"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و هفتم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.23223243.2021.19.1.29.0

ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس (*Lens culinaris* Medik) دیم در مناطق سرد دیم در ایران

Assessment of adaptability and seed yield stability of rainfed lentil (*Lens culinaris* Medik) genotypes in cold dryland regions in Iran

سیده‌سودابه شبیری[۱]، علی‌اکبر اسدی[۲]، مژگان تبریزی‌وند طاهری[۳] و هادی شوریده[۴]

چکیده

شبیری، س.س.، ع.ا. اسدی، م. تبریزی‌وند طاهری و ه. شوریده. ۱۴۰۴. ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس (*Lens culinaris* Medik) دیم در مناطق سرد دیم در ایران. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۷ (۱): ۲۱۰ -۱۹۲.**

سازگاری و پایداری عملکرد ارقام گیاهی در شرایط مختلف محیطی، یکی از اهداف مهم به‌نژادی گیاهان زراعی است. در همین ارتباط، شناسایی ژنوتیپ‌های جدید پرمحصول، سازگار و عملکرد دانه پایدار عدس نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. به همین منظور، سازگاری و پایداری عملکرد دانهٔ هفت ژنوتیپ پیشرفته عدس دیم حاصل از برنامه‌های به‌نژادی همراه با سه رقم شاهد (کیمیا، بیله سوار و سنا) در سه سال زراعی (۱۴۰۱ تا ۱۴۰۴) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سه ایستگاه تحقیقاتی از مناطق سردسیر دیم کشور (مراغه؛ Mara، شیروان؛ Shir و زنجان؛ Zan) مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد که اثر محیط و برهمکنش ژنوتیپ و محیط معنی‌دار بودند. محیط، ژنوتیپ و برهمکنش آنها به‌ترتیب ۷۸/۵، ۳/۴ و ۱۲/۶ درصد از تغییرات مجموع مربعات کل را تبیین کردند. در تجزیه AMMI دو مؤلفه اصلی اول و دوم در مجموع ۷۲ درصد از تغییرات مربوط به برهمکنش ژنوتیپ و محیط را تبیین کردند. تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که ژنوتیپ‌های G6 و G1 با دارا بودن کمترین مقدار IPCA1 و عملکرد دانه بالاتر از میانگین عملکرد کل، به‌عنوان ژنوتیپ‌های دارای سازگاری عمومی با عملکرد دانه بالا و پایدار شناخته شدند. ژنوتیپ G8 در محیط مراغه سال سوم (Mara3)، ژنوتیپ G4 در محیط‌های مراغه سال اول (Mara1) و مراغه سال دوم (Mara2) و ژنوتیپ‌های G2 و G3 در محیط زنجان سال اول (Zan1) دارای سازگاری خصوصی بودند. تجزیه GGE Biplot نشان داد که ژنوتیپ‌های G6، G1 با عملکرد دانه بالاتر از میانگین، دارای عملکرد دانه پایدارتر بودند. محیط زنجان سال سوم (Zan3) با توانایی تمایز و نمایندگی، محیط مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های پر محصول و سازگار بود. محیط‌های زنجان سال اول، زنجان سال دوم و مراغه سال سوم (به‌ترتیب Zan1، Zan2 و Mara3) در حلقه‌های نزدیک مبدأ بای‌پلات نیز دارای کمترین توانایی جداکنندگی بین ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ‌های G5، G1 و G6 با کمترین فاصله از ژنوتیپ مطلوب فرضی، به‌عنوان برترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. در مجموع می‌توان محیط‌های شیروان سال اول، زنجان سال سوم، شیروان سال دوم و زنجان سال دوم (Shir1، Zan3، Shir2 و Zan2) (شیروان و تا حدوی زنجان) و محیط‌های مراغه سال اول، مراغه سال دوم و زنجان سال اول (Mara1، Mara2 و Zan1) را به دلیل دارا بودن همبستگی بالا با عملکرد دانه به‌عنوان محیط‌های مشابه در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: تجزیه بای‌پلات، تجزیه امی، سازگاری عمومی، عدس دیم و عملکرد دانه

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۷ این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی شماره ۰۱۱۰۸۰-۰۲۷-۱۵-۴۷-۰ مصوب سازمان تحقیقات کشاورزی می‌باشد

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

۲- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران (مکاتبه کننده، asadipm@gmail.com .✉)

۳- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران

۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان شمالی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیروان، ایران

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-12]

Assessment of adaptability and seed yield stability of rainfed lentil (*Lens culinaris* Medik) genotypes in cold dryland regions in Iran

Shobeiri, S.S.[1], Asadi, A.A.[2], Tabrizivand Taheri, M.[3] and Shoorideh, H.[4]

ABSTRACT

Shobeiri, S.S, Asadi, A.A, Tabrizivand Taheri, M. and Shoorideh, H. 2025. Assessment of adaptability and seed yield stability of rainfed lentil (*Lens culinaris* Medik) genotypes in cold dryland regions in Iran**. Iranian Journal of Crop Sciences. 27(1): 192-210. (In Persian).**

Introduction: Adaptability and yield stability of crop cultivars under different environmental conditions is one of the important goals in crop breeding programs. Therefore, selection of genotypes with yield stable and reliablity for increasing yield under different environmental conditions is among the most important goals in sustainable crop production. Legume crops are often grown in rotation with cereal crops, because of their role in fixing nitrogen in the soil. In recent decades, breeders have paid great attention to lentil breeding programs, focusing on breeding cultivars with high yield and yield stability, high seed quality, and tolerance to biotic and abiotic stresses. In this regard, identifying new adapted lentil cultivars that are high yielding with yield stabilty is also of paramount importance.

Materials and Methods: Seven advanced rainfed lentil genotypes, developed by lentil breeding program at Dryland Agricultural Research Institute of Iran, along with three control cultivars (Kimia, Bilesavar and Sana) were evaluated for seed yield and yield stability in three cropping seasons 2021-22, 2022-23 and 2023-24 in a randomized complete block design with three replications at three research stations in the cold rainfed regions Maragheh; Mara., Shirvan; Shir, and Zanjan; Zan. The GGE biplot and AMMI methods were used to assess the adapatability and seed yield stability of lentile genotypes.

Results: Combined analysis of variance showed that the effect of environment and genotype × environment interaction effect on seed yield was significant. Environment, genotype, and the interaction of them explained 78.5%, 3.4% and 12.6% of the total sum of squares variation, respectively. AMMI analysis of variance showed that the first and second principal components explained 72% of the total variation related to the genotype × environment interaction. Genotypes G6 and G1, with the lowest IPCA1 and higher than average seed yield, were identified as yield-stable genotypes with high broad adaptation. Genotype G8 had specific adaptability with Mara3 environment, genotype G4 with the Mara1 and Mara2 environments, and genotypes G2 and G3 with the Zan1 environment. GGE Biplot analysis showed that genotypes G6, G1, and to some extent G9 were among the most yield-stable genotypes with above-average seed yield. The Zan3 environment with the ability to differentiate and representation was suitable environment for selection of adapted genotypes with high yield. The Zan1, Zan2 and Mara3 environments in the circles near the origin of the biplot also had the lowest ability to separate genotypes. Genotypes G5, G1, and G6 were identified as the best genotypes with the shortest distance from the hypothetical ideal genotype. Finally, environments Shir1, Zan3, Shir2, and Zan2 (Shirvan and Zanjan) on the one hand, and environments Mara1, Mara2, and Zan1 on the other hand, can be considered as similar environments due to their high correlation.

Conclusion: Lentil genotypes G5, G1 and G6 were identified as the superior genotypes. Genotypes G6 and G1 were identified as hiher yielding and seed yield-stable genotypes with high broad adaptation.

Key words: AMMI analysis, Biplot analysis, and Broad adaptation, Rainfed lentil and Seed yield

Received: November, 2025 **Accepted**: **January, 2026**

1. Assistant Prof., Field and and Horticultural Crops Science Research Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zanjan, Iran

2. Assistant Prof., Field and Horticultural Crops Science Research Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zanjan, Iran. (Corresponding author, ✉ asadipm@gmail.com)

3. Assistant Prof., Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Reaearch, Education and Extention Organization (AREEO), Maragheh, Iran

4. Assistant Prof., Field and Horticultural Crops Science Research Department, North Khrasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shirvan, Iran

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-12]

مقدمه

عدس (*Lens culinaris* Medik) یکی از گیاهان زراعی مهم در بین حبوبات است که نقش مهمی در تغذیه مردم در کشورهای در حال توسعه دارد (Karimizadeh and Mohammadi, 2010). عدس به دلیل استفاده در غذای انسان، تامین علوفه دام و تامین حاصلخیزی خاک، دارای اهمیت خاصی در نظام‌های زراعی است و به دلیل نیاز کم به آب، در اکثر دیمزارها همراه با نخود به‌جای آیش در تناوب با غلات قرار داده می‌شود. عدس عمدتاً در شبه قاره هند، منطقه مدیترانه و آمریکای شمالی کشت شده و ضمن تثبیت زیستی نیتروژن باعث افزایش حاصلخیزی خاک، مخصوصاً در مناطق دیم می‌شود و از این جهت یک گیاه تناوبی مناسب برای غلات دیم محسوب می‌شود (Kochaki and Banayan Aval, 1993). محتوای پروتئین دانه عدس تا 30 درصد و ویتامین‌های گروه B در آن قابل توجه و محنوای آهن دانه عدس بیشتر از دانه گندم و برنج است (Sellami *et al*., 2019). سطح زیر کشت و عملکرد عدس در دنیا و ایران به ترتیب ۲۶۷۵۷۵۶ و ۱۳۱۹۱۲ هکتار و ۱۲۴۵/۴ و ۶۰۳/۸ کیلوگرم در هکتار گزاش شده است (FAOSTAT, 2023).

عوامل مختلفی در پایین بودن عملکرد دانه عدس مؤثر هستند که از جمله آنها پایین بودن عملکرد بالقوه (پتانسیل) و عدم سازگاری ارقام محلی با شرایط دیم است (Sabaghpour *et al*., 2004). حبوبات اغلب به‌عنوان گیاهان تناوبی با غلات کشت می‌شوند، و با توجه به رکود تولید و عملکرد حبوبات در کشورهای در حال توسعه، تحقیق و توسعه در بسیاری از این کشورها بر افزایش عملکرد، میزان تولید و کاهش تلفات محصول گیاهان غلاتی متمرکز شده است. با توجه به نقش‌های متنوعی که تناوب حبوبات-غلات در سامانه‌های کشاورزی و امنیت غذایی ایفا می‌کنند، تحقیقات روی این گروه از گیاهان اثر قابل‌توجهی بر امنیت غذایی و حاصلخیزی خاک خواهد داشت.

در سال‌های اخیر توجه زیادی به برنامه‌های به‌نژادی عدس با تمرکز بر به‌نژادی ارقامی با پتانسیل عملکرد بالا، کیفیت بالای دانه و تحمل به تنش‌های زیستی و غیر زیستی معطوف شده است (Tyagi and Hafiz Khan, 2011).

سازگاری و پایداری عملکرد ارقام گیاهی در شرایط مختلف محیطی، یکی از اهداف مهم در به‌نژادی گیاهان زراعی است و سازگاری طولانی‌مدت ارقام و توده‌های بومی در شرایط مختلف محیطی یک ویژگی مهم جهت استفاده از این ارقام در کشاورزی پایدار محسوب می‌شود. در برنامه‌های به‌نژادی، برای معرفی ژنوتیپ‌های برتر، عملکرد به‌تنهایی معیار مطلوبی جهت گزینش نبوده، بلکه میزان سازگاری و پایداری ژنوتیپ‌ها نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برای این کار به‌طور معمول، آزمایش‌های مقایسه عملکرد در سال‌ها و مناطق مختلف انجام می‌شود. وجود برهمکنش بین ژنوتیپ و محیط باعث پیچیده شدن ارزیابی ژنوتیپ در محیط‌های مختلف و پیش‌بینی عملکرد شده و برآورد این اثر برای محققان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تجزیه پایداری عملکرد، مهم‌ترین روشی است که توسط آن می‌توان ارقام پایدار و سازگار را شناسایی نمود. بر این اساس مطالعه برهمکنش ژنوتیپ و محیط، روش مناسبی برای شناسایی ارقام سازگار است (Farshadfar and Sutka, 2006). در همین راستا برنامه‌های به‌نژادی عدس، بر پایه انتخاب ژنوتیپ‌های برتر با استفاده از عملکرد و صفات مختلف گیاهی به طور هم‌زمان در نظر گرفته می‌شوند (Sallemi *et al*., 2021). با این‌حال، برنامه‌های به‌نژادی با استفاده از این روش، با محدودیت‌هایی مانند انتخاب ژرم‌پلاسم، ژنتیک و روابط ژنتیکی بین صفات مورد انتخاب، مواجه می‌باشد (Sallemi *et al*., 2021; Olivoto and Nardino, 2021).

روش‌های ارزیابی پایداری را می‌توان به دو گروه

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-12]

روش‌های پارامتری (تک متغیره و چند متغیره) و ناپارامتری تقسیم‌بندی نمود. از میان روش‌های چندمتغیره می‌توان به روش اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثر متقابل ضرب‌پذیر (AMMI) که بر مبنای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی است، اشاره کرد. در روش AMMI آثار اصلی ژنوتیپ و محیط با استفاده از تجزیه واریانس متداول برآورد شده و پس از آن با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، برهمکنش ژنوتیپ و محیط که به برهمکنش ضرب‌پذیر معروف است، تجزیه و تحلیل می‌شود (Gauch, 1992). در مواردی که اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط و برهمکنش آنها اهمیت داشته باشند، از مدل AMMI استفاده می‌شود. تجزیه AMMI علاوه بر اطلاعات آماری دارای خروجی‌های بای‌پلات نیز می‌باشد که اطلاعاتی درباره اثرات اصلی و برهمکنش‌ها و همچنین شباهت محیط‌ها برای پاسخ سازگاری ژنوتیپ‌ها ارائه می‌دهد. این اطلاعات، امکان بررسی ظاهری ارتباطات بین محیط‌ها، ژنوتیپ‌ها و برهمکنش ژنوتیپ و محیط را فراهم می‌کند. روش GGE Biplotبه‌صورت هم‌زمان، اثر اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و محیط را ارزیابی می‌کند. در روش GGE Biplot، اثر اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و محیط در مورد مجموعه‌ای از داده‌های ژنوتیپ در محیط، ارزیابی می‌شود. تجزیه و تحلیل GGE Biplot سیستمی مشتمل بر مجموعه‌ای از نمودارهای بای‌پلات است که برای رسیدن به اهداف مختلف تحقیقاتی در تجزیه و تحلیل داده‌های دو طرفه ژنوتیپ و محیط، طراحی شده‌اند که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از تجزیه و تحلیل محیط‌های بزرگ بر اساس همبستگی ژنتیکی بین مکان و الگوی "کدام ژنوتیپ – کدام- محیط"، ارزیابی مکان مورد آزمون بر اساس توانایی تمایز و نماینده بودن و نیز ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس میانگین و پایداری در سراسر یک محیط بزرگ (Yan and Kang, 2003). تفاوت‌ها و مزیت‌های روش‌های AMMI و GGE Biplot در برخی از منابع ارائه شده است (Amini *et al*., 2024).

در یک آزمایش پایداری عملکرد ۱۱ ژنوتیپ عدس در هفت منطقه در سه سال زراعی با استفاده از روش‌های چندمتغیره AMMI و GGE Biplot ارزیابی و نشان داده شد که دو مؤلفه اصلی اول و دوم، به ترتیب ۶۱/۶ و ۳۱/۲ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ و محیط را توجیه کردند (Dehghani *et al*., 2008). در یک آزمایش دیگر با ارزیابی ۱۸ ژنوتیپ عدس با روش GGE Biplot نشان داده شد که دو مؤلفه اصلی اول، به ترتیب ۴۹ و ۲۰ درصد از مجموع مربعات برهمکنش ژنوتیپ و محیط را توجیه کرده و در بای‌پلات مربوط به این دو مؤلفه، ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شدند (Karimizadeh *et al*., 2013b). نتایج یک آزمایش در باره پایداری ۱۰ ژنوتیپ عدس با روش GGE Biplot نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول و دوم ۴۸ و ۴۱ درصد از برهمکنش ژنوتیپ و محیط را توجیه کردند و ژنوتیپ‌های پایدار با اطمینان بالایی شناسایی شدند (Karimizadeh *et al*. 2013a). کانونی و همکاران (Kanouni *et al*., 2007b) در ارزیابی ژنوتیپ‌های عدس با استفاده از تجزیه AMMI گزارش دادند که عملکرد دانه به‌طور عمده تحت تأثیر اثر محیط و برهمکنش ژنوتیپ و محیط قرار داشته و سه مؤلفه اصلی اول به‌ترتیب ۵۲/۱۹، ۲۰/۲۶ و ۱۰/۱۹ درصد برهمکنش را به خود اختصاص دادند. نتایج ارزیابی ۱۰ ژنوتیپ عدس با روش تجزیه پایداری AMMI نشان داد که اثر محیط، ژنوتیپ و برهمکنش آنها معنی‌دار بود و این سه جزء، به ترتیب ۸۹، ۲ و ۸/۶ درصد از مجموع مربعات کل را شامل شدند (Karimizadeh and Mohammadi, 2010). کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh *et al*., 2021) در ارزیابی ۱۲ ژنوتیپ جدید عدس با استفاده از شاخص‌های تجزیه AMMI، سه ژنوتیپ برتر را در بسیاری از محیط‌ها، دارای عملکرد بالا و پایداری مطلوب اعلام کرده و این ژنوتیپ‌ها را به‌عنوان گزینه مناسب برای معرفی ارقام

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-12]

جدید معرفی کردند. در یک آزمایش دیگر در مناطق معتدل و نیمه گرمسیری ایران با روش‌های ناپارامتری، پایدارترین ژنوتیپ‌های عدس دیم شناسایی شدند (Sabaghnia *et al.*, 2006). شبیری و همکاران (Shobeiri *et al.*, 2022) در ارزیابی پایداری عملکرد ۲۰ ژنوتیپ عدس طی دو سال از روش GGE biplot استفاده نموده و علاوه بر ذکر مزایای این روش، پایدارترین و پرمحصول‌ترین ژنوتیپ را معرفی کردند. پزشکپور و همکاران (Pezeshkpour *et al.*, 2025) در ارزیابی ۱۳ ژنوتیپ پیشرفته و امیدبخش نخود و بر اساس نتایج روش‌های تجزیه پایداری AMMI و Biplot GGE و انتخاب همزمان، بر اساس پایداری عملکرد دانه و سایر صفات گیاهی، دو ژنوتیپ پایدار و برتر نسبت به میانگین کل ژنوتیپ‌ها را معرفی نمودند.

هدف از این تحقیق، ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ و محیط بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس و شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار و پایدار با استفاده از روش‌های تجزیه پایداری AMMI و GGE Biplot بوده است.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش سازگاری و پایداری عملکرد دانه هفت ژنوتیپ پیشرفته عدس دیم حاصل از برنامه‌های به‌نژادی همراه با سه رقم شاهد کیمیا، بیله‌سوار و سنا (جدول ۱) طی سه سال زراعی (۱۴۰۱ تا ۱۴۰۴) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سه ایستگاه تحقیقاتی مناطق سردسیر دیم کشور (مراغه؛ Mara، شیروان؛ Mara و زنجان- خدابنده؛ Zan) مورد ارزیابی قرار گرفتند (به‌دلیل مشکلات پیش آمده در اجرای آزمایش در سال سوم در ایستگاه شیروان، داده‌های این ایستگاه در سال سوم در تجزیه وارد نشدند). ایستگاه دیم خدابنده زنجان دارای طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۹ دقیقه شمالی، ارتفاع ۱۸۷۵ متر از سطح دریا با میانگین بلندمدت بارندگی ۳۲۰ میلی‌متر، ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه دارای طول جغرافیایی ۴۶/۱ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷/۱ درجه شمالی، ارتفاع ۱۷۲۰ متر از سطح دریا با میانگین بلند مدت بارندگی ۳۶۰ میلی‌متر و ایستگاه شیروان دارای طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی، ارتفاع ۱۱۳۱ متر از سطح دریا با میانگین بلندمدت بارندگی ۲۶۰ میلی‌متر هستند (جدول ۲).

تعداد ردیف‌های کاشت برای هر ژنوتیپ چهار ردیف به طول چهار متر با فواصل بین ردیف ۲۵ سانتیمتر و تراکم بذر ۲۰۰ عدد در متر مربع در نظر گرفته شد. زمین‌های محل‌های اجرای آزمایش سال قبل از اجرا، آیش (نکاشت) بودند که پس از شخم و دیسک و مصرف کود شیمیایی با فرمول کودی ۳۰ کیلوگرم فسفر و ۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، کاشت بذر انجام شد. مراقبت‌های مربوط به دوره داشت شامل یک تا دو بار وجین دستی و مبارزه شیمیایی با آفت آگروتیس با استفاده از طعمه مسموم انجام شد. در پایان دوره رشد و پس از رسیدگی دانه، کل محصول کرت‌های آزمایش به صورت دستی برداشت و پس از جداسازی دانه از کاه و کلش، محصول دانه هر کرت توزین شد. پس از اندازه‌گیری عملکرد دانه هر ژنوتیپ، تجزیه واریانس ساده برای هر سال و هر مکان انجام شد. پس از انجام آزمون‌های بارتلت و $F_{max\ Hartlley}$ جهت بررسی همگنی واریانس‌ها و اثبات یکنواختی واریانس خطاها، تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه انجام شد. آزمون F منابع تغییر بر اساس امید ریاضی میانگین مربعات و با فرض تصادفی بودن سال‌ها و مکان‌ها (محیط‌ها) و ثابت بودن ژنوتیپ‌ها انجام شد. برای بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها، از روش AMMI و تجزیه GGE Biplot استفاده شد. ضمن انجام تجزیه واریانس AMMI مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای هر ژنوتیپ و محیط استخراج و با ترسیم Biplot های مربوطه، سازگاری عمومی و خصوصی ژنوتیپ‌ها تعیین شد

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-12]

(Rodriguez *et al*., 2007). تجزیه واریانس مرکب با استفاده از نرم‌افزار SAS و تجزیه‌های آماری مربوط به روش‌های AMMI و GGE Biplot با استفاده از بسته تجزیه آزمایش‌های چند محیطی با نام Metan Ver.1.9.0 (Multi environmenttrail analysis) در نرم افزار Rstudio انجام شد (Olivoto, 2019).

جدول ۱- ژنوتیپ‌های عدس مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Lentil genotypes used in the experiment

Lentil genotypes	Pedigree	Origin
G1	ILL5588	ICARDA
G2	ILL5988	ICARDA
G3	ILL7947	ICARDA
G4	x2011s195_183 _ 8	ICARDA
G5	x2011s33_34 _ 18	ICARDA
G6	x2011s35_37 _ 9	ICARDA
G7	x2011s90_74 _ 8	ICARDA
G8	Kimia	IRAN
G9	Bilehsavar	IRAN
G10	Sana	IRAN

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های محل اجرای آزمایش (۱۴۰۱ تا ۱۴۰۳)

Table 2. Meteorological information of the experiment sites (2023-2024)

Month		Shirvan شیروان						Maragheh مراغه						Zanjan زنجان					
		میانگین دما Mean temp. (˚C)			بارندگی Rainfall (mm)			میانگین دما Mean temp. (˚C)			بارندگی Rainfall (mm)			میانگین دما Mean temp. (˚C)			بارندگی Rainfall (mm)		
		۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳
	ماه	2022	2023	2024	2022	2023	2024	2022	2023	2024	2022	2023	2024	2022	2023	2024	2022	2023	2024
Oct.	مهر	17.5	14.1	17.6	1.7	24.5	0	15.2	13.2	13.3	7.8	16.7	6.5	18.1	15.5	16.1	0.2	5.2	8.2
Nov.	آبان	8.7	13.5	8.9	53.1	5.2	28.4	5.7	8.7	4.9	17.7	26.1	28.5	8.5	10.8	7.7	19.3	24.1	69.6
Dec.	آذر	4.0	6.4	2.8	14.4	4.3	9.2	2.1	3.5	-0.1	43.8	31.0	33.4	3.4	6.1	1.6	23.4	25	23.3
Jan.	دی	-1.1	6.2	2.5	6.7	13.9	0.2	-3.2	1.6	-1.0	11.8	44.5	24.9	-3.4	3.7	0.4	19.2	17	20.6
Feb.	بهمن	1.0	4.2	0.9	24.3	41.3	11	-5.0	0.4	-3.5	27.1	79.5	7.1	-4.0	1.6	-2.4	52.7	43.5	16.6
Mar.	اسفند	9.8	4.7	5.9	7.5	14.3	17	4.4	1.3	0.1	68.2	20.1	41.1	5.8	2.5	1.0	71.8	33.3	55.5
Apr.	فروردین	12.7	11.4	14.3	6.1	42.2	33.7	7.8	7.6	7.3	69.0	60.9	100.7	9.3	9.3	9.4	43.5	47.9	84.1
May	اردیبهشت	17.7	15.4	20.4	54.8	91.4	1.8	11.6	11.6	13.9	41.6	51.5	89.4	13.8	12.6	16.2	40.8	36.7	38.6
Jun.	خرداد	23.8	20.8	20.8	10.7	16.2	24.7	17.8	17.1	17.9	3.5	51.1	9.0	19.7	19.3	19.5	15.8	32.6	16.4
Long term	بلندمدت	10.2			260			5.5			360			7.6			320		

نتایج و بحث

تجزیه واریانس جداگانه ژنوتیپ‌های عدس مورد بررسی در هشت محیط انجام شده و با استفاده از آزمون‌های بارتلت و $F_{max\ Hartly}$ یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی، با استفاده از واریانس خطاهای آزمایشی آزمایشات جداگانه، محاسبه شد. با توجه به معنی‌دار بودن آزمون بارتلت که نشان دهنده عدم یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی بود، از آزمون $F_{max\ Hartly}$ استفاده شد که با عدم معنی‌دار شدن این آزمون یکنواختی واریانس‌های درون تیماری اثبات شد.

تجزیه واریانس و آزمون F بر اساس امید ریاضی میانگین مربعات با فرض تصادفی بودن سال و مکان و ثابت بودن ژنوتیپ‌ها انجام شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های حاصل از سه مکان در سه سال نشان داد که برهمکنش سال و مکان در سطح احتمال یک درصد، برهمکنش دوگانه ژنوتیپ و مکان در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش سه‌گانه ژنوتیپ و مکان و سال در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-12]

بودند. این موضوع نشان دهنده تفاوت شرایط محیطی در مناطق و سال‌های مورد آزمایش می‌باشد.

معنی‌دار شدن برهمکنش سال و مکان نشان دهنده تأثیر قابل‌توجه آنها در معنی‌دار شدن برهمکنش سه‌گانه است. از طرف دیگر، معنی‌دار شدن برهمکنش ژنوتیپ و مکان نشان می‌دهد که برخی از ژنوتیپ‌ها در همه سال‌ها عملکرد بهتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند. با توجه به اینکه اختلاف معنی‌داری بین میانگین مربعات ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و مکان مشاهده نشد، لازم است هر ژنوتیپ به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته و توصیه‌های لازم نیز به‌شکلی اختصاصی برای هر ژنوتیپ ارائه شود. برهمکنش ژنوتیپ و مکان به‌طور مشخص بزرگ‌تر از برهمکنش سه‌گانه ژنوتیپ و مکان و سال بود، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اثرات مربوط به ژنوتیپ‌ها در یک مکان طی سال‌های مختلف مشابه بوده و تغییرات ژنوتیپ‌ها برای مکان‌های مورد بررسی ثابت بوده است. علاوه بر این، معنی‌دار شدن برهمکنش سه‌گانه ژنوتیپ و مکان و سال (یا محیط) نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف واکنش‌های متفاوتی داشتند، به عبارت دیگر، تفاوت بین عملکرد ژنوتیپ‌ها از یک محیط به محیط دیگر ثابت نیست و لازم است که پایداری عملکرد دانه مورد ارزیابی قرار گیرد. این واکنش‌های متفاوت معمولا ناشی از پاسخ‌های متغیر ژن‌ها یا تفاوت در قدرت تظاهر آن‌ها در شرایط مختلف محیطی است (Jafari and Farshadfar, 2018). اثر اصلی محیط (مجموع اثر اصلی و برهمکنش‌ها) و برهمکنش ژنوتیپ و محیط (مجموع اثرات دوگانه و سه‌گانه) به ترتیب با ۸۰/۵ و ۱۳ درصد، بیشترین سهم را در مجموع مربعات کل واریانس داشتند. در مجموع وقتی اثر محیط زیاد و برهمکنش ژنوتیپ با محیط کم باشد، می‌توان استنباط کرد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارای پایداری مناسبی هستند.

با وجود معنی‌دار نشدن اثر ژنوتیپ، ژنوتیپ‌های G5، G6 و G1 به‌ترتیب دارای بیشترین مقدار عملکرد بودند و ژنوتیپ‌های G4 و G2 کمترین عملکرد را داشتند. تفاوت‌های بین محیط‌ها به احتمال زیاد ناشی از عوامل مختلفی مانند شرایط اقلیمی، ویژگی‌های خاک و نحوه مدیریت زراعی در طول سال‌ها و مکان‌های آزمایش در دوره رشد گیاه است. برهمکنش دوگانه و سه‌گانه ژنوتیپ و مکان و سال علاوه بر اختلافات ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها، ناشی از تفاوت‌های واکنش آن‌ها نسبت به عوامل جغرافیایی و اقلیمی بوده است، بنابراین برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالاتر، تنها مقایسه میانگین عملکرد کافی نبوده و لازم است تجزیه پایداری انجام شود. هدف از این تجزیه، شناسایی ژنوتیپ‌هایی است که نه‌تنها عملکرد بالایی دارند، بلکه دارای حداقل نوسانات عملکرد در شرایط مختلف منطقه و سال‌های مختلف هستند. به‌این‌ترتیب، تجزیه پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس و ارقام شاهد با روش‌های تجزیه AMMI و تجزیه GGE Biplot انجام شد تا ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و پایدار شناسایی شوند.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بر اساس مدل AMMI نشان داد که میانگین مربعات اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط و برهمکنش ژنوتیپ و محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. این موضوع نشان دهنده وجود تنوع میان ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف و رفتار متفاوت آنها در محیط‌های مختلف می‌باشد. درصد واریانس توجیه شده برای محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و محیط به‌ترتیب ۷۱/۲، ۲/۹ و ۱۱/۵ درصد از مجموع مربعات کل بود. این مقادیر نشان می‌دهند که ژنوتیپ کمترین تغییر را در عملکرد دانه داشته و نشان دهنده تنوع کمتر بین ژنوتیپ‌ها و خلوص ژنوتیپ‌های انتخابی در انتهای برنامه به‌نژادی می‌باشد. کریمی زاده و محمدی (Karimizadeh and Mohammadi, 2010) در ارزیابی ۱۰ ژنوتیپ عدس، سهم محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و محیط را در مجموع مربعات کل به ترتیب

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-12]

۸۹، ۲ و ۸/۶ درصد گزارش کردند. در کلیه آزمایش‌های چند مکانی، محیط همواره یک پدیده غالب در منبع تغییرات عملکرد است و اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و محیط نسبتا کوچک هستند (Gauch and Zobel, 1997). بزرگی اثر محیط نشان دهنده تنوع محیط‌ها است که باعث ایجاد تفاوت در عملکرد می‌شود. نتایج تجزیه AMMI نشان دهنده تفاوت میان محیط‌ها، ژنوتیپ‌ها و برهمکنش بین آن‌ها است. اثر ضرب‌پذیر مدل AMMI به مؤلفه‌های اصلی تجزیه شد که شش مؤلفه اول، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند و ۹۹/۹ درصد از تغییرات برهمکنش را توجیه کردند. دو مؤلفه اصلی اول و دوم در مجموع ۷۲ درصد از تغییرات مربوط به برهمکنش ژنوتیپ و محیط را تبیین کردند و پایین‌ترین میانگین مربعات غیر معنی‌دار از مدل AMMI با ۰/۱ درصد، مربوط به مجموع مربعات باقیمانده (Noise) بود.

ضرایب دو مؤلفه اول برهمکنش به‌عنوان ساده‌ترین پارامترهای پایداری برای انتخاب ژنوتیپ‌های حبوبات مورد استفاده قرار گرفته است (Pezeshkpour *et al.*, 2021; Zali *et al.*, 2007). کریمی زاده و همکاران (Karimizadeh *et al.*, 2021) و دهقانی و همکاران (Dehghani *et al.*, 2008) از ضرایب مؤلفه‌های اصلی برهمکنش جهت گزینش ژنوتیپ‌های پایدار عدس استفاده نمودند. ژنوتیپ‌های دارای مقادیر نزدیک به صفر برهمکنش پایین و ژنوتیپ‌های دارای مقادیر بزرگ (مثبت یا منفی) مؤلفه اصلی اول IPCA1 برهمکنش بالایی با محیط نشان می‌دهند. در آزمایش حاضر کمترین مقدار IPCA1 مربوط به ژنوتیپ‌های G6، G7، G1 و G4 بود که از بین آنها ژنوتیپ‌های G6 و G1 عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد کل داشته و به همین دلیل می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا در نظر گرفته شوند (جدول ۳). با توجه به اینکه مؤلفه اصلی اول ۵۶/۶ درصد از مجموع مربعات کل را تبیین کرد، از مؤلفه دوم با میزان تبیین ۱۵/۴ نیز استفاده شد. ژنوتیپ‌های G5، G3، G1 و G9 دارای کمترین مقادیر مؤلفه اصلی دوم IPC2 بودند، بنابراین تنها ژنوتیپ G1 را می‌توان به‌عنوان ژنوتیپ پایدار محسوب کرد.

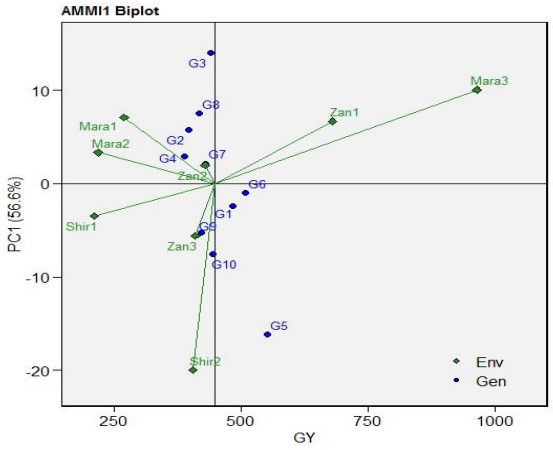
جدول ۳- عملکرد دانه و مؤلفه‌های اصلی اول تا ششم، برای ژنوتیپ‌های عدس و محیط‌های آزمایشی

Table 3. Seed yield and main components from the first to the sixth, for the lentil genotypes and environments

ژنوتیپ‌های عدس Lentil genotypes	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
G1	483.8	-2.41	-2.8	5.56	-5.68	0.49	0.45
G2	395.7	5.76	3.34	-11.03	-2.33	2.93	2.74
G3	439.7	14.02	2.57	-0.82	6.8	4.04	-2.05
G4	387.4	2.93	6.76	-0.8	-8.68	-5.94	0.67
G5	552.1	-16.17	0.15	-3.95	2.22	2.39	-4.93
G6	509.1	-0.98	8.40	6.59	-0.48	1.30	-4.59
G7	430.5	2.14	-4.99	-2.27	6.56	-9.79	-1.82
G8	417.4	7.50	-11.3	4.93	-3.43	2.66	-0.94
G9	421.6	-5.25	3.55	6.47	6.42	0.25	7.79
G10	443.4	-7.54	-5.69	-4.67	-1.41	1.67	2.68
Location مکان							
Mara1 مراغه سال۱	268.9	7.07	5.83	4.72	8.18	-0.83	-4.36
Mara2 مراغه سال۲	217.8	3.32	5.67	6.47	2.58	2.73	7.30
Mara3 مراغه سال۳	964.8	10.03	-15.26	3.19	-0.42	0.05	0.30
Shir1 شیروان سال۱	210.3	-3.48	1.59	1.16	-1.53	-8.49	-3.93
Shir2 شیروان سال۲	404.9	-19.96	-4.69	-2.03	6.29	2.09	0.61
Zan1 زنجان سال۱	679.6	6.66	2.33	-11.17	-0.06	6.31	-3.04
Zan2 زنجان سال۲	428.8	1.97	1.96	-8.20	-3.42	-5.80	5.27
Zan3 زنجان سال۳	409.6	-5.61	2.58	5.86	-11.62	3.94	-2.14

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-12]

بای‌پلات AMMI1 یا میانگین عملکرد دانه در مقابل اولین مؤلفه اصلی برهمکنش IPCA1 (برهمکنش جمع‌پذیر در مقابل برهمکنش ضرب‌پذیر یا ضرایب عاملی) در شکل ۱ نشان داده شده است. ژنوتیپ‌هایی که از لحاظ عملکرد دانه (محور افقی) مقدار بیشتر و از نظر مؤلفه اول برهمکنش ژنوتیپ و محیط (محور عمودی) مقدار کمی (نزدیک به صفر) داشته باشند، ژنوتیپ‌های مطلوب‌تری در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها محسوب می‌شوند. بر این اساس، ژنوتیپ‌های G1 و G6 به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند.

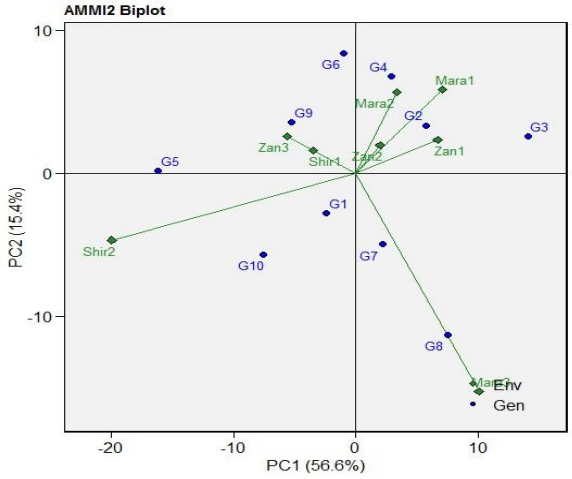


شکل ۱- پراکنش ژنوتیپ‌های عدس و محیط‌های آزمایشی با استفاده از میانگین عملکرد و اولین مؤلفه اصلی برهمکنش

Fig. 1. Distribution of lentil genotypes and environments using the average seed yield and the first principal component of interaction

در شکل ۲ بای‌پلات AMMI2 یا مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم برهمکنش برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد بررسی ارائه شده است. این بای‌پلات در کل ۷۲ درصد تغییرات مربوط به اثر ضرب‌پذیر را تبیین می‌کند. بر اساس شکل ۲ ژنوتیپ‌هایی که در مجاورت یک محیط قرار داشته باشند، سازگاری خصوصی با آن محیط داشته و ژنوتیپ‌هایی که نزدیک به مبدأ مختصات باشند از سازگاری عمومی برخوردار هستند. بنابر آنچه بیان شد، ژنوتیپ G1 را به دلیل نزدیکی به مبدأ مختصات می‌توان به‌عنوان ژنوتیپ با سازگاری عمومی در نظر گرفت. محیط‌های زنجان۲ (Zan2) و شیروان۱ (Shir1) تا حدودی دارای مقادیر مؤلفه‌های اول و دوم نزدیک به مبدأ مختصات بودند که نشان می‌دهد محیط‌های یاد شده دارای پتانسیل ایجاد برهمکنش نیستند. در مقابل، ژنوتیپ‌هایی که دور از مرکز بای‌پلات هستند، به‌ویژه ژنوتیپ‌هایی که در رأس چندضلعی بای‌پلات قرار می‌گیرند، پایداری عملکرد ضعیفی داشته، ولی دارای سازگاری خصوصی با مکان‌هایی هستند که کمترین زاویه را با بردار آن‌ها در بای‌پلات دارند (Gauch and Zobel, 1997)، بنابراین می‌توان به سازگاری ژنوتیپ G8 با محیط مراغه۳ (Mara3)، ژنوتیپ‌های G2، G3 و G4 با محیط‌های مراغه۱ (Mara1)، مراغه۲ (Mara2) و زنجان۱ (Zan1) اشاره کرد.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-12]



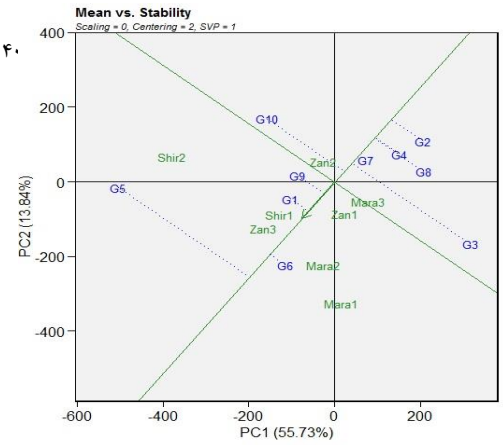
شکل ۲- پراکنش ژنوتیپ‌های عدس و محیط‌های آزمایشی بر اساس اولین و دومین مؤلفه اصلی برهمکنش

Fig. 2. Distribution of lentil genotypes and environments based on the first and second main component of interaction

نتایج تجزیه GGE Biplot نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول در مجموع ۶۹/۵ درصد (به ترتیب ۵۵/۷ و ۱۳/۸) از کل تغییرات برهمکنش ژنوتیپ و محیط را توجیه کردند. چنین نتیجه‌ای در خصوص سهم بالای دو مؤلفه اصلی اول در توجیه برهمکنش ژنوتیپ و محیط در عدس توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است، به‌طوری‌که درصدهایی مانند ۶۹ درصد(Karimizadeh *et al.*, 2013a)، ۸۹ درصد درصد (Karimizadeh *et al.*, 2013b)، ۶۹ درصد (Turk and Kendal, 2017) و بیش از ۹۰ درصد (Jeberson *et al.*, 2019) جهت توجیه برهمکنش ژنوتیپ و محیط گزارش شده است.

در GGE Biplot جهت بررسی هم‌زمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی، از بای‌پلات مختصات محیط متوسط AEC (Average Environment Coordination) استفاده می‌شود که به آن بای‌پلات میانگین در مقابل پایداری نیز اطلاق می‌شود. در این بای‌پلات تصاویر مربوط به علائم ژنوتیپ‌ها روی محور AEC می‌تواند برآوردی از عملکرد آن‌ها باشد (Yan *et al.*, 2007). در شکل ۳ یک محیط متوسطی که توسط پیکان کوچکی نشان داده شده است با استفاده از میانگین نمره‌های IPC1 و IPC2 محیط تعریف شده و از دو خط (افقی و عمودی) تشکیل شده است. در این شکل، محور افقی پیکاندار که از میانگین محیطی (محل پیکان) و مبدأ مختصات می‌گذرد تقریبی از عملکرد ژنوتیپ است. بر این اساس ژنوتیپ‌های G5، G6، G1 و G9 به ترتیب بیشترین عملکرد را نسبت به میانگین ژنوتیپ‌ها داشتند. خط عمودی نشان‌دهنده برهمکنش ژنوتیپ و محیط بوده که پایداری ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد و بر این اساس ژنوتیپ‌های G6، G1 و تا حدودی G9 با عملکرد بالاتر از میانگین، جزء پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. این ژنوتیپ‌ها از نظر پتانسیل عملکرد نیز از وضعیت مطلوبی برخوردار بودند. ژنوتیپ‌های G7، G4 و G2 علی‌رغم عملکرد کمتر نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها، دارای پایداری عملکرد بیشتری بودند. در همین رابطه اکمل و همکاران (Akmal *et al.*, 2014) اظهار داشتند که ژنوتیپ‌هایی که بالاترین عملکرد را دارند، الزاما پایدارترین ژنوتیپ‌ها نخواهند بود (مانند ژنوتیپ G5) و ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین نیز ممکن است از بالاترین پایداری برخوردار باشند.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-12]



"ارزیابی سازگار: ۱۴۰، ۲۱۰-۱۹۲"

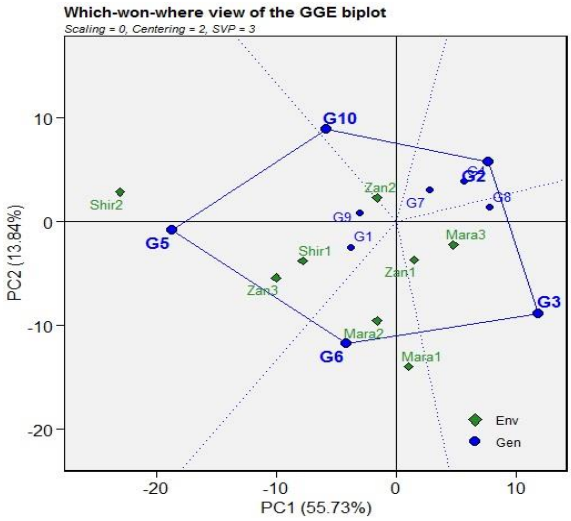
شکل ۳- مختصات محیط متوسط برای گزینش هم‌زمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌های عدس

Fig. 3. The average environment coordination for simultaneous selection of stability and yield of lentil genotypes

با استفاده از نمودار چندضلعی GGE Biplot می‌توان تفسیرهای مختلفی انجام داد و به ماهیت اثر ژنوتیپ و محیط روی صفات مورد مطالعه پی برد. این روش جهت بررسی سازگاری خصوصی ژنوتیپ‌ها به‌کار برده شده است (Yan and Kang, 2003). در این نوع بای‌پلات، کلیه ژنوتیپ‌هایی که در هر بخش قرار دارند، سازگاری ویژه‌ای با محیط‌های موجود در همان بخش نشان می‌دهند و شباهت زیادی به ژنوتیپی که در رأس چندضلعی قرار دارد دارند. بر این اساس یکی از ویژگی‌های این نمودار چندضلعی، وجود تنوع زیاد بین محیط‌های گسترده و تنوع کم درون این محیط‌های بزرگ است (Gauch and Zobel, 1997). جهت اجتناب از برهمکنش ژنوتیپ و محیط تصادفی باید ارزیابی ژنوتیپ‌ها در درون یک محیط بزرگ بر مبنای میانگین عملکرد و پایداری باشد (Farshadfar, 2015). بنابراین برهمکنش ژنوتیپ و محیط را می‌توان با انتخاب ژنوتیپ‌های دارای سازگاری خصوصی با محیط‌های بزرگ و اختصاص دادن آن‌ها به محیط‌های بزرگ، کاهش داد و حداکثر تولید را بدست آورد (Sadegh Zadeh Ahari *et al*., 2005). در همین راستا چندضلعی به پنج بخش تقسیم شد. بخش اول با ژنوتیپ رأس G2، شامل ژنوتیپ‌های G7 و G4 بدون قرار گرفتن در کنار هیچ‌کدام از محیط‌ها، بخش دوم با ژنوتیپ رأس G3، همراه با ژنوتیپ G8 و محیط‌های مراغه۳ (Mara3) و زنجان۱ (Zan1)، بخش سوم با ژنوتیپ رأس G6، شامل محیط‌های مراغه۱ (Mara1) و مراغه۲ (Mara2)، بخش چهارم با ژنوتیپ رأس G5 همراه با ژنوتیپ‌های G1 و G9 و محیط‌های شیروان۲ (Shir2)، زنجان۳ (Zan3) و شیروان۱ (Shir1) و بخش پنجم با ژنوتیپ رأس G10 همراه با محیط زنجان۲ (Zan2). ژنوتیپ‌های رأس به‌دلیل فاصله‌ای که از مرکز بای‌پلات دارند، می‌توانند ازنظر عملکرد، در زمره بهترین و یا ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مورد بررسی باشند (شکل ۴). ژنوتیپ G5 در محیط‌های شیروان۱ (Shir1)، شیروان۲ (Shir2)، زنجان۲ (Zan2) و زنجان۳ (Zan3) دارای بیشترین عملکرد و در محیط زنجان۱ (Zan1) نیز از نظر عملکرد در رتبه سوم قرار داشت. از طرف دیگر، ژنوتیپ G6 در محیط‌های مراغه۱ (Mara1)، مراغه۲ (Mara2) دارای بیشترین عملکرد و در محیط‌های زنجان۲ (Zan2) و شیروان۱ (Shir1) از نظر عملکرد در رتبه دوم قرار داشت. ژنوتیپ G3 نیز در محیط‌های مراغه۳ (Mara3) و زنجان۱ (Zan1) دارای بیشترین عملکرد بود و بر این اساس می‌توان این ژنوتیپ‌ها را برای این مناطق توصیه نمود. محیط‌های بزرگ برای کاهش تعداد محیط‌ها در مطالعات بعدی و تشخیص نوع برهمکنش شامل تغییر در رتبه (ناشی از تفاوت عملکرد ژنوتیپ‌ها در هرکدام از گروه‌های محیطی) و تغییر در مقدار (ناشی از قرار

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-12]

گرفتن برخی از محیط‌ها در گروه‌های مشابه) استفاده می‌شود (Yan and Tinker, 2006). پژوهشگران دیگری نیز از این روش جهت شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار عدس و محیط‌های کلان در عدس استفاده کرده‌اند (Kanouni *et al*., 2007a; Karimzadeh *et al*., 2013a; Turk and Kendal, 2017; Jeberson *et al*., 2019).



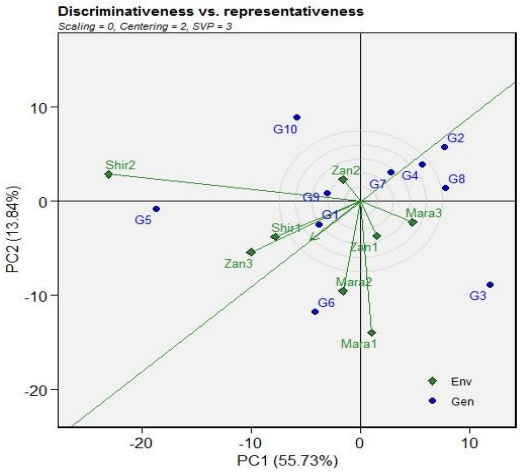
شکل ۴- الگوی کدام - برتر- کجا برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر عدس و محیط‌های بزرگ

Fig. 4. Which- won- where pattern to identify superior lentil genotype and large environments

برای ارزیابی محیط‌ها می‌توان از آزمون‌های چند محیطی استفاده کرد. توانایی تفکیک یک محیط به قابلیت آن در نشان دادن حداکثر تنوع بین ژنوتیپ‌ها بستگی دارد. توانایی نمایندگی یک محیط نشان دهنده میزان تطابق آن با شرایط سایر محیط‌های آزمایشی است، بنابراین یک محیط مطلوب باید هر دو ویژگی تفکیک و نمایندگی را داشته باشد تا امکان شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار فراهم شود. این ویژگی در GGE Biplot با عنوان Discrimitiveness vs. Representativeness یا قدرت تفکیک محیط‌ها در برابر میزان نمایندگی آن‌ها شناخته می‌شود (Yan and Tinker, 2006). بردارهای نمودار GGE Biplot می‌توانند اطلاعات مربوط به واریانس درون محیط را نیز نشان دهند، به‌طوری‌که طول بردارهای محیط (در یک بای‌پلات محیط محور) تقریباً متناسب با انحراف استاندارد ژنوتیپ‌ها در هر محیط است (Kroonenberg, 1995)، درحالی‌که یک بای‌پلات متمرکز بر ژنوتیپ، تنوع را در میان محیط‌ها نشان می‌دهد (Yan and Kang, 2003). طول بردارهای محیط متناسب با انحراف استاندارد در محیط‌های مربوطه و معیار توانایی تمایز محیط‌ها است (Yan and Tinker, 2006). محیط‌های با زاویه بسته نسبت به خط ATC، به‌ویژه آن‌هایی که بردارهای بلندتری نیز دارند، علاوه بر نمایندگی (نمود عملکرد بالا)، قادر به تمایز (تفکیک ژنوتیپ‌های پایدار از ژنوتیپ‌های ناپایدار) هستند. بر این اساس محیط زنجان۳ (Zan3) با توانایی تمایز و نمایندگی (کوچک‌ترین زاویه با طول بردار بلند)، محیط مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های سازگار با عملکرد بالا بود (شکل ۵). این محیط با بردار بلند از توانایی جداکنندگی بالایی برخوردار بود و می‌تواند کارایی نسبی ژنوتیپ‌ها را به‌درستی برآورد کند. در این محیط، مقدار بارندگی در مقایسه با میانگین بلندمدت بیشتر و نسبت به سال زراعی قبل افزایش داشت و با توجه به

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-12]

پراکنش فصلی مناسب، بارندگی نسبتاً خوب در فصل بهار (۱۳۹/۱ میلی‌متر بارندگی بهاره) و خنک‌تر بودن هوا نسبت به میانگین طولانی‌مدت آن، محیط مطلوبی بود. به نظر می‌رسد که این ویژگی‌های مطلوب محیطی باعث نمایندگی و جداکنندگی بالای این محیط شده باشد. ضریب تغییرات آزمایش در این محیط ۱۳/۱۳ درصد بود که برای شرایط دیم مطلوب است. محیط‌های زنجان۱ (Zan1)، زنجان۲ (Zan2) و مراغه۳ (Mara3) در دایره‌های نزدیک مبدأ بای‌پلات، کمترین توانایی جداکنندگی را بین ژنوتیپ‌ها داشتند و اطلاعات کمی درباره ژنوتیپ‌ها فراهم آوردند. زاویه کمتر از ۹۰ درجه در بین این محیط‌ها نشان دهنده عملکرد مشابه آن‌ها در شناسایی و تفکیک ژنوتیپ‌ها است. این دیدگاه از بای‌پلات محیط‌های اضافه را مشخص می‌کند. برخی از محیط‌ها با یکدیگر همبستگی مثبت دارند، بنابراین اطلاعات مربوط به ژنوتیپ‌های به‌دست‌آمده از این محیط‌ها مشابه خواهند بود. اگر این شباهت در طول سال‌ها قابل تکرار باشد، این محیط‌ها اضافه هستند و یک محیط واحد کفایت می‌کند.



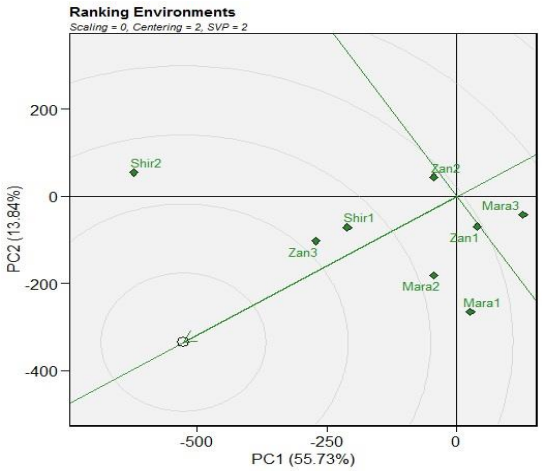
شکل ۵- مقایسه هم‌زمان محیط‌ها و روابط میان آن‌ها از نظر قابلیت تفکیک ژنوتیپ‌های عدس در مقابل نماینده بودن آن‌ها

Fig 5. Simultaneous comparison and relationships between them in terms of the ability to descriminate lentil genotypes against their representativeness

معیار دیگری که دارای اهمیت مشابه با توانایی تمایز محیط آزمایش می‌باشد، نمایندگی محیط کلان یا محیط مطلوب در آزمایش است. محیط‌ها را می‌توان بر مبنای فاصله آن‌ها از محیط مطلوب رتبه‌بندی کرد (Farshadfar, 2015). محیط مطلوب محیطی است که دارای رتبه IPC1 بالا باشد، بدین معنی که آن محیط دارای بیشترین ژنوتیپ‌های تأثیرگذار بر اثر اصلی ژنوتیپی بوده و از طرفی دارای رتبه IPC2 کوچک یا صفر باشد، بدین معنی که نشان دهنده اثر محیطی کل باشد. بنابراین محیط مطلوب محیطی است فرضی که دارای حداکثر قابلیت تمایز و نمایندگی بوده و از نظر مکانی در مرکز دوایر متحدالمرکز بای‌پلات قرار داشته باشد (Yan *et al.*, 2011). میزان مطلوبیت محیط‌ها به‌وسیله فاصله آن‌ها از محیط مطلوب سنجیده می‌شود. در آزمایش حاضر محیط مطلوب و یا محیط کاملی مشاهده نشد، با این حال محیط‌های زنجان۳ (Zan3) و شیروان۱ (Shir1) با کمترین فاصله از محیط مطلوب، دارای بیشترین مقدار نمایندگی بودند (شکل ۶) در مقابل محیط‌های زنجان۱ (Zan1)، زنجان۲ (Zan2) و مراغه۳ (Mara3) با قرار گرفتن در بیشترین فاصله از

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-12]

محیط مطلوب (بیشترین زاویه با محور مختصات محیط متوسط)، کمترین مقدار نمایندگی را داشتند.



شکل ۶- مقایسه محیط‌ها با محیط مطلوب بر اساس توانایی تمایز و نماینده بودن محیط هدف

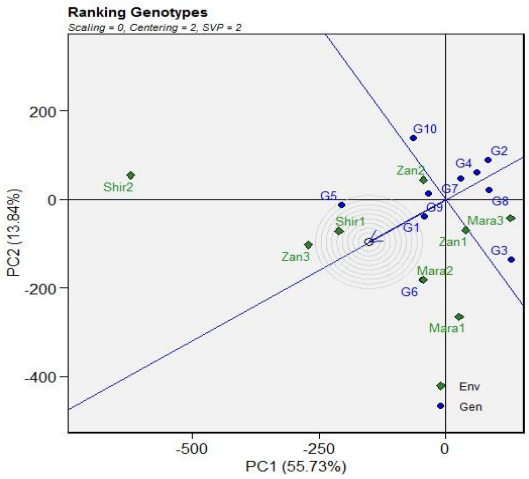
Fig. 6. Comparison of environment with the ideal environment based on the discriminating and representivenss ability on the target environment

ژنوتیپ مطلوب، ژنوتیپی است که در رتبه اول مؤلفه اصلی از قابلیت تولید عملکرد بالا در تمام محیط‌ها برخوردار بوده و در رتبه دوم مؤلفه اصلی، پایایی عملکرد آن بالا یا نزدیک به صفر باشد. ژنوتیپ مطلوب فرضی بر اساس پرمحصول‌ترین ژنوتیپ با بیشترین پایداری تعریف می‌شود. به عبارت دیگر، این ژنوتیپ مطلوب بر مبنای حداکثر عملکرد و بیشترین پایداری در میان ژنوتیپ‌های مورد بررسی تعیین می‌شود و هر ژنوتیپی که کمترین فاصله را با این ژنوتیپ فرضی داشته باشد، به‌عنوان ژنوتیپ برتر شناخته خواهد شد. با افزایش فاصله ژنوتیپ‌ها از این ژنوتیپ مطلوب، مطلوبیت آن‌ها، که شامل عملکرد و پایداری عملکرد است، کاهش پیدا می‌کند. ژنوتیپی که نزدیک‌ترین موقعیت به ژنوتیپ مطلوب (واقع در اولین دایره متحدالمرکز روی Biplot) داشته باشد، می‌تواند در آزمایش‌های آتی نیز مورد استفاده قرار گیرد. در مقابل، ژنوتیپ‌هایی که فاصله زیادی از این نقطه داشته باشند، به‌عنوان نامطلوب محسوب شده و می‌توان آنها را در مراحل ابتدایی فرایند به‌نژادی حذف کرد. ژنوتیپ مطلوب روی محور افقی AEC به‌صورت یک دایره کوچک مشخص شده که با یک پیکان به آن اشاره شده است (شکل ۷). این مکان دقیقا مرکز دایره‌های متحدالمرکز را نشان می‌دهد. بر اساس میزان نزدیکی و دوری ژنوتیپ‌ها به ژنوتیپ ایده‌آل، رتبه‌بندی آن‌ها به صورت زیر انجام شد.

G3<G2<G10<G8<G4<G7<G9<G6<G1< G5

بر اساس نتایج Biplot، ژنوتیپ مطلوب در بین ژنوتیپ‌های عدس مورد ارزیابی یافت نشد. با این حال، ژنوتیپ‌های G5، G1 و G6 که کمترین فاصله را از ژنوتیپ مطلوب فرضی داشتند، به‌عنوان برترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. ژنوتیپ G3 به دلیل داشتن بیشترین فاصله از ژنوتیپ مطلوب فرضی، به‌عنوان نامطلوب‌ترین ژنوتیپ شناخته شد (شکل ۷).

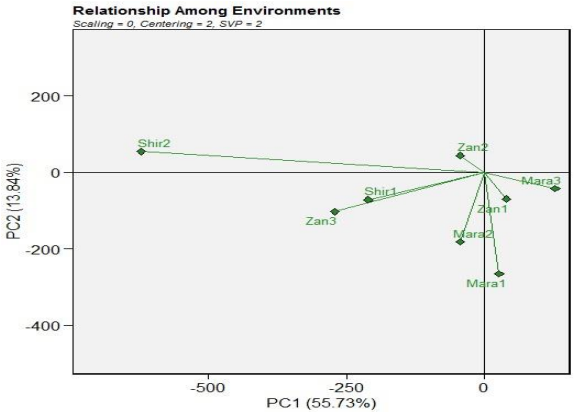
[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-12]



شکل ۷- مقایسه ژنوتیپ‌های عدس با ژنوتیپ مطلوب بر مبنای عملکرد و پایداری

Fig. 7. Lentil genotypes comparison with ideal genotype based on yield and stability

از روش GGE Biplot می‌توان برای تحلیل و نمایش ارتباط بین محیط‌های مورد بررسی استفاده کرد. در این نمودار، محیط‌ها با استفاده از بردارهایی که به مبدأ متصل هستند، نمایش داده می‌شوند. کوینوس زاویه میان بردارهای دو محیط، نشان دهنده میزان همبستگی بین آن‌ها است (Farshadfar, 2015). هرچه زاویه بین دو بردار کمتر باشد، نشان دهنده همبستگی مثبت و ارتباط قوی‌تر بین آن‌ها است. بر این اساس، اطلاعات ژنوتیپ‌ها در این محیط‌ها مشابه هستند و در صورتی که این نتایج در سال‌های آینده تکرار شود، می‌توان یکی از این محیط‌ها را انتخاب کرده و محیط‌های مشابه را حذف نمود. چنین اقدامی باعث کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری خواهد شد (Yan and Kang, 2003). زاویه ۹۰ درجه بین دو بردار نشان‌دهنده عدم وجود همبستگی بین دو محیط و تفاوت زیاد بین آن‌ها است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، محیط‌های شیروان۱ (Shir1)، زنجان۳ (Zan3)، شیروان۲ (Shir2) و زنجان۲ (Zan2) (شیروان و تا حدودی زنجان) از یک سو و محیط‌های مراغه۱ (Mara1)، مراغه۲ (Mara2) (مراغه) و زنجان۱ (Zan1) از سوی دیگر همبستگی بسیار بالایی با یکدیگر داشتند و می‌توان آن‌ها را به‌عنوان محیط‌های مشابه در نظر گرفت. این شباهت احتمالا به دلیل قرار گرفتن این محیط‌ها در مناطق سردسیر کشور است (شکل ۸).



شکل ۸- بای‌پلات روابط بین محیط‌های مختلف و مقایسه آن‌ها

Fig. 8. Biplot of relationships between different environments and their comparison

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-12]

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که سهم محیط، ژنوتیپ و برهمکنش آنها در مجموع مربعات کل، به ترتیب ۷۸/۵، ۳/۴ و ۱۲/۶ درصد بود. علی‌رغم معنی‌دار بودن شش مؤلفه اصلی در تجزیه AMMI، دو مؤلفه اصلی اول و دوم در مجموع ۷۲ درصد از تغییرات مربوط به برهمکنش ژنوتیپ و محیط را تبیین نمودند. بر اساس نتایج تجزیه AMMI ژنوتیپ‌های G6 و G1 با عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد کل، به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا شناخته شدند. ژنوتیپ G1 به دلیل نزدیکی به مبدأ مختصات بای‌پلات AMMI2 به‌عنوان ژنوتیپ با سازگاری عمومی شناخته شد. نتایج تجزیه GGE Biplot نشان داد ژنوتیپ‌های G6، G1 و تا حدودی G9 با عملکرد بالاتر از میانگین، جزء پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. این ژنوتیپ‌ها از نظر پتانسیل عملکرد وضعیت مطلوبی داشتند. همچنین ژنوتیپ‌های G7، G4 و G2 علی‌رغم عملکرد کمتر نسبت به سایر ژنوتیپ‌های عدس دارای پایداری عملکرد بیشتری بودند. محیط زنجان۳ (Zan3) با توانایی تمایز و نمایندگی، محیط مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های سازگار با عملکرد بالا شناخته شد که می‌تواند کارایی نسبی ژنوتیپ‌ها را به‌درستی نشان دهد. ژنوتیپ‌های G5، G1 و G6 با کمترین فاصله از ژنوتیپ مطلوب فرضی، به‌عنوان برترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند و ژنوتیپ G5 در محیط‌های شیروان۱ (Shir1)، شیروان۲ (Shir2)، زنجان۲ (Zan2) و زنجان۳ (Zan3)، (شیروان و تا حدودی زنجان)، ژنوتیپ G6 در محیط‌های مراغه۱ (Mara1)، مراغه۲ (Mara2) (مراغه) و ژنوتیپ G3 نیز در محیط‌های مراغه۳ (Mara3) و زنجان۱ (Zan1) دارای بیشترین عملکرد بودند و می‌توان آنها را به عنوان ژنوتیپ‌های عدس با سازگاری خصوصی برای این مناطق معرفی کرد.

سپاسگزاری

نگارندگان از مدیریت و همکاران ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی دیم مراغه، خدابنده زنجان و شیروان جهت فراهم آوردن امکانات لازم برای اجرای این پژوهش سپاسگزاری می‌کنند.

منابع مورد استفاده

References

Akmal, C.M.G. and Samaullah, M.Y., 2014. Adaptation and stability of aromatic rice lines in North Sumatera (in Indonesian). *Food Crop Research Journal*, *33*(1), pp.9-16. https://doi.org/10.21082/jpptp.v33n1.2014.p9-16

Amini, A., Asadi, A.A., Rezaie Moradala, M., Ghasemi, M., Chaichi, M., Ezat Ahmadi, M., Hosseini Bay, S.K., Mahmoodi Pirahani, A.A., Salehi, P., Mir Fakhraie, N., Babaee, T. and Ghadiri, G., 2024. Studying genotype × environment interaction effect in promising bread wheat genotypes in the cold climate using AMMI and GGEBiplot methods. *Cereal Research*, *14*(1), pp.99-124. [In Persian]. doi: 10.22124/CR.2024.27052.1819

Dehghani, H., Sabaghpour, S. H. and 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), pp.385-394.

FAOSTAT, 2023. Agricultural Data: Agriculture and Food Trade. In Food and Agriculture Organization of the United Statistics Division (http://faostst.fao.org)

Farshadfar, E. 2015. The interaction effect of genotype and environment in plant breeding. Vol. 1. Islamic Azad University Press, Kermanshah, Iran [In Persian].

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-12]

Farshadfar, E. and Sutka, J., 2006. Biplot analysis of genotype-environment interaction in durum wheat using the AMMI model. *Acta Agronomica Hungarica*, *54*, pp.459-67. https://doi.org/10.1556/AAgr.54.2006.4.8

Gauch, H.G. and Zobel, R.W., 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science. 37*(2), pp.311-326. https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183x003700020002x

Gauch, J.H.G., 1992. Statistical Analysis of Regional Trials, AMMI Analysis of Factorial Designs. Elsevier Publications, Amsterdam, Netherlands.

Jafari, T. and Farshadfar, E., 2018. Stability analysis of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) by GGE biplot. *Cereal Research*, *8*(2), pp.199-208. [In Persian]. doi: 10.22124/c.2018.6232.1243

Jeberson, M.S., Shashidhar, K.S., Wani, S.H., Singh, A.K. and Dar, S.A., 2019. Identification of stable lentil (*Lens culinaris* Medik) genotypes through GGE biplot and AMMI analysis for north hill zone of India. *Legume Research*, *42*(4), pp.467-472. https://doi.org/10.18805/LR-3901

Kanouni, H., Talei, A., Bihamta, M.R., Shahab, M.R., Kamel, M. and Mostafaei, H., 2007a. Stability of seed yield of lentil genotypes in rainfed areas of the west of the country through AMMI analysis. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, *38*(2), pp.295-302. [In Persian].

Kanouni, H., Taleei, A.R. and Khalily, M., 2007b. Stability analysis of seed yield and one-hundred seeds weight in Desi type chickpea genotypes. *Seed and Plant Journal*, *23*(3), pp.297-310. [In Persian]. doi: 10.22092/spij.2017.110731

Karimizadeh, R., Pezeshkpour, P., Mehraban, A., Sharifi, P., and Barzali, M., 2021. Grain yield stability analysis of lentil genotypes by AMMI method indices. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *52*(4), pp.197-209. [In Persian]. doi: 10.22059/ijfcs.2020.310524.654752

Karimizadeh, R., Mohammadi, M. and Sabaghnia, N., 2013a. Site regression biplot analysis for matching new improved lentil genotypes into target environments. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, *3*(2), pp.51-65.

Karimizadeh, R., Mohammadi, M., Sabaghnia, N., Mahmoodi, A.A., Roustami, B., Seyyedi, F. and Akbari, F., 2013b. GGE biplot analysis of yield stability in multienvironment trials of lentil genotypes under rainfed condition. *Notulae Scientia Biologicae*, *5*(2), pp.256-262. https://doi.org/10.15835/nsb529067

Karimizadeh, R. and Mohammadi, M., 2010. AMMI adjustment for rainfed lentil yield trials in Iran. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, *16*pp.66-73.

Kochaki, A. and Banayan Aval, M., 1993. Pulse Crops. Jihad Daneshghahi Mashhad Press. [In Persian].

Kroonenberg, P.M., 1995. Introduction to biplots for G × E tables. Centre for Statistics. Research Report 51. The University of Queensland, Brisbane, Australia.

Olivoto, T. and Nardino, M., 2021. MGIDI: Toward an effective multivariate selection in biological experiments. *Bioinformatics*, *37*(10), pp.1383-1389. https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btaa981

Olivoto, T. 2019. Metan: multi environment trials analysis. R package version 1.1.0.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-12]

https://github.com/TiagoOlivoto/metan (June 24th 2019). https://doi.org/10.1101/2020.01.14.906750

Pezeshkpour, P., Amiri, R. and Jahangiri, A., 2025. Evaluation of performance stability of chickpea genotypes using AMMI, BLUP, MTSI and MGIDI Indexes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *35*(2), pp.43-62. [In Persian]. doi: 10.22034/saps.2024.60435.3177

Pezeshkpour, P., Karimizadeh, R., Mirzaei, A. and Barzali, M., 2021. Analysis of yield stability of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes using AMMI method. *Journal of Crop Breeding*. *13*(38), pp.60-70. [In Persian]. doi: 10.52547/jcb.13.38.60

Rodriguez, M., Rau, D. and Papa, R., 2007. Genotype by environment interactions in barley (*Hordeum vulgare* L.): different responses of landraces, recombinant inbred lines and varieties to Mediterranean environment. *Euphytica*, *163*(2), pp.231-247. https://doi.org/10.1007/s10681-007-9635-8

Sabaghnia, N., Dehghani, H. and Sabaghpour, S.H., 2006. Non parametric methods for interpreting genotype × environment interaction of lentil genotypes. *Crop Science*, *46*pp.1100-1106.

Sabaghpour, S.H., Safikhani, M., Sarker, A., Gaffari, A. and Ketata, H., 2004. Present status and future prospects of lentil cultivation in Iran. In: Proceeding of 5th European Conference on Grain Legumes. 7-11 June 2006. Dijon. France.

Sadegh Zadeh Ahari, D., Hosseini, S.K., Hossein Pour, T., Jafarbay, J., Khalilzade, G. and Alizade Disaj, K., 2005. Staudy on adaptability and stability of grain yield in durum wheat lines in warm and semi-warm dryland areas. *Seed and Plant*, *21*(4), pp.561-576. [In Persian]. doi: 10.22092/spij.2017.110660

Shobeiri, S.S., Sadeghzadeh, Ahari, D., Pezeshkpour, P. and Azimi, M., 2022. Stability analysis of grain yield of *Lens culinaris* L lentil genotypes in dryland conditions by GGE biplot method. *Journal of Crop Breeding*, *13*, pp.1-10. [In Persian].

Sellami, M.H., Pulvento, C., Aria, M., Stellacci, A.M. and Lavini, A., 2019. A systematic review of field trials to synthesize existing knowledge and agronomic practices on protein crops in Europe. *Agronomy*, *9*(6), 292. https://doi.org/10.3390/agronomy9060292

Turk, Z. and Kendal, E., 2017. The practice of AMMI and GGE biplot analysis of lentil genotypes assessment in multi-environment trials. *Philippine Journal of Crop Science*, *42*(3), pp.39-48.

Tyagi, S.D and Hafiz Khan, M., 2011. Correlation, path–coefficient and genetic diversity in lentil (*Lens culinaris* Medik) under rainfed conditions. *International Research Journal of Plant Science*, Division of Plant Breeding and Genetics KPG College, Ghaziabade (UP).

Yan, W., Pageau, D., Frégeau-Reid J.A. and Durand, J., 2011. Assessing the representativeness and repeatability of test locations for genotype Evaluation. *Crop Science*, *51*(No.?), pp.1603-1610. https://doi.org/10.2135/cropsci2011.01.0016

Yan, W., Kang, M.S., Ma, B., Woods, S. and Cornelius, P.L., 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype by environment data. *Crop Science*, *47*(No.?), pp.643-655. https://doi.org/10.2135/cropsci2006.06.0374

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-12]

Yan, W. and Tinker, N.A., 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications, *Canadian Journal of Plant Science, 86,* pp.623-645. https://doi.org/10.4141/P05-169

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

Zali H., Sabaghpour, S., Farshadfar, E., Pezeshkpour, P., Safikhani, M., Sarparast, R., Hashembeigi, A., 2007. Stability analysis of yield in chickpea genotypes by additive main effects and multiplicative interaction (AMMI). *Journal of Crop Production and Processing*, *11*(42), pp.173-180. [In Persian]. http://jcpp.iut.ac.ir/article-1-778-fa.html

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-12]