

Comparison of yield stability of potato genotypes under water deficit stress via parametric and non-parametric stability analysis

Z. Hajibarat¹, A. Saidi^{1*}, A. Mosuapour Gorji²

1. Department of Plant Sciences and Biotechnology, Faculty of Life Sciences and Biotechnology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2. Department of Vegetable Research, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received 27 August 2022; Accepted 22 November 2022

Extended abstract

Introduction

The interaction of genotype with the environment provides the possibility of selecting stable genotypes for a wide range of environments. Evaluation of the interaction of genotype with the environment is necessary to increase the efficiency of selecting varieties with high and stable performance in a wide range of different environments. The objectives of this paper are: (1) evaluating the stability of 60 potato genotypes for tuber yield in two years using parametric and non-parametric stability methods, (2) identifying genotypes with good and stable performance when evaluated in variable environments and (3) investigating the relationship and correlation between stability statistics of tuber performance under water deficit conditions in Iran.

Materials and methods

To evaluate the performance stability and adaptability of the 60 potato genotypes, two cultivars and 58 advanced clones, 17 parametric and non-parametric statistics were evaluated for tuber yield across eight environments during the 2018-2019 growing seasons. The genotypes were evaluated under normal and water deficit conditions in Karaj and Ardabil. In this study, the parametric analysis for yield was determined by such parameters as regression coefficient (b_i), environmental variance (S_{i2}), coefficient of variation (CV_i), deviation from regression (sd_{i2}), and Wricke's ecovalence (W_{i2}). The non-parametric analysis included Nassar and Huhn's statistics ($S^{(1)}$ and $S^{(2)}$), Huhn's equation ($S^{(3)}$ and $S^{(6)}$), Shukla's stability variance (σ_{2i}), Plaisted and Peterson's (θ_i), Thennarasu's non-parametric ($NP^{(1)}$, $NP^{(2)}$, $NP^{(3)}$, and $NP^{(4)}$), and Kang's rank-sum (KR) parameter. Parametric and non-parametric statistics are used by agronomists and plant breeders. Currently, researchers are interested in applying several stability statistics to obtain the desired results, crucial for the selection of stable varieties

Results and discussion

Composite variance analysis showed that the effect of place and year as well as the effect of genotype are significant. The interaction effect of year \times location \times genotype was significant at the probability level of 1%. The genotype effect was also significant at the 1% probability level. The interaction effect of genotype \times location and genotype \times year was not significant, which indicates that the average performance of genotypes is not different in different locations and years. Grouping of genotypes based on average

* Corresponding author: Abbas Saidi; E-Mail: abbas.saidi@gmail.com



performance and parametric and non-parametric stability statistics showed that genotypes are divided into four main groups. In general, based on the average rank of parametric and non-parametric stability parameters, genotypes G31, G21 and G36 had the least changes and were recognized as the most stable genotypes, and therefore they can be introduced as stable genotypes. The results of stability statistics and cluster analysis showed that G31, G21 and G36 genotypes can be introduced as stable and compatible genotypes.

Conclusion

Our results showed that G21, G31 and G36 genotypes contributed the least to the genetic \times environment interaction ($G \times E$) and were considered as stable genotypes under water deficit conditions. The different parametric and non-parametric stability procedures can be proposed to select drought tolerant genotypes under different environments conditions; these procedures could be useable for recognition of the best genotypes under drought stress conditions. Therefore, the analysis of yield stability could be utilized in combination with parametric and non-parametric methods to evaluate and identify drought tolerance genotypes. Dendrogram results confirmed each other with the results of parametric and non-parametric statistics. While G49, G51, G53 and G56 genotypes with the highest values were the most unstable genotypes.

Keywords: Genetic \times environment interaction, Non-parametric Statistics, Parametric Statistics, Potato, Water deficit

مقایسه پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی در شرایط کم‌آبایی توسط آماره‌های پارامتریک و ناپارامتریک

زهره حاجی‌براتی^۱، عباس سعیدی^{۱*}، احمد موسی‌پورگرگی^۲

۱. گروه زیست‌فناوری گیاهی و بیوتکنولوژی، دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
۲. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: آماره پارامتریک آماره ناپارامتریک برهم‌کنش ژنتیک× محیط سیب‌زمینی کم‌آبایی	اثر متقابل ژنوتیپ با محیط، امکان انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار را برای طیف وسیعی از محیط‌ها فراهم می‌کند. ارزیابی برهم‌کنش ژنوتیپ با محیط برای افزایش کارایی انتخاب ارقام با عملکرد بالا و پایدار در دامنه‌های وسیعی از محیط‌های متفاوت الزامی است. برای ارزیابی پایداری عملکرد و سازگاری ۶۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی (دورقم و ۵۸ کلون پیشرفته)، ۱۷ آماره پارامتریک و ناپارامتریک برای عملکرد غده در هشت محیط در طول فصل رشد ۲۰۱۸-۲۰۱۹ مورد ارزیابی قرار گرفت. ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال و کم‌آبی در طرح کرت خردشده در کرج و اردبیل مورد ارزیابی قرار گرفتند. تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر مکان و سال و نیز اثر ژنوتیپ معنی‌دار می‌باشند. اثر متقابل سال×مکان×ژنوتیپ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. اثر ژنوتیپ نیز در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گردید. اثر متقابل ژنوتیپ×مکان و ژنوتیپ×سال معنی‌دار نگردید که نشان‌دهنده آن است که میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در مکان‌ها و سال‌های مختلف متفاوت نیست. گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس میانگین عملکرد و آمار پایداری پارامتریک و ناپارامتریک نشان داد که ژنوتیپ‌ها به چهار گروه اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند. نتایج آماره‌های پایداری و تجزیه خوشه‌ای نشان داد که می‌توان ژنوتیپ‌های G31، G21 و G36 را به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و سازگار معرفی نمود. نتایج دندروگرام با نتایج آماره‌های پارامتریک و ناپارامتریک هم‌دیگر را تأیید کردند. درحالی‌که ژنوتیپ‌های G49، G51، G53 و G56 با بالاترین مقادیر، ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. در مجموع بر اساس میانگین رتبه پارامترهای پایداری پارامتریک و ناپارامتریک، ژنوتیپ‌های G31، G21 و G36 کمترین تغییرات را داشتند و به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند و بنابراین می‌توان آن‌ها را به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار معرفی نمود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۵	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۱	
تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۳	
۱۹-۱۷۵ (۱): ۱۷	

مقدمه

از مسائل پیچیده برنامه‌های اصلاحی برای تهیه ارقام پرمحصول و پایدار بشمار می‌رود. در اکثر برنامه‌های اصلاحی بخصوص مقایسه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف به علت اثر متقابل ژنوتیپ×محیط تظاهر ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف متفاوت است (Mishra et al., 2020).

روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک مختلفی برای بررسی ژنوتیپ با محیط ارائه شده است. روش‌های پارامتریک شامل

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی در جهان است که به دلیل سیستم ریشه کم‌عمق به تنش‌های غیرزیستی از جمله خشکی بسیار حساس است. پایداری عملکرد مربوط به ویژگی‌های گیاهی یعنی تحمل به عوامل تنش محیطی است. توسعه عملکرد خوب، بهبود کیفیت غده و ژنوتیپ‌های پایدار سیب‌زمینی بسیار مهم است (Kilic et al., 2010). اثر متقابل ژنوتیپ و محیط یکی

Hassanabadi, 2011). بر اساس نتایج مطالعه‌ای بر روی پایداری ژنوتیپ‌های بزرگ در هجده محیط (*Linum usitatissimum* L. در اتیوپی انجام شد آماره‌های پارامتریک و ناپارامتریک استفاده شدند و ژنوتیپ‌های پایدار بر اساس هردو روش معرفی شدند. آن‌ها نشان دادند که ضریب تغییرات، واریانس پایداری و واریانس رتبه نتایج مشابهی در مورد پایداری ژنوتیپ‌ها دارند (Aduagna and Labuschagne, 2003).

اهداف این مقاله عبارت‌اند از: (۱) ارزیابی پایداری ۶۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی برای عملکرد غده در دو سال با استفاده از روش‌های پایداری پارامتریک و ناپارامتریک، (۲) شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد خوب و پایدار هنگام ارزیابی در محیط‌های متغیر و (۳) بررسی ارتباط و همبستگی بین آماره‌های پایداری عملکرد غده در شرایط کم‌آبی در ایران.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

در این مطالعه، ۶۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی با تفاوت حساسیت به تنش آبی بر اساس بلوغ رویشی مشابه (۱۰۰-۱۱۰ روز) انتخاب شدند. طرح آزمایشی در آزمایش‌های مزرعه‌ای در کرج و اردبیل به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) هر کدام با سه تکرار انجام شد. موقعیت جغرافیایی مکان‌های مورد آزمایش در این مطالعه در **جدول (۱)** آورده شده است. آزمایش‌های مزرعه‌ای در مؤسسه نهال و بذر کرج و ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل با استفاده از ۶۰ ژنوتیپ که شامل دو رقم (Satina و Agria) و ۵۸ کلون مورد آزمایش قرار گرفتند (**جدول ۲**). در این آزمایش اثر دو تیمار کم‌آبی و شاهد (بدون تنش آبی) مورد ارزیابی قرار گرفت. تمامی ژنوتیپ‌ها در کرت‌های یک ردیفه به طول ۵ متر با عرض بستر ۲۵ سانتی‌متر و فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر با ۱۴ آبیاری کشت شدند. تمام تیمارها تا زمان استقرار گیاه به خوبی آبیاری شدند، اما تیمارهای تحت تنش تنها نیمی از میزان آبیاری نرمال را به‌عنوان تیمار شاهد دریافت کردند. میزان آب مصرفی برای تیمارهای معمولی و کم‌آبی به ترتیب ۹۰۰۰ مترمکعب و ۴۵۰۰ مترمکعب بود. مدت و میزان آبیاری اعمال‌شده از طریق کنتور نصب‌شده در هر بلوک تنظیم شد.

ضریب رگرسیون (bi)، واریانس انحراف از رگرسیون (S_{di}^2)، شاخص پایداری اکووالانس ریک، متغیر شوکلا (Sukla's) است (Shukla, 1972)، ضریب واریانس محیطی (CVi) (Francis and Kannenberg, 1978)، مؤلفه واریانس (θ_i) می‌باشند. آماره‌های پایداری پارامتریک دارای ویژگی‌های مناسبی، از جمله توزیع نرمال و همگنی واریانس خطاها و اثرات متقابل آن‌ها است. روش‌های ناپارامتریک شامل آماره‌های ناپارامتریک هان $S^{(1)}$ ، $S^{(2)}$ ، $S^{(3)}$ و $S^{(6)}$ ، آماره تنرازو $NP^{(i)}$ و مجموع رتبه کاتگ (KR) می‌باشند. آماره‌های ناپارامتریک $NP^{(1)}$ ، $NP^{(2)}$ ، $NP^{(3)}$ و $NP^{(4)}$ توسط تنرازو (Thennarasu, 1995) پیشنهاد شد. شاخص‌های ناپارامتریک محیط‌ها و فنوتیپ‌های مرتبط با عناصر محیطی را توصیف می‌کنند. روش‌های ناپارامتریک جایگزین ارزشمندی برای روش‌های پارامتریک هستند زیرا عملکرد آن‌ها بر اساس داده‌های رتبه‌بندی شده است و هیچ فرضی در مورد توزیع و همگنی واریانس خطاها ضروری نیست (Pour-Aboughadareh et al., 2019). از آنجاکه هر روش دارای ویژگی‌ها و ضعف‌های خاص خود است، اکثر برنامه‌های اصلاحی هر دو روش پارامتریک و ناپارامتریک را برای انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار استفاده می‌کنند (Becker and Leon 1988). میانگین ژنوتیپ‌های اندازه‌گیری شده را در هر محیط رتبه‌بندی می‌کند و ژنوتیپ‌های پایدار را به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی که موقعیت آن‌ها در رابطه است، تعیین می‌کنند.

عملکرد یک ژنوتیپ عمدتاً به تعاملات محیطی بستگی دارد. ارزیابی برهم‌کنش ژنوتیپ با محیط ظرفیت بافری جمعیت را نشان می‌دهد. در طول آنالیز پایداری، جزء عملکرد به‌عنوان معیار اصلی برای بهبود مؤثر و ارزیابی انواع نمونه‌ها توسط یک اصلاح‌کننده گیاه در نظر گرفته می‌شود. تنوع ژنتیکی موجود در جمعیت مسئول موفقیت هر برنامه اصلاح گیاهی است (Gupta et al., 2015). نتیجه تعامل بین عوامل مختلف گیاهان و محیط است. با توجه به رگرسیون خطی یک ژنوتیپ و اندازه‌گیری پایداری، ژنوتیپ با کمترین انحراف باید به‌عنوان ژنوتیپ پایدار در نظر گرفته شود و بالعکس (Mishra et al., 2020). در مطالعه‌ای که بر روی ارقام و کلون‌های سیب‌زمینی انجام شد. کلون‌های ۲۷-۳۹۶۱۵۱، ۷-۳۹۷۰۰۳ و ۱۰۰-۳۹۷۰۴۵ و رقم ساوالان دارای عملکرد بالاتری بودند و رقم اگر یا دارای عملکرد پایین‌تری نسبت به ارقام و کلون‌های امیدبخش بود (Hassanpanah and

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی مکان‌های مورد آزمایش در این مطالعه.

Table 1. The geographical location of the test sites in this study.

نام شهر	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
Location name	Longitude (E)	Latitude (N)	Altitude (m)
Karaj کرج	54' 50°	55 °35	1312.5
Ardabil اردبیل	15' 38°	20' 48 °	1350

جدول ۲. لیست ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی مورد استفاده در این مطالعه.

Table 2. List of potato genotypes used in this study.

شماره	کد ژنوتیپ	منشأ ژنوتیپ‌ها	شماره	منشأ ژنوتیپ‌ها	کد ژنوتیپ
No	Genotype Code	Origin of genotypes	No	Origin of genotypes	Genotype Code
1	901675	Caesar ♂ × Luca ♀	31	Caesar ♂ × Savalan ♀	8708/177
2	902375	Luca ♀ × Caesar ♂	32	Puntila x H99/73	Satina
3	901375	Caesar ♂ × Luca ♀	33	Caesar ♂ × Agria ♀	8707/26
4	901029	Satina ♂ × Luca ♀	34	Quarla ♂ × Semlo ♀	Agria
5	905675	Caesar ♂ × Luca ♀	35	Agria ♀ × Savalan ♂	8703/1
6	901575	Caesar ♂ × Luca ♀	36	Caesar ♂ × Savalan ♀	8708/106
7	901027	Savalan ♂ × Luca ♀	37	Caesar ♂ × Agria ♀	8707/12
8	90827	Savalan ♂ × Luca ♀	38	Caesar ♂ × Savalan ♀	8708/2
9	90575	Caesar ♂ × Luca ♀	39	Caesar ♂ × Savalan ♀	8708/217
10	901124	Caesar ♂ × Savalan ♀	40	Caesar ♂ × Agria ♀	8707/112
11	90924	Caesar ♂ × Savalan ♀	41	Caesar ♂ × Agria ♀	8707/29
12	90424	Caesar ♂ × Savalan ♀	42	Caesar ♂ × Agria ♀	8707/26
13	90624	Caesar ♂ × Savalan ♀	43	Caesar ♂ × Savalan ♀	KSG64
14	901627	Savalan ♂ × Luca ♀	44	Caesar ♂ × Savalan ♀	KSG95
15	901475	Caesar ♂ × Luca ♀	45	Caesar ♂ × Savalan ♀	KSG23
16	902127	Savalan ♂ × Luca ♀	46	Savalan ♂ × Caesar ♀	KSG82
17	901327	Savalan ♂ × Luca ♀	47	Caesar ♂ × Savalan ♀	KSG49
18	90127	Savalan ♂ × Luca ♀	48	Caesar ♂ × Agria ♀	KSG613
19	90327	Savalan ♂ × Luca ♀	49	Caesar ♂ × Savalan ♀	KSG81
20	90375	Caesar ♂ × Luca ♀	50	Caesar ♂ × Savalan ♀	KSG21
21	90227	Savalan ♂ × Luca ♀	51	Caesar ♂ × Savalan ♀	KSG31
22	90527	Savalan ♂ × Luca ♀	52	Caesar ♂ × Savalan ♀	KSG616
23	7009/3	Caesar ♂ × Agria ♀	53	Caesar ♂ × Savalan ♀	KSG69
24	8708/133	Caesar ♂ × Savalan ♀	54	Caesar ♂ × Savalan ♀	KSG106
25	8702/7	Caesar ♂ × Kenebec ♀	55	Savalan ♂ × Caesar ♀	KSG302
26	8707/29	Caesar ♂ × Agria ♀	56	Caesar ♂ × Savalan ♀	KSG57
27	8707/55	Caesar ♂ × Agria ♀	57	Caesar ♂ × Savalan ♀	KSG48
28	8707/861	Caesar ♂ × Agria ♀	58	Caesar ♂ × Savalan ♀	KSG40
29	8702/8004	Caesar ♂ × Agria ♀	59	Caesar ♂ × Savalan ♀	KSG11
30	8707/83	Caesar ♂ × Agria ♀	60	Boren ♂ × Savalan ♀	KSG200

غده به ترتیب مربوط به کلون G21 (۴,۳۹ کیلوگرم در مترمربع) و G43 (۱/۴۹ کیلوگرم بر مترمربع) بود. ژنوتیپ‌های G5, G16, G22, G25, G27, G30, G31, G34, G37, G39, G40, G41, G44, G46, G47, G49, G51, G52, G53, G56, G58, G59 و $G60\ bi < 1$ با میانگین عملکرد پایین، به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس به تغییرات محیطی در نظر گرفته شدند و فقط برای کشت در شرایط خاص مناسب هستند. این کلون‌ها در محیط‌های مختلف سازگاری بالایی ندارند. استفاده از اکووالانس (Wi2) را به‌عنوان یک شاخص پایداری ارائه کرد. با توجه به این پارامتر، ژنوتیپ‌های با اکووالانس (Wi2) پایدار تعیین می‌شوند. میزان W2i برای ژنوتیپ‌های G36, G39, G47 و کمترین رتبه و پایدارترین ژنوتیپ را نشان داد. بالاترین رتبه ژنوتیپ‌ها متعلق به G21, G43 و G44 بود (جدول ۴). بر اساس آماره KR، ژنوتیپ‌های با ارزش پایین به‌عنوان مطلوب‌ترین ژنوتیپ تعیین شدند. با استفاده از این روش، ژنوتیپ‌های G3, G32 و G36 دارای حداقل مقادیر بوده و به‌این ترتیب پایدار تشخیص داده شدند، درحالی‌که ژنوتیپ‌های G49, G51, G53 و G56 با بالاترین مقادیر، ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۴). پارامتر پایداری θ_i نشان داد که ژنوتیپ‌های G21, G31 و G44 دارای مقادیر θ_i پایین‌تری هستند و بنابراین می‌توان آن‌ها را به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار معرفی نمود. با توجه به شاخص θ_i ، ژنوتیپ‌های G36, G47 و G39 دارای میزان مقادیر کمتری برخوردار بوده و می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته شوند.

با استفاده از آماره شوکلا (σ_i^2) ژنوتیپ‌ها رتبه‌بندی شدند. مقدار کم (σ_i^2) نشان می‌دهد که عملکرد یک ژنوتیپ در بین محیط‌ها پایدارتر است. کمترین مقدار شوکلا مربوط به G36, G39 و G47 بود، بنابراین، این ژنوتیپ‌ها پایدارتر در نظر گرفته شدند، زیرا این ژنوتیپ‌ها کمترین سهم را در GEI داشتند. از سوی دیگر، بالاترین مقادیر شوکلا مربوط به ژنوتیپ‌های G8, G21 و G44 بود و ژنوتیپ‌هایی که سهم بیشتری در برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط داشتند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند. نتایج هفده آماره ناپارامتریک متنوع و عملکرد غده ژنوتیپ در جدول ۴ آورده شده است. دو روش رتبه‌بندی $S^{(1)}$ و $S^{(2)}$ بر اساس رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها از طریق محیط‌ها طراحی شدند که به هر محیط وزن یکسانی می‌دهند. ژنوتیپ‌هایی با تغییرات مقادیر کمتر در رتبه‌بندی، پایدارتر هستند (Becker and Leon, 1988).

آماره‌های تجزیه پایداری

چندین آماره پارامتریک و ناپارامتریک شامل مؤلفه واریانس، شاخص پایداری اکووالانس (Wi2) (Wricke, 1962)، ضریب رگرسیون (bi) و انحراف از رگرسیون انجام شد. از رگرسیون (S^{di2})، واریانس پایداری شوکلا (σ_i^2)، ضریب واریانس محیطی (CVi)، آماره ناپارامتریک $S^{(1)}$ و $S^{(2)}$ و $S^{(3)}$ و $S^{(6)}$ ، آماره ناپارامتریک تنارزو ($NP^{(i)}$) و مجموع رتبه کانگ استفاده شد.

تجزیه داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. همبستگی بین روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک با استفاده از پایگاه داده Stabilitysoft انجام گرفت. الگوهای رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها و پایداری ژنوتیپ‌ها توسط نرم‌افزار GEA-R محاسبه شد. برای بررسی روابط بین آماره‌های پارامتریک و ناپارامتریک، یک تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) بر اساس پارامترهای پایداری توسط نرم‌افزار Minitab 17 انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌ها

تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد غده ۶۰ ژنوتیپ سیب-زمینی در هشت محیط، تفاوت‌های بسیار معنی‌دار را نشان داد (جدول ۳). پس از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، اثر مکان و سال و نیز اثر ژنوتیپ معنی‌دار گردید. اثر متقابل سال×مکان×ژنوتیپ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. اثر ژنوتیپ نیز در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گردید. اثر متقابل ژنوتیپ×مکان و ژنوتیپ×سال معنی‌دار نگردید که نشان‌دهنده آن است که میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در مکان‌ها و سال‌های مختلف متفاوت است. اثر متقابل سه‌جانبه سال×مکان×تنش در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گردید که بیانگر این است که شرایط محیطی در بین آزمایش‌ها دارای اثرات متفاوتی است. اثر متقابل مکان×تنش نیز معنی‌دار نگردید (جدول ۳).

آنالیز پایداری ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش‌های

پارامتریک و ناپارامتریک داده‌ها

عملکرد غده ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها از ۱/۴۹ تا ۴/۳۹ کیلوگرم بر مترمربع متغیر بود (جدول ۴). بیشترین و کمترین عملکرد

آماره‌های ناپارامتریک $S^{(1)}$ و $S^{(2)}$ نشان داد که G32، G43 و G57 دارای حداقل رتبه‌ها هستند و بنابراین پایدار در نظر گرفته می‌شوند و ژنوتیپ‌های G11، G17 و G14 دارای حداکثر مقادیر بوده و در نتیجه ناپایدار در نظر گرفته می‌شوند.

جدول ۳. آنالیز واریانس برای عملکرد غده سیب‌زمینی تحت شرایط کم‌آبی و نرمال

Table 3. Analysis of Variance for potato tuber yield under water deficit and normal conditions

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی dF	مجموع مربعات SS	میانگین مربعات MS
Year	سال	1	74.61	74.614 ^{ns}
Local	موقعیت	1	295.42	295.416 ^{ns}
Year×Local	موقعیت×سال	1	95.50	95.496 ^{ns}
R(Year, Local)		8	72.95	9.119**
G	ژنوتیپ	59	602.16	10.206**
Year×G	سال×ژنوتیپ	59	216.27	3.666 ^{ns}
Local×G	موقعیت×ژنوتیپ	59	171.64	2.909 ^{ns}
Year×Local×G	سال×موقعیت×ژنوتیپ	59	213.19	3.613**
Stress	استرس	1	331.92	331.920 ^{ns}
Year×Stress	سال×استرس	1	0.09	0.095**
Local×Stress	موقعیت×استرس	1	4.19	4.189 ^{ns}
Year×Local×Stress	سال×موقعیت×استرس	1	49.36	49.365**
G×Stress	ژنوتیپ×استرس	59	48.27	0.818 ^{ns}
Year×G×Stress	سال×ژنوتیپ×استرس	59	37.76	0.640 ^{ns}
Local×G×Stress	موقعیت×ژنوتیپ×استرس	59	42.19	0.715 ^{ns}
Year×Local×G×Stress	سال×موقعیت×ژنوتیپ×استرس	59	53.30	0.903 ^{ns}
Error	خطا	952	272.46	0.286

ns, ** غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

ns, and **: Not-significant and significant 1% probability levels.

کلون‌های G1، G2، G3، G5، G6، G7، G9، G10، G11، G15، G17، G19، G21، G24، G26، G28، G29، G32، G33، G36، G38، G42، G43، کلون‌های G45، G50، G54، G55 و G57 بازده غده بالاتری با مقادیر ضریب بالاتر از ۱/۰ داشتند (جدول ۴). بر اساس آماره‌های $NP^{(1)}$ ، $NP^{(2)}$ ، $NP^{(3)}$ و $NP^{(4)}$ ژنوتیپ‌های با مقادیر کم پایدارتر هستند. مقادیر $NP^{(1)}$ از ۲/۷۵ تا ۲۵ متغیر بود و از آنجایی که ژنوتیپ‌های G39، G41، G47 و G47 دارای مقادیر کمی بودند لذا آن‌ها را به‌عنوان پایدارتر از سایر ژنوتیپ‌ها شناسایی کرد. بر اساس مقادیر $NP^{(2)}$ (از ۰/۱۱ تا ۱۲/۱۳) و $NP^{(3)}$ (از ۰/۱۸ تا ۲۵/۹۵)، G19، G33، G36 و G39 کمترین مقدار را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند. $NP^{(4)}$ از ۰/۲ تا ۱/۴۳ متغیر بود و ژنوتیپ‌های G3، G32 و G36 کمترین مقدار را داشتند؛ بنابراین، این ژنوتیپ‌ها پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند.

بر اساس آماره‌های $S^{(۳)}$ و $S^{(۶)}$ ، ژنوتیپ‌های موردبررسی نشان داد که ژنوتیپ‌های G21، G3، G32، G36، G39 و G57 دارای حداقل رتبه بودند و لذا این ژنوتیپ‌ها به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها پیشنهاد شدند. با توجه به انحراف از رگرسیون ($S^{di 2}$)، G3 و به دنبال آن G25، G28، G37 و G47 کمترین تغییرات را در محیط‌ها داشتند و G21، G44 و G8 بیشترین تغییرات را نشان دادند (جدول ۴). با توجه به ضریب تغییرات (CVi)، ژنوتیپ‌های G25، G37 و G60 با وجود عملکرد پایین، پایدار در نظر گرفته شدند. مقادیر ضریب رگرسیون (bi) بالاتر از ۱/۰ ژنوتیپ‌هایی را با حساسیت بالاتر نسبت به تعامل بین ژنوتیپ و محیط تعریف می‌کند. ضرایب رگرسیون به زیر ۱/۰ مقاومت بیشتری در برابر تغییرات محیطی و افزایش ویژگی سازگاری با محیط‌های کم بازده را نشان می‌دهد.

جدول ۴. عملکرد، آماره‌های پارامتریک و ناپارامتریک و رتبه‌های آن‌ها برای ۶۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی مورد مطالعه.

Table 4. Yield, parametric, non-parametric stability procedures and their ranks on 60 potato genotypes studied.

G	Y	S ⁽¹⁾	S ⁽²⁾	S ⁽³⁾	S ⁽⁶⁾	NP ⁽¹⁾	NP ⁽²⁾	NP ⁽³⁾	NP ⁽⁴⁾
G1	3.50 (11)	13.83 (21)	122.9 (22)	8.43 (16)	0.66 (10)	11.25 (20)	0.44 (27)	0.36 (10)	0.32 (13)
G2	3.36 (17)	24.17 (57)	401.5 (56)	33.23 (48)	1.90 (46)	21.50 (57)	0.49 (34)	0.59 (38)	0.67 (41)
G3	3.92 (5)	10.00 (13)	61.67 (11)	3.66 (7)	0.51 (3)	10.75 (16)	0.40 (25)	0.29 (5)	0.20 (3)
G4	2.76 (40)	20.50 (46)	272.9 (45)	38.53 (53)	2.21 (52)	16.75 (48)	0.67 (41)	0.92 (48)	0.96 (53)
G5	4.00 (3)	14.17 (23)	124.9 (23)	7.69 (14)	0.76 (13)	13.25 (28)	0.35 (15)	0.38 (12)	0.29 (11)
G6	3.45 (15)	16.33 (31)	163.3 (26)	12.25 (23)	1.05 (22)	16.75 (48)	0.31 (7)	0.42 (17)	0.41 (19)
G7	3.06 (26)	20.50 (46)	282.2 (47)	27.10 (45)	1.70 (40)	14.75 (37)	0.49 (35)	0.62 (40)	0.66 (40)
G8	3.66 (7)	19.83 (44)	254.2 (43)	19.19 (35)	1.03 (20)	14.75 (37)	0.54 (38)	0.52 (32)	0.50 (27)
G9	3.93 (4)	12.17 (19)	100.2 (19)	5.99 (10)	0.62 (7)	21.00 (56)	0.46 (31)	0.42 (19)	0.24 (7)
G10	3.25 (23)	17.67 (37)	203.6 (35)	16.29 (29)	1.04 (21)	13.00 (25)	0.34 (14)	0.41 (16)	0.47 (24)
G11	3.48 (14)	29.50 (60)	548.2 (60)	43.57 (55)	2.04 (47)	24.00 (59)	0.48 (33)	0.64 (42)	0.78 (46)
G12	2.81 (36)	18.33 (40)	2196 (38)	24.87 (41)	1.74 (42)	13.75 (33)	0.38 (22)	0.57 (35)	0.69 (42)
G13	3.20 (24)	14.17 (23)	137.5 (24)	10.79 (20)	0.85 (14)	13.50 (31)	0.27 (5)	0.39 (13)	0.37 (15)
G14	3.50 (12)	25.17 (58)	430.9 (58)	33.36 (49)	1.83 (43)	25.00 (60)	0.44 (28)	0.65 (43)	0.65 (39)
G15	3.25 (22)	22.67 (53)	373.6 (54)	30.71 (46)	1.51 (36)	14.25 (35)	0.31 (9)	0.52 (31)	0.62 (35)
G16	3.48 (13)	17.50 (35)	191.5 (52)	14.28 (26)	1.12 (26)	19.25 (53)	0.38 (21)	0.48 (26)	0.43 (22)
G17	2.35 (46)	26.00 (59)	440.0 (59)	66.00 (59)	3.40 (58)	19.25 (53)	1.06 (46)	1.01 (51)	1.30 (58)
G18	3.76 (6)	10.83 (14)	98.25 (18)	6.05 (11)	0.61 (6)	16.25 (43)	0.39 (24)	0.35 (9)	0.22 (6)
G19	2.96 (28)	9.50 (11)	70.25 (13)	5.98 (9)	0.70 (12)	9.75 (11)	0.16 (2)	0.32 (8)	0.27 (10)
G20	3.26 (21)	20.17 (45)	286.2 (48)	22.45 (40)	1.27 (29)	10.00 (12)	0.26 (4)	0.42 (18)	0.53 (29)
G21	4.39 (1)	10.83 (14)	76.25 (15)	4.38 (8)	0.56 (5)	20.50 (55)	0.71 (42)	0.46 (24)	0.21 (4)
G22	3.64 (8)	18.83 (41)	214.9 (37)	15.26 (28)	1.07 (24)	17.75 (51)	0.36 (18)	0.43 (20)	0.45 (23)
G23	3.52 (10)	15.83 (29)	164.9 (27)	11.71 (21)	1.02 (19)	13.00 (25)	0.65 (40)	0.46 (25)	0.37 (16)
G24	2.88 (33)	19.67 (43)	270.3 (44)	25.75 (42)	1.49 (35)	14.0 (34)	0.39 (23)	0.58 (36)	0.62 (36)
G25	2.68 (41)	18.17 (39)	228.2 (39)	26.59 (43)	1.67 (39)	10.75 (16)	0.51 (37)	0.54 (33)	0.71 (44)
G26	2.77 (38)	10.83 (14)	84.92 (16)	8.56 (17)	0.89 (15)	8.75 (7)	0.31 (10)	0.31 (6)	0.36 (14)
G27	2.88 (34)	23.00 (54)	321.0 (51)	33.79 (50)	1.89 (45)	15.75 (41)	0.50 (36)	0.62 (41)	0.81 (47)
G28	2.96 (27)	23.50 (55)	402.2 (57)	35.76 (52)	1.70 (41)	13.25 (28)	0.34 (13)	0.56 (34)	0.70 (43)
G29	3.16 (25)	20.83 (50)	280.9 (46)	21.75 (38)	1.47 (32)	16.50 (46)	0.37 (20)	0.44 (21)	0.54 (30)
G30	3.29 (20)	16.50 (32)	186.9 (31)	13.59 (25)	1.14 (27)	15.00 (39)	0.29 (6)	0.38 (11)	0.40 (18)
G31	4.10 (2)	13.33 (20)	121.6 (21)	7.37 (12)	0.63 (8)	13.50 (31)	0.77 (43)	0.45 (22)	0.27 (9)
G32	3.58 (9)	3.67 (2)	11.33 (3)	0.72 (1)	0.21 (1)	10.25 (13)	0.47 (32)	0.26 (3)	0.08 (1)
G33	2.93 (32)	14.83 (25)	138.9 (25)	11.99 (22)	0.95 (16)	10.25 (13)	0.23 (3)	0.41 (15)	0.43 (21)
G34	2.93 (31)	17.17 (33)	192.9 (33)	17.15 (31)	1.16 (28)	9.50 (9)	0.32 (11)	0.40 (14)	0.51 (28)
G35	2.93 (30)	16.17 (30)	176.9 (30)	20.22 (36)	1.43 (31)	10.75 (16)	0.41 (26)	0.58 (37)	0.62 (34)
G36	3.31 (18)	8.17 (10)	42.92 (10)	2.94 (4)	0.39 (2)	6.75 (4)	0.35 (16)	0.18 (1)	0.19 (2)
G37	3.43 (16)	15.33 (26)	171.3 (29)	12.85 (24)	0.95 (17)	18.00 (52)	0.45 (30)	0.48 (27)	0.38 (17)
G38	2.81 (37)	15.50 (28)	166.9 (28)	18.05 (34)	1.28 (30)	10.50 (15)	0.31 (8)	0.51 (30)	0.56 (31)
G39	2.85 (35)	6.00 (7)	27.00 (7)	2.84 (3)	0.53 (4)	6.00 (2)	0.11 (1)	0.26 (2)	0.21 (5)
G40	3.30 (19)	22.33 (52)	326.3 (52)	26.82 (44)	1.48 (33)	17.00 (50)	0.37 (19)	0.50 (28)	0.61 (32)
G41	2.59 (42)	5.67 (6)	23.33 (6)	3.18 (5)	0.64 (9)	6.50 (3)	0.45 (29)	0.31 (7)	0.26 (8)
G42	2.95 (29)	17.50 (35)	206.2 (36)	17.55 (32)	1.06 (23)	12.75 (22)	0.32 (12)	0.45 (23)	0.50 (26)
G43	1.49 (60)	3.83 (3)	10.92 (2)	10.08 (19)	2.92 (56)	7.75 (6)	13.13 (60)	2.95 (60)	1.18 (56)
G44	2.20 (50)	21.83 (51)	288.2 (49)	39.76 (54)	2.44 (54)	16.50 (46)	1.05 (45)	1.00 (50)	1.00 (54)
G45	2.31 (45)	12.00 (18)	88.33 (17)	14.32 (27)	1.62 (38)	16.25 (43)	1.26 (48)	1.04 (52)	0.65 (38)
G46	2.77 (39)	19.50 (42)	230.2 (40)	21.76 (39)	1.48 (34)	15.75 (41)	0.36 (17)	0.62 (39)	0.61 (33)
G47	2.09 (54)	4.33 (4)	11.67 (4)	3.33 (6)	0.95 (18)	2.75 (1)	2.30 (55)	0.26 (4)	0.41 (20)
G48	2.34 (47)	15.33 (26)	198.6 (34)	31.37 (47)	2.21 (51)	15.00 (39)	1.29 (49)	1.00 (49)	0.81 (47)
G49	2.10 (53)	23.67 (56)	373.6 (54)	67.94 (60)	3.64 (60)	23.00 (58)	1.57 (52)	1.43 (56)	1.43 (60)
G50	2.21 (49)	11.00 (17)	75.00 (14)	16.67 (30)	2.07 (48)	8.75 (7)	1.52 (51)	0.89 (46)	0.81 (49)
G51	2.42 (45)	20.67 (49)	327.0 (53)	43.60 (56)	2.36 (53)	16.25 (43)	1.10 (47)	0.81 (45)	0.92 (52)
G52	1.75 (59)	7.17 (9)	39.58 (9)	17.59 (33)	2.74 (55)	11.25 (20)	5.72 (58)	1.87 (58)	1.06 (55)
G53	2.04 (55)	17.17 (33)	236.2 (41)	53.49 (57)	3.43 (59)	13.00 (25)	2.25 (54)	1.33 (55)	1.30 (57)
G54	2.46 (44)	9.83 (12)	64.92 (12)	9.39 (18)	1.08 (25)	9.50 (9)	0.57 (39)	0.51 (29)	0.47 (25)
G55	1.82 (58)	5.00 (5)	16.33 (5)	7.54 (13)	1.85 (44)	14.25 (35)	5.82 (59)	2.47 (59)	0.77 (45)
G56	2.19 (51)	14.00 (22)	121.3 (20)	21.41 (37)	2.12 (49)	13.25 (28)	1.42 (50)	1.10 (53)	0.82 (50)
G57	1.92 (57)	2.50 (1)	4.25 (1)	1.55 (2)	0.67 (11)	10.75 (16)	4.16 (57)	1.77 (57)	0.30 (12)
G58	1.99 (56)	6.33 (8)	27.33 (8)	8.20 (15)	1.60 (37)	6.75 (4)	3.06 (56)	0.91 (47)	0.63 (37)
G59	2.48 (43)	18.00 (38)	249.3 (42)	35.62 (51)	2.19 (50)	12.75 (22)	0.88 (44)	0.76 (44)	0.86 (51)
G60	2.12 (52)	20.50 (46)	298.25 (50)	58.67 (58)	3.25 (57)	12.75 (22)	1.68 (53)	1.19 (54)	1.34 (59)

Table 4. Continued

جدول ۴. ادامه

G	Wi ²	σ _i ²	S ² d _i	b _i	CV _i	θ _{C₁}	θ _i	KR
G1	1.36 (31)	0.46 (31)	0.15 (35)	1.51 (31)	32.86 (28)	0.57 (31)	0.52 (30)	42.00 (10)
G2	2.24 (48)	0.76 (48)	0.28 (47)	1.45 (48)	37.16 (37)	0.56 (48)	0.67 (13)	65.00 (38)
G3	1.04 (22)	0.35 (22)	0.06 (17)	1.69 (22)	29.85 (23)	0.57 (22)	0.46 (39)	27.00 (3)
G4	2.36 (49)	0.80 (49)	0.29 (49)	1.51 (49)	46.67 (51)	0.56 (49)	0.69 (12)	89.00 (53)
G5	1.30 (30)	0.44 (30)	0.19 (42)	1.01 (30)	23.31 (16)	0.57 (30)	0.51 (31)	33.00 (5)
G6	1.23 (29)	0.41 (29)	0.12 (31)	1.53 (29)	32.93(29)	0.57 (29)	0.50 (32)	44.00 (13)
G7	2.43 (50)	0.83 (50)	0.34 (53)	1.23 (50)	39.23(40)	0.56 (50)	0.70 (11)	76.00 (47)
G8	4.10 (57)	1.40 (57)	0.58 (58)	0.92 (57)	35.85(35)	0.55 (57)	0.98 (4)	64.00 (37)
G9	2.47 (51)	0.84 (51)	0.31 (52)	1.49 (51)	32.95 (30)	0.56 (51)	0.71 (10)	55.00 (26)
G10	0.81 (14)	0.27 (14)	0.10 (27)	1.25 (14)	29.49 (22)	0.57 (14)	0.43 (47)	37.00 (7)
G11	3.59 (55)	1.23 (55)	0.49 (56)	1.38 (55)	40.21 (44)	0.55 (55)	0.90 (6)	69.00 (43)
G12	1.18 (27)	0.40 (27)	0.11 (28)	1.58 (27)	40.97 (46)	0.57 (27)	0.49 (34)	63.00 (34)
G13	0.66 (12)	0.22 (12)	0.07 (18)	0.61 (12)	17.59 (10)	0.57 (12)	0.40 (49)	36.00 (6)
G14	3.42 (54)	1.17 (54)	0.44 (55)	1.49 (54)	40.39 (45)	0.56 (54)	0.87 (7)	66.00 (41)
G15	2.49 (53)	0.85 (53)	0.19 (43)	1.94 (53)	44.26 (49)	0.56 (53)	0.71 (8)	75.00 (46)
G16	1.40 (32)	0.47 (32)	0.07 (19)	0.15 (32)	11.78 (6)	0.57 (32)	0.53 (29)	45.00 (15)
G17	1.66 (39)	0.56 (39)	0.15 (36)	1.70 (39)	53.69 (56)	0.57 (39)	0.57 (22)	85.00 (51)
G18	1.11 (24)	0.37 (24)	0.13 (32)	0.58 (24)	17.59 (11)	0.57 (24)	0.48 (37)	30.00 (4)
G19	0.62 (10)	0.20 (10)	0.09 (24)	1.01 (10)	27.21 (21)	0.57 (10)	0.39 (51)	38.00 (8)
G20	1.22 (28)	0.41 (28)	0.03 (13)	1.88 (28)	38.69 (39)	0.57 (28)	0.49 (33)	49.00 (18)
G21	8.60 (60)	2.96 (60)	1.22 (60)	1.27 (60)	42.79 (47)	0.53 (60)	1.75 (1)	61.00 (31)
G22	1.54 (35)	0.52 (35)	0.07 (21)	0.11 (35)	11.57 (5)	0.57 (35)	0.55 (26)	43.00 (11)
G23	2.48 (52)	0.84 (52)	0.34 (54)	1.25 (52)	34.45 (33)	0.56 (52)	0.71 (9)	62.00 (33)
G24	1.74 (41)	0.59 (41)	0.23 (45)	1.33 (41)	39.56 (41)	0.57 (41)	0.58 (20)	74.00 (44)
G25	0.64 (11)	0.21 (11)	0.01 (3)	0.33 (11)	9.92 (2)	0.57 (11)	0.40 (50)	52.00 (23)
G26	0.28 (6)	0.09 (6)	0.03 (14)	1.19 (6)	29.88 (24)	0.57 (6)	0.33 (55)	44.00 (13)
G27	0.96 (19)	0.32 (19)	0.03 (15)	0.25 (19)	11.22 (4)	0.57 (19)	0.45 (42)	53.00 (24)
G28	1.55 (36)	0.52 (36)	0.01 (4)	2.07 (36)	46.09 (50)	0.57 (36)	0.55 (25)	63.00 (34)
G29	1.45 (33)	0.49 (33)	0.10 (26)	1.76 (33)	39.66 (42)	0.57 (33)	0.53 (28)	58.00 (29)
G30	1.05 (23)	0.35 (23)	0.08 (23)	0.40 (23)	15.57 (8)	0.57 (23)	0.47 (38)	43.00 (11)
G31	6.00 (59)	2.06 (59)	0.15 (39)	-0.95 (59)	21.12 (13)	0.54 (59)	1.30 (2)	61.00 (31)
G32	0.85 (15)	0.28 (15)	0.12 (30)	1.05 (15)	24.31 (17)	0.57 (15)	0.43 (46)	24.00 (2)
G33	0.91 (16)	0.30 (16)	0.13 (33)	1.14 (16)	31.64 (27)	0.57 (16)	0.44 (45)	48.00 (17)
G34	0.96 (18)	0.32 (18)	0.07 (22)	0.41 (18)	16.91 (9)	0.57 (18)	0.45 (43)	49.00 (18)
G35	1.60 (38)	0.54 (38)	0.22 (44)	1.15 (38)	35.65 (34)	0.57 (38)	0.56 (23)	68.00 (42)
G36	0.09 (2)	0.02 (2)	0.01 (6)	1.07 (2)	21.84 (15)	0.58 (2)	0.30 (59)	20.00 (1)
G37	1.46 (34)	0.49 (34)	0.00 (1)	-0.05 (34)	3.06 (1)	0.57 (34)	0.54 (27)	50.00 (20)
G38	0.74 (13)	0.24 (13)	0.02 (9)	1.68 (13)	39.97 (43)	0.57 (13)	0.41 (48)	50.00 (20)
G39	0.10 (3)	0.03 (3)	0.01 (5)	0.88 (3)	21.19 (14)	0.58 (3)	0.31 (58)	38.00 (8)
G40	1.71 (40)	0.58 (40)	0.18 (41)	0.40 (40)	21.11 (12)	0.57 (40)	0.58 (21)	59.00 (30)
G41	0.13 (4)	0.04 (4)	0.02 (8)	0.94 (4)	25.00 (18)	0.58 (4)	0.31 (57)	46.00 (16)
G42	1.16 (25)	0.39 (25)	0.16 (40)	1.17 (25)	33.24 (31)	0.57 (25)	0.48 (36)	54.00 (25)
G43	0.25 (5)	0.08 (5)	0.03 (11)	1.21 (5)	55.98 (57)	0.57 (5)	0.33 (56)	65.00 (38)
G44	4.48 (58)	1.54 (58)	0.64 (59)	0.88 (58)	61.34 (60)	0.55 (58)	1.05 (3)	108.00 (59)
G45	1.83 (44)	0.62 (44)	0.25 (46)	1.28 (44)	49.10 (54)	0.57 (44)	0.60 (17)	92.00 (55)
G46	2.15 (45)	0.73 (45)	0.31 (51)	0.94 (45)	37.85 (38)	0.56 (45)	0.65 (16)	84.00 (49)
G47	0.07 (1)	0.01 (1)	0.01 (2)	0.96 (1)	30.93 (25)	0.58 (1)	0.30 (60)	55.00 (26)
G48	2.18 (47)	0.74 (47)	0.28 (48)	1.39 (47)	52.23 (55)	0.56 (47)	0.66 (14)	94.00 (56)
G49	3.76 (56)	1.29 (56)	0.53 (57)	0.76 (56)	57.96 (59)	0.55 (56)	0.92 (5)	109.00 (60)
G50	0.54 (8)	0.18 (8)	0.02 (7)	1.57 (8)	47.48 (52)	0.57 (8)	0.38 (53)	57.00 (28)
G51	1.79 (43)	0.61 (43)	0.15 (38)	0.25 (43)	25.56 (20)	0.57 (43)	0.59 (18)	88.00 (52)
G52	0.99 (21)	0.33 (21)	0.10 (25)	0.52 (21)	33.84 (32)	0.57 (21)	0.46 (40)	80.00 (48)
G53	1.76 (42)	0.60 (42)	0.11 (29)	0.13 (42)	25.54 (19)	0.57 (42)	0.59 (19)	97.00 (57)
G54	0.32 (7)	0.10 (7)	0.03 (12)	1.29 (7)	35.97 (36)	0.57 (7)	0.34 (54)	51.00 (22)
G55	1.16 (26)	0.39 (26)	0.15 (37)	1.27 (26)	56.40 (58)	0.57 (26)	0.48 (35)	84.00 (49)
G56	2.15 (46)	0.73 (46)	0.30 (50)	0.74 (46)	43.88 (48)	0.56 (46)	0.65 (15)	97.00 (57)
G57	0.92 (17)	0.31 (17)	0.13 (34)	1.11 (17)	47.57 (53)	0.57 (17)	0.44 (44)	74.00 (44)
G58	0.59 (9)	0.19 (9)	0.07 (20)	0.72 (9)	31.07 (26)	0.57 (9)	0.39 (52)	65.00 (38)
G59	0.98 (20)	0.33 (20)	0.05 (16)	0.29 (20)	15.35 (7)	0.57 (20)	0.45 (41)	63.00 (34)
G60	1.57 (37)	0.53 (37)	0.02 (10)	-0.04 (37)	10.91 (3)	0.57 (37)	0.55 (24)	89.00 (53)

G: Genotype; Y: Yield; b_i: regression coefficient; CV_i: NP⁽¹⁾, NP⁽²⁾, NP⁽³⁾ and NP⁽⁴⁾: Thennarasu's non-parametric stability statistics; S²d_i: deviation from regression; S⁽¹⁾, S⁽²⁾, S⁽³⁾, S⁽⁶⁾: Huhn's and Nassar and Huhn's non-parametric statistics; Wi²: Wricke's ecovalence; σ_i²: stability variance; S²d_i: deviation from regression; θ_{C₁}, θ_i: Mean variance component; KR: Kang's rank-sum.

همبستگی بین روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک

همبستگی بین عملکرد غده و روش‌های پایداری در شکل ۱ آورده شده است. عملکرد غده همبستگی معنی‌داری با $NP^{(1)}$ ، W_i^2 ، S^2d_i ، σ_i^2 و θ_i داشت ($P < 0.1$) و همبستگی منفی و معنی‌داری با $NP^{(4)}$ ، $NP^{(3)}$ ، $S^{(6)}$ ، CV_i و KR ($P < 0.01$) و $S^{(3)}$ داشت ($P < 0.05$). همبستگی مناسب بین W_2i و S^2d_i نشان داد که این دو روش به نتایج یکسانی منجر شدند ($P < 0/01$) برخی از آماره‌های $S^{(1)}$ ، $S^{(2)}$ و b_i هیچ ارتباط معنی‌داری با عملکرد غده (Y) نشان ندادند. روش ناپارامتریک $S^{(1)}$ به طور قابل توجهی با $S^{(2)}$ ، $S^{(3)}$ ، $S^{(6)}$ ، $NP^{(1)}$ ، $NP^{(4)}$ ، $NP^{(3)}$ ، W_i^2 ، σ_i^2 ، S^2d_i و θ_i همبستگی داشت ($P < 0/01$) ولی با $NP^{(2)}$ همبستگی منفی و معنی‌داری نشان داد ($P < 0/01$). پارامتر $S^{(2)}$ همبستگی منفی و معنی‌داری با $NP^{(2)}$ داشت ($P < 0/05$) ولی با $S^{(3)}$ ، $S^{(6)}$ ، $NP^{(1)}$ ، $NP^{(4)}$ ، W_i^2 ، σ_i^2 ، θ_i همبستگی مثبت از خود نشان داد. علاوه بر این، همبستگی بالایی بین $S^{(3)}$ ، $S^{(6)}$ ، $NP^{(2)}$ ، $NP^{(3)}$ و $NP^{(4)}$ در گندم دوروم گزارش شده است (Mohammadi et al 2007). پارامتر $S^{(6)}$ همبستگی مثبت و معناداری با $NP^{(2)}$ ، $NP^{(3)}$ ، $NP^{(4)}$ ، CV_i و KR داشت. آماره $NP^{(1)}$ همبستگی مثبت و معناداری داشت با W_i^2 ، σ_i^2 ، S^2d_i و θ_i ، همبستگی مثبت و معناداری داشت ($P < 0/01$). پارامتر $NP^{(2)}$ همبستگی مثبت با $NP^{(3)}$ ،

همبستگی $NP^{(4)}$ و $NP^{(3)}$ با پارامتر CV_i نشان داد ($P < 0/01$). هر دو با CV_i و KR همبستگی داشتند ($P < 0/01$). اکووالانس (W_2i) با σ_i^2 ، S^2d_i و θ_i و KR ارتباط مثبت داشت و با CV_i همبستگی معنی‌داری داشت ($P < 0/05$). واریانس پایداری (S^2d_i) با CV_i و θ_i همبستگی مثبت و معناداری داشت. انحراف از رگرسیون (S^2d_i) به طور قابل توجهی با CV_i ، θ_i و KR مرتبط است ($P < 0/01$). ضریب رگرسیون (b_i) با CV_i ارتباط مثبت و معنی‌داری داشت ($P < 0/01$). همچنین میانگین مولفه واریانس (θ_i) با KR رابطه مثبت و معنی‌داری داشت ($P < 0/01$). همبستگی بین عملکرد غده (Y) به طور قابل توجهی با روش‌های $NP^{(1)}$ ، W_i^2 ، σ_i^2 ، S^2d_i و θ_i همبستگی داشت (شکل ۱). یافته‌های ما همبستگی بالایی را بین $S^{(1)}$ ، $S^{(2)}$ ، $S^{(3)}$ ، $S^{(6)}$ ، $NP^{(1)}$ ، $NP^{(4)}$ ، W_i^2 ، σ_i^2 ، S^2d_i و θ_i نشان داد. آماره‌های KR ، $S^{(3)}$ ، $S^{(6)}$ ، $NP^{(3)}$ و $NP^{(4)}$ با میانگین عملکرد غده همبستگی منفی داشتند و بنابراین، برای استفاده در گزینش ژنوتیپ‌ها پیشنهاد نمی‌شوند (شکل ۱). بعلاوه، همبستگی بسیار مثبت و معنادار بین اکووالانس (W_i^2)، مولفه میانگین واریانس (θ_i)، آماره تنارازو $NP^{(1)}$ و عملکرد غده نشان داد که این پارامترها بهترین روش‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار هستند.



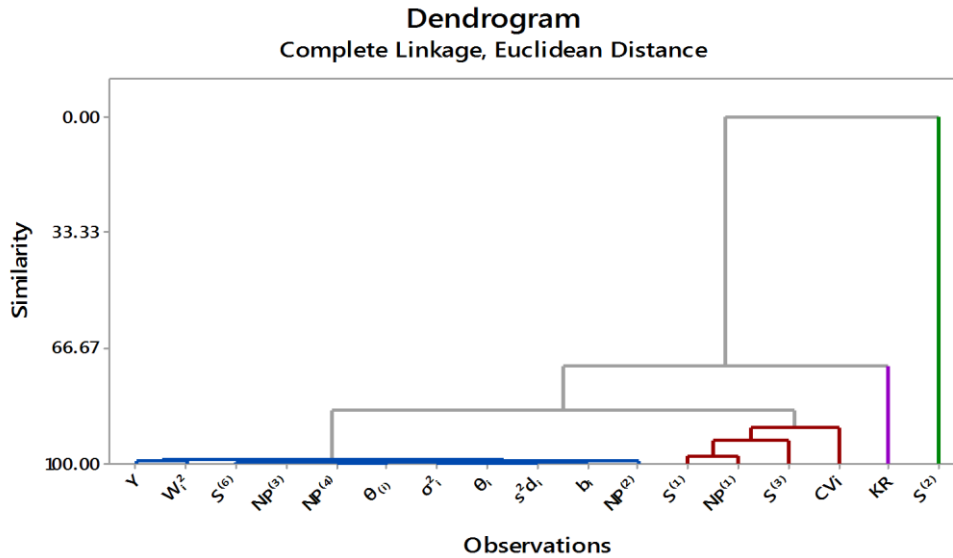
شکل ۱. ضرایب همبستگی رتبه پیرسون بین عملکرد و روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک پایداری برای ۶۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی.

Fig. 1. Pearson rank correlation coefficients between yields and stability parametric and non-parametric methods for 60 potato genotypes

تجزیه کلاستر

آماره پایداری برای ۶۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی انجام شد. دندروگرام طبقه‌بندی روابط بین روش‌های پایداری پارامتریک و ناپارامتریک را در شکل ۲ نشان می‌دهد.

برای یافتن روابط بین آماره پارامتریک و ناپارامتریک، تجزیه خوشه‌ای با روش Ward بر اساس میانگین عملکرد غده و

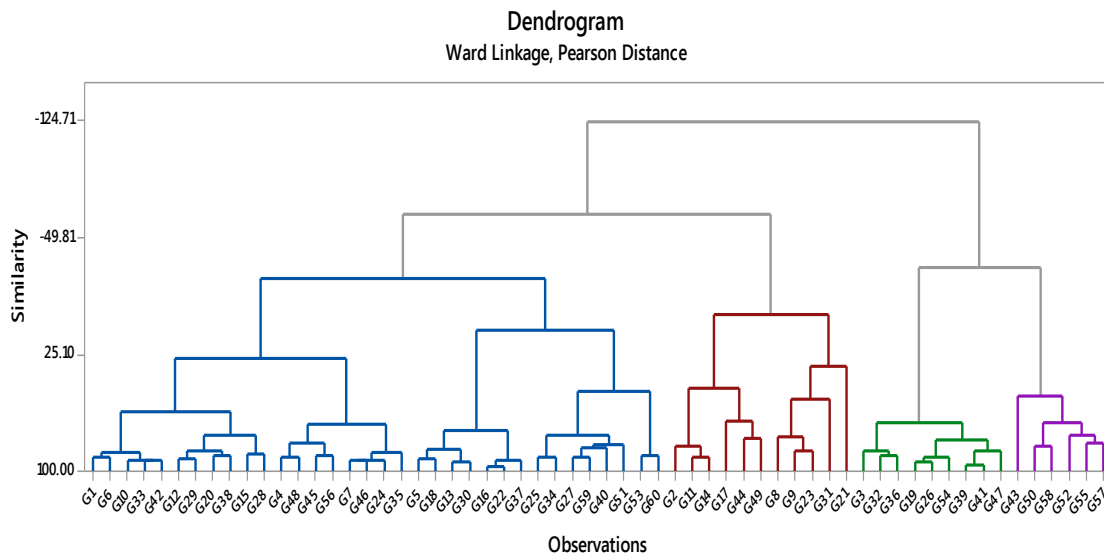


شکل ۲. دندروگرام طبقه‌بندی آماره‌های پایداری ناپارامتریک و پارامتریک و عملکرد غده در ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی در هشت محیط را نشان می‌دهد.

Fig. 2. Dendrogram showing classification of the non-parametric and parametric stability statistics and tuber yield in potato genotypes over eight environments.

آماره‌های پارامتریک و ناپارامتریک مورد بررسی به چهار کلاستر تقسیم شدند. در مطالعه حاضر، پارامترهای انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار خوشه I و خوشه II به ترتیب شامل $S^{(2)}$ و KR بودند. خوشه III شامل $S^{(1)}$ و $S^{(6)}$ ، $NP^{(3)}$ ، $NP^{(2)}$ ، $S^{(3)}$ و CV_i و $NP^{(1)}$ با هم در خوشه IV قرار گرفتند. تجزیه خوشه‌ای با روش Ward بر اساس میانگین عملکرد غده و ۶۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی انجام شد (شکل ۳).

آماره‌های پارامتریک و ناپارامتریک مورد بررسی به چهار کلاستر تقسیم شدند. در مطالعه حاضر، پارامترهای انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار خوشه I و خوشه II به ترتیب شامل $S^{(2)}$ و KR بودند. خوشه III شامل $S^{(1)}$ و $S^{(6)}$ ، $NP^{(3)}$ ، $NP^{(2)}$ ، $S^{(3)}$ و CV_i و $NP^{(1)}$ با هم در خوشه IV قرار گرفتند. تجزیه خوشه‌ای با روش Ward بر اساس میانگین عملکرد غده و ۶۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی انجام شد (شکل ۳).



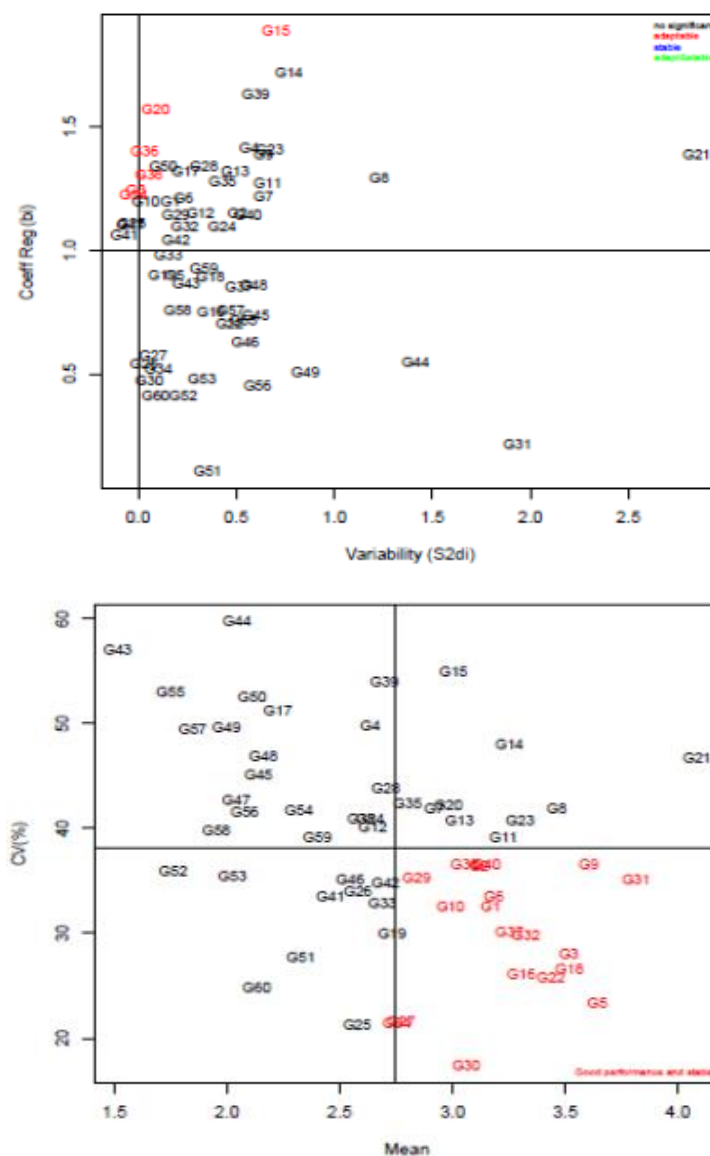
شکل ۳. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی به روش Ward با استفاده از عملکرد غده.

Fig. 3. Cluster analysis of potato genotypes with Ward method based on yield

انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار

بر اساس شکل ۴ الف، ژنوتیپ‌هایی که با رنگ قرمز مشخص شده‌اند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های سازگار شناسایی می‌شوند. G3، G15، G20، G36، G38، G54 از ژنوتیپ‌های سازگار محسوب می‌شوند. همچنین بر اساس عملکرد و پایداری، G3، G5، G8، G9، G10، G18، G22، G27، G29، G30، G31، G32، G36، G37 و G40 به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر در نظر گرفته شده و با رنگ قرمز مشخص شدند (شکل ۴ ب).

نتایج تجزیه خوشه‌ای نشان داد که ژنوتیپ‌ها به چهار کلاستر تقسیم‌بندی شدند. بر اساس گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها G21، G31 و G44 در یک کلاستر قرار گرفتند. نتایج آماره‌های پایداری و تجزیه خوشه‌ای نشان داد که می‌توان ژنوتیپ‌های G21، G31 و G44 را به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و سازگار معرفی نمود. نتایج دندروگرام با نتایج آماره‌های پارامتریک و ناپارامتریک همدیگر را تأیید کردند.

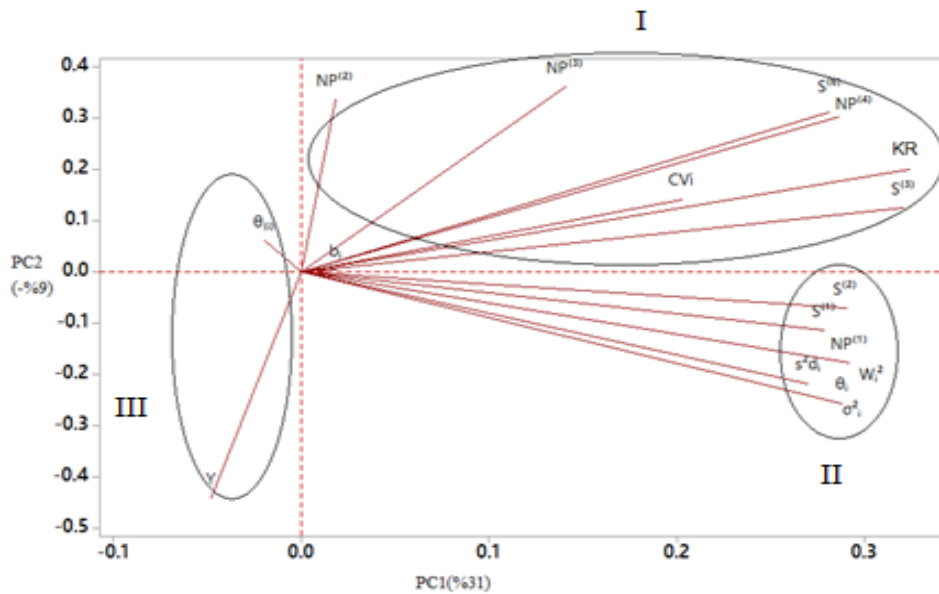


شکل ۴. ژنوتیپ‌های سازگار و پایدار (الف) و عملکرد مناسب و ژنوتیپ‌های پایدار در محیط (ب) با استفاده از نرم‌افزار GEA-R.
Fig. 4. Adaptable and stable genotypes (a) and appropriate performance and stable genotypes in environments (b) using GEA-R software.

است. ضریب همبستگی بین هر دو روش با کسینوس زاویه بین بردارها تقریبی می‌شود؛ بنابراین، برجسته‌ترین روابط مربوط به شکل ۵ عبارتند از: (۱) ارتباط قوی بین $S^{(3)}$ ، $NP^{(4)}$ و $NP^{(2)}$ همان‌طور که توسط زوایای کوچک بین بردارهای آن‌ها نشان داده شده است، (۲) همبستگی مثبت بالا بین S ، $Wi2$ ، σ_i ، 2 ، di ، 2 و NP (۳) و NP (۴) و NP (۳) همبستگی منفی بالایی بین عملکرد غده و آماره $NP^{(2)}$ ، $NP^{(3)}$ ، $NP^{(4)}$ ، CVi و KR نشان داد (شکل ۵).

تجزیه مؤلفه اصلی

بر اساس تجزیه و تحلیل PCA، محورهای اصلی $NP^{(2)}$ ، $NP^{(3)}$ ، $NP^{(4)}$ ، $S^{(3)}$ ، $S^{(6)}$ و CVi را از یکدیگر متمایز کردند. روش‌های $S^{(1)}$ ، $S^{(2)}$ ، $NP^{(1)}$ و $Wi2$ با مفهوم پایداری استاتیکی مرتبط هستند و به‌عنوان گروه II نامیده می‌شوند. دو روش $\theta(i)$ و عملکرد غده (Y) با میانگین عملکرد غده ارتباط مثبت داشتند و در گروه III قرار گرفتند. در شکل ۴، یک بردار از مبدأ بای‌پلات به هر پارامتر از رویه‌های پایداری برای روابط بین روش‌های مختلف ترسیم شده



شکل ۵. آنالیز بای‌پلات تجزیه مؤلفه‌های اصلی برای آماره‌های پارامتریک و ناپارامتریک.

Fig. 5. PCA biplot for parametric and non-parametric method.

اصلاح‌کنندگان آزمایش‌ها را در چندین سال و چندین محیط و معمولاً در مراحل انتهایی رشد گیاهی انجام می‌دهند (Ebdon and Gauch, 2002; Vaezi et al., 2017).

تجزیه واریانس داده‌ها اطلاعاتی در مورد وجود و یا عدم وجود اثر متقابل ژنوتیپ با محیط و سال ارائه می‌دهد و لذا آنالیز پایداری برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدارتر ارزشمندتر خواهد بود. در چنین حالتی انتخاب بر اساس عملکرد برای این ژنوتیپ‌ها کافی نیست و برای حصول عملکرد مطلوب غده نیاز به ژنوتیپ‌های بوده که سازگاری مناسبی با شرایط محیطی مورد آزمایش داشته باشند. برای تشخیص ژنوتیپی که در تمام شرایط عملکرد بالایی داشته و سازگاری وسیعی را با محیط‌های مختلف دارا باشد، می‌بایست به بررسی سازگاری ژنوتیپ‌ها و پایداری عملکرد آن‌ها در محیط‌های

بحث

ارزیابی برهم‌کنش ژنوتیپ با محیط و انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و پایدار (تحمل به خشکی)، اصلاح ارقام را پیچیده می‌کند زیرا باعث کاهش بهبود گزینش در شرایط تنش می‌شود (Zali et al., 2015). چندین روش آماری برای تجزیه و تحلیل پایداری برای توضیح برهم‌کنش ژنوتیپ با محیط ارائه شده است (Mishra et al., 2020). نتایج ما نشان داد که تجزیه پارامتریک و ناپارامتریک در طبقه‌بندی ژنوتیپ‌ها و ارقام سیب‌زمینی با عملکرد و پایداری بالا در محیط‌های مورد مطالعه ارزشمند است. شناسایی عملکرد بالا و پایداری بالا در محیط‌های متغیر مشکلاتی را برای اصلاح‌کنندگان گیاهی در جهان ایجاد کرده است (Alwala et al., 2010). برای شناسایی بهترین ژنوتیپ‌ها در چندین محیط،

گیاه جو و یاقوتی پور و همکاران (Ravari et al., 2017) در گندم مطابقت دارد.

بسیاری از دانشمندان آماره‌های ناپارامتریک متفاوتی را برای تخمین ثبات پیشنهاد کرده‌اند (Kang et al., 2010; Zali et al., 2011). همچنین همبستگی معنی‌دار بالایی را بین $S^{(1)}$ ، $S^{(2)}$ و $S^{(3)}$ پیشنهاد کرد و در نتیجه پیشنهاد نمود که یکی از سه آمار ممکن است برای ارزیابی ثبات استفاده شود. همچنین $S^{(1)}$ و $S^{(2)}$ بیان‌کننده مفهوم ثابت پایداری هستند (Sabaghnia et al., 2006)؛ بنابراین، $S^{(1)}$ و $S^{(2)}$ می‌توانند به‌عنوان یک روش سازش در گزینش ژنوتیپ‌های باثبات عملکرد استفاده شود. خوشه‌بندی مختلف $S^{(1)}$ و $S^{(2)}$ همچنین تأیید کرد که این دو آماره ناپارامتریک می‌توانند پایداری را از نظر مفهوم بیولوژیکی تعریف کنند و در انتخاب ژنوتیپ‌هایی که می‌توانند به تغییر شرایط محیطی واکنش نشان دهند، ارتباط کمی دارند. نتایج حاصل از بررسی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی با استفاده از دو پارامتر اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا باهم مشابه می‌باشند که این موضوع نشان‌دهنده این است که این دو پارامتر در تعیین ژنوتیپ پایدار مشابه هستند. بر اساس نتایج مطالعه‌ای برای تجزیه پایداری بر روی براسیکا انجام شد (Roodi et al., 2022). ارقامی که دارای کمترین میزان واریانس پایداری در بین ارقام مورد بررسی می‌باشند به‌عنوان ارقام پایدار شناخته شوند. بر اساس نتایج ما رقم *Agria* حساس به تنش کم‌آبیاری بود که با نتایج محقق دیگر مطابقت داشت (Moghaddaszadeh et al., 2019).

مطالعات بسیاری نشان داده است که ارتباط مشابهی بین $S^{(3)}$ با $NP^{(1)}$ و $S^{(6)}$ با $NP^{(2)}$ ، $NP^{(3)}$ و $NP^{(4)}$ و الگوی گروه‌بندی بر اساس تحلیل مؤلفه‌های اصلی با توجه به تجزیه و تحلیل PCA توسط ماتریس همبستگی و تجزیه و تحلیل بای پلات، روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک وجود دارد (Sabaghnia et al., 2006; Solomon, 2011). نتایج آماره‌های پایداری و تجزیه خوشه‌ای نشان داد که می‌توان ژنوتیپ‌های G31، G21 و G44 را به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و سازگار معرفی نمود. نتایج دندروگرام با نتایج آماره‌های پارامتریک و ناپارامتریک همدیگر را تأیید کردند. در این مطالعه نشان داده شد که این پارامترها می‌توانند برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها در پاسخ تنش خشکی استفاده شوند. ماتریس همبستگی ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی نسبت به تنش خشکی در محیط‌های مختلف محاسبه شد و PCA مرتبط نیز انجام شد.

مختلف پرداخت. از این رو آنالیز پایداری ژنوتیپ‌ها با استفاده از آماره‌های مورد نظر انجام پذیرفت. از طرف دیگر با توجه به وجود اثر متقابل معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها با سال و محیط در هنگام انتخاب بهترین ژنوتیپ، باید سعی شود ژنوتیپی انتخاب شود که با وجود تولید محصول بالا، نوسان عملکرد کمتری داشته باشد و به عبارت دیگر از پایداری عملکرد بیشتری برخوردار باشد (Mishra et al., 2020).

در گزارش‌هایی نشان داده شد که اثرات اصلی ناشی از ژنوتیپ (G)، محیط (E) و برهم‌کنش ژنوتیپ با محیط (G*E) معنی‌دار بوده که نشان‌دهنده واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی به محیط و نیاز به تجزیه و تحلیل پایداری است. تفاوت عملکرد بین ژنوتیپ‌ها نشان داد که برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط در شرایط کم‌آبی و نرمال معنی‌دار بود (Yan and Hunt, 2001; Abdipour and Vaezi, 2014). برای تعیین پایداری عملکرد، روش‌های پارامتری و ناپارامتریک اندازه‌گیری و با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج مطالعه‌ای نشان داد که معیارهای پارامتریک نسبت به روش پارامتری حساسیت کمتری نسبت به خطاهای اندازه‌گیری داشتند (Abdulahi et al., 2007). درک دقیق رابطه ژنوتیپ، محیط و برهم‌کنش‌های آن‌ها، به‌عنوان منبعی از تنوع، می‌تواند از نظر عملکردی به اصلاح‌کنندگان در بهبود ژنوتیپ‌ها با عملکرد بالا و پایدار کمک کنند (Mut et al., 2010).

همبستگی بین عملکرد غده (Y) به‌طور قابل توجهی با روش‌های $NP^{(1)}$ ، W_i^2 ، σ_i^2 ، s^2d_i و θ_i همبستگی داشت (شکل ۱). در رابطه با این پارامترها، انتخاب بر اساس عملکرد غده ارجحیت دارد و با مفهوم پویای پایداری مرتبط است (Becker and Leon, 2000). بکر و لئون (1988) مشخص کردند که لزومی ندارد که پاسخ ژنوتیپی به موقعیت‌های محیطی برای همه ژنوتیپ‌ها یکسان باشد. از این رو، این پارامترها را می‌توان برای توصیه ژنوتیپ‌های سازگار با شرایط خاص ایران پیشنهاد کرد. برخی از محققین روش‌های ناپارامتریک را برای تعیین پایداری ارقام پیشنهاد می‌کنند. به گفته محققان، استفاده از روش‌های ناپارامتریک زمانی ضروری است که روش‌های پارامتریک قابل تفسیر و توضیح نباشند (Khalili and Pour, 2016). همبستگی مثبت بین این پارامترها نشان می‌دهد که این پارامترها می‌توانند نقش‌های مشابهی در رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها ایفا کنند. یافته‌های ما با ورما و همکاران (Verma et al., 2018) در

نتیجه‌گیری نهایی

برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در شرایط محیطی مختلف، می‌توان روش‌های مختلف پایداری پارامتریک و ناپارامتریک را پیشنهاد کرد. این روش‌ها می‌توانند برای تعیین ژنوتیپ‌های ایده‌آل در شرایط کم‌آبیاری ارزشمند باشند. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که عملکرد غده سیب‌زمینی تحت تأثیر ژنوتیپ، محیط و برهم‌کنش ژنوتیپ با محیط بود. روش‌های آماری پارامتریک و ناپارامتریک نشان دادند که کلون‌های G21، G31 و G36 می‌توانند بازده بالایی در محیط‌های متنوع از خود نشان دهند؛ بنابراین، آنالیز پایداری عملکرد می‌تواند در ترکیب با روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک برای ارزیابی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرند. ارزیابی پایداری ارقام کلون‌های سیب‌زمینی تحت تنش خشکی نشان داد که ارقام Satina و Agria از پایداری نسبتاً پایین‌تری نسبت به کلون‌های سیب‌زمینی برخوردار بودند. کلون‌هایی مانند G21، G31 و G36 میزان تغییرات کمتری نسبت به محیط را نشان دادند که این کلون‌ها دارای تنوع آلی بیشتری نسبت به رقم‌ها داشتند. البته رقم Satina نیز تا حدودی پایداری نسبتاً بالاتری نسبت به Agria نشان داد. نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای، آماره‌های پایداری را نیز تأیید نمود.

مجموع PC1 و PC2، ۲۲ درصد از تغییرات را نشان داد (Lipkovich and Smith, 2002). ارتباط بین پایداری‌های مختلف روش‌ها و ژنوتیپ‌ها به صورت گرافیکی در یک بای-پلات PC1 و PC2 نشان داده شده‌اند (شکل ۵). محورهای PC1 و PC2 عمدتاً آماره‌های پارامتریک و ناپارامتریک را در سه گروه مختلف متمایز می‌کنند. تغییر پایداری ژنوتیپ‌ها در همه محیط‌ها می‌تواند با استفاده از نمودار بای‌پلات، با پراکندگی ژنوتیپ‌ها بر اساس PCA، ارزیابی شود. ژنوتیپ‌هایی با تغییرات کمتر در رتبه‌بندی، پایدارتر می‌باشند (Becker and Leon, 1988).

بر اساس شاخص‌های پارامتریک و ناپارامتریک، ژنوتیپ‌های G21، G31 و G36 از ژنوتیپ‌های برتر و پایدار بودند. یافته‌های ما با نتایج سایر محققان که از پارامترهای پایداری یکسانی برای ارزیابی سیب‌زمینی استفاده کردند همخوانی داشت و به ترتیب نتایج مشابهی با نتایج مطالعه ما به دست آوردند (Moghaddaszadeh et al., 2019). ژنوتیپ‌هایی (G21، G31، G9، G8، G11 و G2) که در یک کلاستر قرار گرفتند. این ژنوتیپ‌هایی دارای میانگین عملکرد بالاتری بودند. برای شناسایی ارقام پایدار از روش‌های اکووالانس ریک، شوکلا و روش گزینش هم‌زمان با عملکرد استفاده نموده و ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد بالا را معرفی کردند. در نهایت برای تعیین ژنوتیپ برتر پیشنهاد می‌شود که از روش‌های مختلف پایداری برای معرفی استفاده شود.

منابع

- Abdipour, M., Vaezi, B., 2014. Analysis of the genotype-by-environment interaction of winter barley tested in the Rain-fed Regions of Iran by AMMI Adjustment. *Bulgarian Journal of Agriculture Science*, 20, 421-427.
- Abdulahi, A., Mohammadi, R., Pourdad, S.S., 2007. Evaluation of safflower (*Carthamus spp.*) genotypes in multi-environment trials by nonparametric methods. *Asian Journal of Plant Sciences*, 6, 827-832. <https://doi.org/10.3923/ajps.2007.827.832>
- Aduagna, W., Labuschagne, M.T., 2003. Parametric and nonparametric measures of phenotypic stability in linseed (*linum usitatissimum* L.). *Euphytica*, 129, 211-218. <https://doi.org/10.1023/A:1021979303319>
- Alwala, S., Kwolek, T., Mcpherson, M., Pellow, J., Meyer, D., 2010. A comprehensive comparison between Eberhart and Russell joint regression and GGE biplot analyses to identify stable and high yielding maize hybrids. *Field Crop Research*, 119, 225-230. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.07.010>
- Becker, H.C., Leon, J., 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding*, 101, p.1-23. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1988.tb00261.x>
- Ebdon, J.S., Gauch, H.G., 2002. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turf grass performance trial: I. interpretation of genotype \times environment interaction. *Crop Science*, 42, 489-496. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.4890>
- Francis, T.R., Kannenberg, L.W., 1978. Yield stability studies in short-season maize: I. A descriptive method for grouping genotypes.

- Canadian Journal of Plant Science. 58, 1029–1034. <https://doi.org/10.4141/cjps78-157>
- Gupta, A.K., Mishra, R., Lal, R.K., 2015. Genetic resources, diversity, characterization and utilization of agronomical traits in turmeric (*Curcuma longa* L.). Industrial Crops and Products. 77, 708-712. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.09.030>
- Hassanpanah, D., Hassanabadi, H., 2011. Evaluation of quantitative and qualitative characteristics of promising potato clones in Ardabil region, Iran. Modern Science of Sustainable Agriculture Journal. 7, 37-48 [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/SPIJ.2018.117867>
- Kang, M.S., 1988. A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. Cereal Research Communication. 16, 113–115.
- Khalili, M., Pour, AA., 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.
- Kilic, H., Akçura, M., Aktaş, H., 2010. Assessment of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted durum wheat genotypes in multi-environments. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 38, 271-279. <https://doi.org/10.15835/nbha3834742>
- Lipkovich, I.A., Smith, E.P., 2002. Biplot and Singular Value Decomposition Macros for Excel®. J. Stat. Softw. 7, 1-15. <https://doi.org/10.18637/jss.v007.i05>
- Mishra, R., Gupta, AK., Lal, RK., 2020. Genotype x environment interaction, stability analysis for yield and quality traits in turmeric (*Curcuma longa* L.). Trends in Phytochemical Research. 4, 219-34.
- Moghaddaszadeh, M., Asghari, Z.R., Hassanpanah, D., Zare, N., 2019. Non-parametric stability analysis of tuber yield In potato (*Solanum Tuberosum* L.) genotypes. Journal of Crop Breeding. 28, 58-63. <https://doi.org/10.29252/jcb.10.28.50>
- Mohammadi, R., Abdulahi, A., Haghparast, R., Armion, M., 2007. Interpreting genotype × environment interactions for durum wheat grain yields using nonparametric methods. Euphytica. 157, 239-251. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9417-3>
- Mut, Z., Gülümser, A., Sirat, A., 2010. Comparison of stability statistics for yield in barley (*Hordeum vulgare* L.). African Journal of Biotechnology. 9, 1610-1618. <https://doi.org/10.5897/AJB10.1404>
- Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Poczei, P., Siddique, K.H., 2019. STABILITYSOFT: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits. Applications in Plant Sciences. 7, e01211. <https://doi.org/10.1002/aps3.1211>
- Ravari, S.Z., Dehghani, H., Naghavi, H., 2017. Study of genetic control of salinity tolerance in bread wheat cv. Kavir-using generation mean analysis. Crop Breeding Journal. 7, pp.57-66. <https://doi.org/10.22092/CBJ.2018.115180.1010>
- Roodi, D., Ghodrati, G., Kazerani, N., Masoudi, B., 2022. Investigation the yield stability of brassica genotypes (*Brassica* spp.) under drought stress by using statistical parameters and GGE biplot graphical methods. Journal of Crop Breeding. 42, 138-147. <https://doi.org/10.52547/jcb.14.42.138>
- Sabaghnia, N. Dehghani, H. Sabaghpour, S.H., 2006. Non-parametric methods for interpreting genotype × environment interaction of lentil genotypes. Crop Science. 46, 1100-1106. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.06-0122>
- Saidi, A., Akbari, A., Mozzaffari, J., Heidari, A., Seraj-azari, M., Pirayeshfar, B., Yazdansepar, A., Torabi, M., Alizadeh, A., Vahabzadeh, M., Asadi, H., 2000. Iranian Wheat Pool. In The World Wheat Book, A History of Wheat Breeding, A.P. Bonjean and W.J. Angus, eds (Paris, France: Lavoisier Publishing), 1131.
- Shukla, G., 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype environmental components of variability. Heredity. 29, 237-245. <https://doi.org/10.1038/hdy.1972.87>
- Solomon, T., 2011. Study of Useful Plants in and around GATE UDUMA (Traditional Gedeo Homegardens) in Kochere Wereda of Gedeo Zone, Ethiopia: An Ethnobotanical Approach. M.Sc. thesis Addis Ababa, Ethiopia.
- Thennarasu, K., 1995. On certain nonparametric procedures for studying genotype Environment interactions and yield stability. PhD. thesis, PJ School IARI, New Delhi, India.
- Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Armion, M., Mehraban, A., Hossein-Pour, T., Dorii, M., 2017. GGE biplot and AMMI

- analysis of barley yield performance in Iran. *Cereal Research Communications*, 45, 500–511. <https://doi.org/10.1556/0806.45.2017.019>
- Verma, A., Kumar, V., Kharab, A.S., Singh, G.P., 2018. Parametric vis-à-vis non parametric measures to describe $G \times E$ interactions for fodder yield of dual purpose barley genotypes evaluated under MET. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 7, 226-234. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.029>
- Wricke, G., 1962. Über eine methode zur erfassung der oekologischen streubreite in feldversuchen. *Zeitschr. f. Pflanzenz.* 47, 92-96.
- Yan, W., Hunt, L.A., 2001. Interpretation of genotype \times environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Science*. 41, 19–25. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.41119x>
- Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asgharii, A., Hoseini, S.M., 2015. Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. *Biological Forum*. 7, 703. <https://doi.org/10.29252/jcb.11.29.117>