


Research Paper

Stability Analysis of Grain Yields of Vetch Genotypes by Multivariate Methods and the Superiority Index

Payam Pezeshkpour¹ , Behrouz Vaezi², Zainab Sabzi³ and Moslem Mahinkhah³

- 1- Associate Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran,
(Corresponding author: papezeshkpour@yahoo.com)
- 2- Researcher, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yasuj, Iran
- 3- Researcher, Crop and Horticultural Science Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ilam, Iran

Received: 28 April, 2025

Revised: 05 August, 2025

Accepted: 11 September, 2025

Extended Abstract

Background: Common vetch (*Vicia sativa ssp. sativa L.*) is one of the most important livestock legumes in the Mediterranean mega-environment due to its multiple uses, its high nutritional value, and its ability to grow in different environmental conditions. Increased nutritional needs for livestock require the introduction of animal feed legumes in crop rotations. Common vetch is considered among the best options to be part of crop rotations, especially in lower rainfall areas, and a good alternative to cereal monoculture, as it produces higher seed and protein yields, in comparison. Another advantage of vetch cultivation is its compatibility with organic and low-input farming systems. Its usefulness is based on the exploitation of atmospheric nitrogen, which is satisfactory in certain cultivation areas. Vetch-cereal intercrops produce considerably higher protein yields on the soil without any need for N-fertilizers. It is a usual approach to cultivate local varieties or mixtures among them to maintain yield under low-input farming systems that support mainly livestock. Autumn vetch cultivation in terms of increasing the efficiency of rainfall increases grain yield compared to spring cultivation under rainfed conditions. In addition, to maximize yield and control phenotypic expression, breeders must select specific genotypes that are stable or adapted to a specific environment. Therefore, the identification of high-yield genotypes with adaptation to a wide range of environments is one of the major goals in crop breeding programs. In multi-environment experiments, vetch yield is influenced by the genetic structure, environment, and genotype \times environment interaction. To better interpret the genotype \times environment interaction, the additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) model is one of the most common methods in the study of multi-environment experiments. The current study aimed to investigate the effect of the genotype \times environment interaction on vetch genotypes and to identify stable, high-yielding genotypes that are compatible with the climatic conditions of temperate rainfed regions of Iran.

Methods: In this study, eight promising vetch genotypes, along with “Maragheh” and “Tolo” cultivars, were cultivated in a randomized complete block design for five consecutive cropping years (2019-2024) in Kogiluyeh and Boyer Ahmad/Gachsaran, Lorestan/Khorramabad, Ilam/Chardavel, and Mehran. In the field, each plot consisted of four planting rows, 7 meters long, with a distance of 25 cm and a density of 150 seeds per square meter. Stability analysis was performed using the AMMI multivariate method. Statistical analyses were performed using the Metan and GGE packages of multi-environment experiments in R software.

Results: The AMMI analysis of variance showed that the effects of environment, genotype, the genotype \times environment, and the first five main components were significant. Therefore, due to the significance of the genotype \times environment interaction, it is possible to perform stability analysis on these data. According to AMMI analysis, the first and second main components of the genotype-environment interaction accounted for 51.6 and 25.6% of genotype \times environment interaction variations, respectively. The effect of the first five main components was significant and in total explained 96.5% of the genotype \times environment interaction variations. The shares of the environment, genotype, and genotype \times environment interaction in the sum of total squares were 35.45, 8.908, and 55.65 percent, respectively. Among the studied genotypes, Genotype 2 with 1.451 ton/ha, followed by genotypes 1, 5, and 3, produced the highest grain yields. Based on the ASV stability index, genotypes 4, 6, and 5, based on the SIPC index, genotypes 5, 1, 2, and 4,



based on the EV index, genotypes 1, 4, 3, and 10, and genotypes 5, 7, 2, and 6 based on the index Za were the most stable genotypes. Based on the simultaneous selection index of ssiASV, genotypes 1, 2, 3, and 4, based on the ssiSIPC index, genotypes 2, 1, 3, and 5, based on the ssiEV index, genotypes 1, 2, 3, and 4, based on the ssiZA index, genotypes 2, 5, and 1, and based on the ssiWAAS index, genotypes 5, 1, 2, and 7 were the best genotypes in terms of yield and stability. Based on the AMMI1 biplot, genotypes 4, 7, 5, 1, and 6 with mean grain yields higher than the overall average and lowest values of IPCA1 were identified as stable genotypes with high general compatibility. In the AMMI2 biplot, genotypes 4, 5, and 6, in addition to high general stability, produced higher grain yields than the overall average. In addition to the AMMI indices, Lin and Binn's superiority index was also used to identify the best genotypes, and based on this, genotypes 1, 3, 5, and 2 were the most stable genotypes in the studied environments.

Conclusion: In general, genotypes 1 (V.S.IVAT- 2003), 2 (V.S.IVAT- 2556), and 5 (V.S.IVAT- 2709) produced high yields in most of the environments based on different indices and showed good stability in most methods. Therefore, they could be candidates for the introduction of new cultivars.

Keywords: Biplot, stability, Priority index, AMMI, GGE

How to Cite This Article: Pezeshkpour, P., Vaezi, B., Sabzi, Z., & Mahinkhah, M. (2026). Stability Analysis of Grain Yields of Vetch Genotypes by Multivariate Methods and the Superiority Index. *J Crop Breed*, 18(1), 43-58. DOI: 10.61882/jcb.2026.1614



مقاله پژوهشی

تجزیه پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های ماشک با استفاده از روش‌های چندمتغیره و شاخص برتری

پیام پزشکپور^۱، بهروز واعظی^۲، زینب سبزی^۳ و مسلم مهین‌خواه^۳

۱- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران، (نویسنده مسوول: Papezeshkpour@yahoo.com)

۲- مربی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران

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

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۴
صفحه: ۴۳ تا ۵۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۸

چکیده مسوط

مقدمه و هدف: ماشک معمولی (*Vicia sativa* ssp. *sativa* L.) به‌دلیل کاربردهای متعدد، ارزش غذایی بالا و توانایی رشد در شرایط محیطی مختلف، یکی از مهمترین حبوبات دامی در محیط وسیع مدیترانه است. افزایش نیازهای غذایی دام‌ها مستلزم معرفی لگوم علوفه‌ای برای خوراک دام در تناوب‌های زراعی است. ماشک معمولی به عنوان یکی از بهترین گزینه‌ها برای قرار گرفتن در تناوب‌های زراعی، به ویژه در مناطق کم‌باران، و جایگزین خوبی برای کشت تک‌محصولی غلات در نظر گرفته می‌شود، زیرا در مقایسه با غلات عملکرد دانه و پروتئین بالاتری تولید می‌کند. یکی دیگر از مزایای کشت ماشک، سازگاری آن با سیستم‌های کشاورزی ارگانیک و کم‌نهاده است. سودمندی آن بر اساس بهره‌برداری از نیتروژن اتمسفری است که در مناطق کشت معین رضایت‌بخش است. کشت‌های مخلوط ماشک و غلات، بدون نیاز به کودهای نیتروژنی، عملکرد پروتئین قابل توجه بالاتری در خاک تولید می‌کنند. کشت گونه‌های محلی یا مخلوط‌هایی از آنها، برای حفظ عملکرد در سیستم‌های کشاورزی کم‌نهاده که عمدتاً از دامداری پشتیبانی می‌کنند، یک رویکرد معمول است. کشت پاییزه ماشک از نظر افزایش راندمان بهره‌وری از بارش، موجب افزایش عملکرد دانه نسبت به کشت بهاره در شرایط دیم می‌شود. علاوه بر این، برای به حداکثر رساندن عملکرد و کنترل بیان فنوتیپی، به‌نژادگران باید ژنوتیپ‌های خاصی را انتخاب کنند که در یک محیط خاص پایدار یا سازگار با آن باشند. بنابر این، شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و سازگار به دامنه گسترده‌ای از محیط‌ها، یکی از هدف‌های عمده در برنامه‌های به‌نژادی گیاهان زراعی است. در آزمایش‌های چندمحیطی، عملکرد ماشک تحت تأثیر ساختار ژنتیکی، محیطی و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط قرار می‌گیرد. برای تفسیر بهتر برهمکنش ژنوتیپ × محیط، مدل اثرات اصلی افزایشی و برهمکنش ضرب‌پذیر (AMMI) یکی از متداول‌ترین روش‌ها در مطالعه آزمایش‌های چندمحیطی است. هدف از پژوهش حاضر، بررسی برهمکنش ژنوتیپ و محیط بر ژنوتیپ‌های ماشک و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار، پرمحصول و سازگار با شرایط آب و هوایی مناطق دیم معتدل کشور بود.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، هشت ژنوتیپ امیدبخش ماشک به‌همراه ارقام شاهد (مراغه و طلوع) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به‌مدت پنج سال زراعی متوالی (۴۰۳-۱۳۹۸) در کهگیلویه و بویر احمد (کچساران)، لرستان (خرم‌آباد) و ایلام (مهران و چرداول) کشت شدند. در مزرعه، هر کرت شامل چهار خط کاشت به طول ۷ متر با فاصله ۲۵ سانتی‌متر و تراکم ۱۵۰ دانه در متر مربع بود. تجزیه پایداری با استفاده از روش چندمتغیره امی انجام شد. تجزیه‌های آماری با استفاده از بسته تجزیه آزمایش‌های چندمحیطی با نام Metan و GGE در نرم‌افزار R انجام شدند.

یافته‌ها: تجزیه واریانس AMMI نشان داد که اثرات محیط، ژنوتیپ، و برهمکنش ژنوتیپ × محیط و پنج مؤلفه اصلی اول معنی‌دار بودند. بنابر این، با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ × محیط، امکان انجام تجزیه پایداری روی این داده‌ها وجود دارد. بر اساس تجزیه AMMI، اولین و دومین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ × محیط، به ترتیب ۵۱/۶ و ۲۵/۶ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. اثر پنج مؤلفه اصلی اول، معنی‌دار بود و در مجموع ۹۶/۵ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه کردند. سهم محیط (مکان، سال و مکان در سال)، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط در مجموع مربعات کل، به ترتیب ۳۵/۴۵، ۵۵/۶۵ و ۸/۹۰۸ درصد بود. در بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده، بیشترین عملکرد دانه در ژنوتیپ شماره دو (۱/۵۴۱ تن در هکتار) و در پی آن در ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۵ و ۳ دیده شد. بر اساس شاخص پایداری ASV، ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۶ و ۵، بر اساس شاخص SIPC، ژنوتیپ‌های ۵، ۱، ۲ و ۴، بر اساس شاخص EV، ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۴، ۳ و ۱۰ و بر اساس شاخص Za ژنوتیپ‌های ۵، ۷، ۲ و ۶ پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر مبنای شاخص انتخاب همزمان ssiASV، ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ۸ و ۱، بر مبنای شاخص ssiSIPC، ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۱، ۵ و ۳، بر مبنای شاخص ssiEV ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳ و ۴، بر مبنای شاخص ssiZA، ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۵ و ۱ و بر مبنای شاخص ssiWAAS، ژنوتیپ‌های ۵، ۱، ۲ و ۷ برترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد و پایداری بودند. بر اساس بای‌پلات AMMI، ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۷، ۱ و ۶ با عملکرد دانه بیشتر از عملکرد میانگین کل و کمترین مقادیر IPCA1، به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا شناسایی شدند. از بای‌پلات AMMI2، ژنوتیپ‌های ۴، ۵ و ۶ علاوه بر پایداری عمومی بالا، دارای عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل بودند. علاوه بر شاخص‌های AMMI، از شاخص برتری لین و بینز برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر استفاده شد که بر این اساس ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۳، ۵ و ۲ برترین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مطالعه شده بودند.

نتیجه‌گیری: در مجموع و بر اساس شاخص‌های مختلف، ژنوتیپ‌های شماره ۱ (V.S.IVAT- 2003)، ۲ (V.S.IVAT- 2556) و ۵ (V.S.IVAT- 2709) در بسیاری از محیط‌ها دارای عملکرد بالا و در بیشتر روش‌ها، دارای پایداری مطلوبی بودند و می‌توانند گزینه‌های معرفی ارقام جدید باشند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، پایداری، شاخص برتری، AMMI، GGE

مقدمه

مناطق کم‌باران، و جایگزین خوبی برای کشت تک‌محصولی غلات در نظر گرفته می‌شود، زیرا در مقایسه با غلات عملکرد دانه و پروتئین بالاتری تولید می‌کند (Yau et al., 2003). یکی دیگر از مزایای کشت ماشک، سازگاری آن با سیستم‌های کشاورزی ارگانیک و کم‌نهاده است. سودمندی آن بر اساس

افزایش نیازهای غذایی دام‌ها مستلزم معرفی لگوم علوفه‌ای برای خوراک دام در تناوب‌های زراعی است (Firincio glu, et al., 2007). ماشک معمولی به‌عنوان یکی از بهترین گزینه‌ها برای قرار گرفتن در تناوب‌های زراعی، به‌ویژه در

از انتخاب نهایی ژنوتیپ های مطلوب ارزیابی کرد (Zubair et al., 2002).

معرفی ارقام مناسب ماشک با قابلیت کشت پاییزه برای تولید علوفه در دیمزارهای سردسیر از نیازهای مهم کشور در حال حاضر است و هر روز بر اهمیت آن افزوده می شود. به کارگیری لگوم های یکساله زمستانه در تناوب گیاهان زراعی دیگر جهت کاهش استفاده از منابع تجدیدناپذیر منابع طبیعی همانند چراگاه ها و مراتع طبیعی توصیه شده است (Hargrove, 1986).

کشت پی در پی گندم و عدم به کارگیری تناوب های مناسب در اراضی دیم آینده تولید گندم را در تنگنا قرار خواهد داد. لگوم های علوفه ای می توانند نقش مهمی را در تضمین ادامه تولید سامانه های زراعی مناطق و محیط های خشک و نیمه خشک ایفا نمایند. آنها با توانایی تثبیت نیتروژن هوا و اصلاح ساختمان خاک کلید پایداری سامانه های تولید متمرکز گندم هستند (Turk et al., 1997). تولید علوفه دیم با توجه به شرایط تأمین خوراک دام در قسمت هایی از نواحی خشک و نیمه خشک از اهمیت زیادی برخوردار است. معرفی و تولید لگوم های علوفه ای از انواع ماشک در تناوب با دیگر محصولات می تواند از شدت کمبود مشهود خوراک دام به ویژه در طول شرایط سرد زمستانی بکاهد. با هدف تولید علوفه سبز، لگوم های علوفه ای سازگار می توانند با مصرف بهینه آب قابل مصرف خاک تولید با ارزشی از ماده خشک را که برای تغذیه احشام نیاز است داشته باشند. گونه های ماشک به عنوان لگوم های علوفه ای امیدبخش دارای تولید بالا شناسایی شده اند که سازگاری درازمدت آنها باعث افزایش تولیدات زراعی و دامی شده است. سهولت دسترسی به لگوم های علوفه ای، امکان تولید یکپارچه سیستم مزرعه ای را فراهم می آورد و باعث می شود که فشار بیش از حد چرای مفراط از مراتع کاهش یابد (Caballero et al., 1992).

در ازبکستان، لاین های گزینش شده از علوفه های اصلاح شده در چهار ناحیه با عملکرد حدود ۶۰۰ تا ۱۴۰۰ کیلوگرم در هکتار برای گونه هایی از جنس ماشک و ۷۰۰ تا ۱۹۰۰ کیلوگرم در هکتار برای انواع خلر مورد ارزیابی قرار گرفتند که ماشک گونه ناربون و ماشک پانونیکا بیشترین مقاومت به سرما در ارتفاع ما بین ۱۸۰۰ تا ۲۰۰۰ متر بالاتر از سطح دریا را از خود نشان دادند (Anonymus, 2000).

ماشک معمولی (*Vicia sativa*) از جمله گیاهانی است که در مراتع و علفزارها به صورت خودرو رشد می کند. ماشک ها برای حفاظت و اصلاح ساختمان خاک، به عنوان کود سبز، علوفه خشک، سیلو و علوفه سبز کشت می شوند. علوفه این محصول برای دام ها مناسب و میزان پروتئین آن در زمان مناسب برداشت، بین ۲۰-۱۵ درصد است. اگرچه ارزش غذایی ماشک با یونجه برابر است، ولی مهمترین مزیت آن نسبت به یونجه، عدم ایجاد نفخ در دام است (Kurdali et al., 1996).

ماشک گیاهی بسیار مناسب برای احداث چراگاه است و سبب تقویت نفوذپذیری و نگهداری درازمدت آب در خاک می شود (Jiang et al., 2013). در مطالعه ای که به مدت شش سال در شمال لبنان انجام شد، در بین گیاهان علوفه ای مورد

بهره برداری از نیتروژن اتمسفری است که در مناطق کشت معین رضایت بخش است (Rinnofner et al., 2008). کشت های مخلوط ماشک و غلات، بدون نیاز به کودهای نیتروژنی، عملکرد پروتئین قابل توجه بالاتری تولید می کنند. کشت گونه های محلی یا مخلوط هایی از آنها، برای حفظ عملکرد در سیستم های کشاورزی کم نهاده که عمدتاً از دامداری پشتیبانی می کنند، یک رویکرد معمول است (Vlachostergios et al., 2011).

زراعت گیاهان علوفه ای در چرخه نظام های زراعی مبتنی بر تک کشتی غلات، مزایای زیادی را در بر دارد. کشت یک گیاه علوفه ای در تناوب با غلات، در اصلاح خصوصیات خاک و افزایش نفوذپذیری باران در خاک مؤثر است و در نهایت، سبب افزایش عملکرد غلات در تناوب می شود (Heidarpour et al., 2018). پتانسیل تولید بالا، تحمل به خشکی و سرما، سازگاری به شرایط محیطی و تثبیت بالای نیتروژن، از شاخص های مهم در رابطه با انتخاب ماشک جهت کشت در شرایط دیم هستند (Lameie, 2012).

تغییرات اقلیمی چالشی برای تضمین غذا و خوراک دام برای جمعیت رو به افزایش در قرن بیست و یکم هستند. محیط های دارای آب و هوای مختلف برای تضمین تولید به گونه هایی با عملکرد خوب و پایدار نیاز دارند (Akdeniz et al., 2019). از سوی دیگر، اتخاذ اصول کشاورزی ارگانیک در شرایط کم نهاده، مستلزم استفاده از مواد ژنتیکی مناسب برای تضمین پایداری نیز است (Vlachostergios et al., 2011; Georgieva et al., 2020).

پایداری هدف دشواری برای به نژادگران و کشاورزانی است که باید با سازگاری گونه های خاص کنار بیابند. فرآیندهای اکولوژیکی با تنوع زیستی، نهاده های کم و سیستم کاشت سازگار در شرایط محلی ترکیب می شوند. گونه های مناسب برای عملکرد علوفه باید بر اساس سازگاری در محیط های مختلف و به ویژه کم نهاده انتخاب شوند و بنا بر این، آزمایش های گسترده ای توسط به نژادگران و متخصصان کشاورزی مورد نیاز است. در ماشک، عملکرد زیست توده، عملکرد دانه و اجزای عملکرد به همراه ارتفاع گیاه، زودرسی و کارایی مصرف آب مورد مطالعه قرار گرفتند و ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ در محیط بر ویژگی های مورد مطالعه تأثیر می گذارند. محیط منبع اصلی تغییرات است، در حالی که ژنوتیپ اثر بسیار کمتری را نشان داد (Papastylianou et al., 2021).

بیان یک ژن می تواند از طریق مکانیسم های سلولی تنظیمی در پاسخ به تغییر عوامل محیطی (افزایش یا کاهش) تغییر کند. تعامل ژنوتیپ × محیط منجر به سازگاری ارقام در شرایط تغییرات محیطی می شود. این امر فرآیند اصلاح نژاد را پیچیده می کند. در تولید زراعی، ارقامی ترجیح داده می شوند که دارای عملکرد بالا، پایداری فنوتیپی و سایر صفات ارزشمند باشند (Dechev, 2004).

در حال حاضر، اطلاعات کافی در مورد پایداری و عملکرد لاین های امیدبخش ماشک معمولی در دسترس نیست. از این رو، انجام آزمایش های چندمکانی مهم است، به طوری که بتوان ژنوتیپ های زیادی را در مکان ها و سال های مختلف قبل

دو مؤلفه اصلی (PC) اهمیت زیادی دارند، به خوبی شناخته شده‌اند. در حال حاضر، برنامه‌های اصلاح نباتات به‌طور گسترده از روش‌های تحلیل پایداری استفاده می‌کنند که بر مدل‌های مختلط REML/BLUP متکی هستند (Pezeshkpour et al., 2024 b; Torres Filho, 2017; de Sousa et al., 2020). رویکرد REML برای ارزیابی مؤلفه‌های واریانس و عوامل ژنتیکی استفاده می‌شود، در حالی که BLUP به‌عنوان روش انتخاب بهینه در نظر گرفته می‌شود (de Resende, 2016). در چارچوب مدل‌های مختلط، پارامترهای پایداری خاصی، مانند میانگین هارمونیک مقادیر ژنوتیپی (HMGV)، عملکرد نسبی مقادیر ژنوتیپی (RPGV) و میانگین هارمونیک عملکرد نسبی مقادیر ژنوتیپی (HMRPGV)، می‌توانند برای ارزیابی همزمان پایداری عملکرد و سازگاری محاسبه شوند (Resende, 2007). هدف این پژوهش، بررسی برهمکنش ژنوتیپ و محیط بر ژنوتیپ‌های ماشک و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار، پرمحصول و سازگار با شرایط اقلیمی مناطق دیم معتدل با استفاده از روش‌های تجزیه پایداری AMMI و ناپارامتری رتبه بود.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، تعداد هشت ژنوتیپ ماشک که از آزمایش‌های پیشرفته مقایسه عملکرد گزینش شده بودند، همراه ارقام شاهد (مراغه و طلوع) (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و چهار منطقه لرستان/خرم‌آباد (ایستگاه تحقیقات کشاورزی سراب چنگائی خرم‌آباد)، ایلام/چرداول و مهران (ایستگاه تحقیقات کشاورزی زنجیره چرداول و مهران) و کوهگیلویه و بویر احمد/ گچساران به‌مدت پنج سال زراعی (۴۰۳-۱۳۹۸) مورد مطالعه قرار گرفتند. در سال سوم زراعی (۴۰۱-۱۴۰۰) به‌خاطر خسارت پرندگان و از بین رفتن کامل آزمایش در ایستگاه مهران در استان ایلام این محیط در نظر گرفته نشد. تاریخ کاشت بسته به وضعیت بارندگی مؤثر در پنج سال زراعی در مناطق مختلف از نیمه دوم آبان‌ماه تا نیمه دوم آذرماه انجام شد. در مزرعه، هر کرت شامل چهار خط کاشت هفت متری با فاصله ۲۵ سانتی‌متر و تراکم ۱۵۰ دانه در متر مربع بود. در هر سال، پیش از کشت، زمینی که در سال پیش از آن آیش و یا در تناوب با غلات دیم بود، با گاواهن چیزل مرکب شخم زده شد و با دیسک و روتواتور نرم و تسطیح شد. کود شیمیایی بر مبنای ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم و ۳۵ کیلوگرم در هکتار اوره، به‌هنگام عملیات تهیه زمین، به‌طور یکنواخت با خاک مخلوط شد. ویژگی‌های جغرافیایی و میزان بارندگی سالانه مناطق اجرای آزمایش، به‌ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند. قبل از برداشت، دو خط کناری و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای دو خط وسط حذف و محصول از مابقی هر کرت (۳ متر مربع) برداشت شد. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی و با استفاده از کولتیواتور دستی در دو مرحله در طول دوره رشد رویشی انجام شد. عملکرد دانه در سال‌های مختلف برای هر ژنوتیپ بر اساس تن در هکتار اندازه‌گیری شد.

بررسی در تناوب با کشت جو، ماشک معمولی به‌دلیل تولید بیشترین میزان علوفه خشک و دانه، به‌عنوان مناسبترین گیاه علوفه‌ای معرفی شد. در سال‌های اخیر، ماشک به‌عنوان یک گیاه پوششی مناسب قبل از کشت ذرت، برای کنترل علف‌های هرز به‌ویژه در سیستم بدون شخم، مورد مطالعه قرار گرفته است (Hoffman et al., 2003).

کمبود مواد غذایی و افزایش روزافزون جمعیت، به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه، نگرانی‌های جدی در رابطه با تأمین غذا در آینده به‌وجود آورده‌اند و در این میان نقش لگوم‌های علوفه‌ای در تغلیف دام و در نتیجه تأمین نیاز انسان به فرآورده‌های دامی اهمیت انکارناپذیری دارد. ماشک از تیره بقولات، از انواع گیاهان علوفه‌ای خاص و مناسب مناطق سرد و خشک است (Ma et al., 2022). ۹/۶ درصد از سطح برداشت و ۲۷/۴ درصد از میزان تولید محصولات زراعی کشور به نباتات علوفه‌ای اختصاص دارد. اگرچه آمار دقیقی از سطح زیر کشت و میزان تولید ماشک در داخل کشور وجود ندارد، گزارش شده است که ۶۵ هزار هکتار از اراضی دیم کشور به محصولات علوفه‌ای به غیر از یونجه، شبدر و ذرت علوفه‌ای اختصاص دارد (Anonymous, 2023).

با توجه به طیف جغرافیایی گسترده مکان‌های تولید، تنوع قابل توجهی در شرایط آب و هوایی در مکان‌های مختلف وجود دارد. وجود برهمکنش ژنوتیپ × محیط در محصولاتمانند ماشک منجر به تظاهرات فنوتیپی متنوع ویژگی‌ها به‌دلیل تغییرپذیری محیط‌ها می‌شود (Ahmadi et al., 2015). وجود برهمکنش ژنوتیپ × محیط چالش‌های قابل توجهی را برای بهبود اصلاح ماشک ایجاد می‌کند. این امر مانع شناسایی ژنوتیپ‌های بهتر با عملکرد و پایداری بالا و همچنین معرفی ژنوتیپ‌های مناسب برای مناطق خاص آب و هوایی می‌شود (Vezei et al., 2023). بنابراین، برای کاهش اثرات منفی اثر متقابل ژنوتیپ-محیط بر نتایج برنامه‌های به‌نژادی، باید درک کاملی از برهمکنش ژنوتیپ در محیط داشت و مقادیر آن را به‌طور دقیق ارزیابی کردند. تکنیک‌های مختلفی در مقالات برای بررسی سازگاری و پایداری در آزمایش‌های چند محیطی مستند شده‌اند. رویکردی که اغلب برای بررسی پایداری ژنوتیپ استفاده می‌شود، روش اثرات اصلی افزایشی و اثر متقابل ضربی (AMMI) است، همان‌طور که توسط Gauch (1988) شرح داده شده است. مدل AMMI، همراه با ANOVA، نمودارهای AMMI1 و AMMI2 را ایجاد می‌کند. نمودار AMMI1 ژنوتیپ‌های برتر عدس بر پایه میانگین عملکرد دانه و مؤلفه اصلی اول را نشان می‌دهد، در حالی که نمودار AMMI2 ارتباط بین ژنوتیپ‌ها و دو مؤلفه اصلی اول را نشان می‌دهد. یک روش جایگزین برای ارزیابی پایداری، استفاده از تجزیه و تحلیل نموداری ژنوتیپ + ژنوتیپ در محیط (GGE) است، همان‌طور که توسط Yan و کانگ (Yan & Kang, 2002) شرح داده شده است، نمودار دوبعدی GGE تصویری بصری از اثرات ژنوتیپ در محیط ارائه می‌دهد و امکان تشخیص روندها، همبستگی‌ها و داده‌های پرت را فراهم می‌کند. این امر تفسیر و بحث در مورد داده‌ها را تسهیل می‌کند. مدل‌های AMMI و GGE به‌عنوان دو رویکرد برجسته پایداری، به‌ویژه هنگامی که

برآورد شدند و برای ارزیابی معنی داری اثرهای تصادفی، آزمون نسبت درست‌نمایی (LRT)^۳ به کار گرفته شد. مدل آماری BLUP راهکاری برای توانایی پیش‌بینی بهتر است که در آن بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی بر روی ماتریس برهمکنش ژنوتیپ در محیط تخمین زده می‌شود و تجزیه پایداری به روش AMMI بر روی این پیش‌بینی‌ها انجام می‌شود (Olivoto *et al.*, 2019). پارامترهای پایداری استفاده شده در این پژوهش در جدول ۴ نشان داده شده‌اند.

تجزیه‌های آماری با استفاده از بسته تجزیه آمایش‌های چندمحیطی با نام ^۱Metan (Olivoto & Lucio, 2020) و GGE (Wright & Laffont, 2018) در نرم‌افزار R انجام شدند. برای تعیین کمیت پایداری ژنوتیپی، از تجزیه مقادیر منفرد (SVD)، بر روی ماتریس بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی (BLUP) برهمکنش‌های ژنوتیپ در محیط (GEI) با یک مدل اثر مختلط خطی (LMM) استفاده شد. اجزای واریانس با روش حداکثر درست‌نمایی محدودشده (REML)^۲

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

Table 1. Names of promising vetch cultivars and genotypes used in the experiment

کد ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	مبدأ	کد ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	مبدأ
Genotype code	Genotype name	Origin	Genotype code	Genotype name	Origin
G1	V.S.IVAT-2004-2003	Hungary	G6	V.S.IVAT-2004-2717	ICARDA
G2	V.S.IVAT-2004-2490	Syria	G7	V.S.IVAT-2004-2721	ICARDA
G3	V.S.IVAT-2004-2556	Cyprus	G8	V.S.IVAT-2000-1852-2755	ICARDA
G4	V.S.IVAT-2004-2558	Italy	G9	MARAGHEH C.V.	IRAN
G5	V.S.IVAT-2004-2709	ICARDA	G10	TOLO C.V.	IRAN

جدول ۲- ویژگی‌های جغرافیایی مناطق اجرای آزمایش

Table 2. Geographic characteristics of experimental area

منطقه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	میانگین بارندگی (میلی‌متر)	شرایط اقلیمی (Climatic conditions)
Location	Above mean sea level (m)	Longitude	Latitude	Average rainfall (mm)	
Kohgiluyeh and Boyer Ahmad / Gachsaran	668	30° 18' E	50° 59' N	596.8	Warm
Lorestan/Khoramabad	1147	48° 18' E	33° 29' N	445	Moderat cold
Ilam/Mehran	1898	45° 24' E	31° 58' N	211	Moderat warm
Ilam/ Shirvan chardavol	975	33° 34' E	46° 29' N	603.9	Moderat warm

جدول ۳- میزان بارندگی سالانه مناطق اجرای آزمایش در طول فصل زراعی در سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۳

Table 3. The annual rainfall of experimental areas during the cropping seasons (2019-2024)

منطقه	۱۳۹۸-۱۳۹۹	۱۳۹۹-۱۴۰۰	۱۴۰۰-۱۴۰۱	۱۴۰۱-۱۴۰۲	۱۴۰۲-۱۴۰۳
Location	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023	2023-2024
Kohgiluyeh and Boyer Ahmad / Gachsaran	435.2 (E1)	591.5 (E2)	331.5(E3)	491 (E4)	580.5 (E5)
Lorestan/Khoramabad	523.6 (E6)	304.9 (E7)	307 (E8)	462.7 (E9)	489.8 (E10)
Ilam/Mehran	318.3 (E11)	276.3 (E12)	-	54.1 (E13)	205.6 (E14)
Ilam/ Shirvan chardavol	603.6 (E15)	302 (E16)	223.6 (E17)	493.4 (E18)	555.5 (E19)

E1 تا E19 به ترتیب نشان‌دهنده محیط‌های ۱ تا ۱۹ هستند.

E1 to E19 represent environments 1 to 19, respectively.

جدول ۴- شاخص‌های تجزیه پایداری

Table 4. Stability analysis indices

شماره	شاخص	رابطه	منابع
No.	Index	Formula	References
1	ارزش پایداری امی AMMI Stability Value (ASV)	$ASV = \sqrt{\frac{SSIPC1}{SSIPC2} [(IPC1)^2] + (IPC2)^2}$	Purchase <i>et al.</i> , 2000
2	محورهای مؤلفه‌ها مجموع نمره‌های Sum of IPCs Scores (SIPC)	$SIPC = \sum_{n=1}^N \lambda_{0.5} \gamma_{in}$	Sneller <i>et al.</i> , 1997
3	مقدار ویژه پارامتر پایداری AMMI Eigenvalue (EV) stability parameters of AMMI	$EV = \sum_{n=1}^N \gamma_{in}^2 / n$	Zobel <i>et al.</i> , 1988
4	قدرمطلق سهم نسبی IPC در برهمکنش 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	میانگین وزنی نمرات مطلق Weighted average of absolute scores (WASS)	$WAAS_i = \frac{\sum_{n=1}^N IPCA_{in} \times EP_n }{\sum_{n=1}^N EP_n}$	Olivoto <i>et al.</i> , 2019
6	شاخص انتخاب همزمان Simultaneous selection index (SSI)	$SSI = RASV^4 + RY$	Farshadfar, 2008
7	شاخص برتری Superiority index (Pi)	$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - M_j)^2}{2n}$	Lin and Binns, 1988

i = 1, ..., 10 (تعداد ژنوتیپ‌ها)؛ n = 1, ..., p (تعداد مؤلفه‌های اصلی)

i = 1, ..., 10 (Number of genotypes); n = 1, ..., p (Number of principal components)

مجموع مربعات IPC1 بر مجموع مربعات IPC2 (دومین محور مؤلفه اصلی) به‌دست می‌آید. ارزیابی ژنوتیپ‌ها با این شاخص،

در رابطه ۱ (ASV)، نسبت $\frac{SSIPC1}{SSIPC2}$ وزن اختصاص داده شده به نخستین محور مؤلفه اصلی (IPC1) است که با تقسیم

¹. Multi-Environment Trial Analysis

². Restricted maximum likelihood

³. Likelihood Ratio Test

⁴. AMMI Stability Indices

AMMI، ابتدا ماتریس انحراف حاصل از اثرات جمع‌پذیر (ماتریس Z) محاسبه شد و سپس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، یک بار روی ماتریس Z برای ژنوتیپ‌ها و بار دیگر روی ماتریس Z'' برای محیط‌ها انجام شد. اولین (IPC1) و دومین (IPC2) مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ \times محیط، به ترتیب ۵۱/۶ و ۲۵/۶ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ \times محیط را توجیه کردند و مؤلفه‌های باقیمانده در درجه‌های بعدی اهمیت قرار داشتند (جدول ۵). در تطابق با این نتیجه، پژوهشگران دیگری نیز سهم ۹۶/۳ و ۳/۳ درصدی (Georgieva et al., 2015)، ۵۳/۶ و ۳۷/۳ درصدی (Greveniotis et al., 2021) و ۴۸ و ۴۱ درصدی (Sayar, 2017) دو مؤلفه اصلی اول و دوم را در برهمکنش ژنوتیپ \times محیط در ارزیابی ژنوتیپ‌های ماشک نشان دادند.

این نتایج همچنین نشان دادند که اثر پنج مؤلفه اصلی اول معنی‌دار بود و در مجموع ۹۶/۵ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه کردند. سهم محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ \times محیط در مجموع مربعات کل، به ترتیب ۳۵/۴۵، ۸/۹۰۸ و ۵۵/۶۵ درصد بود (جدول ۵). در تطابق با این نتیجه، سهم بیشتر اثر محیط در مجموع مربعات کل برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های ماشک گزارش شده است (Greveniotis et al., 2021).

اثر معنی‌دار ژنوتیپ و محیط، نشانه‌ای از پیش‌زمینه ژنتیکی گسترده مواد آزمایشی و تنوع مکان‌های آزمایشی و سال‌های زراعی است. اثر معنی‌دار برهمکنش ژنوتیپ \times محیط، عملکرد متفاوت ژنوتیپ‌ها را در محیط‌های مختلف نشان می‌دهد. بنابر این، با توجه به وابستگی تنوع عملکرد دانه ژنوتیپ‌های ماشک به محیط، نیاز به انجام تجزیه‌های بیشتر برای افزایش بازده گزینش ژنوتیپ‌ها است. به عبارت دیگر، وجود برهمکنش ژنوتیپ \times محیط، ضرورت تشخیص عملکرد و سازگاری ژنوتیپ‌ها را بر اساس ارزیابی‌ها در چندین مکان و سال زراعی نشان می‌دهد. کاهش برهمکنش ژنوتیپ \times محیط متضمن گزینش ژنوتیپ‌هایی با بالاترین پایداری در طیف گسترده‌ای از محیط‌ها است. از آنجا که برهمکنش ژنوتیپ \times محیط می‌تواند هرگونه 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 پنج 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.

فقط بر اساس دو مؤلفه اصلی اول انجام می‌شود. در رابطه ۲، λ_n ریشه مشخصه IPC در n امین محور است که برای $SIPC_1$ و $SIPCF$ به ترتیب برابر با ۱ و تعداد مؤلفه‌های اصلی باقیمانده در مدل است. در رابطه‌های ۳ و ۴، γ_{in} ریشه مشخصه برای محور n ام 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 امین محور IPC است. ارزیابی ژنوتیپ‌ها با رابطه‌های ۲ تا ۴ بر پایه تمام مؤلفه‌های اصلی باقیمانده در مدل انجام می‌شود و از این‌رو، می‌تواند نسبت به شاخص ASV دارای برتری باشند. چهار شاخص بالا، برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار، بدون در نظر گرفتن عملکرد دانه به کار گرفته می‌شوند و بر اساس آن، ژنوتیپ‌های دارای کمترین میزان این شاخص‌ها، پایدار در نظر گرفته می‌شوند. در رابطه ۵، $WAAS_i$ میانگین وزنی نمرات مطلق ژنوتیپ i ام، $IPCA_{in}$ نمره ژنوتیپ i ام در n امین محور مؤلفه اصلی برهمکنش (IPCA)، و EP_n مقدار واریانس توجیه شده توسط n امین IPCA است. ژنوتیپ با کمترین مقدار $WAAS$ پایدار در نظر گرفته می‌شود (Olivoto et al., 2019). در رابطه ۶، $R(ASV)$ رتبه ژنوتیپ‌ها بر پایه هر کدام از شاخص‌های پایداری AMMI، و RY رتبه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در تمام محیط‌ها است. کاربرد این شاخص برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد دانه و پایداری عملکرد دانه است که در گزینش ژنوتیپ‌ها به هر دو شاخص میانگین عملکرد دانه و پایداری عملکرد دانه توجه شده است. نمودارهای بای‌پلات نوع اول (IPCA₁ vs grain yield) و نوع دوم (AMMI₂ (IPCA₁ vs IPCA₂)) با روش استاندارد توضیح داده شده توسط زویل و همکاران (Zobel et al., 1988) با بسته *Metan* کشیده شدند. شاخص برتری با رابطه ۷ محاسبه شد (Lin and Binns, 1988) که در آن، P_i برتری ژنوتیپ i ام؛ X_{ij} عملکرد ژنوتیپ i ام در محیط j ام، M_j حداکثر پاسخ به دست آمده در میان همه ارقام در محیط j ام و n تعداد محیط‌ها است.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس نشان داد که اثرات محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ \times محیط در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مطالعه شده معنی‌دار بود (جدول ۵). با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ \times محیط، امکان انجام تجزیه پایداری روی این داده‌ها وجود دارد. از این‌رو، تجزیه پایداری به روش AMMI انجام شد. برای انجام تجزیه

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب به روش AMMI برای عملکرد دانه ژنوتیپ های ماشک

Table 5. AMMI combined analysis of variance for seed yields of vetch genotypes

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار F	درصد تغییرات از اثر متقابل ژنوتیپ در محیط	درصد تجمعی تغییرات
S.O.V	df	Sum of Squares	Mean of Squares	F Value	The percentage of variation from the genotype×environment interaction	Cumulative percentage of changes
ENV	18	269.182	14.9546 **	31.63		
REP(ENV)	38	17.966	0.4728 **	6.53		
GEN	9	13.054	1.4505 **	20.03		
GEN:ENV	162	66.968	0.4134 **	5.71		
PC1	26	34.567	1.3295 **	18.36	51.6	51.6
PC2	24	17.111	0.713 **	9.85	25.6	77.2
PC3	22	6.763	0.3074 **	4.25	10.1	87.3
PC4	20	3.371	0.1686 **	2.33	5.0	92.3
PC5	18	2.818	0.1566 **	2.16	4.2	96.5
PC6	16	1.196	0.0748 ns	1.03	1.8	98.3
PC7	14	0.496	0.0354 ns	0.49	0.7	99
PC8	12	0.405	0.0337 ns	0.47	0.6	99.6
PC9	10	0.242	0.0242 ns			
Residuals	342	24.761	0.0724			
Total	731	458.9	0.6278			
C.V.(%)	15.27					

ns, * and **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

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

شناسایی شدند. بر پایه شاخص ssiWAAS که در برآورد آن افزون بر تمام مؤلفه های برهمکنش ژنوتیپ × محیط، به عملکرد دانه ژنوتیپ ها نیز توجه شده است، ژنوتیپ های ۵، ۱، ۲ و ۷ برترین ژنوتیپ ها بودند (جدول ۶).

همان گونه که گفته شد، آماره های ssi که در برآورد آن ها به هر دو جنبه پایداری و متوسط عملکرد یک ژنوتیپ توجه می شود و این معیارها در یک شاخص گردآورده می شوند، محدودیت های گزینش ژنوتیپ فقط بر پایه شاخص پایداری کاهش می یابد و بهره گیری از این شاخص ها وابسته به این واقعیت است که پایدارترین ژنوتیپ ها همیشه بالاترین عملکرد را ندارند. از طرفی، ژنوتیپ های پایدار اما با عملکرد پایین نیز با این شیوه برگزیده نمی شوند (Farshadfar, 2008). روش گزینش همزمان برای عملکرد و پایداری در عدس (Pezeshkpour et al., 2024 a) برای تعیین پایداری ژنوتیپ ها استفاده شده است. همچنین، در پژوهش دیگری از شاخص Ysi برای گزینش همزمان برای عملکرد و پایداری استفاده شد (Sabaghpour, 2007).

در توجیه کاربرد روش گزینش همزمان برای ارزیابی عملکرد و پایداری، محققان با مقایسه این آماره با آماره های 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 می تواند با اطمینان بیشتری فرایند گزینش را انجام دهد (Moghadam, 2003). در پژوهشی دیگر نشان داده شد که گزینش همزمان برای عملکرد و هر یک از پارامترهای پایداری می تواند به شناسایی ژنوتیپ های پایدار نخود کمک کند (Karimizadeh et al., 2023).

به طور کلی، در صورت وجود برهمکنش معنی دار ژنوتیپ × محیط، اگر دو مؤلفه اصلی اول بیش از ۵۰ درصد از کل تغییرات را توجیه کنند، بای پلات می تواند ابزار مناسبی برای مطالعه برهمکنش ژنوتیپ × محیط باشد. در این پژوهش، با آنکه دو مؤلفه اصلی اول، ۷۷/۲ درصد برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه کردند، اما مشاهده شد که گزینش ژنوتیپ ها فقط بر پایه این دو مؤلفه و صرف نظر از سایر مؤلفه ها و عملکرد دانه، می تواند منجر به نتایج نادرستی شود. برای نمونه، ژنوتیپ

شاخص های 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. میانگین عملکرد هر کدام از ژنوتیپ ها در تمام محیط ها نشان می دهد که بیشترین عملکرد دانه در ژنوتیپ شماره دو (۱/۴۵۱ تن در هکتار) و در پی آن، در ژنوتیپ های شماره یک، پنج و سه دیده شد (جدول ۶). بر اساس شاخص پایداری ASV، ژنوتیپ های شماره ۴، ۶ و ۵ با نمره های پایین، پایدارترین ژنوتیپ ها بودند. از شاخص ASV به عنوان یک معیار مفید برای شناسایی ژنوتیپ های پایدار در گیاهان علوفه ای استفاده شده است (Lawal et al., 2020; Sanadya et al., 2025; Abdulrahman et al., 2021).

بر اساس شاخص SIPC، ژنوتیپ های ۵، ۱، ۲ و ۴ پایدارترین ژنوتیپ ها بودند. در حالی که بر اساس شاخص EV، ژنوتیپ های شماره ۱، ۴، ۳ و ۱۰ از پایداری بیشتری برخوردار بودند. شاخص ZA نیز ژنوتیپ های شماره ۵، ۷، ۲ و ۶ را به عنوان چهار ژنوتیپ پایدار شناسایی کرد. بر پایه شاخص WAAS نیز ژنوتیپ های شماره ۵، ۷، ۶ و ۱ پایدارترین بودند. مزیت این شاخص نسبت به سایر شاخص های AMMI این است که در برآورد آن، از تمام مؤلفه های مدل با وزن های متفاوت استفاده می شود (Olivoto et al., 2019). از آنجا که در ارزیابی ژنوتیپ ها و برگزیدن ژنوتیپ های برتر با شاخص های بالا، فقط به جنبه پایداری ژنوتیپ ها اهمیت داده شده است، امکان برگزیدن ژنوتیپ هایی با عملکرد پایین همچون ژنوتیپ شماره ۱۰ وجود دارد که عملکرد آن، پایین تر از متوسط کل ژنوتیپ ها است. بنابر این، از شاخص انتخاب همزمان (SSI) بر پایه هر کدام از شاخص های بالا استفاده شد، به طوری که بر مبنای شاخص انتخاب همزمان ssiASV که بر پایه شاخص پایداری ASV است، ژنوتیپ های ۲، ۳، ۸ و ۱ را می توان ژنوتیپ های برتر از نظر پایداری و عملکرد دانه شناسایی کرد. انتخاب همزمان ژنوتیپ ها بر اساس شاخص SIPC و عملکرد دانه، ژنوتیپ های ۲، ۱، ۵ و ۳ را به عنوان برترین ژنوتیپ ها در نظر گرفت. بر اساس انتخاب همزمان بر پایه ssiEV، ژنوتیپ های ۱، ۲، ۳ و ۴ به عنوان ژنوتیپ های برتر

سهمی در این برهمکنش‌ها داشته باشند (Olivoto *et al.*, 2019).

روش AMMI در هر محیط، ژنوتیپ برتر را از نظر عملکرد و پایداری انتخاب می‌کند که نتایج حاصل از این تجزیه در جدول ۷ نشان داده شده‌اند. ژنوتیپ شماره یک در محیط ۱، ۲، ۳، ۱۱ و ۱۳ با کسب رتبه یک و در محیط ده با کسب رتبه دو، و در محیط‌های ۵ و ۱۹ در رتبه ۳ و در محیط یک در رتبه چهار به‌عنوان یکی از پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شد. ژنوتیپ شماره ۲ در محیط‌های ۱۶ و ۱۸ حائز رتبه دو، در محیط ۱، ۲، ۴، ۱۷ و ۱۹ حائز رتبه دو و در محیط ۳ حائز رتبه سوم و در محیط‌های ۵ و ۶ دارای رتبه چهار گردید. بنابر این، می‌تواند به‌عنوان یکی از پایدارترین ژنوتیپ‌ها در این روش انتخاب شود.

شماره ۴، که در سه شاخص AMMI، ASV، SIPC و EV پایدار بود، زمانی که از SSI برای هر یک از شاخص‌ها استفاده شد، جزو ژنوتیپ‌های منتخب قرار نگرفت. در سوی مقابل، ژنوتیپ شماره ۳ بود که بر اساس پارامترهای AMMI، ASV و SIPC پایدار نبود، اما به‌عنوان یک ژنوتیپ برتر با توجه به شاخص‌های SSI آن‌ها برگزیده شد. بنابراین، زمانی که توجیه الگوی برهمکنش ژنوتیپ × محیط با دو مؤلفه اصلی اول، کم تا متوسط باشد (برای نمونه در محاسبه شاخص ASV)، لازم است در تفسیر احتیاط شود زیرا ممکن است که تعداد بیشتری از محورها در الگوی برهمکنش ژنوتیپ × محیط نقش داشته باشند، به طوری که حتی مؤلفه‌های اصلی آخر نیز می‌توانند

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

Table 6. Stability indices, ranks of genotypes, and the simultaneous selection index (SSI)

کد ژنوتیپ	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	مؤلفه اصلی اول	مؤلفه اصلی دوم	مؤلفه اصلی سوم	مؤلفه اصلی چهارم	مؤلفه اصلی پنجم	مؤلفه اصلی ششم	ارزش پایداری امی	مجموع نمره‌های محورهای مؤلفه‌ها	مقدار ویژه پارامتر پایداری AMMI	قدر مطلق سهم نسبی IPC در برهمکنش	رتبه عملکرد دانه	رتبه ASV	رتبه SIPC
Genotype code	Grain Yield (Kg/ha)	IPCA1	IPCA2	IPCA3	IPCA4	IPCA5	IPCA6	ASV	SIPC	EV	ZA	rY	rASV	rSIPC
G1	1.446	-0.2639	-6.21E-01	0.2091	0.02278	-0.05975	0.4922	0.819	1.177	0.043	0.198	2	7	2
G2	1.451	-0.8671	-3.52E-02	-0.1514	-0.1739	-0.3216	-0.1319	1.750	1.308	0.075	0.196	1	2	3
G3	1.426	-0.746	-3.81E-01	0.0335	-0.1738	-0.1583	-0.04373	1.550	1.549	0.056	0.283	4	3	5
G4	1.4	0.0337	-3.85E-02	0.3167	0.3062	0.2467	-0.4071	0.078	1.492	0.044	0.290	5	10	4
G5	1.428	-0.2346	4.02E-01	0.321	0.6736	-0.1057	-0.02138	0.621	0.942	0.118	0.067	3	8	1
G6	1.33	-0.2946	1.12E-01	-0.3059	-0.3814	0.5758	-0.1789	0.606	1.737	0.115	0.196	8	9	7
G7	1.344	0.1518	1.23E+00	0.04064	-0.2653	-0.1229	0.2364	1.270	1.670	0.145	0.170	6	5	6
G8	1.342	1.099	-3.06E-01	0.4778	-0.387	-0.3045	-0.188	2.240	1.813	0.157	0.268	7	1	8
G9	0.9667	0.6436	-0.1605	-9.52E-01	0.2737	-0.2585	-0.03868	1.310	2.574	0.175	0.430	10	4	10
G10	1.118	0.4783	-2.05E-01	0.01071	0.1052	0.5088	0.2811	0.988	2.288	0.073	0.310	9	6	9

ASV: ارزش پایداری امی، SIPC: مجموع نمره‌های محورهای مؤلفه‌ها، EV: مقدار ویژه پارامتر پایداری AMMI، ZA: قدر مطلق سهم نسبی IPC در برهمکنش
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

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

Table 6. Continued

کد ژنوتیپ	رتبه EV	رتبه Za	شاخص انتخاب همزمان ASV ssiASV	شاخص انتخاب همزمان SIPC ssiSIPC	شاخص انتخاب همزمان EV ssiEV	شاخص انتخاب همزمان Za ssiZa	میانگین وزنی نمرات مطلق WAAS	رتبه WAAS rWAAS	رتبه ssiWAAS ssiWAAS
Genotype code	rEV	rZa	ASV ssiASV	SIPC ssiSIPC	EV ssiEV	Za ssiZa	WAAS	rWAAS	ssiWAAS
G1	1	5	9	4	3	7	0.304	4	6
G2	5	3	3	4	6	4	0.313	5	6
G3	3	7	7	9	7	11	0.453	7	11
G4	2	8	15	9	7	13	0.457	8	13
G5	7	1	11	4	10	4	0.0827	1	4
G6	6	4	17	15	14	12	0.272	3	11
G7	8	2	11	12	14	8	0.236	2	8
G8	9	6	8	15	16	13	0.376	6	13
G9	10	10	14	20	20	20	0.659	10	20
G10	4	9	15	18	13	18	0.467	9	18

WASS: Weighted average of absolute scores, SSI: Simultaneous selection index

WASS: میانگین وزنی نمرات مطلق، SSI: شاخص انتخاب همزمان

جدول ۷- ژنوتیپ انتخابی هر محیط توسط روش AMMI

Table 7. Selected genotypes in each environment based on the AMMI method

محیط Environment	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg/ha)	رتبه اول First rank	رتبه دوم Second rank	رتبه سوم Third rank	رتبه چهارم Forth rank
E1	1.317	4	2	6	1
E2	0.717	1	2	4	3
E3	1.100	1	3	2	4
E4	1.180	1	2	3	4
E5	1.840	3	6	1	2
E6	1.333	3	7	5	2
E7	0.593	7	9	5	6
E8	0.387	8	6	9	5
E9	1.447	9	3	6	5
E10	1.547	6	1	4	7
E11	1.357	1	8	6	4
E12	1.390	7	6	3	4
E13	0.350	1	7	8	3
E14	1.940	8	3	5	4
E15	2.900	4	10	7	5
E16	0.223	2	10	8	9
E17	1.527	3	2	5	8
E18	1.397	2	3	5	4
E19	2.633	3	2	1	4

پنج ژنوتیپ برتر به ترتیب عبارت از ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۳، ۵ و ۳ بودند، در حالی که در محیط‌های نامطلوب، ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۴، ۲ و ۵ برترین ژنوتیپ‌ها بودند. بنابر این و بر اساس این سه شاخص، ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۳، ۵ و ۲ برترین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مطالعه شده بودند. در تطابق با این نتیجه، دهقانی و همکاران (Ebadi *et al.*, 2022) نیز با استفاده از شاخص Pi در ژنوتیپ‌های برنج، پایدارترین ژنوتیپ‌ها را شناسایی کردند.

شناسایی ژنوتیپ‌های برتر بر پایه شاخص برتری لین و بینز

در این پژوهش، علاوه بر شاخص‌های مختلف AMMI، از شاخص برتری لین و بینز (Lin & Binns, 1988) استفاده شد که برتری عمومی رقم را در تمام محیط‌ها (Pi-a)، محیط‌های مطلوب (Pi-f) و محیط‌های نامطلوب (Pi-u) اندازه‌گیری می‌کند. بر اساس شاخص Pi-a، ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۳، ۵ و ۴ ژنوتیپ‌های برتر بودند. در محیط‌های مطلوب نیز

جدول ۸- شناسایی ژنوتیپ‌های برتر ماشک با شاخص برتری در کل محیط‌ها، محیط‌های مطلوب و نامطلوب

Table 8. Identification of the superior vetch genotypes by the superiority index in all, favourable, and unfavourable environments

کد ژنوتیپ Genotype code	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Yield (Ton/ha)	شاخص برتری در کل محیط‌ها Pi-a	رتبه Pi-a	شاخص برتری در محیط‌های مطلوب Pi-f	رتبه Pi-f	شاخص برتری در محیط‌های نامطلوب Pi-u	رتبه Pi-u
G1	1.446	0.182	1	0.308	1	0.008	1
G2	1.451	0.223	5	0.375	5	0.014	3
G3	1.426	0.198	2	0.326	2	0.021	6
G4	1.4	0.205	4	0.345	4	0.012	2
G5	1.428	0.202	3	0.337	3	0.016	4
G6	1.33	0.300	7	0.497	6	0.030	8
G7	1.344	0.368	8	0.621	8	0.021	5
G8	1.342	0.300	6	0.501	7	0.023	7
G9	0.9667	0.562	10	0.835	10	0.186	10
G10	1.118	0.397	9	0.633	9	0.074	9

شاخص برتری در کل محیط‌ها، Pi-f: شاخص برتری در محیط‌های مطلوب، Pi-u: شاخص برتری در محیط‌های نامطلوب

Pi-a: Superiority index in all environments, Pi-f: Superiority index in favourable environments, Pi-u: Superiority index in unfavourable environments

از سوی دیگر، ژنوتیپ‌های ۸ و ۹ دورترین ژنوتیپ‌ها از مبدأ بای‌پلات (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 ۱۱، ۳، ۱۲، ۱۰، ۱۷، ۹ و ۱ دارای کمترین مقدار IPCA1 و کمترین برهمکنش ژنوتیپ در محیط بودند. به این ترتیب، این محیط‌ها به نسبت محیط‌های دیگر، پایداری عملکرد بهتری داشتند. محیط‌های ۱۰، ۱۷، ۹، ۱۴، ۵، ۱۸، ۱۵، ۱۹ و ۶ عملکرد دانه بالاتری را نسبت به میانگین کل داشتند (شکل ۱).

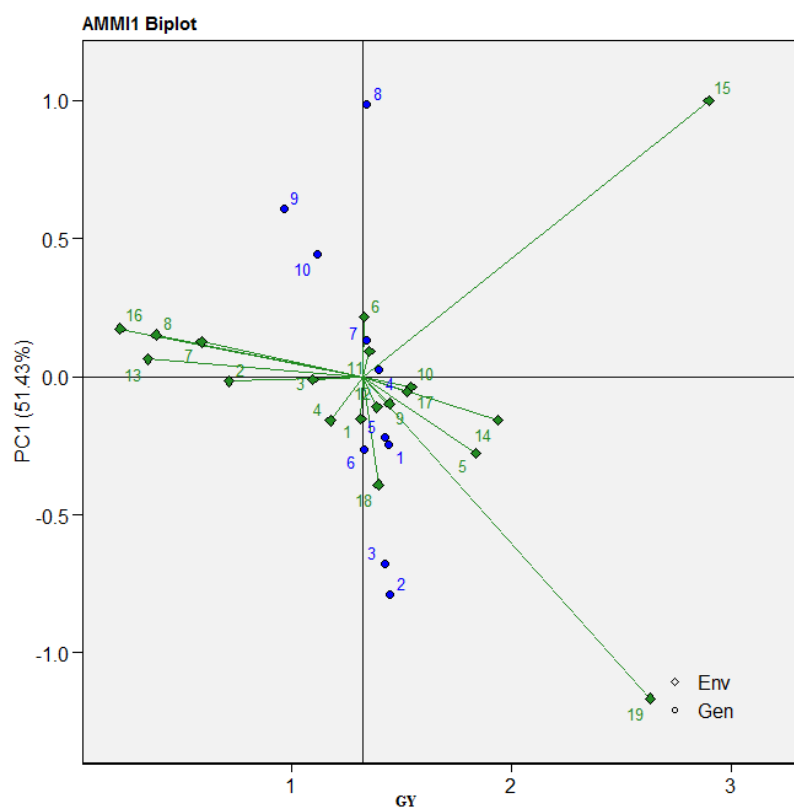
توضیح این نکته ضروری است که اگر تصمیم‌گیری برای شناساندن ژنوتیپ‌های پایدار بر مبنای این نمودار باشد که در کشیدن آن، فقط از مؤلفه اصلی نخست بهره گرفته شده است که تنها ۵۱ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ \times محیط را توجیه می‌کند، می‌تواند به نتایج نادرستی بیانجامد. از این رو، از روش بای‌پلات نوع دوم (AMMI2) استفاده شد که در آن از

تفسیر بای‌پلات

دو محور افقی و عمودی بای‌پلات نوع اول AMMI (عملکرد دانه در برابر مؤلفه اصلی اول)، به ترتیب به عملکرد دانه (به‌عنوان نمود یا بیان فنوتیپی یک ژنوتیپ) و نخستین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ 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 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. بر این اساس، ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۷، ۵، ۱ و ۶ دارای کمترین مقادیر IPCA1 بودند و میانگین عملکرد دانه این ژنوتیپ‌ها بیشتر از میانگین کل (۱/۳۲ تن در هکتار) و ارقام شاهد بود و به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا معرفی شدند (شکل ۱).

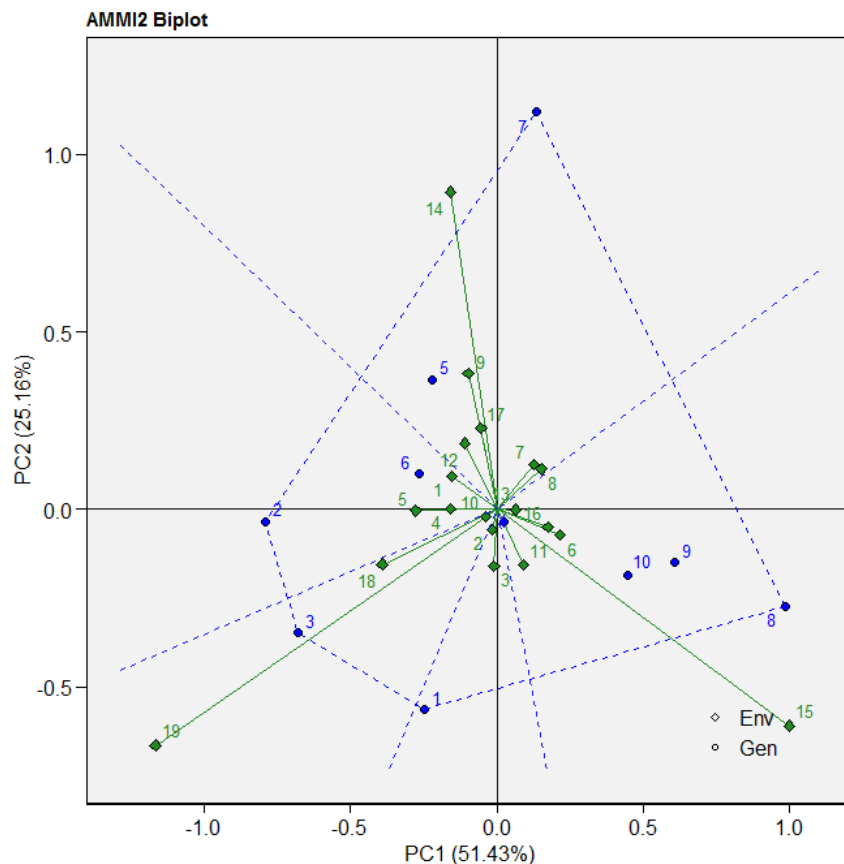
از محیطها قابل شناسایی هستند. بر این اساس، ژنوتیپ ۸ به عنوان ژنوتیپ رأسی و ژنوتیپهای شماره ۹، ۱۰ و ۴ درون آن بخش، بهترین ژنوتیپها برای محیطهای شماره ۱۵، ۶، ۱۶ و ۱۱ بودند. در بخش بعدی این چندضلعی، ژنوتیپهای شماره ۵ و ۶ بهترین ژنوتیپها برای محیطهای ۱۷، ۱۲، ۱۰، ۱ و ۵ و ۴ بودند (شکل ۲). از دیگر کاربردهای نمودار بای پلات، علاوه بر شناسایی ژنوتیپهای سازگار به هر محیط، معرفی ژنوتیپهای با پایداری عمومی است، به طوری که ژنوتیپ ۴ و تا حدودی ژنوتیپهای شماره ۵ و ۶ دارای پایداری عمومی بالایی بودند. در تطابق با یافته حاضر، پژوهشگران دیگری نیز با استفاده از روش بای پلات نوع دوم، ژنوتیپهای پایدار ماشک را شناسایی کردند (Sayar, 2017; Greveniotis *et al.*, 2021).

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 × محیط (۷۷/۲ درصد) نسبت به بای پلات نوع اول، به نظر می رسد که ارزیابی ژنوتیپها با بای پلات نوع دوم (AMMI2) به واقعیت نزدیکتر باشد و ژنوتیپهای پایدار را به شکل بهتری شناسایی کند (Olivoto *et al.*, 2019). در این نمودار (شکل ۲)، ژنوتیپهای شماره ۷، ۸، ۶، ۱، ۳ و ۲ با بیشترین فاصله از مبدأ بای پلات، سهم بالایی در برهمکنش ژنوتیپ × 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 قرار گرفته در رأس آن، بهترین ژنوتیپ برای محیطهای واقع در آن است (Yan *et al.*, 2000). در هر کدام از بخشهای این نمودار چندضلعی، ژنوتیپهای سازگار با برخی



شکل ۱- بای پلات AMMI1 برای شناسایی ژنوتیپهای برتر ماشک بر پایه میانگین عملکرد دانه و مؤلفه اصلی اول. ژنوتیپها مطابق با جدول ۱ و اسامی محیطها مطابق با جدول ۳ هستند.

Figure 1. The AMMI1 biplot to identify the superior vetch genotype based on mean grain yield and PC1. The name of genotypes and environments are based on the Tables 1 and 3, respectively.



شکل ۲- بای پلات AMMI2 برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر ماشک بر پایه دو مؤلفه اصلی اول. اسامی ژنوتیپ‌ها مطابق با جدول ۱ و اسامی محیط‌ها مطابق با جدول ۳ هستند.

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

ژنوتیپ‌های ۵، ۱، ۲ و ۷ برترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر پایه بای پلات AMMI1، ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۷، ۵، ۱ و ۶ با میانگین بیشتر از میانگین کل (۱/۳۲ تن در هکتار) و شاهد‌های مراغه و طلوع و کمترین مقادیر IPCA1، به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا بودند. بر پایه بای پلات AMMI2، ژنوتیپ‌های ۴، ۵ و ۶ علاوه بر پایداری عمومی بالا، دارای میانگینی بالاتر از میانگین کل بودند. در ارتباط با مقایسه شاخص‌ها، از آنجا که در محاسبه شاخص WAAS، تمامی مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار با وزن‌های متفاوت به کار گرفته شده‌اند، پایداری عملکرد را به شکل بهتری نشان می‌دهند و ژنوتیپ‌های برگزیده با این شاخص از پایداری مطمئن‌تری برخوردار هستند و پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آینده برای تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها، این روش بیشتر مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر شاخص‌های AMMI، از شاخص برتری لین و بین نیز برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر استفاده شد که بر این اساس نیز ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۳، ۵، ۲، برترین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مطالعه شده بودند. در مجموع و بر پایه شاخص‌های مختلف، ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲ و ۵ 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.

نتیجه‌گیری کلی

از آنجا که نتایج تجزیه واریانس مرکب گویای معنی‌دار بودن اثر محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط بودند، تجزیه پایداری با شاخص‌ها و بای پلات‌های AMMI انجام شد. سهم‌های محیط، ژنوتیپ و برهمکنش این دو در مجموع مربعات کل، به ترتیب ۳۵/۴۵، ۹۱/۸ و ۵۵/۶۵ درصد بودند. تجزیه واریانس AMMI نشان داد که پنج مؤلفه اصلی اول، اثر معنی‌داری بر برهمکنش ژنوتیپ × محیط داشتند. در بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده، بیشترین عملکرد دانه در ژنوتیپ شماره ۲ (۱/۴۵۱ تن در هکتار) و در پی آن در ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۵ و ۳ دیده شد. بر اساس شاخص پایداری ASV، ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۶ و ۵، بر اساس شاخص SIPC، ژنوتیپ‌های ۵، ۱، ۲ و ۴، بر اساس شاخص EV، ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۳، ۴ و ۱۰ و بر اساس شاخص‌های Za ژنوتیپ‌های ۵، ۲ و ۶ و بر اساس شاخص WAAS ژنوتیپ‌های ۵، ۷، ۶ و ۱ پایداری‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر مبنای شاخص انتخاب همزمان ssiASV، ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ۸ و ۱، بر مبنای شاخص ssiSIPC، ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۱، ۵ و ۳، بر مبنای شاخص ssiEV، ژنوتیپ‌های ۲، ۳ و ۴، بر مبنای شاخص ssiZA، ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۵ و ۱ و بر مبنای شاخص ssiWAAS،

تشکر و قدردانی

به این وسیله از مسئولین محترم موسسه تحقیقات کشاورزی
دیم سپاسگزاری می شود.

این تحقیق منتج از پروژه مصوب مؤسسه تحقیقات
کشاورزی دیم به شماره ۰۶۵-۹۸۱۰۶۶-۱۵-۵۶-۰ است که

References

- Abdulrahman, O. L., Lawal, O. O., Nofiu, N. B., Olooto, F. M., Ayanda, I. F., & Ishola, H. (2021). Application of principal component and stability analyses to some traits in forage legumes. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(2). <https://doi.org/10.56369/tsaes.3537>.
- Ahmadi, J., Vaezi, B., Shaabani, A., Khademi, K., Fabriki Ourang, S., & Pour-Aboughadareh, A. (2015). Non-parametric measures for yield stability in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) advanced lines in semi warm regions. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(7), 1825-1838.
- Akdeniz, H., Koc, A., Islam, M. S., & El Sabagh, A. (2018). Performances of hairy vetch varieties under different locations of Mediterranean environment. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(6), 4263-4269.
- Anonymus. (2000). Forage crops, such as vetches and chicklings, are beginning to replace fallow in the countries of Central Asia and the Caucasus (CAC), giving agriculture an important boost. Caravan ICARDA Issue No. 13
- Anonymus. (2023). Agricultural statistics farming year of 2022, Vol. 1: crops. Tehran, Ministry of Agriculture - Jihad, Deputy of Planning and Economics, Information and Communication Technology Center. [In Persian]
- Caballero, R., Fernández, E., & Rioperez, J. (1992). Some blood and rumen constituents in Manchega ewes grazing cereal stubbles and cultivated pastures. *Small Ruminant Research*, 7(4), 331-345.
- Dechev, D. (2004). Genotype-Environment interaction and stability for some traits of durum wheat genotypes. *Agrarian Science* 2, 62-66.
- Ebadi, A. A., Sharifi, P., & Taher Hallajian, M. (2022). Stability analysis of grain yield of rice mutants by multivariate methods and superiority index. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(2), 313-332.
- 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. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2008.1791.1796>.
- Fıncıoğlu, H. K., Tate, M., Ünal, S., Doğruyol, S., & Özcan, İ. (2007). A selection strategy for low toxin vetches. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31, 303-311.
- 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. <https://doi.org/10.1007/BF00288824>.
- Georgieva, N., Nikolova, I., & Kosev, V. (2015). Stability analysis for seed yield in vetch cultivars. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 27(12), 903-910.
- Georgieva, N., Nikolova, I., & Delchev, G. (2020). Response of spring vetch (*Vicia sativa* L.) to organic production conditions. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 26(3). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28349.28640>
- Greveniotis, V., Bouloumpasi, E., Zotis, S., Korkovelos, A., & Ipsilandis, C. G. (2021). A stability analysis using AMMI and GGE biplot approach on forage yield assessment of common vetch in both conventional and low-input cultivation systems. *Agriculture*, 11(6), 567. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060567>
- Hargrove, W. L. (1986). Winter Legumes as a Nitrogen Source for No-Till Grain Sorghum 1. *Agronomy Journal*, 78(1), 70-74.
- Heidarpour, N., Namdari, A. & Baghbani-Arani, A. (2018). Evaluation of quantitative yield and some physical properties of soil in three years mixed Barley (Khorram) Vetch forage (*Vicia sativa*) cropping system under rain-fed conditions. *Sustainable Agriculture and Production Science*, 28(4), 1-13. [In Persian]
- Hoffman, M. L., Regnier, E. E., & Cardina, J. (1993). Weed and corn (*Zea mays*) responses to a hairy vetch (*Vicia villosa*) cover crop. *Weed Technology*, 7(3), 594-599.
- Jiang, J., Su, M., Chen, Y., Gao, N., Jiao, C., Sun, Z., .. & Wang, C. (2013). Correlation of drought resistance in grass pea (*Lathyrus sativus*) with reactive oxygen species scavenging and osmotic adjustment. *Biologia*, 68, 231-240.
- Karimizadeh, R., Pezeshkpour, P., Mirzaee, A., Barzali, M., Sharifi, P., & Motlagh, M. S. (2023). Stability analysis for seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes by experimental and biological approaches. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 27(2), 135. <https://doi.org/10.18699/VJGB-23-19>
- Kurdali, F., Sharabi, N.E., & Arslan, A. (1996). Rainfed vetch-barley mixed cropping in the Syrian semi-arid conditions: I. Nitrogen nutrition using 15 N isotopic dilution. *Plant and Soil*, 183, 137-148.
- Lameje hervani G,(2012). Evaluation of mono culturing and intercropping three annual forage legumes with barley under rain fed conditions. Final report, Dry land Agricultural Research Institute. Code: 89/664.

- Lawal, O. O., Abdulrahman, O. L., Ayanda, I. F., Ishola, H., Olk, L. K. O., & Iuy, U. Y. I. (2020). Comparative evaluation of forage grasses for stability analysis using GGE biplot and AMMI and forage yield modelling. *Research on Crops*, 21(4), 830-838. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2020.127>
- Lin, C. S., & Binns, M. R. (1988). A superiority measure of cultivar performance for cultivar \times location data. *Canadian Journal of Plant Science*, 68(1), 193-198. <https://doi.org/10.4141/cjps88-018>
- Ma, L., Wang, X., Yan, M., Liu, F., Zhang, S., & Wang, X. (2022). Genome survey sequencing of common vetch (*Vicia sativa* L.) and genetic diversity analysis of Chinese germplasm with genomic SSR markers. *Molecular Biology Reports*, 49(1), 313-320. <https://doi.org/10.1007/s11033-021-06875-z>
- Moghadam, A. (2003). Simultaneous selection for yield and stability and its comparison with different stability statistics. *Seed and Plant Journal*, 19(1), 1-13. <https://doi.org/10.22092/SPIJ.2017.110935>. [In Persian]
- Olivoto, T., & Lúcio, A. D. C. (2020). Metan: an R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(6), 783-789. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13384>
- Olivoto, T., Lúcio, 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(6), 2949-2960. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0220>
- Papastylianou, P., Vlachostergios, D. N., Dordas, C., Tigka, E., Papakaloudis, P., Kargiotidou, A., .. & Kostoula, S. (2021). Genotype \times environment interaction analysis of faba bean (*Vicia faba* L.) for biomass and seed yield across different environments. *Sustainability*, 13(5), 2586. <https://doi.org/10.3390/su13052586>
- Pezechkpour, P., Amiri, R., Karami, I., & Mirzaei, A. (2024 a). Grain Yield Stability Analysis of Lentil Genotypes by AMMI Indices. *Journal of Crop Breeding*, 16(4), 1-12. <https://doi.org/10.61186/jcb.16.2.42>. [In Persian]
- Pezechkpour, P., Amiri, R., Karami, I., & Mirzaei, A. (2024 b). Evaluation of Seed Yield Stability of Lentil Genotypes Based on REML/BLUP and Multi-Trait Stability Index (MTSI). *Journal of Crop Breeding*, 16(2), 42-52. <https://doi.org/10.61186/jcb.16.2.42>. [In Persian]
- Purchase, J. L., Hatting, 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. <https://doi.org/10.1080/02571862.2000.10634878>.
- Resende, M. D. V. D. (2016). Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 16(04), 330-339. <https://doi.org/10.1590/1984-70332016v16n4a49>
- De Resende, M. D. V., & de Resende, M. D. V. (2007). SELEGEN-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos.
- Rinnofner, T., Friedel, J. K., De Kruijff, R., Pietsch, G., & Freyer, B. (2008). Effect of catch crops on N dynamics and following crops in organic farming. *Agronomy for Sustainable Development*, 28, 551-558.
- Torres Filho, J., dos Santos Oliveira, C. N. G., da Silveira, L. M., de Sousa Nunes, G. H., da Silva, A. J. R., & da Silva, M. F. N. (2017). INTERAÇÃO GENÓTIPOS \times AMBIENTES EM GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI VERDE ANALISADA VIA MODELOS MISTOS. *Revista Caatinga*, 30(3), 687-697 <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n317rc>.
- 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. <https://doi.org/10.15625540.1385.8.4.3.8>. [In Persian].
- Sanadya, S. K., Sood, V. K., Kumar, S., Sharma, G., Sood, R., Katna, G., .. & Sahoo, S. (2025). Stability Indices, AMMI and GGE Biplot Analysis of Forage Oat Germplasm Under Variable Growing Regimes in the Northwestern Himalayas. *Agricultural Research*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s40003-025-00846-7>
- Sayar, M.S. (2017). Additive main effects and multiplicative interactions (AMMI) analysis for fresh forage yield in common vetch (*Vicia sativa* L.) genotypes. *Poljoprivreda i Sumarstvo*, 63(1), p.119. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.63.1.14>
- Sneller, C. H., Kilgore-Norquest, L., & Dombek, D. (1997). Repeatability of yield stability statistics in soybean. *Crop Science*, 37(2), 383-390. <https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700020013x>
- Sousa, A. M., Silva, V. B., Lopes, Â. C., Gomes, R., & Carvalho, L. (2020). Prediction of grain yield, adaptability, and stability in landrace varieties of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.). *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 20, e295120115. <https://doi.org/10.1590/1984-70332020v20n1a15>
- Turk, M., Tawaha, A., & Samara, N. (2003). Effects of seeding rate and date and phosphorus application on growth and yield of narbon vetch (*Vicia narbonensis*). *Agronomie*, 23(4), 355-358.
- Vaezi, B., Maleki, H. H., Yousefzadeh, S., Pirooz, R., Jozeyan, A., Mohtashami, R., & Sabaghnia, N. (2023). Graphical analysis of forage yield stability under high and low potential circumstances in 16 grass pea (*Lathyrus sativus* L.) genotype. *Acta agriculturae Slovenica*, 119(1), 1-8. <https://doi.org/10.14720/aas.2023.119.1.2227>

- Vlachostergios, D., Lithourgidis, A., Korkovelos, A., Baxevanos, D., Lazaridou, T., Khah, A., & Mavromatis, A. (2011). Mixing ability of conventionally bred common vetch ('*Vicia sativa*'L.) cultivars for grain yield under low-input cultivation. *Australian Journal of Crop Science*, 5(12), 1588-1594.
- Wright, K., & Laffont, J. L. (2018). *R package for GGE biplot*. Github Company, Newyork, USA.
- Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., & Szlavnic, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40(3), 597-605. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x>.
- Yan, W., & Kang, M. S. (2002). *GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists*. CRC press.
- Yau, S. K., Bounejmate, M., Ryan, J., Baalbaki, R., Nassar, A., & Maacaroun, R. (2003). Barley-legumes rotations for semi-arid areas of Lebanon. *European Journal of Agronomy*, 19(4), 599-610.
- 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(7), 3126-3136.
- Zobel, R. W., Wright, A. J., & Gauch, H. G. (1988). Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 80(3), 388-393. <https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000030002x>
- Zubair, M., Anwar, M., Haqqani, A. M., & Zahid, M. A. (2002). Genotype-Environment interaction for grain yield in mash (*Vigna mungo* L. Happer). *Asian Journal of Plant Sciences*, 1(2), 128-129.