Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 17, Issue 4, 2025 p: 118-131

OPEN ACCESS

Research Paper

Evaluation of the Yield Stability of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Cultivars and Hybrids using Non-parametric Statistical Methods

Ali Asghari[1], Asghar Ebadi[2], Shiva Mohammadnia[3], Davoud Hassanpanah[4] and Ali Akbar Shokouhian[5]

1- Professor, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2- Associated Professor, Department of Plant Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Moghan, University of Mohaghegh Ardabili, Parsabad, Iran, (Corresponding author: asghar_ebadi@yahoo.com)
3- Ph.D. Student, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
4- Professor, Department of Horticulture Crops Research, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Centre, AREEO, Ardabil, Iran
5- Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabil, Ardabil, Iran

Received: 15 April, 2025 Revised: 26 July, 2025 Accepted: 22 August, 2025

Extended Abstract

Background: Potato (*Solanum tuberosum* L.) is an important food crop that provides low-cost energy and high-quality protein. As a staple crop in global agriculture, potatoes hold significant nutritional value, particularly in developing countries. Ranked as the world's third most important food crop after rice and wheat, potatoes serve as an important source of vitamins and essential minerals, playing a key role in global food security, especially in developing nations. In Iran, the cultivated area of potatoes spans approximately 81,000 hectares, with an average yield of 30.8 tons per hectare and an annual production of 2.5 million tons. Given the rising global food demand, it is essential to improve the yield and sustainability of this crop. Potato yield is a complex quantitative trait controlled by multiple genes and influenced by the genotype, environment, and their interaction (GE). Understanding the GE interaction is crucial for evaluating yield stability and genotype adaptability under varying conditions. This interaction can lead to rank changes among cultivars across different environments, in addition to a change in quantity, posing challenges for breeding programs. The G × E interaction has been extensively studied by biometricians, with numerous analytical methods developed to assess it. Various stability indices allow researchers to distinguish genotypes with high stability and adaptability from those suited only to specific environments. Nonparametric methods have been proposed as robust alternatives to parametric stability measures, particularly when dealing with outliers. Rank-based nonparametric methods enable reliable stability evaluations without stringent statistical assumptions. This study aimed to compare yield performance and analyze the G × E interaction in 25 potato hybrids and cultivars across five regions over 2 years to identify high-yielding and stable genotypes.

Methods: Twenty potato hybrids, along with five control cultivars (Savalan, Agria, Kaiser, Luca, and Satina), were evaluated in a randomized complete block design with three replications under varying climatic conditions in Ardabil, Khorasan Razavi, Karaj, Isfahan, and Hamedan. Tuber yield data were collected from the middle rows of each plot. Stability was assessed using nonparametric statistical methods, including Huehn's indices ($S_i^{(1)}$, $S_i^{(2)}$, $S_i^{(3)}$, and $S_i^{(6)}$), Thennaro's statistics (NP_1, NP_2, NP_3, and NP_4), Sabaghnia's indices ($NS_i^{(1)}$ and $NS_i^{(2)}$), Katata's stability parameters (σ_x and σ_{my}), Fox-rank stability statistic, and Rank-sum stability statistic.

Results: The results of the combined analysis of variance indicated that the main effects of genotype, year, location, and the two-way and three-way interactions between genotype, year, and location were significant at the 1% probability level. Dynamic stability was prioritized due to substantial differences in environments. Thus, methods that have a high correlation with the performance of genotypes were used in this study. The stability statistics of Fox, the σ_{my} statistic, and the average stability rank were selected to select stable and high-yielding genotypes. Based on these statistics, hybrids 5, 1, and 8 were identified as the most stable and high-yielding genotypes, respectively. Hybrid 5 exhibited the highest yield (41.21 t/ha) among all tested cultivars and hybrids. However, other nonparametric correlation methods did not show a

Copyright ©2025. Asghari et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

significant relationship with mean performance. For their practical application, performance plots and stability indices were used to select genotypes that simultaneously exhibit both stability and desirable performance. Based on the $S_i^{(1)}$ and $S_i^{(2)}$ statistics, Hybrid 5 was identified as a stable and high-yielding genotype due to its optimal position in the plot. According to $S_i^{(3)}$: Hybrids 5, 6, 3, and the Savalan cultivar; $S_i^{(6)}$: Hybrids 17, 3, and 6; NP_1: Hybrids 17, 19, and 6; NP_2: Hybrids 17, 3, 6, 8, and the Savalan; NP_3 and NP_4: Hybrids 17 and 6; $NS_i^{(1)}$: Hybrids 9, 3, and the control cultivar Satina; and $NS_i^{(2)}$: Hybrids 3 and 6, were identified as having above-average performance and general adaptability to different environments. Simple correlation coefficients using Spearman's rank correlation were used to measure the relationship between the stability parameters. A hierarchical cluster analysis based on non-weighted values of genotypes was performed to understand the nature of relationships among the nonparametric methods.
Conclusion: Given the emphasis on dynamic stability, the methods of Fox, the σmy statistic, and the mean stability rank were selected as key criteria, leading to the identification of hybrids 5, 1, and 8 as the optimal hybrids. Due to the dynamic nature of these hybrids' stability, their performance is expected to improve under enhanced environmental conditions and with the optimized application of agricultural inputs.

Keywords: Correlation analysis, Grain yield, Graphic analysis, Principal component analysis

How to Cite This Article: Asghari, A., Ebadi, A., Mohammadnia, Sh., Hassanpanah, D., & Shokouhian, A. A. (2025). Evaluation of the Yield Stability of Potato (Solanum tuberosum L.) Cultivars and Hybrids using Non-parametric Statistical Methods. *J Crop Breed,* 17(4), 118-131. DOI: 10.61882/jcb.2025.1615

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

ارزیابی پایداری عملکرد هیبریدهای سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) با استفاده از روش‌های آماری ناپارامتری

علی اصغری[۱]، اصغر عبادی[۲]، شیوا محمدنیا[۳]، داود حسن‌پناه[۴] و علی‌اکبر شکوهیان[۵]

۱- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- دانشیارُ گروه علوم گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی، پارس‌آباد، ایران، (نویسنده مسوول: asghar_ebadi@uma.ac.ir)
۳- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۴- استاد پژوهشی، بخش تحقیقات زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
۵- استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منبع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۶ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۳۱
صفحه ۱۱۸ تا ۱۳۱

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) یک محصول غذایی مهم است که انرژی کم‌هزینه و پروتئین باکیفیت فراهم می‌کند. به‌عنوان یک محصول اساسی در کشاورزی جهانی، سیب‌زمینی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه از اهمیت تغذیه‌ای بالایی برخوردار است. سیب‌زمینی سومین محصول مهم غذایی جهان پس از برنج و گندم است و به‌عنوان منبعی مهم از ویتامین‌ها و مواد معدنی ضروری نقش کلیدی در امنیت غذایی جهانی، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، ایفا می‌کند. در ایران، سطح زیرکشت سیب‌زمینی حدود ۸۱ هزارهکتار با میانگین عملکرد ۳۰/۸ تن در هکتار و تولید سالانه ۲/۵ میلیون‌تن است. با افزایش تقاضای جهانی غذا، بهبود عملکرد و پایداری تولید این محصول ضروری است. عملکرد سیب‌زمینی یک صفت کمی پیچیده است که توسط ژن‌های متعدد کنترل شده، تحت‌تأثیر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل آن‌ها قرار دارد. درک اثر ژنوتیپ × محیط (GE) برای ارزیابی پایداری عملکرد و سازگاری ژنوتیپ‌ها تحت شرایط مختلف ضروری است. این اثر متقابل می‌تواند علاوه‌بر تغییر در مقدار، سبب تغییر رتبه ارقام در محیط‌های مختلف شود و چالش‌هایی را برای برنامه‌های اصلاح نباتات ایجاد کند. اثر متقابل GE به‌طور گسترده توسط بیومتریست‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است و روش‌های متعددی برای تجزیه و تحلیل آن توسعه داده شده‌اند. شاخص‌های مختلف پایداری به محققان این امکان را داده است که ژنوتیپ‌های با پایداری و سازگاری بالا را از ژنوتیپ‌هایی که سازگار به یک محیط خاص هستند تفکیک کنند. روش‌های ناپارامتریک متعددی برای تحلیل پاسخ ژنوتیپ‌ها به تغییرات محیطی پیشنهاد شده‌اند که جایگزین‌های مناسبی برای معیارهای پایداری پارامتریک، به‌ویژه در مواجهه با داده‌های پرت، ارائه می‌دهند. روش‌های ناپارامتریک مبتنی‌بر رتبه، ارزیابی قابل اعتمادی را از پایداری ژنوتیپ‌ها بدون نیاز به فرضیات آماری سخت‌گیرانه امکان‌پذیر می‌سازند. این پژوهش با هدف مقایسه عملکرد و بررسی اثر متقابل GE در ۲۵ هیبرید و رقم سیب‌زمینی در پنج منطقه طی دو سال انجام شد تا ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار شناسایی شوند.

مواد و روش‌ها: بیست هیبرید سیب‌زمینی همراه با پنج رقم شاهد (ساوالان، آگریا، کایزر، لوکا و ساتینا) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت شرایط آب و هوایی متفاوت در اردبیل، خراسان رضوی، کرج، اصفهان و همدان مورد ارزیابی قرار گرفتند. داده‌های عملکرد غده از ردیف‌های میانی هر کرت جمع‌آوری شدند. برای بررسی پایداری ارقام و هیبریدها، از روش‌های آماری ناپارامتری هان ($S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$، $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$)، آماره‌های تنارازو (NP_1، NP_2، NP_3 و NP_4)، آماره‌های صباغ‌نیا ($NS_i^{(1)}$ و $NS_i^{(2)}$) آماره پایداری کتاتا (σ_r و σ_{my})، آماره پایداری *Fox-rank* و آماره پایداری مجموع رتبه استفاده شد.

یافته‌ها: تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرات اصلی ژنوتیپ، سال، مکان و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه بین ژنوتیپ، سال و مکان در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بودند. به‌دلیل تفاوت زیاد بین محیط‌ها، بررسی پایداری پویا در اولویت قرار گرفت. آماره‌های پایداری که همبستگی بالایی با عملکرد ژنوتیپ‌ها داشتند، شامل روش فاکس، آماره σ_{my} و میانگین رتبه پایداری انتخاب شدند. بر اساس این معیارها، هیبریدهای ۵، ۱ و ۸ به‌عنوان پایدارترین و پرمحصول‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. هیبرید ۵ با عملکرد ۴۱/۲۱ تن در هکتار، بالاترین عملکرد را در بین تمام ارقام و هیبریدهای مورد مطالعه نشان داد. با این حال، سایر روش‌های ناپارامتریک همبستگی معنی‌داری با میانگین عملکرد نداشتند و به‌منظور استفاده کاربردی آن‌ها از پلات عملکرد و شاخص پایداری استفاده شد تا از این طریق ژنوتیپ‌هایی انتخاب شوند که همزمان پایداری و عملکرد مطلوبی داشته باشند. بر اساس آماره‌های $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$، هیبرید شماره ۵ با قرارگیری در بهترین موقعیت پلات به‌عنوان ژنوتیپ پایدار و پرمحصول معرفی شد. بر اساس آماره $S_i^{(3)}$، هیبریدهای ۵، ۶، ۳ و رقم ساوالان؛ آماره $S_i^{(6)}$ هیبریدهای ۱۷، ۳ و ۶؛ آماره NP_1 هیبریدهای ۱۷، ۱۹ و ۶؛ آماره NP_2 هیبریدهای ۱۷، ۳، ۶، ۸ و رقم ساوالان؛ آماره‌های NP_3 و NP_4 هیبریدهای ۱۷ و ۶؛ آماره $NS_i^{(1)}$ هیبریدهای ۹، ۳ و رقم شاهد ساتینا؛ و آماره $NS_i^{(2)}$ هیبریدهای ۳ و ۶ با قرار گرفتن در ناحیه اول، به‌عنوان ارقام و هیبریدهای دارای عملکرد بالاتر از میانگین و سازگاری عمومی به محیط‌های مختلف معرفی شدند. از ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن برای بررسی روابط بین پارامترهای پایداری استفاده شد. همچنین، تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی (براساس مقادیر وزن‌دهی‌نشده ژنوتیپ‌ها) برای درک ارتباط بین روش‌های ناپارامتریک انجام شد.

نتیجه‌گیری: در این مطالعه، برای ارزیابی پایداری عملکرد هیبریدهای سیب‌زمینی از روش‌های آماری ناپارامتری استفاده شد. با توجه به تأکید بر پایداری پویا، روش‌های فاکس، آماره σ_{my} و میانگین رتبه پایداری به‌عنوان معیارهای کلیدی انتخاب شدند که منجربه معرفی هیبریدهای ۵، ۱ و ۸ به‌عنوان هیبریدهای بهینه شد. با توجه به ماهیت پویای پایداری این هیبریدها، انتظار می‌رود که عملکرد آن‌ها در شرایط محیطی بهبود پیدا کند و با کاربرد نهاده‌های کشاورزی بهینه، افزایش یابد.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، تجزیه پایداری، تجزیه خوشه‌ای، روش‌های ناپارامتری، سیب‌زمینی

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) منبع غذایی اصلی، مهم و هم‌چنین منبع کم‌هزینه‌ای از انرژی و پروتئین با کیفیت مطلوب است (Moghaddaszadeh *et al.*, 2019). سیب‌زمینی به‌عنوان سنگ بنای کشاورزی جهانی است و به‌عنوان یک محصول اساسی حیاتی عمل می‌کند که نه‌تنها نیازهای تغذیه‌ای را برطرف می‌کند، بلکه امنیت غذایی را در

اغلب کشورهای جهان از جمله ایران نیز تقویت می‌کند. بنا بر این، به‌منظور تامین امنیت غذایی، افزایش میزان تولید محصول سیب‌زمینی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. سیب‌زمینی نه‌تنها برای مصرف انسان، بلکه برای استفاده در خوراک دام، فرآیندهای صنعتی و تولید غده بذر نیز کشت می‌شود. این محصول غنی از ویتامین‌ها و مواد معدنی ضروری است و محتوای فوق‌العاده بالای ویتامین C را دارد که آن را با سایر محصولات اصلی قابل مقایسه می‌کند (Khalid *et al.,* 2020). طبق آمار فائو (FAO, 2023)، سطح زیر کشت این محصول در ایران حدود ۸۱ هزار هکتار با متوسط عملکرد ۳۰/۸ تن در هکتار و تولید سالانه حدود ۲/۵ میلیون‌تن است.

عملکرد یک ویژگی کمی بسیار پیچیده است که توسط ژن‌های متعددی کنترل می‌شود و بیان آن‌ها تحت‌تأثیر ژنوتیپ، محیط و هم‌چنین اثر متقابل آن‌ها قرار می‌گیرد (Nowosad *et al.,* 2016). ارقام مختلف معمولاً در شرایط محیطی مختلف به‌دلیل اثرات متقابل با محیط، پاسخ‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند. لذا، هدف نهایی اصلاح‌کنندگان نباتات توسعه ارقام یا واریته‌هایی است که بتوانند به طیف وسیعی از محیط‌ها سازگار شوند. به‌عبارت دیگر، هدف نهایی برنامه‌های اصلاح‌نباتاتف افزایش پایداری و تثبیت عملکرد محصولات کشاورزی است. پایداری عملکرد به‌دلیل قابل پیش‌بینی کردن عملکرد اقتصادی محصولات کشاورزی و کاهش ریسک آن دارای اهمیت بسیاری است. در اصلاح نباتات، دو مفهوم متضاد ایستاتیک و دینامیک از پایداری عملکرد وجود دارند (Becker & Léon, 1988). در مفهوم ایستاتیک، ژنوتیپ پایدار عملکرد ثابتی را در بین تمامی محیط‌ها حفظ می‌کند، در حالی که در مفهوم دینامیک یا پویا، یک ژنوتیپ پایدار تفاوت ثابتی با میانگین پاسخ همه ژنوتیپ‌های آزمایش‌شده در هر محیط دارد (Annicchiarico, 2002). هر کدام از این مفاهیم اهمیت خود را دارند اما امروزه بیشتر مفهوم دینامیک یا پویای پایداری مدنظر اصلاح‌گران است. مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (GE) برای به‌دست‌آوردن اطلاعات در مورد پایداری عملکرد و سازگاری ژنوتیپ با شرایط مختلف محیطی بسیار مهم است (Goksoy *et al.,* 2019). اثر متقابل GE برای یک صفت کمی مانند عملکرد دانه می‌تواند همبستگی بین فنوتیپ و ژنوتیپ را کاهش دهد و در نتیجه باعث کاهش پیشرفت در انتخاب گردد. آگاهی از ماهیت اثر متقابل GE می‌تواند به کاهش هزینه‌های به‌نژادی و تولید منتهی شود.

برای بررسی وجود یا عدم وجود اثر متقابل GE، ارقام اصلاح‌شده در آزمایشات ناحیه‌ای برای آزمون عملکرد آن‌ها و پایداری عملکردشان در محیط‌های مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. شاخص‌های مختلف پایداری به محققان این امکان را داده است که ژنوتیپ‌های با پایداری و سازگاری بالا را از ژنوتیپ‌هایی که سازگار به یک محیط خاص هستند تفکیک کنند. این شاخص‌ها به‌طور گسترده توسط بیومتریست‌ها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و روش‌های متعددی برای تجزیه و تحلیل آن توسعه داده شده‌اند. از جمله این شاخص‌ها می‌توان به واریانس فنوتیپی (Roemer, 1917)، واریانس پایداری شوکلا (Shukla, 1972)، روش رگرسیونی (Eberhart & Russell, 1966)، روش‌های ناپارامتری (Nassar & Hühn, 1987) و روش‌های چندمتغیره مانند روش اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (AMMI) و روش GGE بای‌پلات (Yan *et al.,* 2000) اشاره کرد.

به‌طور کلی، دو رویکرد عمده برای مطالعه اثر متقابل GE وجود دارند. اولین رویکرد، روش‌های پارامتری هستند که رایج‌ترند و شامل ارتباط دادن پاسخ‌های ژنوتیپی مشاهده‌شده مانند عملکرد، به نمونه‌ای از شرایط محیطی است. رویکرد دوم، روش‌های ناپارامتری هستند که بر رتبه ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها مبتنی هستند(Ebadi-segherloo *et al.,* 2008). روش‌های پایداری پارامتری دارای ویژگی‌های خوبی تحت مفروضات آماری خاص، مانند توزیع نرمال خطاها و اثرات متقابل هستند. اگر این مفروضات نقض شوند، ممکن است عملکرد خوبی نداشته باشند (Huehn, 1990). اما معیارهای ناپارامتری برای پایداری بر اساس رتبه‌ها، جایگزین مناسبی برای معیارهای پارامتری موجود براساس داده‌های مطلق هستند (Nassar & Huehn, 1987). توجیه کافی برای استفاده از روش‌های ناپارامتریک در ارزیابی پایداری عملکرد ارقام زراعی وجود دارد. معیارهای ناپارامتری به‌هیچ فرض ضمنی در مورد نرمال‌بودن و استقلال مشاهده‌ها و همگن‌بودن واریانس‌های خطا نیاز ندارند. هم‌چنین، استفاده از روش‌های پارامتری در مواردی که داده‌های پرت وجود دارند، امکان‌پذیر نیست و تخمین‌ها می‌توانند به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر یک یا دو داده پرت در نمونه‌های کوچک قرار گیرند. در حالی که در روش‌های ناپارامتری حساسیت چندانی به داده‌های پرت وجود ندارد (Ebadi-Segherloo *et al.,* 2008).

چندین روش ناپارامتری برای توصیف و تفسیر پاسخ ژنوتیپ‌ها به تغییرات محیطی معرفی شده‌اند. از جمله روش‌های ناپارامتری می‌توان به آماره‌های $S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$، $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ (Huhn, 1979; Nassar & Hühn, 1987)، آماره‌های NP_1، NP_2، NP_3 و NP_4 (Thennarasu, 1995)، آماره پایداری σ_{my} و σ_r (Ketata *et al.,* 1989)، آماره پایداری *Fox-rank* (Fox *et al.,* 1990) و آماره پایداری مجموع رتبه (Kang, 1988) اشاره کرد. از روش‌های ناپارامتری در کلزا (Alizadeh *et al.,* 2020)، نخود (Ebadi-Segherloo *et al.,* 2008)، گندم دوروم (Najafi Mirak *et al.,* 2021)، عدس (Akbari *et al.,* 2021) و زیتون (Taghizadeh *et al.,* 2020) برای مطالعه اثر متقابل GE و شناسایی ژنوتیپ پایدار استفاده شده است. تعدادی از محققین، پایداری عملکرد غده ژنوتیپ‌های مختلف سیب‌زمینی را مورد ارزیابی قرار دادند. حسن‌پناه و عزیزی (Hassanpanah & Azizi, 2010) پایداری عملکرد غده سیب‌زمینی را با روش‌های ناپارامتری مورد بررسی قرار دادند و ارقام ساتینا و کایزر را به‌عنوان پایدارترین ارقام و رقم اگریا را به‌عنوان رقم ناپایدار شناسایی کردند. مقدس‌زاده و همکاران (Moghaddaszadeh *et al.,* 2019) ۱۵ ژنوتیپ سیب‌زمینی را در شش محیط با آماره‌های ناپارامتری مورد ارزیابی قرار دادند و دو ژنوتیپ با عملکرد و پایداری بالا را معرفی کردند. هم‌چنین، از بین آماره‌های ناپارامتری مورد مطالعه، آماره ناپارامتری دارای مفهوم دینامیک (پویا) را

شناسایی کردند.

تحقیق حاضر به‌منظور مقایسه عملکرد و ارزیابی اثر متقابل GE در ۲۵ هیبرید و رقم سیب‌زمینی در پنج مکان و ۲ سال و شناسایی ژنوتیپ پایدار همراه با عملکرد بالا انجام شد.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایشی و مواد گیاهی

این تحقیق به‌منظور بررسی و انتخاب ارقام و هیبریدهای پرمحصول و سازگار به شرایط آب و هوایی اردبیل، خراسان‌رضوی، کرج، اصفهان و همدان با حضور ۲۰ هیبرید سیب‌زمینی به‌همراه پنج رقم شاهد ساوالان، آگریا، کایزر، لوکا و ساتینا (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به اجرا در آمد. هیبریدها در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل تولید شده‌اند. شرایط اقلیمی و موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده‌اند.

هیبریدها و ارقام شاهد در دو ردیف شش‌متری با فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر کشت شدند. مساحت کاشت هر لاین ۴/۸ متر مربع بود و در هر ردیف ۲۵ غده قرار گرفت. ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات‌آمونیوم، ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌پتاسیم بر اساس آزمون خاک محاسبه و با خاک مخلوط شد. در دو مرحله ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متری بوته‌ها، مبارزه با علف‌های هرز انجام شد. در طی عملیات داشت خاک‌دهی پای بوته یکبار در مرحله ۱۰ سانتی‌متری بوته‌ها و بار دیگر در مرحله قبل از مرحله غده‌زایی صورت گرفت. جهت مبارزه با سوسک کلرادو ۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتار سم کنفیدور مورد استفاده قرار گرفت. در طول فصل رشد صفات مختلف زراعی ثبت گردید و پس از برداشت، عملکرد اندازه‌گیری شد. برای برآورد پایداری ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از روش‌های ناپارامتری مختلفی استفاده شد.

تجزیه آماری

برای بررسی پایداری ارقام و هیبریدها، از روش‌های آماری ناپارامتری هان (Huhn, 1979)، آماره‌های تنارازو (Thennarasu, 1995) ، آماره پایداری σ_r و σ_{my} (Ketata *et al.,* 1989)، آماره پایداری *Fox-rank* (Fox *et al.,* 1990) و آماره پایداری مجموع رتبه (Kang, 1988) استفاده شد. چهار معیار پایداری ناپارامتری زیر توسط نسار و هان (Nassar & Hühn, 1987) به نقل از (Huehn, 1990 و Kang & Pham,1991) معرفی شده‌اند.

جدول ۱- هیبریدها و ارقام شاهد سیب‌زمینی مورد مطالعه در این پژوهش

Table 1. Potato hybrids and control cultivars studied in this research

کد هیبرید Hybrid code	والد Parent ♂	والد Parent ♀	کد هیبرید Hybrid code	والد Parent ♂	والد Parent ♀	کد ارقام Cultivar code	ارقام شاهد Control cultivars
1	کایزر	لوتا	11	کایزر	لوتا	13	کایزر
2	کایزر	لوتا	12	کایزر	لوتا	22	ساتینا
3	کایزر	لوتا	14	ساوالان	لوتا	23	لوتا
4	کایزر	لوتا	15	ساوالان	لوتا	24	آگریا
5	کایزر	لوتا	16	ساوالان	لوتا	25	ساوالان
6	کایزر	لوتا	17	ساوالان	لوتا		
7	کایزر	لوتا	18	ساوالان	لوتا		
8	کایزر	لوتا	19	ساوالان	لوتا		
9	کایزر	لوتا	20	ساوالان	لوتا		
10	کایزر	لوتا	21	ساوالان	لوتا		

جدول ۲- شرایط اقلیمی و موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه

Table 2. Climatic conditions and geographical locations of the studied regions

مکان Location	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع از سطح دریا Altitude (m)	درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد) Temperature (°C) متوسط Average	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	بارندگی Rainfall (mm)	درصد رطوبت نسبی Relative Humidity (%)
Ardabil	48° 18' E	38° 15' N	1351	9.90	4.10	15.80	277	68
Hamedan	48° 32' E	34° 48' N	1550	11.35	3.94	18.77	384	53
Karaj	51° 00' E	35° 48' N	1312	14.4	8.00	20.80	247	53
Mashhad	59° 23' E	35° 34' N	1600	14.10	7.10	21.10	225	55
Esfahan	51° 40' E	32° 37' N	1550	16.25	9.10	23.40	123	40

تنارازو (Thennarasu, 1995) معتقد است که رتبه یک ژنوتیپ در یک محیط خاص نمی‌تواند صرفاً براساس مقادیر فنوتیپی باشد زیرا پایداری باید مستقل از اثر ژنوتیپی اندازه‌گیری شود. بنا بر این، رتبه ژنوتیپ iام در محیط j براساس مقادیر فنوتیپی اصلاح‌شده یعنی $(X_{ij}^{*} = X_{ij} - X_{i.})$ تعیین می‌شود که در آن $X_{i.}$: میانگین عملکرد ژنوتیپ iام است. رتبه‌های به‌دست‌آمده از X_{ij} اصلاح‌شده تنها به اثر متقابل GE و خطا بستگی دارند. آماره‌های پایداری ناپارامتریک تنارازو (Thennarasu, 1995) رتبه‌های اصلاح‌شده ژنوتیپ‌ها را در هر محیط آزمایش در نظر می‌گیرد.

در روش ناپارامتری کتاتا (Ketata *et al.,* 1989)، ژنوتیپ‌ها براساس عملکرد در همه محیط‌ها رتبه‌بندی می‌شوند. به بهترین ژنوتیپ کمترین رتبه و به بدترین ژنوتیپ بیشترین رتبه تعلق می‌گیرند و سپس میانگین رتبه و انحراف معیار رتبه‌ها برای هر ژنوتیپ محاسبه می‌شوند. ژنوتیپ‌هایی که میانگین و انحراف معیار رتبه کمی دارند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب معرفی می‌شوند.

با توجه به اهمیت گزینش توام عملکرد و پایداری، معیار

مجموع رتبه *Rank-sum* (Kang, 1988) محاسبه گردید که در آن از مجموع رتبه عملکرد و رتبه واریانس پایداری شوکلا (Shukla, 1972) به‌عنوان معیار گزینش استفاده می‌شود. این آماره وزن برابری به هر دو آماره می‌دهد ولی بسته به هدف اصلاحگر می‌تواند این وزن را تغییر دهد.

آماره پایداری *Fox-rank* (Fox *et al.,* 1990) برای شناسایی ژنوتیپ پایدار محاسبه شد. فاکس و همکاران (Fox *et al.,* 1990) بر اساس درصد قرارگیری ژنوتیپ‌ها در سه بخش بیشینه (یک سوم ابتدایی)، متوسط (یک سوم میانی) و کمینه (یک سوم نهایی) سه آماره ناپارامتری TOP، MID و LOW را معرفی کردند. ژنوتیپی در این روش پایدار معرفی می‌شود که در محیط‌های بیشتری رتبه بالا را کسب کرده باشد.

برای برآورد پایداری عملکرد ارقام و هیبریدها در محیط‌های مختلف، هم‌چنین از دو آماره پایداری ناپارامتریک $NS_i^{(1)}$ و $NS_i^{(2)}$ (Sabaghnia, 2015) استفاده شد که بر اساس رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها در هر محیط است. این آماره‌ها از میانه به‌عنوان یک گرایش مرکزی ناپارامتری و از دو شاخص ناپارامتری پراکندگی آماری به‌عنوان دامنه بین چارکی و محدوده بین دهک استفاده می‌کنند و مشابه ماهیت و مفهوم ضریب تغییرات محیطی است.

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها و محاسبه آمارهای پایداری ناپارامتریک با استفاده از نرم‌افزار R نسخه 4.3.2 و بسته Agricolae و Metan انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان دادند که اثرات اصلی ژنوتیپ، مکان و سال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). این نتایج تنوع مناسبی را بین ارقام و هیبریدهای مورد مطالعه از نظر عملکرد نشان می‌دهند. اثر مکان و سال معنی‌دار نشان از تنوع زیاد در مکان‌ها و سال‌های آزمایش دارد. اثر متقابل دو جانبه ژنوتیپ × سال، ژنوتیپ × مکان، مکان × سال و اثر متقابل سه‌جانبه ژنوتیپ × سال × مکان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نشان دادند که بیشترین عملکرد را هیبرید ۵ (۴۱/۲۱ تن در هکتار) و کمترین عملکرد را ارقام شاهد ساتینا (۲۸/۶۱ تن در هکتار)، و کایزر (۲۷/۵۵ تن در هکتار) داشتند (جدول ۴). معنی‌دار بودن اثر متقابل بین ژنوتیپ، سال و مکان نشان‌دهنده پاسخ متفاوت ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های مختلف است، به‌طوری‌که در سال‌ها و مکان‌های مختلف، ژنوتیپ‌های متفاوتی دارای بیشترین عملکرد دانه بودند. بنا بر این، تنها براساس مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نمی‌توان ژنوتیپ با عملکرد بیشتر را تعیین کرد، بلکه باید تجزیه پایداری صورت گیرد تا ژنوتیپ‌های سازگار با محیط‌های گوناگون که ضمن داشتن عملکرد بالا، نوسانات عملکرد آن‌ها در سال‌ها و مکان‌های مختلف نیز کمتر باشند، شناسایی شوند (Amini *et al.,* 2021).

به‌منظور گزینش ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا و مقایسه کارآیی آماره‌های مختلف ناپارامتری و انتخاب مناسب‌ترین روش‌ها، ۱۵ آماره ناپارامتری برای ارقام و هیبریدهای مورد مطالعه محاسبه و در جدول ۴ آورده شده‌اند. بر اساس آماره‌های $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$ هیبریدهای ۵، ۲، و ۷ با داشتن کمترین مقادیر به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. هیبریدهای ۲ و ۷ عملکرد پایینی داشتند اما هیبرید ۵ علاوه‌بر پایدار بودن، با عملکرد بسیار خوبی نیز همراه بود. بر اساس آماره $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ که تقریباً نتایج مشابهی داشتند، هیبریدهای ۲، ۷ و ۱۵ به‌عنوان پایدارترین هیبریدها معرفی شدند که هیچکدام با عملکرد غده مطلوبی همراه نبودند.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد ۲۵ رقم و هیبرید سیب‌زمینی آزمایش‌شده در پنج مکان و ۲ سال

Table 3. Combined analysis of variance for the yield performance of 25 potato cultivars and hybrids tested across five locations and 2 years

میانگین مربعات Mean squares	درجه آزادی df	منابع تغییرات Sources of variation
2118.40**	4	مکان Location
536.73**	1	سال Year
4746.96**	4	مکان × سال Location × Year
46.89	20	تکرار/ (مکان × سال) Replication/(Location×Year)
236.45**	24	ژنوتیپ Genotype
152.26**	96	ژنوتیپ × مکان Genotype × Location
87.85**	24	ژنوتیپ × سال Genotype × Year
173.45**	96	ژنوتیپ × سال × مکان Genotype × Year × Location
22.82	480	خطا Error
15.05		ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (CV%)

** و *: به‌ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد هستند.

**, *: non-significant and significant at 1% and 5% probability levels, respectively.

معیارهای پیشنهادی توسط تنارازو (Thennarasu, 1995) شامل NP_1، NP_2، NP_3 و NP_4 به‌طور جداگانه برای تمامی ژنوتیپ‌ها محاسبه شدند (جدول ۴). براساس آمار NP_1، به‌ترتیب هیبریدهای ۱۵، ۲، ۶ و ۷ با دارا بودن کمترین میزان

این آماره به‌عنوان هیبریدهای پایدار و ۵، ۱، و ۸ به‌ترتیب با دارا بودن بیشترین مقدار NP_1 به‌عنوان هیبریدهای ناپایدار معرفی شدند. طبق آماره NP_2، هیبریدهای ۱۵، ۲ و ۱۳ با کمترین میزان این آماره به‌عنوان هیبریدهای پایدار و هیبریدهای ۵، ۱ و ۸ با بیشترین مقدار به‌عنوان ناپایدارترین هیبریدها معرفی شدند. آماره NP_3 و NP_4 نتایج تقریباً مشابهی را در معرفی هیبریدها و ارقام پایدار از خود نشان دادند و به‌ترتیب هیبریدهای ۱۵، ۲ و ۷ را پایدار و هیبریدهای ۱۲، ۱۶، ۱۸ و ارقام کایزر و ساتینا را ناپایدار معرفی کردند.

برمبنای آماره پایداری *Rank-sum*، ژنوتیپ‌هایی که کمترین مقدار این آماره را داشته باشند، به‌عنوان ژنوتیپ پایدار معرفی می‌شوند (Kang, 1988). مطابق این آماره، هیبریدهای ۶، ۱۴ و ۱۹ به‌ترتیب کمترین مقدار این آماره را دارا بودند و به‌عنوان هیبریدهای پایدار شناسایی شدند (جدول ۴). بر اساس شاخص *Fox-rank*، هیبرید ۵ با میزان ۹۰ درصد قرارگیری در یک سوم بیشنه، به‌عنوان هیبرید مطلوب از میان سایر ارقام و هیبریدهای مورد مطالعه شناسایی شد. هیبریدهای ۱ و ۸ با مقادیر ۵۰ درصد در رده‌های بعدی قرار گرفتند. هر سه ژنوتیپ معرفی شده توسط این آماره از نظر عملکرد غده نیز در رتبه‌های بالا قرار داشتند.

برمبنای آماره $NS_i^{(1)}$، هیبریدهای ۱۵، ۲ و ۷ و بر مبنای آماره $NS_i^{(2)}$ هیبریدهای ۱۳، ۲ و ۱۵ با دارا بودن کمترین مقدار این آماره‌ها، بیشترین پایداری عملکرد را در بین ارقام و هیبریدهای مورد بررسی دارا بودند. طبق آماره σ_r (Ketata *et al., 1989*)، ژنوتیپ‌های با مقادیر کمتر به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته می‌شوند. لذا، بر اساس آماره مذکور، هیبریدهای ۲، ۵ و ۷ پایدار بودند. بر اساس آماره σ_{my} (Ketata *et al.,* 1989)، ژنوتیپ‌های با مقادیر بالای این آماره به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته می‌شوند. بر این اساس، هیبریدهای ۵، ۱، ۸ و ۱۹ پایدار بودند. همچنین، بر اساس میانگین رتبه آماره‌های ناپارامتری مورد مطالعه در این تحقیق، هیبریدهای ۵، ۱، ۸ و ۱۹ با داشتن کمترین میانگین رتبه پایدارترین و هیبریدهای ۱۳، ۱۵، ۱۶ و رقم ساتینا با دارا بودن بیشترین میانگین رتبه ناپایدارترین‌ها بودند.

با توجه به اهمیت بالای صفت عملکرد در برنامه‌های به‌نژادی گیاهان، آماره‌هایی که با میانگین عملکرد همبستگی بالایی دارند در اولویت قرار می‌گیرند. اما در بقیه روش‌هایی که همبستگی قابل قبولی با عملکرد ندارند، روش‌های جایگزین برای گزینش توام عملکرد و پایداری لحاظ شده‌اند. در روش‌های هان (Huhn, 1979)، تنارازو (Thennarasu, 1995) و صباغ‌نیا (Sabaghnia, 2015)، استفاده از پلات عملکرد و شاخص پایداری پیشنهاد شده است تا از این طریق ژنوتیپ‌هایی انتخاب شوند که همزمان پایداری و عملکرد مطلوبی داشته باشند. برای این منظور، پلات این شاخص‌ها با میانگین عملکرد برای این ژنوتیپ‌ها در شکل ۱ آورده شده است. با توجه به این شکل‌ها، چهار ناحیهٔ مجزا را می‌توان تشخیص داد. در ناحیه اول، ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالاتر از میانگین کل و مقادیر پایین آماره پایداری قرار می‌گیرند که نشانگر سازگاری عمومی این ژنوتیپ‌ها نسبت به محیط‌های مختلف است. در ناحیهٔ دوم، ژنوتیپ‌های با عملکرد بالاتر از میانگین کل و مقادیر بالای آماره پایداری قرار می‌گیرند که نشان‌دهندهٔ حساسیت بالای این ژنوتیپ‌ها به تغییرات محیطی است. در ناحیه سوم، ژنوتیپ‌های با عملکرد کمتر از میانگین کل و مقادیر بالای آماره پایداری قرار می‌گیرند که هیچ مطلوبیتی ندارند. در ناحیه چهارم، ژنوتیپ‌های با عملکرد کمتر از میانگین کل و مقادیر پایین آماره پایداری قرار می‌گیرند که این ژنوتیپ‌ها هر چند دارای سازگاری عمومی متوسطی نسبت به محیط‌های مختلف هستند ولی به‌دلیل عملکرد پایین‌تر از میانگین، به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب شناخته نمی‌شوند (شکل ۱).

بر اساس آماره‌های $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$ هیبرید شماره ۵ با قرارگیری در بهترین موقعیت پلات به‌عنوان ژنوتیپ پایدار و پر محصول معرفی شد. بر اساس آماره $S_i^{(3)}$، هیبریدهای ۵، ۶، ۳ و رقم ساوالان؛ آماره $S_i^{(6)}$ هیبریدهای ۱۷، ۳ و ۶؛ آماره NP_1 هیبریدهای ۱۷، ۱۹ و ۶؛ آماره NP_2 هیبریدهای ۱۷، ۳، ۶، ۸ و رقم ساوالان؛ آماره‌های NP_3 و NP_4 هیبریدهای ۱۷ و ۶؛ آماره $NS_i^{(1)}$ هیبریدهای ۹، ۳ و رقم شاهد ساتینا؛ و آماره $NS_i^{(2)}$ هیبریدهای ۳ و ۶ با قرارگرفتن در ناحیه اول، به‌عنوان ارقام و هیبریدهای دارای عملکرد بالاتر از میانگین و سازگاری عمومی به محیط‌های مختلف معرفی شدند.

پژوهشگران دیگری نیز از این معیارهای ناپارامتری در تجزیه پایداری سیب‌زمینی (Moghaddaszadeh *et al.,* 2019)، گندم دوروم (Karimizadeh *et al.,* 2019; 2021)، و کلزا (Veisizadeh *et al.,* 2021) استفاده کردند. درباره کارایی این روش‌ها نیز اظهار شده است که امید ریاضی آماره $S_i^{(1)}$، بزرگ‌تر از آماره $S_i^{(2)}$ و واریانس آن کوچک‌تر از واریانس آماره $S_i^{(2)}$ هستند و در نتیجه، دقت آماره $S_i^{(1)}$ برای انتخاب ژنوتیپ پایدار بیش‌تر از آماره‌های دیگر است. هان (Huhn, 1990) همبستگی بالایی را بین $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$، حتی وقتی که از عملکرد تصحیح نشده برای رتبه‌دهی استفاده شود، نشان داد. بر این اساس، هان (Huhn, 1990) نشان داد که رتبه‌های ژنوتیپی بدست آمده از عملکرد تصحیح شده و تصحیح نشده با هم متفاوت بودند و همبستگی متوسط تا ضعیفی بین این دو نوع رتبه‌دهی وجود داشت. دلایل متعددی مبنی بر برتری نسبی $S_i^{(1)}$ به $S_i^{(2)}$ وجود دارد که از آن جمله سادگی در محاسبه پارامتر $S_i^{(1)}$ و تفسیر واضح و آشکار آن (میانگین رتبه اختلاف بین محیط‌ها) است (Kaya & Taner, 2002; Taghizadeh *et al.,* 2020).

مطابق با کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh *et al.,* 2021)، آماره‌های $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$ برای انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار با پتانسیل عملکرد بالا برای کشت در مناطق پربازده مناسب هستند و به عبارت دیگر، اگر هدف انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب برای کشت در مناطق با سازگاری اختصاصی باشد، بهتر است از این دو آماره استفاده شود. اما اگر هدف اصلاحگر انتخاب و معرفی یک یا چند ژنوتیپ پایدار با عملکرد متوسط و قابل قبول برای کلیه مناطق اعم از کم‌بازده و پربازده باشد، بهتر است از آماره $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ استفاده شود.

به‌منظور بررسی رابطه بین آماره‌های ناپارامتری و میانگین عملکرد غده، همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن محاسبه شد (جدول ۵). بر اساس نتایج به‌دست آمده، همبستگی منفی و معنی‌داری بین میانگین عملکرد با آماره‌های پایداری $S_i^{(3)}$ ($p < ۰/۰۵$) $S_i^{(6)}$، NP_2، NP_3 و NP_4 ($p < ۰/۰۱$) مشاهده شد. تعدادی دیگر از محققان نیز همبستگی منفی و معنی‌داری را بین عملکرد و آماره‌های $S_i^{(3)}$، $S_i^{(6)}$، NP_2، NP_3 و NP_4 گزارش دادند (Pourdad *et al.,* 2014; Moghaddaszadeh *et al.,* 2019; Amini *et al.,* 2021). همبستگی معنی‌داری بین عملکرد و آماره‌های $S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$ و NP_1 مشاهده نشد. همبستگی بالا و معنی‌داری بین هر چهار شاخص ناپارامتری $S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$، $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ مشاهده شد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین آماره‌های $S_i^{(3)}$، $S_i^{(6)}$، NP_1، NP_2، NP_3 و NP_4 مشاهده شد. که نشان‌دهنده ماهیت مشابه آن‌ها در شناسایی ارقام پایدار می‌باشد.

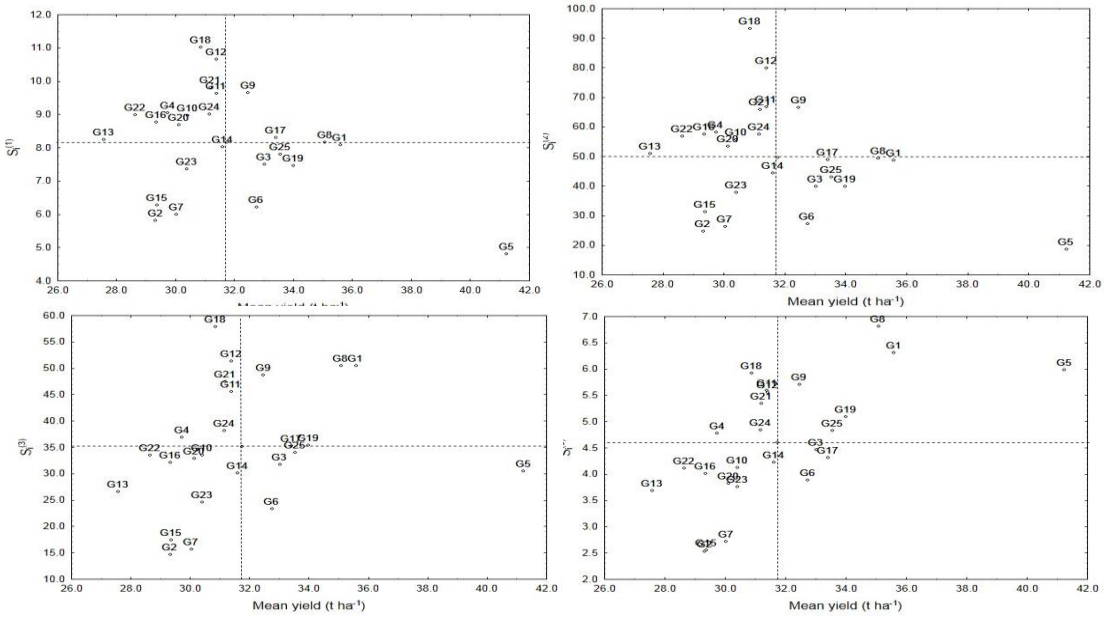
جدول ۴- میانگین عملکرد غده و برآورد آماره‌های ناپارامتری ۲۵ رقم و هیبرید سیب‌زمینی آزمایش شده در پنج مکان و دو سال

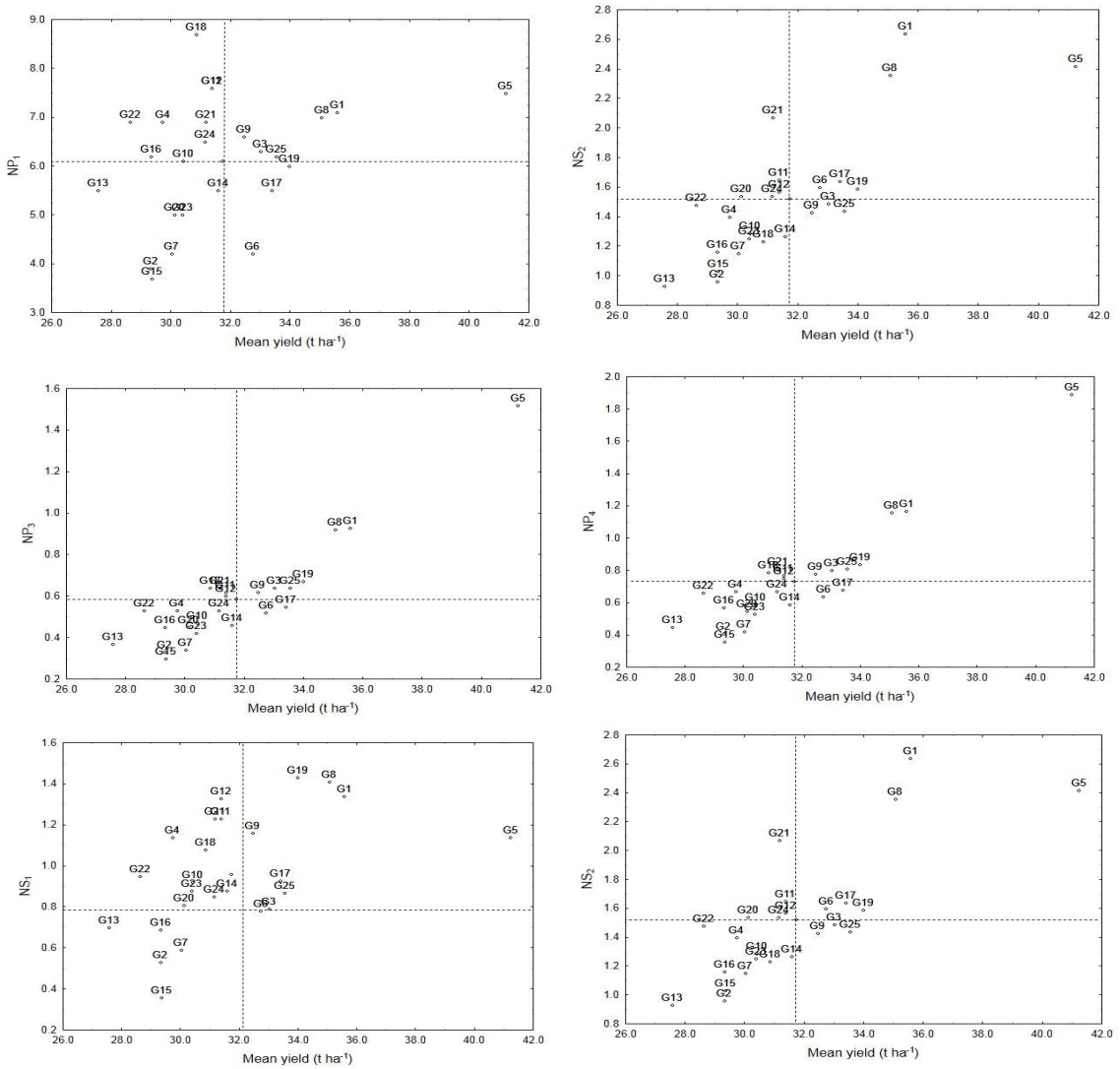
Table 4. Mean tuber yields and estimates of non-parametric statistics for 25 potato cultivars and hybrids evaluated across five locations and two years

Rank-mean	*Rank-sum*	*Fox-rank*	$NS_i^{(2)}$	$NS_i^{(1)}$	σ_{my}	σ_r	NP_4	NP_3	NP_2	NP_1	$S_i^{(6)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(2)}$	$S_i^{(1)}$	LSD 5%	MY (t ha^{-1})	ژنوتیپ Genotype
8.70	22	50	2.64	1.34	29.04	6.88	1.17	0.93	0.89	7.10	6.32	50.59	48.90	8.11	b	35.56	1
15.15	27	10	0.96	0.53	15.54	4.85	0.41	0.33	0.24	3.90	2.54	14.79	24.89	5.82	cde	29.30	2
11.35	20	30	1.49	0.79	23.72	6.31	0.80	0.64	0.48	6.30	4.48	31.81	40.11	7.51	bcde	32.99	3
14.20	34	30	1.40	1.14	17.9	7.53	0.67	0.53	0.49	6.90	4.79	37.01	58.40	9.07	bcde	29.71	4
5.50	26	90	2.42	1.14	37.79	4.38	1.89	1.52	1.36	7.50	6.00	30.64	18.72	4.82	a	41.21	5
10.45	10	40	1.60	0.78	23.92	5.30	0.64	0.52	0.40	4.20	3.90	23.48	27.39	6.24	bcde	32.72	6
15.10	20	10	1.15	0.59	16.42	5.07	0.42	0.34	0.31	4.20	2.73	15.82	26.54	6.02	bcde	30.01	7
8.80	18	50	2.36	1.41	28.43	6.94	1.16	0.92	0.82	7.00	6.82	50.64	49.51	8.18	bc	35.05	8
12.30	26	40	1.43	1.16	22.74	8.17	0.78	0.62	0.46	6.60	5.72	48.79	66.68	9.67	bcde	32.44	9
15.00	26	30	1.29	0.92	17.75	7.45	0.59	0.47	0.38	6.10	4.13	33.60	56.00	8.98	bcde	30.39	10
13.20	28	40	1.65	1.23	20.68	8.06	0.77	0.62	0.58	7.60	5.61	45.73	67.07	9.64	bcde	31.36	11
14.00	34	30	1.57	1.33	20.38	8.94	0.75	0.60	0.52	7.60	5.57	51.43	80.00	10.67	bcde	31.37	12
17.20	33	10	0.93	0.70	12.9	7.04	0.45	0.37	0.28	5.50	3.70	26.72	51.07	8.27	e	27.55	کایزر
13.30	16	40	1.27	0.88	20.18	6.64	0.59	0.46	0.39	5.50	4.24	30.23	44.68	8.04	bcde	31.58	14
16.20	26	10	1.03	0.36	14.95	5.61	0.36	0.30	0.21	3.70	2.57	17.51	31.51	6.29	cde	29.35	15
16.15	33	10	1.16	0.69	15.87	7.59	0.57	0.45	0.33	6.20	4.02	32.23	57.66	8.78	cde	29.32	16
12.50	28	30	1.64	0.93	23.01	7.04	0.68	0.55	0.41	5.50	4.32	35.40	49.17	8.33	bcde	33.38	17
14.50	39	40	1.23	1.08	19.75	9.66	0.79	0.64	0.47	8.70	5.93	57.97	93.39	11.04	bcd	30.84	18
10.20	16	40	1.59	1.43	25.71	6.24	0.84	0.67	0.60	6.00	5.10	35.45	40.18	7.47	bcd	33.96	19
14.60	25	20	1.54	0.81	17.81	7.33	0.55	0.45	0.34	5.00	3.84	33.04	53.60	8.71	bcde	30.10	20
12.50	32	40	2.07	1.23	21.37	8.06	0.81	0.64	0.63	6.90	5.36	47.56	66.06	9.82	bcde	31.17	21
15.35	42	10	1.48	0.95	20.44	8.79	0.66	0.53	0.48	6.90	4.12	33.60	57.12	9.00	e	28.61	ساتینا
13.80	20	30	1.25	0.88	18.52	6.16	0.53	0.42	0.36	5.00	3.77	24.75	37.96	7.38	bcde	30.37	لوکا
13.55	23	30	1.54	0.85	19.99	7.60	0.67	0.53	0.46	6.50	4.85	38.26	57.82	9.02	bcde	31.14	آگریا
11.40	26	40	1.44	0.87	24.11	6.52	0.81	0.64	0.46	6.20	4.84	34.07	43.16	7.82	bcde	33.52	ساوالان

MY: میانگین عملکرد غده؛ $S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$، $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$: آماره‌های ناپارامتری هان (Huhn, 1979)؛ NP_1، NP_2، NP_3 و NP_4: آماره‌های ناپارامتری تنارازو (Thennarasu, 1995)؛ σ_x و σ_{my}: آماره‌های کتاتا (Ketata *et al.,* 1989)؛ $NS_i^{(1)}$ و $NS_i^{(2)}$: آماره‌های ناپارامتری صباغنیا (Sabaghnia, 2015)؛ *Fox-rank*: آماره پایداری *Fox-rank* (Fox *et al.,* 1990)؛ *Rank-sum*: آماره مجموع رتبه (Kang, 1988)

MY: mean yield; $S_i^{(1)}$, $S_i^{(2)}$, $S_i^{(3)}$ and $S_i^{(6)}$: Huhn's statistics (Huhn, 1979); NP_1, NP_2, NP_3 and NP_4: Thennarasu's indices (Thennarasu, 1995); σ_x and σ_{my}: Ketata's parameters (Ketata *et al.,* 1989); $NS_i^{(1)}$ and $NS_i^{(2)}$: Sabaghnia's NPI (Sabaghnia *et al.,* 2015); *Fox-rank*: Fox's method (Fox *et al.,* 1990); *Rank-sum*: Kang's index (Kang, 1988)





شکل ۱- پلات میانگین عملکرد با آماره‌های ناپارامتری هان (Huhn, 1979)، تنارازو (Thennarasu, 1995) و صباغ‌نیا (Sabaghnia, 2015)

Figure 1. Mean yield plots with non-parametric statistics of Huhn (1979), Thennarasu (1995), and Sabaghnia (2015).

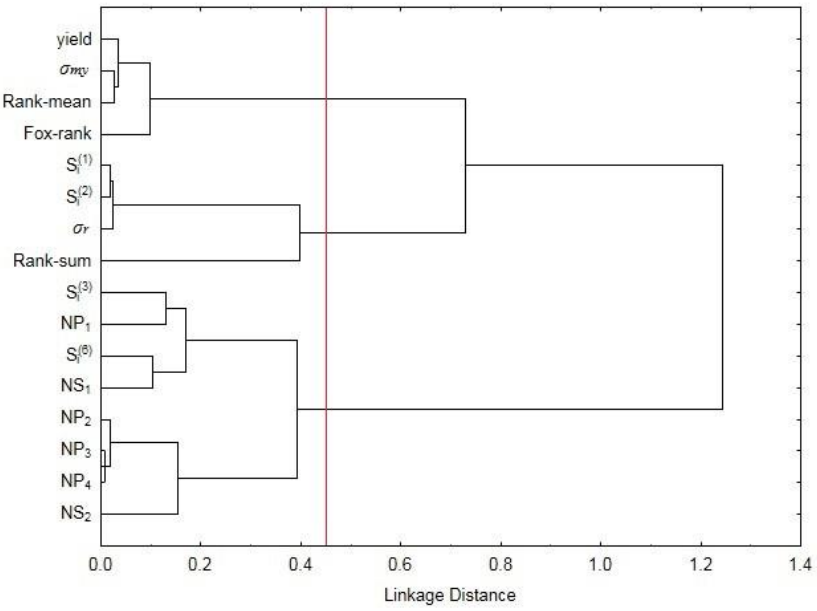
محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2007)، علیزاده و همکاران (Alizadeh *et al.*, 2020) و کایا و تورکوز (Kaya & Turkoz, 2016) نیز همبستگی بالایی را بین $S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$، $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ گزارش کردند. نکته قابل تامل در خصوص این آماره‌ها این است که این آماره‌ها ماهیت استاتیک پایداری را در نظر می‌گیرند و ارقامی را به‌عنوان پایدار معرفی می‌کنند که نوسان کمتری در بین محیط‌ها داشته باشند. لذا، اغلب موارد ارقام معرفی‌شده عملکرد پایداری دارند.

همبستگی بین میانگین عملکرد غده و آماره‌های $NS_i^{(1)}$ و $NS_i^{(2)}$ منفی و معنی‌دار ($p<0/01$) بود و نتایج آن‌ها همبستگی مثبت و معنی‌داری با نتایج آماره‌های هان (Huhn, 1979) و تنارازو (Thennarasu, 1995) نشان دادند. از بین آماره‌های کتاتا (Ketata *et al.*, 1989)، عملکرد غده همبستگی مثبت و معنی‌داری با آماره σ_{my} نشان داد، در حالی‌که آماره σ_r بیشترین همبستگی را با آماره‌های هان (Huhn, 1979) نشان داد.

شاخص *Fox-rank* نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد غده و آماره σ_{my} (Ketata *et al.*, 1989)، مجموع رتبه و میانگین رتبه داشت. مقدس‌زاده و همکاران (Moghaddaszadeh *et al.*, 2019) نیز با بررسی پایداری ۱۵ ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی در شش محیط نتایج مشابه این تحقیق را گزارش کردند. برای گروه‌بندی بهتر ۱۵ آماره پایداری ناپارامتری از روش تجزیه خوشه‌ای سلسله مراتبی ضرایب همبستگی با روش جفت‌گروه بدون وزن با میانگین حسابی (UPGMA) استفاده شد. برای تعیین تعداد مطلوب گروه‌ها از تجزیه تابع تشخیص استفاده شد. نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای، میانگین عملکرد و ۱۵ آماره پایداری ناپارامتری را در

سه گروه دسته‌بندی کردند (شکل ۲). گروه اول شامل میانگین عملکرد، آماره پایداری *Fox-rank*، آماره σ_{my} و میانگین رتبه بود. قرارگیری این آماره‌ها در این گروه نشان می‌دهد که عملکرد نقش مهمی در رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها توسط این پارامترها دارد. صباغ‌نیا و همکاران (Sabaghnia *et al.*, 2006) و عبادی سقرلو و همکاران (Ebadi-Segherloo *et al.*, 2008) نشان دادند که این آماره‌ها ماهیت دینامیک پایداری دارند. گروه دوم شامل آماره‌های ناپارامتری $S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$، σ_r و آماره مجموع رتبه بود. در نهایت، آماره‌های ناپارامتری $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$، $NS_i^{(1)}$، $NS_i^{(2)}$، NP_1، NP_2، NP_3 و NP_4 در گروه سوم قرار گرفتند. بر اساس مطالعات فرشادفر و بهادری (Farshadfar & Bahadori, 2014)، آماره‌های *Rank-sum*، NP_3، NP_2، NP_4، $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ در یک گروه قرار گرفتند. پورداد (Pourdad, 2011)، مقدس‌زاده و همکاران (Moghaddaszadeh *et al.*, 2019) و خلیلی و پورابوقداره (Khalili & Pour-Aboughadareh, 2016) نیز قرارگیری آماره‌های $NP_2^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$، $NP_i^{(4)}$، $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ در یک گروه و مفهوم ایستاتیک (بیولوژیکی) پایداری این آماره‌ها را تایید کردند.

در این مطالعه همچنین تجزیه خوشه‌ای سلسله مراتبی با روش UPGMA بر اساس مقادیر غیر وزنی ۱۵ پارامتر پایداری ناپارامتریک و میانگین عملکرد، برای گروه‌بندی ارقام و هیبریدهای سیب‌زمینی مورد مطالعه به پنج گروه اصلی (شکل ۳) با استفاده از مجذور فاصله اقلیدسی به‌عنوان عدم تشابه استفاده شد. گروه اول شامل هیبریدهای پرمحصول ۵، ۸ و ۱ بود که به وسیله آماره پایداری *Fox-rank*، آماره σ_{my} و میانگین رتبه پایدار شناسایی شدند. گروه دوم شامل هیبریدهای ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۸ و ۲۱ بود که هیبریدهای با عملکرد متوسط ولی با پایداری بسیار ضعیف هستند، به طوری که توسط اکثر معیارهای پایداری بررسی‌شده در رتبه‌های پایین از نظر پایداری قرار گرفتند. گروه سوم شامل هیبریدهای ۲، ۷ و ۱۵ بود که از نظر اکثر پارامترهای هان (Huhn, 1979) تنارازو (Thennarasu, 1995)، صباغ‌نیا (Sabaghnia, 2015) و آماره σ_r به‌عنوان هیبریدهای پایدار شناسایی شدند ولی این هیبریدها از نظر عملکرد در پایین‌ترین سطح قرار گرفتند. گروه چهارم شامل هیبریدهای ۳، ۶، ۱۴، ۱۹ و ارقام شاهد لوتا و ساوالان، دارای عملکرد و متوسطی بودند و گروه پنجم شامل هیبریدهای ۲، ۱۰، ۱۶، ۱۷، ۲۰ و ارقام شاهد کایزر، ساتینا و آگریا بود که هم از نظر عملکرد و هم پایداری عملکرد ضعیفی هستند.



شکل ۲- نمودار درختی تجزیه خوشه‌ای ۱۵ آماره پایداری ناپارامتری و میانگین عملکرد غده بر پایه روش UPGMA
Figure 2. The UPGMA dendrogram of 15 stability indices and mean yield

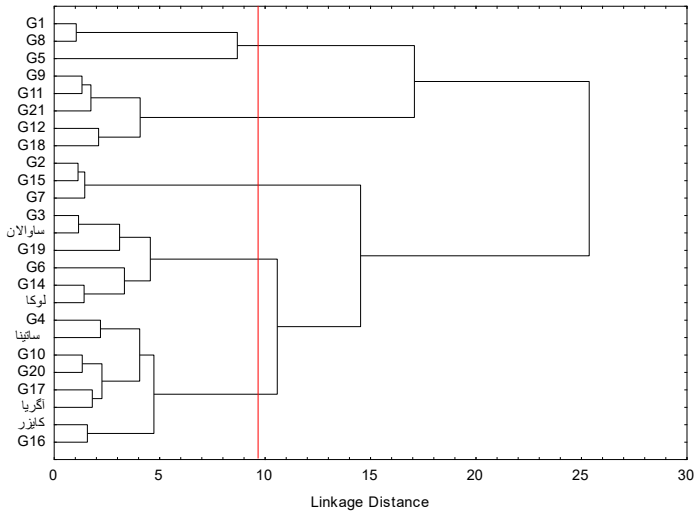
جدول ۵- ضرایب همبستگی رتبه‌ای میانگین عملکرد غده و ۱۵ آماره ناپارامتری

Table 5. Rank correlation coefficients between mean tuber yields and 15 non-parametric statistics

	MY	$S_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(6)}$	NP_1	NP_2	NP_3	NP_4	σ_r	σ_{my}	$NS_i^{(1)}$	$NS_i^{(2)}$	*Fox-rank*	*Rank-sum*	*Rank-Mean*
$S_i^{(1)}$	0.15															
$S_i^{(2)}$	0.16	0.99**														
$S_i^{(3)}$	-0.41*	0.77**	0.77**													
$S_i^{(6)}$	-0.72**	0.44*	0.44*	0.85**												
NP_1	-0.36	0.63**	0.638**	0.82**	0.87**											
NP_2	-0.68**	0.29	0.28	0.71**	0.89**	0.82**										
NP_3	-0.81**	0.22	0.21	0.71**	0.919**	0.76**	0.92**									
NP_4	-0.82**	0.21	0.20	0.70**	0.92**	0.75**	0.92**	0.99**								
σ_r	0.20	0.98**	0.98**	0.74**	040*	0.62**	0.26	0.19	0.18							
σ_{my}	0.92**	0.08	0.10	-0.45*	-0.74**	-0.47*	-0.81**	-0.88**	-0.89**	0.09						
$NS_i^{(1)}$	-0.58**	0.45*	0.45*	0.81**	0.85**	0.75**	0.87**	0.79**	0.79**	0.41*	-0.66**					
$NS_i^{(2)}$	-0.77**	0.12	0.10	0.53**	0.71**	0.53**	0.83**	0.78**	0.78**	0.09	-0.85**	0.70**				
Fox-rank	0.86**	-0.06	-0.06	-0.53**	-0.83**	-0.55**	-0.76**	-0.83**	-0.84**	0.01	0.83**	-0.71**	-0.71**			
Rank-sum	0.49*	0.62**	0.61**	0.30	0.04	0.42*	0.02	-0.05	-0.07	0.64**	0.35	0.07	-0.21	0.33		
Rank-Mean	0.95**	0.16	0.17	-0.38	-0.71**	-0.37	-0.74**	-0.82**	-0.83**	0.22	0.95**	-0.60**	-0.81**	0.88**	0.52**	

** و *: به ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد هستند.

**, *: non-significant and significant at 1% and 5% probability levels, respectively.



شکل ۳- نمودار درختی تجزیه خوشه‌ای ۲۵ ژنوتیپ سیب‌زمینی براساس عملکرد غده و ۱۵ آماره پایداری ناپارامتری بر پایه روش UPGMA
Figure 3. The cluster dendrogram of 25 potato genotypes based on tuber yield and 15 non-parametric stability statistics using the UPGMA method

نتیجه‌گیری کلی

به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول، آماره‌های پایداری *Fox-rank*، آماره σ_{my} و میانگین رتبه انتخاب شدند که بر اساس آن‌ها هیبریدهای ۵، ۱ و ۸ به ترتیب به‌عنوان مناسب‌ترین هیبریدها در محیط‌های مورد مطالعه انتخاب و معرفی می‌شوند. با توجه به ماهیت دینامیک پایداری این هیبریدها، عملکرد آن‌ها با بهبود شرایط محیطی افزایش خواهد یافت و استفاده از نهاده‌های کشاورزی مفید باعث بهبود هرچه بیشتر عملکرد آن‌ها خواهد شد و لذا قابل توصیه به مناطق سیب‌زمینی‌خیز کشور خواهند بود.

References

Akbari, S., Akbarpour, O. A., & Pezeshkpour, P. (2021). Evaluation of genetic varietion and grain yield stability of lentil genotypes using non-parametric methods. *Plant Genetic Researches, 8*(1), 95–114. http://dx.doi.org/10.52547/pgr.8.1.7 [In Persian]

Alizadeh, B., Rezaizad, A., Yazdandoost Hamedani, M., Shiresmaeili, G., Nasserghadimi, F., Khademhamzeh, H. R., & Gholizadeh, A. (2020). Evaluation of seed yield stability of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes using Non-Parametric methods. *Journal of Crop Breeding, 12*(35), 202–212. http://dx.doi.org/10.52547/jcb.12.35.202 [In Persian]

Amini, A., Tabatabaee, M. T., Akbari Mogadam, H., Ravari, Z., Amin Azarm, D., & Tajali. H. (2021). Evaluation of grain yield and its stability in bread wheat genotypes in saline regions of Iran. *Iranian Journal of Field Crop Science, 51*(4), 191–202. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.290344.654649 [In Persian]

Annicchiarico, P. (2002) Genotype × environment interactions - challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO),* Rome.

Becker, H. C., & Léon, J. (1988) Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding,* 101, 1–23. https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1988.tb00261.x

Ebadi-Segherloo, A., Sabaghpour, S. H., Dehghani, H., & Kamrani, M. (2008). Non-parametric measures of phenotypic stability in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). *Euphytica, 2*, 221–229. https://doi.org/10.1007/s10681-007-9552-x

Eberhart, S. A., & Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science,* 6, 36–40. https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x

FAO. (2023). Production year book, 2003. Food and Agricultural Organization.

Farshadfar, E., & Bahadori, Z. (2014). Comparison of non parametric stability statistics for improvement of adaptation in wheat-rye disomic addition lines. *Annual Research & Review in Biology, 4*(22), 3409–3419. https://doi.org/10.9734/ARRB/2014/10996

Fox, P. N., Skovmand, B., Thompson, B. K., & Braun, H.J. (1990). Yield and adaptation of hexaploid spring triticale. *Euphytica, 47*(1), 57–64. https://doi.org/10.1007/BF00040364

Goksoy, A. T., Sincik, M., Erdogmus, M., Ergin, M., Aytac, S., Gumuscu, G., Gunduz, O., Keles, R., Bayram, G., & Senyigit, E. (2019). The parametric and non-parametric stability analyses for interpreting genotype by environment interaction of some soybean genotypes. *Turkish Journal of Field Crops, 24*(1), 28–38. https://doi.org/10.17557/tjfc.562637

Hassanpanah, D., & Azizi Chakherchaman, S. H. (2010). Estimating rank and stability analysis of potato

cultivars by nonparametric stability analysis. *Research Journal of Environmental Sciences, 4*, 173–179. https://doi.org/10.3923/rjes.2010.173.179

Huehn, M. (1990). Nonparametric measures of phenotypic stability: Part 1. Theory. *Euphytica,* 47, 189–194.

Huhn, M. (1979). Beiträge zur Erfassung der phänotypischen stabilität. I. Vorschlag einiger auf rang informationnen beruhenden stabilitatsparameter. *EDV in Medizin und Biologie,* 10, 112–117.

Kang, M. S. (1988). A rank–sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. *Cereal Research Communication, 16*, 113–115. https://www.jstor.org/stable/23782771

Kang, M. S., & Pham, H. N. (1991). Simultaneous selection for high yielding and stable crop genotypes. *Agronomy Journal, 83*, 161–165. https://doi.org/10.2134/agronj1991.00021962008300010037x

Karimizadeh, R., Asghari, A., Sofalian, O., Shahbazi, K., Hosseinpour, T., Ghojogh, H., & Armion. M. (2019). Identification of the most stable durum wheat genotypes using nonparametric yield stability statistics. *Journal of Crop Production and Processing, 9*(1), 189–203. http://dx.doi.org/10.29252/jcpp.9.1.189 [In Persian]

Karimizadeh, R., Hosseinpour, T., Sharifi, P., Alt Jafarby, J., Shahbazi Homonlo K., & Keshavarzi, K. (2021). Evaluation of grain yield stability of durum wheat genotypes using parametric and non-parametric methods. *Plant Genetic Researches,* 8(1), 115–123. http://dx.doi.org/10.52547/pgr.8.1.8 [In Persian]

Kaya, Y., & Taner, S. (2002). Estimating genotypic ranks by nonparametric stability analysis in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Central European Agriculture, 4*, 47–53. https://doi.org/10.5513/jcea.v4i1.158

Kaya, Y., & Turkoz, M. (2016). Evaluation of genotype by environment interaction for grain yield in durum wheat using non-parametric stability statistics. *Turkish Journal of Field Crops, 21*(1), 51–59. https://doi.org/10.17557/tjfc.48198

Ketata, H., Yan S. K. M., & Nachit, M. (1989). Relative consistency performance across environments. Int. Symposium on Physiology and Breeding of Winter Cereals for stressed Mediterranean Environments. Montpellier, July, 3–6.

Khalid, W., Khalid, W., Zubair Khalid, M., Aziz, A., Tariq, A., Ikram, A., Rehan, M., Younas, S., Bashir, A., & Fatima, A. (2020) Nutritional composition and health benefits of potato. *Advanced Food and Nutritional Sciences, 5,* 7–16, https://doi.org/10.21065/25631640.5.7

Khalili, M., & Pour-Aboughadareh, A. (2016). Parametric and non-parametric measures for evaluating yield stability and adaptability in barley doubled haploid lines. *Journal of Agricultural Science and Technology, 18*, 789–803. http://ir.jkuat.ac.ke/handle/123456789/3969

Moghaddaszadeh, M., Asghari Zakaria, R., Hassanpanah, D., & Zare, N. (2019). Non-parametric stability analysis of tuber yield in potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes. *Journal of Crop Breeding,* 10(28), 50–63. http://dx.doi.org/10.29252/jcb.10.28.50 [In Persian]

Mohammadi, R., Abdullahi, A., Haghparast, R., Aghaee, M., & Rostaii, M. (2007). Nonparametric methods for evaluating of winter wheat genotypes in multi-environment trials. *World Journal of Agricultural Sciences, 3*(2), 137–242. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:18224626

Najafi Mirak, T., Agaee Sarbarzeh, M., Moayedi, A. A., Kaffashi A. K. & Sayahfar, M. (2021). Yield stability analysis of durum wheat genotypes using AMMI method. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science, 31*(2), 17–28. https://doi.org/10.22034/saps.2021.13087 [In Persian]

Nassar, R., & Hühn, M. (1987). Studies on estimation of phenotypic stability: Test of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. *Biometrics, 43*, 45–53. https://doi.org/10.2307/2531947

Nowosad, K., Liersch, A., Popławska, W., & Bocianowski, J. (2016). Genotype by environment interaction for seed yield in rapeseed (*Brassica napus* L.) using additive main effects and multiplicative interaction model. *Euphytica*, 208(1), 187–194. https://doi.org/10.1007/s10681-015-1620-z

Pourdad, S. S. (2011). Repeatability and relationships among parametric and non-parametric yield stability measures in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes. *Crop Breeding Journal, 1*(2), 109–118. https://doi.org/10.22092/cbj.2011.100360

Pourdad, S., Jamshidmoghaddam, M., Faraji, A. & Naraki, H. (2014). Study on different nonparametric stability methods on seed yield of spring rapeseed varieties and hybrids. *Iranian Journal of Field Crop Science, 44*(4), 539–548. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2013.50326 [In Persian]

Roemer, T. (1917). Sind die Ertragsreichen Sorten Erteragssichers? *Mitt. DLG,* 32, 87–89.

Sabaghnia, N. (2015). Identification of the most stable genotypes in multi-environment trials by using nonparametric methods. *Acta Agriculturae Slovenica,* 5(1), 103–110. https://doi.org/10.14720/aas.2015.105.1.11

Sabaghnia, N., Dehghani, H., & Sbaghpour, H. (2006). Nonparametric methods for interpreting genotype × environment interaction of lentil genotypes. *Crop Science,* 46, 1100–1106. https://doi.org/10.2135/cropsci2005.06-0122

Shukla, G. K. (1972). Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity,* 29(2), 237– 245. https://doi.org/10.1038/hdy.1972.87

Taghizadeh, A.A., Aminian dehkordi, R., & Zeinanloo, A.A. (2020). Estimation of compatibility of some

olive cultivars and genotypes in tarom climate conditions using non-parametric methods. *Iranian Journal of Horticultural Science, 51*(3), 657–668. https://doi.org/10.22059/ijhs.2019.283230.1662 [In Persian]

Thennarasu, K. (1995). On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. *Indian Journal of Genetics, 60*, 433–439.

Veisizadeh, Z., Khademian, R., & Alizadeh, B. (2021). Assessment of the adaptation of oilseed rape (*Brassica napus* L.) genotypes using non-parametric statistical methods. *Iranian Journal of Crop Sciences, 23*(1), 67–80. http://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1400.23.1.5.9 [In Persian]

Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., & Szlavnics, Z. (2000) Cultivar evaluation and mega environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, *40,* 597–605. https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x