واریانس رتبه در محیط‌های مختلف خواهد بود. در این روش‌ها، برقراری فرض‌های اولیه هم‌چون نرمال بودن توزیع، مستقل بودن و یکنواختی واریانس‌ها ضرورتی ندارد (Bortz *et al.*, 1990) و همچنین اضافه یا کم کردن یک یا تعداد کمی از ژنوتیپ‌ها، بر شاخص پایداری اثری ندارد و تجزیه، تحلیل و تفسیر معیارهای ناپارامتری، بسیار ساده‌تر از معیارهای پارامتری است (Nassar & Huehn, 1987). در روش چندمتغیره اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (AMMI)، ابتدا تجزیه واریانس معمولی روی داده‌های مربوط به عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف انجام می‌شود و سپس اثرات متقابل با روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) تحلیل و بررسی می‌شود (Gauch & Zobel, 1988).

شاخص برتری (Superiority index, Pi) که میانگین مربعات فاصله بین واکنش یک ژنوتیپ و حداکثر واکنش در محیط‌ها را نشان می‌دهد، توسط Lin & Binns (1988) ارائه شد و برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط به کار می‌رود و محدودیت‌های روش رگرسیون را ندارد (Scapim *et al.*, 2000). هر چه مقدار Pi کوچکتر باشد، فاصله بین ژنوتیپ با ژنوتیپ دارای بیشترین میزان عملکرد، کمتر می‌شود و ژنوتیپ بهتری به‌شمار می‌آید. این شاخص که حاصل تلفیق توانایی تولید و پایداری است، ژنوتیپ پایدار را به‌عنوان ژنوتیپی با تظاهر نزدیک به بیشترین میزان عملکرد در محیط‌های مختلف تعریف می‌کند (Lin & Binns, 1988). از این‌رو، این شاخص به هدف به‌نژادگران که در آن، رقم برتر بایستی پرمحصول‌ترین رقم در بیشترین تعداد از محیط‌ها باشد، بسیار نزدیک است و می‌تواند ژنوتیپ‌های برتر را شناسایی کند.

تعدادی از پژوهش‌گران با روش‌های مختلف، پایداری ژنوتیپ‌های عدس را ارزیابی کرده‌اند. در پژوهشی، با

عدس (*Lens culinaris* Medik) یکی از گیاهان زراعی اصلی در بین حبوبات است که نقش مهمی را در تغذیه مردم در کشورهای درحال توسعه بازی می‌کند (Karimizadeh & Mohammadi, 2010). از آن‌جا که در ایران معمولاً عدس در شرایط دیم در بهار کشت می‌شود، کشت پاییزه آن از نظر افزایش راندمان بهره‌وری مصرف آب، موجب افزایش عملکرد دانه نسبت به کشت بهاره در شرایط دیم می‌شود (Sabaghnia *et al.*, 2006). دستیابی به ارقامی که بتواند به طیف گسترده‌ای از مناطق سازگار باشد، یکی از هدف‌های مهم در برنامه‌های به‌نژادی است (Karimizadeh *et al.*, 2013a).

از آن‌جا که تجزیه واریانس مرکب، فقط اطلاعاتی درباره برهمکنش ژنوتیپ و محیط به دست می‌دهد، پژوهش‌گران روش‌های گوناگونی را برای تعیین میزان پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها و گروه‌بندی آن‌ها به کار برده‌اند. آگاهی از برهمکنش ژنوتیپ و محیط به به‌نژادگران کمک می‌کند که در ارزیابی ژنوتیپ‌ها با دقت بیشتری عمل نمایند و بهترین ژنوتیپ‌ها را گزینش کنند (Lin *et al.*, 1986). پایداری یک گیاه زراعی، توانایی آن را برای زنده ماندن و تولید محصول در یک محیط ویژه نشان می‌دهد، به‌طوری‌که گیاه بتواند سرما، گرما، کمبود یا بیشبود آب، تغییرات طول روز، شدت نور و دامنه‌ی گسترده‌ای از شرایط شیمیایی و فیزیکی خاک را تحمل کند. بخش زیادی از این سازگاری به‌وسیله ژن‌های بزرگ اثر و کوچک اثر کنترل می‌شوند. سازگاری ممکن است در نتیجه یک واکنش ویژه‌ای برای تحمل خشکی، سرما، یخبندان و غیره و یا نسبت به دامنه گسترده‌ای از شرایط گوناگون محیطی در تولید عملکرد بالا باشد (Hawtin *et al.*, 1996). روش‌های گوناگونی برای ارزیابی و تحلیل پایداری ژنوتیپ‌های عدس به کار گرفته شده است؛ ژنوتیپ پایدار در روش‌های ناپارامتری تجزیه پایداری، رتبه‌های همانندی در

پایدار با استفاده از روش‌های تجزیه پایداری AMMI و ناپارامتری رتبه بود.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش که هدف آن، دستیابی به ارقام پرمحصول و سازگار با شرایط آب و هوایی مناطق دیم گرمسیری و نیمه‌گرمسیری کشور بود، در هر سال پیش از کشت، زمینی که در سال پیش از آن آیش بود، با گاوآهن شخم زده شد و با دیسک و روتواتور نرم شد. کود شیمیایی بر مبنای ۱۰۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم و ۳۵ کیلوگرم اوره، به هنگام عملیات تهیه زمین، به‌طور یکنواخت با خاک مخلوط شد. تعداد ۱۲ ژنوتیپ پیشرفته عدس به همراه ارقام شاهد کیمیا و گچساران (جدول ۱) که از آزمایش‌های پیشرفته مقایسه عملکرد سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ گزینش شده بودند، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و چهار منطقه گچساران، گنبد، خرم‌آباد و مغان، به مدت سه سال زراعی (۱۳۹۲-۱۳۸۹) و در کرت‌هایی به طول پنج و عرض یک متر، روی پنج خط با فاصله ۲۵ سانتی‌متر و تراکم ۲۰۰ دانه در مترمربع کشت شدند. ویژگی‌های جغرافیایی و میزان بارندگی سالانه مناطق اجرای آزمایش، به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. پس از برداشت، عملکرد دانه توزین شد.

تجزیه آماری

تجزیه‌های آماری با استفاده از بسته تجزیه آزمایش‌های چندمحیطی با نام METANetan (Multi environment trial analysis) (Olivoto, 2020) و GGE (Wright & Laffont, 2018) در نرم‌افزار R انجام شد. در این پژوهش، از پارامترهای تجزیه AMMI استفاده شد که روابط آن در جدول ۴ نشان داده شده‌اند.

در رابطه ۱ (ASV)، نسبت $SSIPC1/SSIPC2$ ، وزن اختصاص داده شده به نخستین محور مؤلفه اصلی (IPC1) است که با تقسیم مجموع مربعات IPC1 بر مجموع مربعات IPC2 (دومین محور مؤلفه اصلی) به‌دست می‌آید. ارزیابی ژنوتیپ‌ها با این شاخص، فقط بر اساس دو مؤلفه اصلی اول انجام می‌شود.

استفاده از روش‌های چندمتغیره تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و بای‌پلات، پایداری ۱۱ ژنوتیپ عدس در هفت منطقه از ایران در سه سال زراعی ارزیابی و نشان داده شد که دو مؤلفه اصلی اول و دوم، به ترتیب ۶/۱ و ۲/۳ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه می‌کردند (Dehghani *et al.*, 2008). در پژوهشی دیگر و با ارزیابی ۱۸ ژنوتیپ عدس با روش GGE بای‌پلات نشان داده شد که دو مؤلفه اصلی اول، به ترتیب ۴۹ و ۲۰ درصد از مجموع مربعات برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه می‌کرد و در بای‌پلات به‌دست آمده از این دو مؤلفه، ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شدند (Karimizadeh *et al.*, 2013b). همچنین در تحقیقی دیگر، با ارزیابی پایداری ۱۰ ژنوتیپ عدس با روش GGE بای‌پلات، توجیه ۴۸ و ۴۱ درصد از برهمکنش ژنوتیپ در محیط با دو مؤلفه اصلی اول و دوم دیده شد و بنابراین با اطمینان بالا نسبت به ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار اقدام شد (Karimizadeh *et al.*, 2013a). همچنین ارزیابی ۱۰ ژنوتیپ عدس با روش تجزیه پایداری AMMI نشان داد که اثر محیط، ژنوتیپ و برهمکنش این دو معنی‌دار بود و این سه جزء، به ترتیب ۸۹، ۲ و ۸/۶ درصد از مجموع مربعات کل ترکیبات تیماری را در بر می‌گرفتند (Karimizadeh & Mohammadi, 2010). در تحقیقی دیگر با روش‌های ناپارامتری، پایدارترین ژنوتیپ‌های عدس دیم در مناطق معتدل و نیمه گرمسیری ایران تعیین شدند (Sabaghnia *et al.*, 2006). برای تعیین سازگاری لاین‌های امیدبخش عدس در شرایط دیم منطقه اردبیل، از روش ناپارامتری رتبه‌ای استفاده شد و پایدارترین و پرمحصول‌ترین لاین معرفی شد (Allahyari, 2006). همچنین در بررسی پایداری عملکرد ارقام جدید عدس نشان داده شد که گزینش هم‌زمان برای عملکرد و هر یک از پارامترهای پایداری می‌تواند به شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار کمک کند (SolhNejad, 2004).

هدف از پژوهش حاضر، بررسی برهمکنش ژنوتیپ و محیط بر ژنوتیپ‌های عدس و شناسایی ژنوتیپ‌های

جدول ۱- نام و منشأ ژنوتیپ‌های عدس بررسی شده

Table 1. Name and origin of studied lentil genotypes

NO.	Name	Origin
1	FLIP 2005-4L	ICARDA
2	FLIP 2007-6L	ICARDA
3	FLIP 2006-3L	ICARDA
4	FLIP 2007-103L	ICARDA
5	Bilsen-365	ICARDA
6	FLIP 2005-32L	ICARDA
7	FLIP 2005-53L	ICARDA
8	FLIP 2005-3L	ICARDA
9	FLIP 2006-7L	ICARDA
10	FLIP 2007-12L	ICARDA
11	FLIP 2007-30L	ICARDA
12	FLIP 2007-34L	ICARDA
13	KIMIA	IRAN
14	GACHSARAN	IRAN

جدول ۲- ویژگی‌های جغرافیایی مناطق اجرای آزمایش

Table 2. Geographic characteristics of experimental area

Location	Above mean sea level (m)	Longitude	Latitude	Average rainfall (mm)
Gachsaran	710	50°,50' E	30°,17' N	450
Gonbad	45	55°,12' E	37°,16' N	550
Moghan	100	39°,39' E	47°,88' N	312
Khoramabad	1147	48°,18' E	33°,29' N	445

جدول ۳- میزان بارندگی سالانه مناطق اجرای آزمایش در طول فصل زراعی در سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۲

Table 3. Annual rainfall of experimental areas during the cropping seasons (2013-2016)

Location	Cropping Season		
	2010-2011	2011-2012	2012-2013
Gachsaran	417.1 (E1)	420.6 (E5)	503.7 (E9)
Khoramabad	364.2 (E2)	294.1 (E6)	363.6 (E10)
Gonbad	279.7 (E3)	476.1 (E7)	534.8 (E11)
Moghan	229.7 (E4)	356.1 (E8)	247.9 (E12)

دارای کمترین میزان این شاخص‌ها، پایدار نظر گرفته می‌شوند.

در رابطه ۵، $WAAS_i$ میانگین وزنی نمرات مطلق (weighted average of absolute scores) ژنوتیپ n ؛ $IPCA_{in}$ نمره ژنوتیپ n در n آمین محور مؤلفه اصلی برهمکنش (IPCA)؛ و EP_n مقدار واریانس توجیه شده توسط n آمین IPCA است. ژنوتیپ با کمترین مقدار $WAAS$ پایدار در نظر گرفته می‌شود (Olivoto *et al.*, 2019).

در رابطه ۶، $R(AMMI\ stability\ Indices)$ رتبه ژنوتیپ‌ها بر پایه هرکدام از شاخص‌های پایداری AMMI گفته شده در بالا و RY رتبه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در تمام محیط‌ها است. کاربرد این شاخص برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر از نظر

در رابطه ۲، λ_n ریشه مشخصه IPC در محور n است. در این رابطه، برای $SIPC1$ ، N برابر با یک و برای $SIPCF$ ، N برابر با تعداد IPC‌هایی است که در مدل باقی مانده است. در رابطه‌های ۳ و ۴، γ_{in} ریشه مشخصه برای محور n و N' (در رابطه ۴)، تعداد مؤلفه‌های اصلی است که در تجزیه واریانس AMMI با آزمون F معنی‌دار شده است. در رابطه ۴، θ_n درصد مجموع مربعات توجیه شده به وسیله n آمین محور IPC است. ارزیابی ژنوتیپ‌ها با رابطه‌های ۲ تا ۴ بر پایه تمام مؤلفه‌های اصلی باقیمانده در مدل انجام می‌شود و از این رو می‌تواند نسبت به شاخص ASV دارای برتری باشند. چهار شاخص بالا، برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار، بدون در نظر گرفتن عملکرد دانه به‌کار گرفته می‌شوند و بر اساس آن، ژنوتیپ‌های

عملکرد دانه و پایداری عملکرد دانه است که در دانه و پایداری عملکرد دانه توجه شده است. گزینش ژنوتیپ‌ها به هر دو شاخص میانگین عملکرد

جدول ۴- شاخص‌های تجزیه پایداری

Table 4. Stability analysis indices

Code	Index	Formula	References
1	AMMI stability value (ASV)	$ASV = \sqrt{\left[\frac{SSIPC1}{SSIPC2}(IPC1)^2\right] + (IPC2)^2}$	Purchase <i>et al.</i> , 2000
2	Sum of IPCs scores (SIPC)	$SIPC = \sum_{n=1}^N \lambda_n^{0.5} \gamma_{in}$	Sneller <i>et al.</i> , 1997
3	Eigenvalue (EV) stability parameter of AMMI	$EV = \sum_{n=1}^N \gamma_{in}^2 / n$	Zobel <i>et al.</i> , 1988
4	Absolute value of the relative contribution of IPCs to the interaction (Za)	$Za_i = \sum_{n=1}^N \theta_n \gamma_{in} $	Zali <i>et al.</i> , 2012
5	Weighted average of absolute scores (WASS)	$WAASB_i = \frac{\sum_{n=1}^N IPCA_{in} \times EP_n }{\sum_{n=1}^N EP_n}$	Olivoto <i>et al.</i> , 2019a
6	Simultaneous selection index (ssi)	SSI = R(AMMI stability Indices) + RY	Farshadfar, 2008

$i = 1, \dots, 12$ (تعداد ژنوتیپ‌ها); $n = 1, \dots, p$ (تعداد مؤلفه‌های اصلی)

$i = 1, \dots, 12$ (number of genotypes); $n = 1, \dots, p$ (number of principal components)

این‌رو تجزیه پایداری به روش AMMI انجام شد. برای انجام تجزیه AMMI، ابتدا ماتریس Z یا ماتریس انحراف حاصل از اثرات جمع‌پذیر محاسبه شد و سپس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، یک بار بر روی ماتریس Z برای ژنوتیپ‌ها و بار دیگر بر روی ماتریس Z برای محیط‌ها انجام شد. اولین (IPC1) و دومین (IPC2) مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ در محیط، به ترتیب ۳۶ و ۲۲/۹ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ و محیط را توجیه کردند و مؤلفه‌های باقی‌مانده در درجه‌های بعدی اهمیت قرار داشتند. در تطابق با این نتیجه، پژوهش‌گران دیگری نیز سهم ۶۱/۶ و ۳۱/۲ درصدی (Dehghani *et al.*, 2008)، ۴۹ و ۲۰ درصدی (Karimizadeh *et al.*, 2013b) و ۴۸ و ۴۱ درصدی (Karimizadeh *et al.*, 2013a) دو مؤلفه اصلی اول و دوم را در برهمکنش ژنوتیپ در محیط در ارزیابی ژنوتیپ‌های عدس نشان دادند. این نتایج هم‌چنین نشان داد که اثر شش مؤلفه اصلی اول، معنی‌دار بود و در مجموع ۹۷/۷ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه می‌کردند. سهم محیط، ژنوتیپ و

نمودارهای بای‌پلات نوع اول (AMMI1 (IPCA1 vs grain yield) و نوع دوم (AMMI2 (IPCA1 vs IPCA2) با روش استاندارد توضیح داده شده توسط Zobel *et al.* (1988) کشیده شدند.

برای محاسبه شاخص برتری Lin & Binns (1988) از رابطه γ استفاده شد که در آن، P_i برتری ژنوتیپ i ؛ X_{ij} عملکرد ژنوتیپ i در محیط j ؛ M_j حداکثر پاسخ به دست آمده در میان همه ارقام در محیط j و n تعداد محیط‌ها است.

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - M_j)^2}{2n}$$

رابطه ۷

نتایج و بحث

تجزیه واریانس AMMI

تجزیه واریانس نشان داد که اثرات محیط، ژنوتیپ و برهمکنش این دو در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مطالعه شده معنی‌دار بود. با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ و محیط، امکان تجزیه پایداری بر روی این داده‌ها وجود دارد؛ از

محیط‌های مختلف نشان می‌دهد؛ بنابراین با توجه به وابستگی تنوع عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس به محیط، نیاز به انجام تجزیه‌های بیشتر برای افزایش بازده گزینش ژنوتیپ‌ها است. به عبارت دیگر، وجود GEI معنی‌دار، نیاز به تشخیص عملکرد و سازگاری ژنوتیپ‌ها را بر اساس ارزیابی‌ها در چندین مکان و سال زراعی نشان می‌دهد. کاهش GEI متضمن گزینش ژنوتیپ‌هایی با بالاترین پایداری در طیف گسترده‌ای از محیط‌ها است.

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب روش امی برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس

Table 5. AMMI combined analysis of variance for seed yield of lentil genotypes

S.O.V.	df	MS	Percent
ENV	11	11943970**	87
REP(ENV)	24	241105	
"GEN "	13	264388**	2.3
ENV×GEN	143	113063**	10.7
PC1	23	252952**	36
PC2	21	176364**	22.9
PC3	19	118632**	13.9
PC4	17	113040**	11.9
PC5	15	92410**	8.6
PC6	13	55313*	4.4
Residuals	35	365624	2.3
Error	312	29240	-
CV (%)	-	16.51	

ns, * and **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: Non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

ژنوتیپ‌ها در تمام محیط‌ها نشان می‌دهد که بیش-ترین عملکرد دانه در ژنوتیپ چهار (۱۱۹۶ کیلوگرم در هکتار) و در پی آن در ژنوتیپ‌های شماره شش، هفت، هشت و ۱۳ دیده شد. بر اساس شاخص پایداری ASV، ژنوتیپ‌های شماره هشت، ۱۱، ۱۴، ۱۰ و شش با نمره‌های پایین، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. از شاخص ASV به‌عنوان یک معیار مفید برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار در عدس استفاده شده است (Dehghani *et al.*, 2008; Karimizadeh & Mohammadi, 2010; Karimizadeh *et al.*, 2013a; Karimizadeh *et al.*, 2013b). بر اساس شاخص SIPC، ژنوتیپ‌های شماره نه، ۱۴، ۱۱، ۱۰ و ۱۲، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند، در حالی که بر اساس شاخص EV، ژنوتیپ‌های شماره نه، ۱۲، ۱۴، ۱۰ و چهار از پایداری بیشتری برخوردار بودند. شاخص ZA نیز ژنوتیپ‌های شماره ۱۴، ۱۱، نه، هشت و شش را به‌عنوان پنج ژنوتیپ پایدار شناسایی کرد. بر پایه شاخص WAAS که برای برآورد آن، تمامی

برهمکنش این دو در مجموع مربعات کل، به‌ترتیب ۸۷، ۲/۳ و ۱۰/۷ درصد بود (جدول ۵). در تطابق با این نتیجه، در پژوهشی دیگر نیز سهم بیشتر اثر محیط در مجموع مربعات کل برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس گزارش شده بود (Karimizadeh & Mohammadi, 2010). اثر معنی‌دار ژنوتیپ و محیط، نشانه‌ای از پیش‌زمینه ژنتیکی گسترده مواد آزمایشی و تنوع مکان‌های آزمایشی و سال‌های زراعی است. اثر معنی‌دار GEI، عملکرد متفاوت ژنوتیپ‌ها را در

از آن‌جا که برهمکنش ژنوتیپ در محیط می‌تواند هر گونه پیشرفت برآمده از گزینش را کاهش دهد، بنابراین در گزینش ارقام، تلفیق پایداری با عملکرد می‌تواند نتایج خوبی را در پی داشته باشد. معنی‌دار شدن اثر شش مؤلفه اصلی، بر پیچیدگی زیاد اثر توأم ژنوتیپ و محیط در این آزمایش دلالت دارد و از این‌رو برای کاهش تأثیرات منفی این پیچیدگی، پژوهش‌گر باید از شاخص‌هایی در تجزیه پایداری استفاده کند که در برآورد آن‌ها، تعداد بیشتری از مؤلفه‌ها نقش دارند. از این‌رو، از شاخص‌های مختلف AMMI برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها و رسیدن به یک نتیجه با اعتبار بالا استفاده شد.

شاخص‌های پایداری AMMI و شاخص انتخاب

هم‌زمان (Simultaneous selection index, ssi)

با استفاده از پارامترهای مختلف AMMI، ابعاد گوناگون تغییرات ناشی از برهمکنش ژنوتیپ و محیط ارزیابی شد. در جدول ۶، میانگین عملکرد هر کدام از

مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار مدل با وزن‌های متفاوت به‌کار گرفته می‌شوند، ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۱۴، هشت، شش و یک، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. مزیت این شاخص نسبت به سایر شاخص‌های AMMI این است که در برآورد آن، از تمام مؤلفه‌های مدل با وزن‌های متفاوت استفاده می‌شود (Olivoto *et al.*, 2019).

جدول ۶- شاخص‌های پایداری، رتبه ژنوتیپ‌ها و شاخص انتخاب همزمان

Table 6. Stability indices, rank of genotypes and Simultaneous selection index (ssi)

Code	Yield (kg ha ⁻¹)	ASV	SIPC	EV	ZA	rY	rASV	rSIPC	rEV	rZA	ssiASV	ssiSIPC	ssiEV	ssiZA	WAAS	rWAAS	ssiWAAS
G1	994	10.7	38.9	0.0848	0.177	10	6	9	12	7	16	19	22	17	5.53	5	15
G2	1011	22.5	44.3	0.0778	0.28	9	12	11	11	12	21	20	20	21	9.53	12	21
G3	964	12.5	55.6	0.136	0.264	12	8	14	14	11	20	26	26	23	8.34	10	22
G4	1196	11.4	36.8	0.0559	0.199	1	7	6	5	8	8	7	6	9	6.52	8	9
G5	875	38.3	54.9	0.128	0.374	14	14	13	13	14	28	27	27	28	13.3	14	28
G6	1152	10.6	37.8	0.076	0.171	2	5	8	10	5	7	10	12	7	5.26	4	6
G7	1132	22.2	46.2	0.0693	0.283	3	11	12	9	13	14	15	12	16	9.65	13	16
G8	1084	6.66	37	0.069	0.167	4	1	7	8	4	5	11	12	8	5.19	3	7
G9	1047	16.5	24.3	0.026	0.16	6	9	1	1	3	15	7	7	9	5.66	7	13
G10	1019	10	33.6	0.0536	0.174	8	4	4	4	6	12	12	12	14	5.64	6	14
G11	947	7.45	32.7	0.0616	0.154	13	2	3	7	2	15	16	20	15	4.85	1	14
G12	1046	16.6	33.8	0.0505	0.203	7	10	5	2	9	17	12	9	16	6.9	9	16
G13	1048	27.1	39.6	0.0601	0.26	5	13	10	6	10	18	15	11	15	9.17	11	16
G14	982	9.28	29.3	0.0515	0.152	11	3	2	3	1	14	13	14	12	4.93	2	13

ASV: ارزش پایداری امی، SIPC: مجموع نمره‌های محورهای مؤلفه‌ها، EV: مقدار ویژه پارامتر پایداری AMMI، ZA: قدرمطلق سهم نسبی IPC در برهمکنش، WASS: میانگین وزنی نمرات مطلق، ssi: شاخص انتخاب همزمان.

ASV: AMMI stability value, SIPC: Sum of IPCs scores, EV: Eigenvalue stability parameter of AMMI, Za: Absolute value of the relative contribution of IPCs to the interaction; WASS: Weighted average of absolute scores, ssi: Simultaneous selection index.

مؤلفه‌های برهمکنش ژنوتیپ در محیط، به عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها نیز توجه شده است، ژنوتیپ‌های شماره چهار، شش و هشت برترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۶). همان‌گونه که گفته شد، آماره‌های ssi که در برآورد آن‌ها به هر دو جنبه پایداری و متوسط عملکرد یک ژنوتیپ توجه می‌شود و این معیارها در یک شاخص گرد آورده می‌شوند، محدودیت‌های گزینش ژنوتیپ فقط بر پایه شاخص پایداری کاهش می‌یابد و بهره‌گیری از این شاخص‌ها وابسته به این واقعیت است که پایدارترین ژنوتیپ‌ها همیشه بالاترین عملکرد را ندارند؛ از طرفی ژنوتیپ‌های پایدار اما با عملکرد پایین نیز با این شیوه برگزیده نمی‌شوند (Farshadfar, 2008). روش گزینش هم‌زمان برای عملکرد و پایداری در عدس (Sabaghnia *et al.*, 2006)، برای تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده شده است. همچنین Sabaghpour (2007)، از شاخص Ysi که توسط Kang (1988) معرفی شده بود، برای گزینش هم‌زمان برای عملکرد و پایداری استفاده کردند. در توجیه کاربرد روش گزینش هم‌زمان برای ارزیابی عملکرد و

از آن‌جا که در ارزیابی ژنوتیپ‌ها و برگزیدن ژنوتیپ‌های برتر با شاخص‌های بالا، فقط به جنبه پایداری ژنوتیپ‌ها اهمیت داده شده است، امکان برگزیدن ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین همچون ژنوتیپ‌های شماره یک، ۱۱ و ۱۴ وجود دارد که عملکرد آن‌ها، پایین‌تر از متوسط کل ژنوتیپ‌ها است؛ بنابراین از شاخص انتخاب هم‌زمان (ssi) بر پایه هر کدام از شاخص‌های بالا استفاده شد، به‌طوری‌که بر مبنای شاخص انتخاب هم‌زمان ssiASV که بر پایه شاخص پایداری ASV است، ژنوتیپ‌های شماره چهار، هشت، شش، ۱۰ و هفت را می‌توان ژنوتیپ‌های برتر از نظر پایداری و عملکرد دانه شناسایی کرد. انتخاب هم‌زمان ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص SIPC و عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های نه، چهار، شش و هشت را به عنوان برترین ژنوتیپ‌ها نظر گرفت. بر اساس انتخاب هم‌زمان بر پایه ssiEV، ژنوتیپ‌های شماره چهار، نه و ۱۲ و برای ssiZA، ژنوتیپ‌های شماره شش، هشت، نه و چهار به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شدند. بر پایه شاخص ssiWAAS که در برآورد آن، افزون بر تمام

صرف‌نظر از سایر مؤلفه‌ها و هم‌چنین عملکرد دانه می‌تواند منجر به نتایج نادرستی شود. برای نمونه، ژنوتیپ ۱۴ که در هر چهار شاخص AMMI پایدار بود، زمانی که از ssi برای هر یک از شاخص‌ها استفاده شد، جزو ژنوتیپ‌های منتخب قرار نگرفت. در سوی مقابل، ژنوتیپ شماره ۱۰ بود که بر اساس پارامترهای AMMI پایدار نبود، اما به‌عنوان یک ژنوتیپ برتر با توجه به شاخص‌های ssi آن‌ها برگزیده شد.

در این باره گفته شده است که زمانی که توجیه الگوی GEI با دو IPCA اول، کم تا متوسط می‌باشد (برای نمونه در محاسبه شاخص ASV)، لازم است در تفسیر احتیاط شود، زیرا ممکن است که تعداد بیشتری از محورها در الگوی GEI نقش داشته باشند، به‌طوری‌که حتی مؤلفه‌های اصلی آخر نیز سهمی در این برهمکنش‌ها می‌توانند داشته باشند (Olivoto et al., 2019).

روش امی در هر محیط، چهار ژنوتیپ برتر را از نظر عملکرد و پایداری انتخاب می‌کند که نتایج حاصل از این تجزیه در جدول ۷ نشان داده شده است.

پایداری، Moghadam (2003) با مقایسه این آماره با آماره‌های مختلف پایداری هم‌چون واریانس محیطی، ضریب تغییرات محیطی، ضریب رگرسیون، انحراف از خط رگرسیون و ضریب تبیین نشان داد که استفاده از روش گزینش هم‌زمان برای عملکرد و پایداری می‌تواند با اطمینان بیشتری فرایند گزینش را انجام دهد. هم‌چنین در پژوهشی دیگر برای بررسی پایداری عملکرد ارقام جدید عدس نشان داده شد که گزینش هم‌زمان برای عملکرد و هر یک از پارامترهای پایداری می‌تواند به شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار کمک کند (SolhNejad, 2004).

با وجود آن‌که گفته شده است که در صورت وجود برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ و محیط، اگر دو مؤلفه اصلی اول بیش از ۵۰ درصد از کل تغییرات را توجیه کند، بای‌پلات می‌تواند ابزار مناسبی برای مطالعه برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GEI) باشد (Crossa, 1990) و با آن‌که دو مؤلفه اصلی اول در این پژوهش، ۵۸/۹ درصد از GEI را توجیه کردند، اما مشاهده شد که گزینش ژنوتیپ‌ها فقط بر پایه این دو مؤلفه و

جدول ۷- چهار ژنوتیپ انتخابی هر محیط توسط روش امی

Table 7. Four selected genotypes in each environments based on AMMI method

Environment	Yield (kg ha ⁻¹)	score	First rank	Second rank	Third rank	Fourth rank
E1	1377	-14.295	G4	G7	G6	G13
E2	1560	11.640	G13	G10	G9	G6
E3	1298	10.952	G2	G9	G12	G13
E4	378	6.116	G12	G2	G6	G3
E5	1694	1.340	G7	G6	G13	G4
E6	682	3.010	G6	G3	G8	G7
E7	1337	2.781	G2	G5	G12	G4
E8	274	4.200	G4	G7	G6	G12
E9	1391	-5.325	G7	G4	G13	G14
E10	845	-1.463	G7	G3	G6	G1
E11	954	-25.134	G5	G8	G4	G7
E12	336	6.1764	G6	G7	G12	G4

ژنوتیپ شماره چهار در دو محیط یک (سال اول گچساران) و هشت (سال دوم مغان) به‌عنوان برترین ژنوتیپ، در محیط نه (سال سوم گچساران) در رتبه دوم، در محیط ۱۱ (سال سوم گنبد) در رتبه سوم و در محیط‌های پنج (سال دوم گچساران)، هفت (سال دوم گنبد) و چهار (سال اول مغان) هم در رتبه چهارم قرار گرفته است؛ بنابراین می‌تواند به‌عنوان یکی از پایدارترین ژنوتیپ‌ها در این روش انتخاب شود.

با نگاهی به این جدول در می‌یابیم که ژنوتیپ شش در دو محیط شش (سال دوم خرم‌آباد) و ۱۲ (سال سوم مغان) به‌عنوان برترین ژنوتیپ، در محیط پنج (سال دوم گچساران) در رتبه دوم، در محیط‌های شماره یک (سال اول گچساران)، چهار (سال اول مغان)، هشت (سال دوم مغان) و ۱۰ (سال سوم خرم‌آباد) در رتبه سوم و در محیط دو (سال دوم خرم‌آباد) هم در رتبه چهارم قرار گرفته است؛ بنابراین می‌تواند به‌عنوان یکی از پایدارترین ژنوتیپ‌ها در این روش انتخاب شود.

تفسیر بای پلات

دو محور افقی و عمودی بای پلات نوع اول AMMI (عملکرد دانه در برابر مؤلفه اصلی اول)، به ترتیب به عملکرد دانه به عنوان نمود یا بیان فنوتیپی یک ژنوتیپ و نخستین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتپ در محیط (IPC1) اختصاص داده می‌شوند و بر مبنای بزرگی (مثبت یا منفی) و کوچکی (نزدیک به صفر و مبدأ مختصات) ضرایب ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در این مؤلفه اصلی، پایداری آن‌ها شناسایی می‌شود. ژنوتیپ‌های دارای مقادیر اولین مؤلفه اصلی (IPCA1) بزرگ (مثبت یا منفی)، برهمکنش بالایی با محیط دارند، در حالی که ژنوتیپ‌ها و محیط‌های دارای مقادیر اولین مؤلفه اصلی نزدیک به صفر، دارای برهمکنش پایینی هستند. بنابراین بر این اساس، ژنوتیپ‌های شماره یک، سه، چهار، شش، هشت، ۱۴، ۱۰ و ۱۱ دارای کم‌ترین مقادیر IPCA1 بودند، ولی فقط میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های شماره شش، چهار و هشت بیش‌تر از میانگین کل (۱۰۳۵/۵ کیلوگرم در هکتار) و شاهد گچساران (۹۸۲ کیلوگرم در هکتار) بود و به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا معرفی شدند. از سوی دیگر، ژنوتیپ‌های شماره پنج و ۱۳، دورترین ژنوتیپ‌ها از مبدأ بای پلات (دارای بیش‌ترین ضرایب در مؤلفه اصلی اول) بودند و بر اساس این شاخص، ناپایدار بودند (شکل ۱)؛ البته بیشتر ژنوتیپ‌ها در اطراف محور عمودی پراکنده بودند و کم‌ترین فاصله را از این محور داشتند. محیط‌های شماره شش، ۱۰، هفت، یک و سه به ترتیب خرم‌آباد (سال دوم)، خرم‌آباد (سال سوم)، گنبد (سال دوم)، گچساران (سال اول) و گنبد (سال اول)، دارای کمترین مقدار IPCA1 و کمترین برهمکنش ژنوتپ در محیط بودند؛ به این ترتیب این محیط‌ها به نسبت محیط‌های دیگر، پایداری عملکرد بهتری داشتند، ولی بجز محیط‌های یک (سال اول گچساران)، هفت (سال دوم گنبد) و سه (سال دوم گنبد)، دیگر محیط‌ها میانگین عملکرد پایین‌تری نسبت به میانگین کل داشتند (شکل ۱). توضیح این نکته ضروری است که اگر تصمیم‌گیری برای شناساندن ژنوتیپ‌های پایدار بر

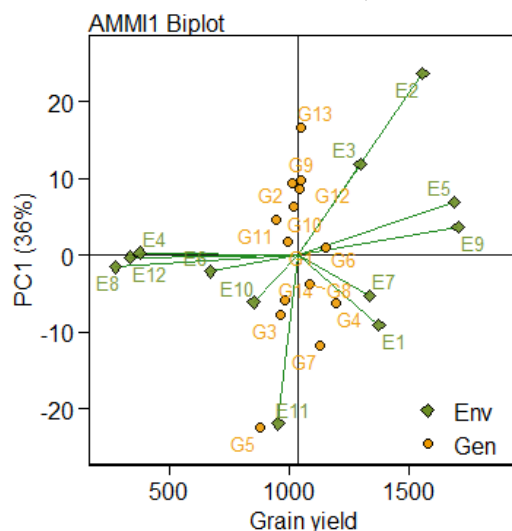
مبنای این نمودار باشد که در کشیدن آن، فقط از مؤلفه اصلی نخست بهره گرفته شده است که تنها ۳۶ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه می‌کند، می‌تواند به نتایج نادرستی بیانجامد؛ از این رو، از روش بای پلات نوع دوم AMMI استفاده شد که در آن از ضرایب هر دو مؤلفه اصلی اول و دوم بهره گرفته شده است.

با توجه به سهم بالای دو مؤلفه اصلی اول و دوم در برهمکنش ژنوتیپ و محیط (۵۸/۹ درصد) نسبت به بای پلات نوع اول، به نظر می‌رسد که ارزیابی ژنوتیپ‌ها با بای پلات نوع دوم AMMI به واقعیت نزدیک‌تر باشد و ژنوتیپ‌های پایدار را به شکل بهتری شناسایی کند (Olivoto *et al.*, 2019). در این نمودار، ژنوتیپ‌های شماره هفت، پنج، دو، ۱۳، یک و شش با بیشترین فاصله از مبدأ بای پلات، سهم بالایی در برهمکنش ژنوتیپ در محیط داشتند و ژنوتیپ‌های ناپایداری بودند، اما این ژنوتیپ‌ها، بهترین یا ضعیف‌ترین در برخی یا تمام محیط‌ها و دارای سازگاری به برخی از محیط‌ها بودند، به طوری که در هر بخش، ژنوتیپ جای‌گرفته در رأس آن، بهترین ژنوتیپ برای محیط‌های واقع در آن است (Yan *et al.*, 2000). در هرکدام از بخش‌های این نمودار چندضلعی، ژنوتیپ‌های سازگار با برخی از محیط‌ها قابل شناسایی است. بر این اساس، ژنوتیپ پنج به عنوان ژنوتیپ رأسی و ژنوتیپ‌های شماره سه، ۱۴ و هشت درون آن بخش‌ها، بهترین ژنوتیپ‌ها برای محیط‌های شماره ۱۱، هفت، شش و هشت بودند.

در بخش بعدی این چندضلعی، ژنوتیپ‌های شماره دو، ۱۲ و نه، بهترین ژنوتیپ برای محیط‌های شماره چهار، ۱۲ و سه بودند. در بخش سوم، ژنوتیپ‌های شماره ۱۳، ۱۰ و ۱۱، بهترین ژنوتیپ‌ها برای محیط‌های شماره دو، پنج و نه بودند. ژنوتیپ‌های شماره یک و شش بر پایه این نمای بای پلات، برای هیچ‌کدام از محیط‌ها شایستگی نداشتند. در آخرین بخش از این نمودار، ژنوتیپ‌های شماره هفت و چهار، مناسب برای محیط‌های شماره ۱۰ و یک شناسایی شدند. از دیگر کاربردهای این نمودار، علاوه بر شناسایی ژنوتیپ‌های

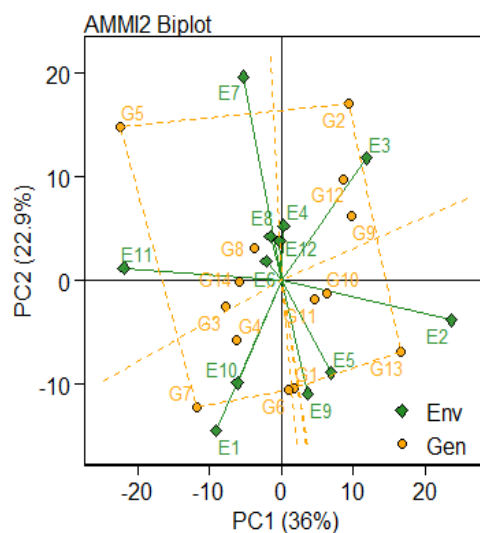
نوع دوم، ژنوتیپ‌های پایدار عدس را شناسایی کرده‌اند (Karimizadeh & Mohammadi, 2010; Karimizadeh *et al.*, 2013a; Karimizadeh *et al.*, 2013b).

سازگار به هر محیط، معرفی ژنوتیپ‌های با پایداری عمومی است، به طوری که ژنوتیپ‌های شماره هشت، ۱۴، سه، چهار، ۱۱، ۱۰ و تا حدودی نه و ۱۲، دارای پایداری عمومی بالایی بودند. در تطابق با یافته حاضر، پژوهشگران دیگری نیز با استفاده از روش بای‌پلات



شکل ۱- بای‌پلات AMMI1 برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر عدس بر پایه میانگین عملکرد دانه و مولفه اصلی اول. اسامی ژنوتیپ‌ها مطابق با جدول ۱ و اسامی محیط‌ها مطابق با جدول ۳ است.

Figure 1. AMMI1 biplot to identify the superior lentil genotypes based on mean seed yield and PC1.



شکل ۲- بای‌پلات AMMI2 برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر عدس بر پایه دو مولفه اصلی اول. اسامی ژنوتیپ‌ها مطابق با جدول ۱ و اسامی محیط‌ها مطابق با جدول ۳ است.

Figure 2. AMMI2 biplot to identify the superior lentil genotypes based on the first two PCs. The name of genotypes and environments are based on the table 1 and 3, respectively.

از شاخص برتری (PI) Lin and Binns (1988) هم استفاده شده است که این شاخص، برتری عمومی رقم را در تمام محیط‌ها (Pi_a)، محیط‌های مطلوب (Pi_f)

شناسایی ژنوتیپ‌های برتر بر پایه شاخص برتری لین و بینز در این پژوهش علاوه بر شاخص‌های مختلف AMMI،

شش، چهار و سه برترین ژنوتیپ‌ها بودند. بنابراین و بر اساس این سه شاخص، ژنوتیپ‌های شماره چهار و شش، برترین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مطالعه شده بودند. در تطابق با این نتیجه، Dehghani *et al* (2008) با استفاده از شاخص Pi در ژنوتیپ‌های عدس، پایدارترین ژنوتیپ‌ها را شناسایی کردند.

و محیط‌های نامطلوب (Pi_u) اندازه‌گیری می‌کند. بر اساس شاخص Pi_a، ژنوتیپ‌های شماره چهار، شش، هفت و هشت ژنوتیپ‌های برتر بودند. در محیط‌های مطلوب نیز چهار ژنوتیپ برتر به ترتیب عبارت از ژنوتیپ‌های شماره چهار، شش، ۱۳ و هفت بودند، در حالی که در محیط‌های نامطلوب، ژنوتیپ‌های هفت،

جدول ۸- شناسایی ژنوتیپ‌های برتر عدس با شاخص برتری در کل محیط‌ها، محیط‌های مطلوب و نامطلوب
Table 8. Identification the superior lentil genotypes by superiority index in all, favourable and unfavourable environments.

GEN	Y	Pi_a	R_a	Pi_f	R_f	Pi_u	R_u
G1	994	86382	10	134375	12	38388	6
G2	1011	95297	11	102149	9	88445	12
G3	964	112256	13	206517	13	17994	4
G4	1196	15569	1	16004	1	15134	3
G5	875	162612	14	279697	14	45527	8
G6	1152	24804	2	39592	2	10017	2
G7	1132	37276	3	65724	4	8828	1
G8	1084	48285	4	68090	5	28479	5
G9	1047	63149	5	69995	6	56304	10
G10	1019	74967	7	104433	11	45502	7
G11	947	104767	12	104139	10	105396	14
G12	1046	69825	6	85037	8	54613	9
G13	1048	76141	8	62507	3	89774	13
G14	982	82793	9	84555	7	81032	11

مبنای شاخص انتخاب همزمان ssiASV، ژنوتیپ‌های شماره چهار، هشت، شش، ۱۰ و هفت، شاخص ssiSIPC، ژنوتیپ‌های شماره نه، چهار، شش و هشت، شاخص ssiEV، ژنوتیپ‌های شماره چهار، نه و ۱۲، شاخص ssiZA، ژنوتیپ‌های شماره شش، هشت، نه و چهار و شاخص ssiWAAS، ژنوتیپ‌های شماره چهار، شش و هشت برترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر پایه بای پلات AMMI1، ژنوتیپ‌های شماره شش، چهار و هشت با میانگین بیشتر از میانگین کل (۱۰۳۵/۵) کیلوگرم در هکتار) و شاهد گچساران (۹۸۲ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقادیر IPCA1، به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا بودند. بر پایه بای پلات AMMI2، ژنوتیپ‌های شماره چهار، هشت، نه و ۱۲، علاوه بر پایداری عمومی بالا، دارای میانگینی بالاتر از میانگین کل بودند. این نمودار، افزون بر شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا، ژنوتیپ‌های سازگار برای هر محیط را نیز شناسایی کرد. در ارتباط با مقایسه شاخص‌ها، از آنجا که در محاسبه شاخص WAAS، تمامی مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار با وزن‌های متفاوت

نتیجه‌گیری کلی

از آنجا که نتایج تجزیه واریانس مرکب، گویای معنی‌دار بودن اثر محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و محیط بود، تجزیه پایداری با شاخص‌ها و بای پلات‌های AMMI انجام شد. سهم محیط، ژنوتیپ و برهمکنش این دو در مجموع مربعات کل، به ترتیب ۸۰، ۲/۳ و ۱۰/۷ درصد بود. تجزیه واریانس AMMI نشان داد که شش مؤلفه اصلی اول، اثر معنی‌داری در برهمکنش ژنوتیپ و محیط داشتند. در بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده، بیشترین عملکرد دانه در ژنوتیپ چهار (۱۱۹۶ کیلوگرم در هکتار) و در پی آن در ژنوتیپ‌های شماره شش، هفت، هشت و ۱۳ دیده شد. بر اساس شاخص پایداری ASV، ژنوتیپ‌های شماره هشت، ۱۱، ۱۴، ۱۰ و شش، شاخص SIPC، ژنوتیپ‌های شماره نه، ۱۴، ۱۱، ۱۰ و ۱۲؛ شاخص EV، ژنوتیپ‌های شماره نه، ۱۲، ۱۴، ۱۰ و ۴؛ شاخص ZA نیز ژنوتیپ‌های شماره ۱۴، ۱۱، نه، هشت و شش و شاخص WAAS، ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۱۴، هشت، شش و یک پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر

شد که بر این اساس نیز ژنوتیپ‌های شماره چهار و شش، برترین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مطالعه شده بودند. در مجموع و بر پایه شاخص‌های مختلف، ژنوتیپ‌های شماره چهار، شش و هشت در بسیاری از محیط‌ها (ترکیبی از سال و مکان) و در بیشتر روش‌ها، دارای عملکرد و پایداری مطلوبی بودند و می‌توانند نامزد معرفی ارقام جدید باشند.

به‌کار گرفته شده‌اند، پایداری عملکرد را به شکل بهتری نشان می‌دهند و ژنوتیپ‌های برگزیده با این شاخص از پایداری مطمئن‌تری برخوردار هستند و پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده برای تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها، این روش بیشتر مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر شاخص‌های AMMI، از شاخص برتری لین و بینز نیز برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر استفاده

REFERENCES

- Allahyari, N. (2006). Determining the compatibility of promising lentil lines in the dryland conditions of Ardabil region. *9th Iranian Crop Sciences Congress*. Abu Raihan Campus, University of Tehran. P: 231. (In Persian)
- Bortz, J., Lienert G. A. & Boehnke, K. (1990). *Verteilungsfreie methoden in der biostatistik* (1st ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Dehghani, H., Sabaghpour, S. H. & Sabaghnia, N. (2008). Genotype \times environment interaction for grain yield of some lentil genotypes and relationship among univariate stability statistics. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6(3), 385-394.
- Farshadfar, E. (2008). Incorporation of AMMI stability value and grain yield in a single non-parametric index (GSI) in bread wheat. *Pakistan Journal of Biological Science*, 11, 1791-1796.
- Gauch, H. G. & Zobel, R. W. (1988). Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. *Theoretical and Applied Genetics*, 76(1), 1-10.
- Hawtin, G., Iwanage, M. & Hodykin, T. (1996). Genetic resources in breeding for adaptation. *Euphytica*, 92, 255-266.
- Kang, M.S. (1988). A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. *Cereal Research Communicatio*, 16, 113-115.
- Karimizadeh, R. & Mohammadi, M. (2010). AMMI adjustment for rainfed lentil yield trials in Iran. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 16: 66-73.
- Karimizadeh, R., Mohammadi M. & Sabaghnia, N. (2013a). 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., Mohammadi, M., Sabaghnia, N., Mahmoodi, A. A., Roustami, B., Seyyedi, F. & Akbari, F. (2013b). GGE biplot analysis of yield stability in multi-environment trials of lentil genotypes under rainfed condition. *Notulae Scientia Biologicae*, 5(2), 256-262
- Lin, C. S., Binns, M. R. & Lefcovitch, L. P. (1986). Stability analysis: Where do we stand? *Crop Science*, 26, 894-900.
- Lin, C. S. & M. R. Binns. (1988). A superiority measure of cultivar performance for cultivar \times location data. *Canadian Journal of Plant Science*, 68, 193-198.
- Moghadam, A. (2003). Simultaneous selection for yield and stability and it's comparison with stability different statistics. *Seed and Plant Journal*, 19, 1-13. (In Persian)
- Nassar, R., & Huehn, M. (1987). Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. *Biometrics*, 43, 1. 45-53.
- Olivoto, T. & DalCol Lucio, A. (2020). Metan: an R package for multi-environment trial analysis, *Methods in Ecology Evolution*, 11,783-789.
- Olivoto, T., Lucio, A. D. C., da Silva, J. A. G., 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, 2949-2960.
- Purchase, J. L., Hattting, H. & Van Deventer, C. S. (2000). Genotype \times environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. *South African Journal of Plant and Soil*, 17(3), 101-107.
- Scapim, C. A., Oliveira, V. R., Braccini, A. L., Cruz, C., Andrade, C. A. B. & Vidigal, M. C. G. (2000). Yield stability in maize (*Zea mays* L.) and correlations among the parameters of the Eberhart and Russell, Lin and Binns and Huehn models. *Genetics and Molecular Biology*. 23 (2), 387-393.
- Sabaghnia, N., Dehghani, H. & Sabaghpour, S. H. (2006). Non parametric methods for interpreting genotype \times environment interaction of Lentil genotypes. *Crop Science*, 46, 1100-1106.

20. Sabaghpour, S. H. (2007). Stability analysis of grain yield for promising lentil lines in autumn planting under dryland conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 8 (4), 312-322. (In Persian)
21. Sneller, C. H., Kilgore-norquest, L. & Dombek, D. (1997). Repeatability of yield stability statistics in soybean. *Crop Science*, 7, 383-390
22. SolhNejad, B. (2004). *Evaluation of yield stability of new lentil cultivars*. MSc Thesis. Islamic Azad University of Ardabil Branch, Iran. (In Persian)
23. Wright, K. & Laffont, J. L. (2018). *R package for GGE biplot*. Github Company, Newyork, USA.
24. Zali, H., Farshadfar, E., Sabaghpour, S. H. & Karimizadeh, R. (2012). Evaluation of genotype \times environment interaction in chickpea using measures of stability from AMMI model. *Annals of Biological Research*, 3, 3126-3136.
25. Zobel, R. W., Wright, A. J. & Gauch, H. G. (1988). Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 80, 388-393.