



ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد غده کلون‌های جدید سیب‌زمینی با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره

Assessment of Adaptability and Tuber Yield Stability of New Potato Clones Using Multivariate Statistical Methods

احمد موسی پور گرجی^{۱*}، داود حسن پناه^۲، خسرو پرویزی^۳، امیر هوشنگ جلالی^۴
و رحیم احمدوند^۵

۱ و ۵- دانشیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲- دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران.
۳- دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران.
۴- استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۸

چکیده

موسی پور گرجی، حسن پناه، د. پرویزی، خ. جلالی، ا. ه. و احمدوند، ر. ۱۴۰۲. ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد غده کلون‌های جدید سیب‌زمینی با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره. نهال و بذر ۳۹: ۴۳۵-۴۱۱

به منظور بررسی سازگاری و پایداری عملکرد غده کلون‌های جدید سیب زمینی، ۱۹ کلون برتر انتخابی به همراه چهار رقم آگریا، مارفونا، ساوالان و خاوران در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در پنج منطقه کرج، اردبیل، همدان، مشهد و اصفهان ارزیابی قرار شدند. تجزیه AMMI نشان داد، ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف واکنش متفاوت داشتند و مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ۴/۸ برابر بزرگتر از مجموع مربعات ژنوتیپ‌ها بود. کلون‌های KSG81، KSG64، KSG300 و KSG107 به همراه شاهد آگریا دارای پایداری عملکرد غده قابل قبولی بودند. تجزیه GGE Bi-plot مبتنی بر محیط نشان داد، مناطق اصفهان، اردبیل و همدان به ترتیب به منطقه ایده‌آل نزدیکتر بودند و کلون‌های KSG23، KSG82، KSG31، KSG64 و KSG300 به ترتیب با میانگین عملکرد ۳۰/۷۱، ۲۹/۷۶، ۲۹/۳۸، ۲۷ و ۲۶/۶۸ کیلوگرم در کرت (۹ متر مربع) برای کشت در مناطق هدف مناسب‌تر بودند. ضریب برتری نسبی کلون‌های KSG302، KSG23، KSG81 و KSG107 به ترتیب ۲/۸۱، ۶/۹۸، ۲/۸۷ و ۱۲/۴۹ بود و از پایداری عملکرد غده خوبی برخوردار بودند. ضریب برتری نسبی کلون‌های KSG31، KSG82 و KSG64 به ترتیب ۱۸/۰۷، ۱۵/۷۶ و ۱۳/۶۷ و تقریباً مشابه شاهد آگریا (۱۷/۲۲) بود و از لحاظ عملکرد غده نسبت به شاهد آگریا برتری داشتند. براساس سازگاری و پایداری عملکرد غده، کلون‌های KSG302، KSG82 و KSG31 برای کاشت بهاره در مناطق مختلف کشور، کلون‌های KSG23 و KSG57 جهت کشت در خراسان، کلون KSG81 جهت کشت در اصفهان و اردبیل و کلون‌های KSG64 و KSG48 به ترتیب جهت کشت در همدان و اردبیل مناسب شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: سیب‌زمینی، تعداد غده در بوته، عملکرد غده کل، عملکرد قابل فروش، انبارمانی.

تلفن: ۰۲۶۳۴۸۵۲۹۸۳

* نگارنده مسئول: mousapour.gorji@gmail.com

© 2023 Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

مقدمه

اهمیت راهبردی و ارزش غذایی سیب‌زمینی در تغذیه انسان و دام و تنوع آب و هوا و خاک در مناطق مختلف کشور، انجام تحقیقات منطقه‌ای برای دستیابی به عملکرد غده بالا در واحد سطح را ضروری می‌سازد. رقم سیب‌زمینی که در محیط‌های مختلف رشد دارای عملکرد و کیفیت غده خوبی باشد، ایده‌آل و بسیار نادر می‌باشد. جهت دستیابی به ارقام مطلوب با سازگاری خوب و پایداری عملکرد غده بالا، ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط از اهمیت بالایی برخوردار است. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط درجه‌ای از عدم اطمینان در انتخاب هر ژنوتیپ را نشان می‌دهد. این عدم اطمینان با بزرگ شدن این اثر متقابل افزایش می‌یابد (Delacy et al., 1996).

ارقام سیب‌زمینی که در بیشتر از یک منطقه و حتی برای مناطق متفاوت دارای عملکرد غده قابل قبولی بوده (سازگاری عمومی) و بیشترین پایداری عملکرد را داشته باشند، مناسب می‌باشند. تولید ارقام اصلاح شده و سازگار با پتانسیل عملکرد غده بالا برای هر محیط (سازگاری خصوصی) از نظر اقتصادی متضمن هزینه و صرف وقت زیاد است، اما در افزایش بهره‌وری بسیار موثر می‌باشد (Yue et al., 1990). عملکرد پایدار یک رقم مهم‌ترین هدف مشترک پژوهشگران در برنامه‌های به نژادی به ویژه در محیط‌های دارای تنش می‌باشد. در این محیط‌ها برترین ژنوتیپ، ژنوتیپی است که به دامنه وسیعی از شرایط رشد سازگار بوده و در عین حال عملکرد بالایی داشته باشد (Yue et al., 1990).

ارقام وحشی سیب‌زمینی به دلیل تکامل یافتن در شرایط طبیعی و در محیط‌های متنوع دارای سازگاری به دامنه وسیعی از تنش‌های محیطی هستند (Pérez, et al., 2000).

برای توسعه کشت سیب‌زمینی در دامنه وسیعی از محیط‌ها (فصل رشد طولانی‌تر) و افزایش پایداری عملکرد غده با کیفیت مطلوب در شرایط رشد مشخص، توجه به مقاومت‌ها و برهمکنش ژنوتیپ × محیط بسیار مهم است (Gauch and Zobel, 1996; Vada, 1994). روش‌های متعددی برای تجزیه برهمکنش ژنوتیپ × محیط وجود دارد، این روش‌ها به دو دسته اصلی تک متغیره و چند متغیره تقسیم می‌شوند (Yan and Hunt, 2001). برای درک جنبه‌های مختلف برهمکنش محیط × ژنوتیپ، استفاده از روش‌های آماری چند متغیره ضروری است. یکی از تجزیه چند متغیره، مدل تجزیه اثر اصلی جمع‌پذیر و برهمکنش ضرب‌پذیر (Additive main effect and multiplicative interaction = AMMI) است که روشی بسیار قوی برای تجزیه و تفسیر ماتریس‌های بزرگ ژنوتیپ در محیط فراهم می‌کند. این روش با قابلیت پیش‌بینی برای جداول تجزیه دوطرفه پیشنهاد شد (Gauch and Zobel, 1988).

در روش AMMI بر خلاف تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (Principal component analysis = PCA)، به جای داده‌های اصلی محاسبات بر روی مقادیر برهمکنش‌ها صورت می‌گیرد. به منظور تفکیک بین AMMI و PCA پارامترهای ضرب‌پذیر AMMI را با IPCA نشان می‌دهند. در

دارای عملکرد غده قابل فروش و پایداری بیشتر، ماده خشک در حد شاهد (رقم آگریا)، رنگ گوشت زرد و مناسب برای چیپس و خلال بودند (Hassanpanah and Hassanabadi, 2013).

با توجه به نتایج پیشینه پژوهش‌های انجام شده می‌توان اظهار داشت که ارزیابی و انتخاب در شرایط محیطی خاص روی عملکرد رقم در شرایط محیطی دیگر تاثیر خواهد گذاشت. عملکرد و اجزای عملکرد از جمله صفاتی هستند که تحت تاثیر شرایط محیط هستند و حداکثر پتانسیل زمانی حاصل می‌شود که شرایط محیط مشابه شرایط کشور مبدا که رقم مربوطه در آن اصلاح شده است، باشد.

هدف از این پژوهش بررسی سازگاری و پایداری عملکرد غده کلون‌های برتر سیب‌زمینی در قطب‌های تولید سیب‌زمینی کشور و انتخاب برترین کلون‌ها جهت معرفی به عنوان ارقام داخلی برای مناطق مختلف کشور بود.

مواد و روش‌ها

سوابق کلون‌ها

کلون‌های سیب‌زمینی مورد بررسی حاصل تلاقی بین ارقام سزار (کایزر)، ساوالان، آگریا بودند که به منظور دستیابی به ارقام با عملکرد غده بالا، کیفیت مطلوب و سازگار به شرایط مختلف کشور تلاقی داده شدند (جدول ۱). کلون‌های مورد بررسی جزو کلون‌های انتخابی در سالیان متمادی در برنامه ملی به نژادی سیب‌زمینی ارزیابی و انتخاب شده‌اند.

نمودار پلات دو گانه تجزیه AMMI ژنوتیپ‌ها و مکان‌ها در یک نمودار پراکنده گی (Scattergram) نمایش داده می‌شوند و تفسیر برهمکنش‌های مکان \times ژنوتیپ خاص میسر می‌شود (Cocks, 1995; Gauch and Zobel, 1996).

پرکینز (Perkinz, 1972) از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ولین و تامسون (Lin and Thompson, 1975) از تجزیه خوشه‌ای برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها از نظر پایداری بهره گرفتند.

حسینی و همکاران (Hasani et al., 2020) پایداری عملکرد غده و سازگاری ۱۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی را در سه مکان با استفاده از روش AMMI مورد بررسی قرار دادند و ارقام کلومبا، لیستا و کررا را برای منطقه زنجان و ارقام آنابلا و سائته را به ترتیب برای مشهد و همدان معرفی کردند. در پژوهشی به منظور انتخاب و معرفی رقم مناسب کشت جهت مصرف تازه‌خوری و فرآوری سیب‌زمینی، ۳۱ کلون امیدبخش سیب‌زمینی تولید شده در داخل کشور همراه با سه شاهد آگریا (شاهد برای فرنیج‌فرایز)، مارفونا (شاهد برای تازه‌خوری) و لیدی‌رزتا (شاهد برای چیپس) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در پنج منطقه کشور (کرج، آلاروق اردبیل، فریدن اصفهان، تبرک همدان و جلگه‌رخ خراسان) در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ مورد مطالعه قرار گرفتند (Hassanpanah and Hassanabadi, 2013). نتایج حاصل از بررسی‌های صفات کمی و کیفیت غده در مناطق مختلف نشان داد که کلون‌های ۳-۳۹۷۰۰۹، ۲-۳۹۶۱۵۱، ۲-۳۹۷۰۳۱، ۹-۳۹۷۰۰۷ و ۹-۳۹۷۰۰۹

جدول ۱- مشخصات کلون‌ها و ارقام سیب‌زمینی مورد مطالعه

Table 1. Characteristics of the studied potato clones and cultivars

شماره No.	ژنوتیپ Genotype	تلاقی Cross	شماره No.	ژنوتیپ Genotype	تلاقی Cross	شماره No.	ژنوتیپ Genotype	تلاقی Cross
1	KSG302	Caesar♀ × Savalan♂	9	KSG21	Savalan♀ × Caesar♂	17	KSG82	Savalan♀ × Caesar♂
2	KSG57	Savalan♀ × Caesar♂	10	KSG31	Savalan♀ × Caesar♂	18	KSG49	Savalan♀ × Caesar♂
3	KSG48	Savalan♀ × Caesar♂	11	KSG107	Savalan♀ × Caesar♂	19	KSG81	Savalan♀ × Caesar♂
4	KSG40	Savalan♀ × Caesar♂	12	KSG64	Savalan♀ × Caesar♂	20	Agria	
5	KSG11	Savalan♀ × Caesar♂	13	KSG616	Agria♀ × Caesar♂	21	Marfona	
6	KSG200	Savalan♀ × Boren♂	14	KSG69	Savalan♀ × Caesar♂	22	Savalan	
7	KSG613	Agria♀ × Caesar♂	15	KSG106	Savalan♀ × Caesar♂	23	Khavaran	
8	KSG300	Caesar♀ × Savalan♂	16	KSG23	Savalan♀ × Caesar♂			

روش اجرا

در این پژوهش ۱۹ کلون برتر انتخابی حاصل از آزمایش پیشرفته کلون‌های سیب‌زمینی به همراه چهار رقم آگریا، مارفونا، ساوالان و خاوران در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در پنج منطقه کرج، اردبیل، همدان، مشهد و اصفهان ارزیابی شدند. طول هر کرت شش متر، دو خط در هر کرت و فاصله بوته‌ها بین ردیف و روی ردیف به ترتیب ۷۵ و ۲۵ سانتی‌متر بود. تاریخ کشت برای کرج نیمه اول تیر و برای بقیه مناطق نیمه دوم اردیبهشت بود. آبیاری در کلیه مناطق به صورت قطره‌ای انجام و حجم آب مصرفی در کل دوره رشد ۸۵۰۰ متر مکعب بود. میزان کود مصرفی برای هر منطقه براساس نتایج آزمون خاک تعیین شد. در این پژوهش سعی شد تا حد امکان مدیریت زراعی در مکان‌های آزمایشی مشابه باشد.

صفتی که در طول اجرای پروژه از آن‌ها یادداشت‌برداری به عمل آمد، شامل عملکرد کل، عملکرد قابل فروش، تعداد ساقه اصلی (میانگین پنج بوته)، تعداد غده در بوته، درصد غده‌های ریز (کوچکتر از ۳۵ میلی‌متر)، بذری (۳۵ تا ۵۵ میلی‌متر) و خوراکی (بیشتر از ۵۵ میلی‌متر)، رنگ پوست و گوشت غده (در مقایسه با شاهد آگریا)، تغییر رنگ گوشت غده بعد از ۲۴ ساعت (در مقایسه با شاهد آگریا) و انبارمندی (۱۰ درصد جوانه‌زنی) بود.

یادداشت‌برداری صفات مربوط به کیفیت غده به صورت رتبه دهی (۱-۹) انجام گرفت، به طوری که رتبه ۱ به بدترین و رتبه ۹ به بهترین کلون اختصاص یافت.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

بررسی سازگاری و پایداری عملکرد غده کلون‌های مورد بررسی با استفاده از مدل‌های چند متغیره AMMI، GGE Biplot و ضریب برتری نسبی انجام شد. ژنوتیپ‌ها با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش Ward گروه بندی شدند. از نرم‌افزارهای کامپیوتری SAS، GenStat و Excel برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و رسم نمودارها استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب داده نشان داد که اثر مکان و اثر متقابل ژنوتیپ × مکان برای عملکرد غده کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). وجود تفاوت بین ارقام و کلون‌ها می‌تواند ناشی از پتانسیل ژنتیکی گیاه، اثر محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × مکان باشد. معنی‌دار شدن اثر متقابل به این معنی است که ارقام در مکان‌های مختلف عکس‌العمل‌های متفاوت داشتند. معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ و محیط (سال و مکان) بر روی صفات مختلف سیب‌زمینی پیش از این توسط خان و همکاران (Khan, et al., 2011) و حسن‌پناه (Hassanpanah, 2011) گزارش شده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد غده کل

Table 2. Combined analysis of variance for total tuber yield

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات Mean squares
Location (L)	مکان	4	2799.84*
Year (Y)	سال	1	141.28**
L × Y	مکان × سال	4	542.66**
Rep (L × Y)	تکرار (سال × مکان)	20	49.30
Genotype (G)	ژنوتیپ	22	133.65*
L × G	مکان × ژنوتیپ	88	112.98**
Y × G	سال × ژنوتیپ	22	55.06**
L × Y × G	مکان × سال × ژنوتیپ	88	34.06**
Error	اشتباه	440	15.58
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات		15.23

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

میانگینی بالاتر از میانگین کل جامعه می‌باشند. محیط‌هایی که به محیط ایده‌آل نزدیک‌تر هستند، به عنوان محیط‌های برتر جهت گزینش مثبت معرفی می‌شوند.

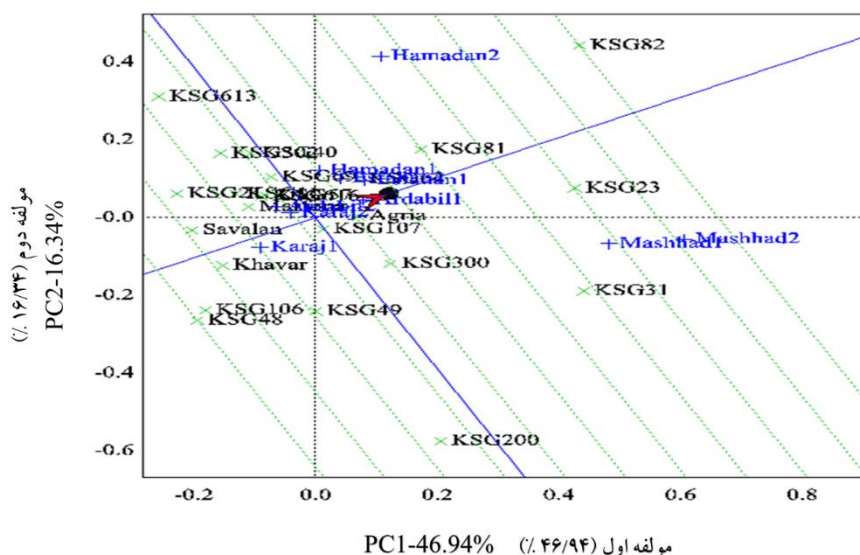
نتایج تجزیه به روش GGE Biplot رتبه‌ای با رتبه‌بندی مبتنی بر محیط (سال و مکان) بر اساس داده‌های نرمال نشان داد که دو مولفه اول و دوم ۶۳/۲۸ درصد از واریانس کل را توجیه کردند و به استثنای محیط‌های مشهد ۱ و ۲، همدان ۲ و کرج ۱ بقیه محیط‌ها به منطقه ایده‌آل نزدیک‌تر بودند و برای گزینش مثبت عملکرد غده مناسب‌تر بودند (شکل ۱). کلون‌های KSG81، KSG82، KSG57 و KSG302 برتر و نزدیک‌تر به محیط ایده‌آل بودند. اگرچه میانگین عملکرد غده کلون‌های یاد شده نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها بیشتر بود، اما از پایداری عملکرد پایین‌تری در مقایسه با شاهد آگریا برخوردار بودند. پایداری عملکرد رقم آگریا (شاهد) قابل

تجزیه پایداری عملکرد غده با استفاده از روش GGE Biplot

تجزیه پایداری عملکرد غده با استفاده از روش GGE Biplot رتبه‌ای (Ranking GGE Biplot) با رتبه‌بندی مبتنی بر محیط انجام شد. محیط ایده‌آل با دایره کوچک روی محور X که با فلش نشان داده شده است، مشخص می‌شود. اگر از هر یک از ژنوتیپ‌ها یا محیط‌ها خطی عمود به خط افقی (محوری که فلش روی آن قرار دارد) رسم شود، فاصله محل تقاطع تا دایره، دوری و نزدیکی ژنوتیپ‌ها یا محیط‌ها به محیط ایده‌آل را نشان می‌دهد. ژنوتیپ‌هایی که دارای فاصله کوتاه‌تر با محیط ایده‌آل باشند، مناسب‌تر برای کشت در آن نواحی می‌باشند و ژنوتیپ‌هایی که به مرکز تقاطع محور X و Y نزدیک‌تر باشند از پایداری عملکرد بیشتری برخوردار هستند. ژنوتیپ‌هایی که در سمت راست خط عمودی (Y) قرار دارند، داری

کلون‌های KSG200 و KSG82 بود. کلون‌هایی که دارای پایداری عملکرد غده مطلوب بودند، عموماً عملکردی در حد میانگین جامعه داشتند.

قبول و از نظر پایداری عملکرد (رتبه عملکرد رقم در هر یک از محیط‌ها) در مقایسه با دیگر کلون‌های مورد بررسی در حد متوسط بود (شکل ۱). پایین‌ترین پایداری عملکرد غده مربوط به



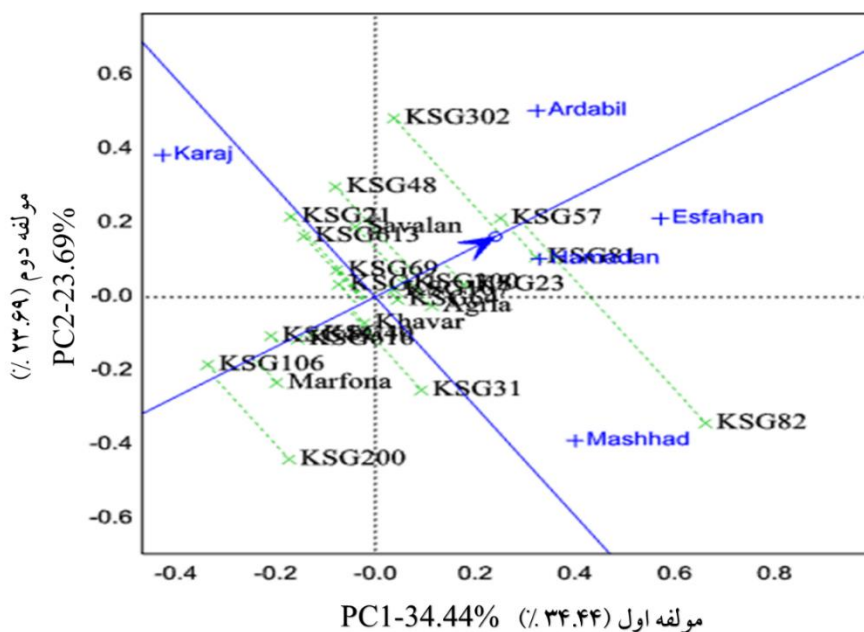
شکل ۱ - نمودار GGE Biplot براساس روش رتبه‌ای با رتبه‌بندی مبتنی بر محیط (مکان و سال) برای عملکرد غده کل (×: رتبه ژنوتیپ، +: رتبه محیط، دایره سیاه: محیط ایده‌آل)

Fig. 1. Ranking GGE Biplot diagram for total tuber yield based on environment (location and year) scaling. (×: Genotype scores, +: Environment scores, Black circle: Ideal environment)

(2023 نشان دادند که ژنوتیپ‌های G21, G18 و G22 و G10 با بردارهای کوتاه‌تر از مرکز تقاطع بردارها (محور AEC) به عنوان ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی برتر با سازگاری پایداری عملکرد غده شناخته شدند، در حالی که ژنوتیپ‌های G31, G15 و G10 با بردار بلندتر از AEC عملکرد غده ناپایدار تری داشتند. محمدی و امیری (Mohammadi and Amiri, 2012)

نتایج GGE Biplot رتبه‌ای با رتبه‌بندی مبتنی بر محیط (مکان) بر اساس داده‌های نرمال نشان داد که دو مولفه اول و دوم ۵۸/۱۳ درصد از واریانس کل را توجیه کردند و اصفهان، اردبیل و همدان به ترتیب به منطقه ایده‌آل نزدیک‌تر بودند و در نتیجه برای گزینش مثبت عملکرد غده مناسب‌تر شناسایی شدند (شکل ۲). حاجی‌برات و همکاران (Hajibarat et al.,

بیان داشتند ژنوتیپ‌های دارای عملکرد غده پایدار لزوماً بالاترین عملکرد غده را ندارند و در نتیجه نیاز به در نظر گرفتن همزمان میانگین عملکرد غده و مقدار شاخص پایداری می‌باشد.



شکل ۲ - نمودار GGE Biplot بر اساس روش رتبه‌بندی با رتبه‌بندی مبتنی بر محیط (مکان) برای عملکرد غده کل (×: رتبه ژنوتیپ، +: رتبه محیط)

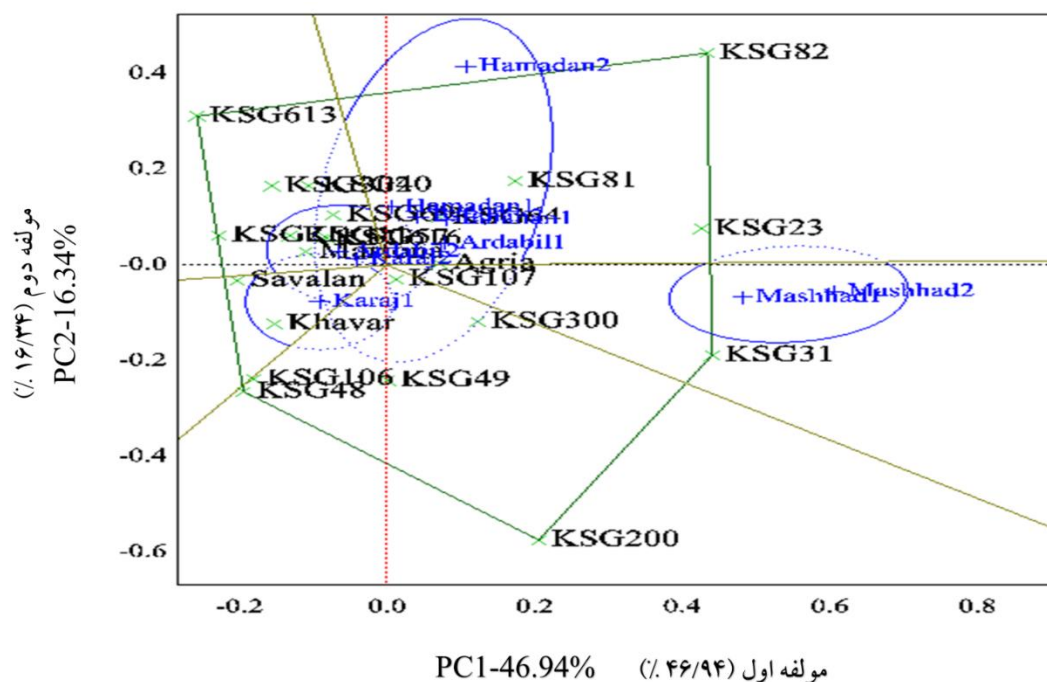
Fig. 2. Ranking GGE Biplot diagram for total tuber yield based on environment (location) scaling. (×: Genotype scores, +: Environment scores)

که از لحاظ عملکرد غده کل دو محیط کلان برای ارزیابی ارقام و کلون‌های سیب‌زمینی وجود داشت که بر این اساس، مشهد ۱ و ۲ به عنوان یک محیط و کرج ۱ و ۲، اردبیل ۱ و ۲، اصفهان ۱ و ۲ و همدان ۱ و ۲ به عنوان محیط کلان دیگر شناسایی شد که خود شامل دو محیط کوچک‌تر بودند (شکل ۳). کلون‌های KSG200، KSG31، KSG82 و KSG48 و KSG613 به عنوان ژنوتیپ‌های

استفاده از اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (GEI) بهترین روش برای تقسیم محیط‌های هدف به محیط‌های کلان و قراردادن ژنوتیپ مختلف در آن‌ها می‌باشد و تقسیم نادرست محیط‌های کلان می‌تواند نتایج معکوس به همراه داشته باشد (Atlin *et al.*, 2000). بنابراین در این پژوهش از ترسیم توزیعی (Scatter Plot) با رتبه‌بندی مبتنی بر محیط برای شناسایی محیط‌های کلان استفاده شد. نتایج نشان داد

Scavo, et al., 2023) در پژوهشی اعلام کردند که هیچ تفاوت واضحی بین محیط‌ها پیدا نکردند و بیان داشتند که انتخاب محیط به نوع صفت مورد بررسی بستگی دارد. آنها همچنین اظهار داشتند که تجزیه و تحلیل به روش‌های AMMI و GGE Biplot در شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد غده بالا و پایدار در آزمایش‌های چند محیطی اهمیت ویژه‌ای دارند و می‌توان از آنها در تنظیم و شناسایی مکان‌های جغرافیایی محافظت‌شده سیب‌زمینی استفاده کرد.

راس (Vertex genotypes) شناسایی شدند و این بدان معنی است که کلون‌های یادشده واکنش قابل توجهی به تغییرات محیطی نشان داده و با محیط‌های خاص خود سازگار بودند. با توجه به عملکرد غده بالا و سازگاری خصوصی خوب این کلون‌های به برخی از محیط‌ها می‌توان از آنها برای تولید هدفمند و افزایش بهره‌وری استفاده کرد و به عنوان ژنوتیپ‌های راس و دارای سازگار خصوصی جهت تولید هدفمند در آن محیط‌ها معرفی نمود. اسکاوو و همکاران



شکل ۳- نمودار GGE Biplot براساس روش ترسیم توزیعی با رتبه‌بندی مبتنی بر محیط برای عملکرد غده کل. بیضی‌های آبی رنگ، محیط کلان را نشان می‌دهد

Fig. 3. Scatter GGE Bi-plot diagram for total tuber yield based on environment scaling. Blue ovals represent mega environments

و همکاران (Yan *et al.*, 2007) تجزیه به روش GGE Biplot را بهترین روش برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها معرفی نمودند. حاجی‌برات و همکاران (Hajibarat *et al.*, 2023) اظهار داشتند، واکاوی AMMI و GGE Biplot بهترین مدل برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر سیب‌زمینی در پاسخ به تنش خشکی بودند. حسن‌پناه (Hassanpanah, 2011) و حسن‌پناه و حسن‌آبادی (Hassanpanah and Hassanabadi, 2015) از روش‌های GGE Biplot و AMMI برای بررسی پایداری عملکرد غده ارقام و کلون‌های سیب‌زمینی استفاده کردند و نشان دادند که این دو روش از لحاظ نتیجه اندکی با یکدیگر تفاوت داشتند و کلون‌ها و ارقام مختلفی را دارای عملکرد غده پایدار شناسایی کردند.

بای‌پلات توزیعی براساس میانگین عملکرد غده

نتایج بای‌پلات توزیعی براساس میانگین عملکرد غده و واریانس بین مکان‌ها که بیانگر پایداری عملکرد غده‌می‌باشد، نشان داد که کلون‌های KSG23, KSG82, KSG31, KSG64 و KSG300 دارای عملکرد غده و واریانس بیشتر از میانگین جامعه بودند و برای کشت در مناطق ایده‌آل مناسب‌تر می‌باشند. از میان کلون‌های فوق‌الذکر تغییرات عملکرد غده کلون‌های KSG64 و KSG300 کمتر از کلون‌های دیگر بود (شکل ۴). کلون‌های KSG81, KSG302, KSG107 و رقم آگریا

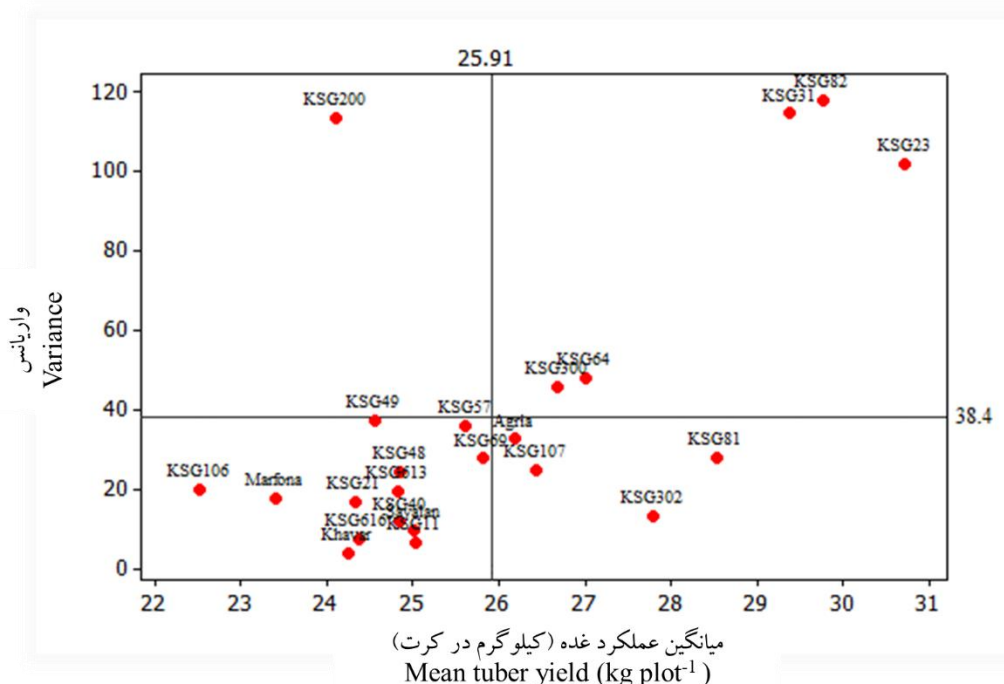
اگرچه نتایج این پژوهش بر اساس داده‌های دو ساله در پنج مکان به دست آمد، اما تکرار آزمایش برای سال‌ها و مکان‌های بیشتر می‌تواند قابل اعتماد بودن نتایج حاصله را افزایش دهد. در همین خصوص یان و راجکن (Yan and Rajcan, 2002) و یان و همکاران (Yan *et al.*, 2000) بیان داشتند که یک محیط کلان می‌تواند ساده و پیچیده باشد و بهتر است بررسی‌ها در چند مکان و برای چندین سال انجام شود. در رتبه‌بندی مبتنی بر محیط، کلون‌های KSG31, KSG23 و KSG82 دارای عملکرد غده بالاتری در مشهد بودند. کلون KSG82 بیشترین عملکرد غده را در همدان داشت و در اصفهان کلون‌های KSG81, KSG82 و KSG57 عملکرد غده بالاتری را داشتند. کلون KSG302 در کرج بیشترین عملکرد غده را داشت و عملکرد غده آن در اردیبه‌سوم پس از کلون‌های KSG48 و KSG57 در رتبه سوم قرار گرفت (شکل ۳).

نتایج تجزیه به روش GGE Biplot در تقسیم‌بندی کلون‌های سیب‌زمینی از لحاظ عملکرد غده تقریباً مشابه نتایج مقایسه میانگین عملکرد غده در هر منطقه بود. بنابراین می‌توان اظهار داشت که تجزیه به روش GGE Biplot روش کاربردی مناسبی برای ارزیابی ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی در برنامه‌های به نژادی می‌باشد.

یوشی و همکاران (Joshi *et al.*, 2011) روش GGE Biplot را برای ارزیابی ژنوتیپ‌های محصولات مختلف و استفاده از آن را در برنامه‌های به نژادی توصیه کردند. یان

کلون KSG57 علیرغم داشتن عملکرد غده بالا در اردبیل و اصفهان، دارای میانگین عملکرد پایین‌تر از میانگین مکان‌ها بود و واریانس عملکرد آن در حد میانگین جامعه بود. بقیه کلون‌ها و ارقام نیز دارای عملکرد غده و واریانس پایین‌تر از میانگین جامعه بودند (شکل ۴).

(شاهد) به ترتیب دارای عملکرد غده بالاتر از میانگین بود و تغییرات عملکرد آنها در مکان‌های مختلف پایین بود. بنابراین می‌توان بیان داشت که ژنوتیپ‌های یاد شده دارای سازگاری عمومی بهتری بودند. کلون KSG200 دارای عملکرد غده پایین‌تر از میانگین جامعه بود و تغییرات عملکرد غده آن در مکان‌های مختلف زیاد بود.



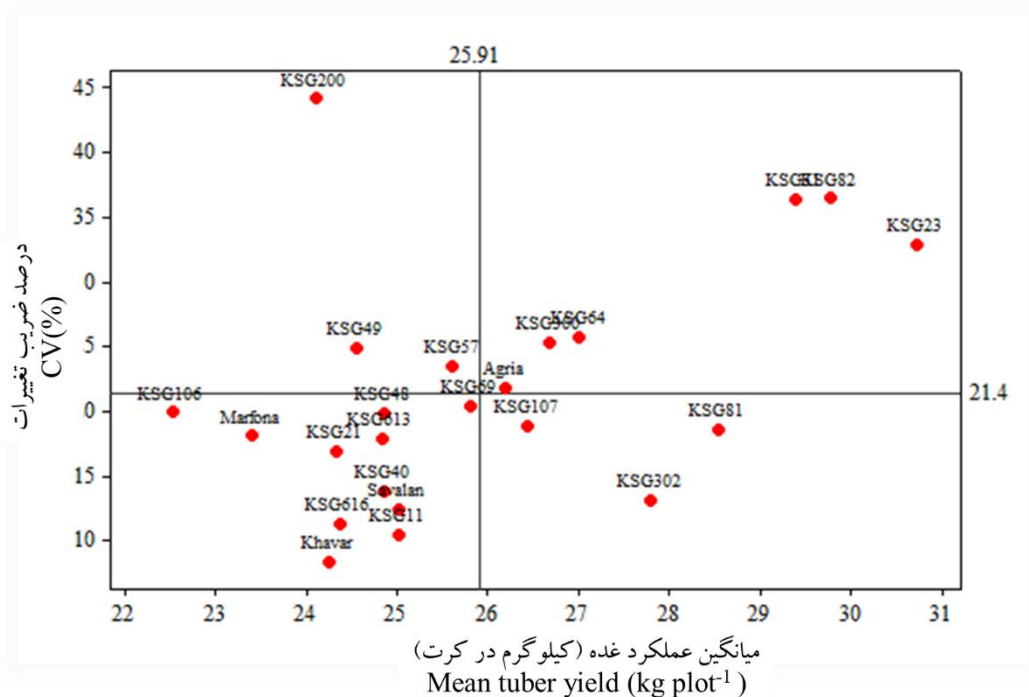
شکل ۴- بای پلات توزیعی براساس میانگین عملکرد غده و واریانس بین مکان‌ها

Fig. 4. Scatter biplot based on mean tuber yield and variance between locations

بررسی به استثنای KSG200 زیر ۳۸ درصد بوده است.

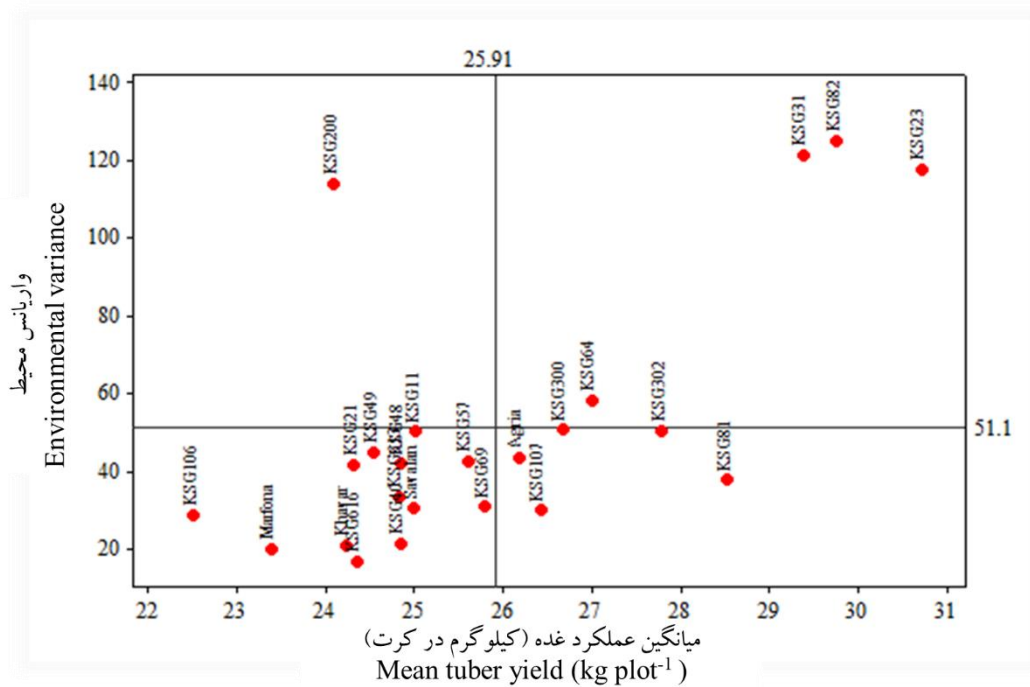
نتایج بای پلات توزیعی براساس میانگین عملکرد غده ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی و واریانس محیط (مکان و سال) مشابه بای پلات توزیعی رسم شده براساس میانگین و واریانس مکان بود (شکل ۶).

نتایج بای پلات توزیعی براساس میانگین عملکرد غده و ضریب تغییرات تقریباً مشابه بای پلات توزیعی عملکرد غده و واریانس بود (شکل ۵) و تنها تفاوت مشاهده شده بیشتر بودن ضریب تغییرات رقم آگریا و کلون‌های KSG57 و KSG49 از میانگین جمعیت بود. لازم به ذکر است ضریب تغییرات تمامی ژنوتیپ‌های مورد



شکل ۵- بای پلات توزیعی براساس میانگین عملکرد غده و ضریب تغییرات

Fig 5. Scatter biplot based on mean tuber yield and coefficient of variation



شکل ۶- بای پلات توزیعی براساس میانگین عملکرد غده و واریانس محیط (مکان و سال)

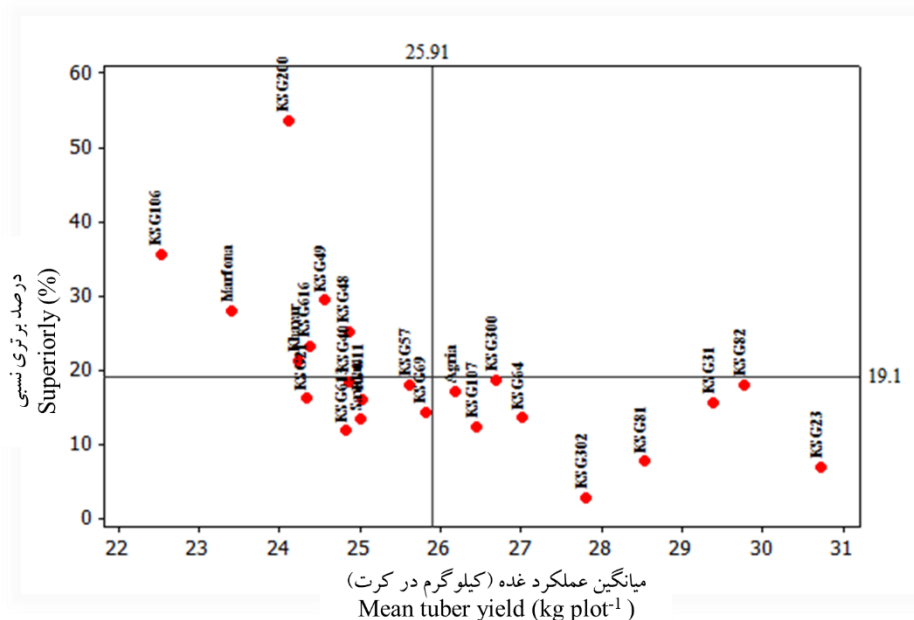
Fig. 6. Scatter bi-plot based on mean tuber yield and environmental variance

ضریب برتری نسبی عملکرد غده

ضریب برتری نسبی بیانگر پایداری نسبی عملکرد است و نشان می‌دهد که تغییرات عملکرد هر ژنوتیپ در مکان‌های مختلف نسبت به بالاترین عملکرد چقدر می‌باشد. هرچه ضریب برتری نسبی یک ژنوتیپ کمتر باشد، پایداری نسبی عملکرد آن بالاتر است. نتایج ضریب برتری نسبی برای هر ژنوتیپ می‌تواند مشابه نتایج بای‌پلات توزیعی، GGE Biplot و AMMI باشد. نتایج بای‌پلات توزیعی میانگین کل و ضریب برتری نسبی عملکرد غده نشان داد که کلون‌های KSG23, KSG302, KSG81 و KSG107 به ترتیب دارای ضریب برتری نسبی عملکرد غده پایین‌تری بودند و میانگین عملکرد غده آنها بالاتر از میانگین جامعه بود (شکل ۷).

ضریب برتری نسبی عملکرد غده کلون‌های

KSG82, KSG31 و KSG64 تقریباً مشابه رقم آگریا (شاهد) بود و از لحاظ عملکرد نسبت به رقم آگریا برتری داشتند (جدول ۷). بنابراین می‌توان بیان داشت که کلون‌های فوق‌الذکر دارای پایداری عملکرد غده نسبی مطلوب بودند و با توجه به عملکرد غده بیشتر، نسبت به دیگر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه برتری داشتند. از میان کلون‌هایی که دارای سازگاری مطلوب بودند، تنها کلون‌های KSG107 و KSG302 از پایداری عملکرد غده بالاتری برخوردار بودند. کلون‌های KSG23, KSG31 و KSG82 اگرچه از پایداری عملکرد غده نسبی پایین‌تری برخوردار بودند، اما عملکرد غده آنها نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها بالاتر بود (شکل ۷).



شکل ۷- بای‌پلات توزیعی براساس میانگین عملکرد غده و ضریب برتری نسبی

Fig. 7. Scatter biplot based on mean tuber yield and relative superiority coefficient

تجزیه پایداری عملکرد غده با استفاده از روش AMMI

مدل AMMI ترکیبی از اثر اصلی و اثر متقابل بین مولفه‌های اصلی می‌باشد. در تجزیه با استفاده از روش AMMI، میانگین عملکرد و اثر متقابل ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها با هم در یک پلات ساده نشان داده می‌شود و در نتیجه می‌توان به صورت هم‌زمان انتخاب برای عملکرد و پایداری عملکرد را انجام داد. بنابراین در این تحقیق علاوه بر روش GGE Biplot از روش AMMI نیز برای بررسی پایداری عملکرد غده کلون‌ها و ارقام سیب زمینی مورد مطالعه استفاده شد.

نتایج نشان داد که ۵۰/۷ درصد از مجموع مربعات کل به اثر محیطی و ۸/۵ درصد به اثر ژنوتیپ و ۴۰/۸ درصد به اثر متقابل ژنوتیپ × محیط اختصاص داشت (جدول ۳). بزرگ بودن مجموع مربعات محیط‌ها نشان دهنده متنوع بودن محیط‌های آزمایشی بود و تفاوت زیاد بین میانگین محیط‌ها دلیل بخش بزرگی از بروز تغییرات در عملکرد غده کل ارقام و کلون‌های آزمایشی بود. اندازه مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ۴/۸ برابر بزرگتر از مجموع مربعات ژنوتیپ‌ها بود که خود نشان دهنده پاسخ‌های متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بود (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر اصلی افزایشی و اثر متقابل ضرب پذیر (AMMI) برای عملکرد غده کل
Table 3. Additive main effect and multiplicative interaction analysis for total tuber yield

S. O.V.	منبع تغییر	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات Mean squares	درصد تغییرات توجیه شده Explained variation (%)
Total	کل	689	61.7	
Treatment	تیمار	229	151.4**	
Genotype (G)	ژنوتیپ	22	133.9**	8.5
Environment (E)	محیط	9	1953.6**	50.7
Interaction	اثر متقابل	198	71.4**	40.8
IPCA1	مؤلفه اول	30	219.1**	57.29
IPCA2	مؤلفه دوم	28	89.9**	24.86
IPCA3	مؤلفه سوم	26	53.5	12.65
Residuals	باقیمانده	114	32.1	5.19
Error	خطا	440	15.6	-

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

نتایج تجزیه با استفاده از مدل AMMI همچنین نشان داد که اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل (جزء اول AMMI) حدود ۵۷/۲۹ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را به خود اختصاص

داد. مؤلفه اصلی دوم و سوم به ترتیب ۲۴/۸۶ و ۱۲/۶۵ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را تبیین کردند. میانگین مربعات دو مؤلفه اصلی اول و دوم در سطح

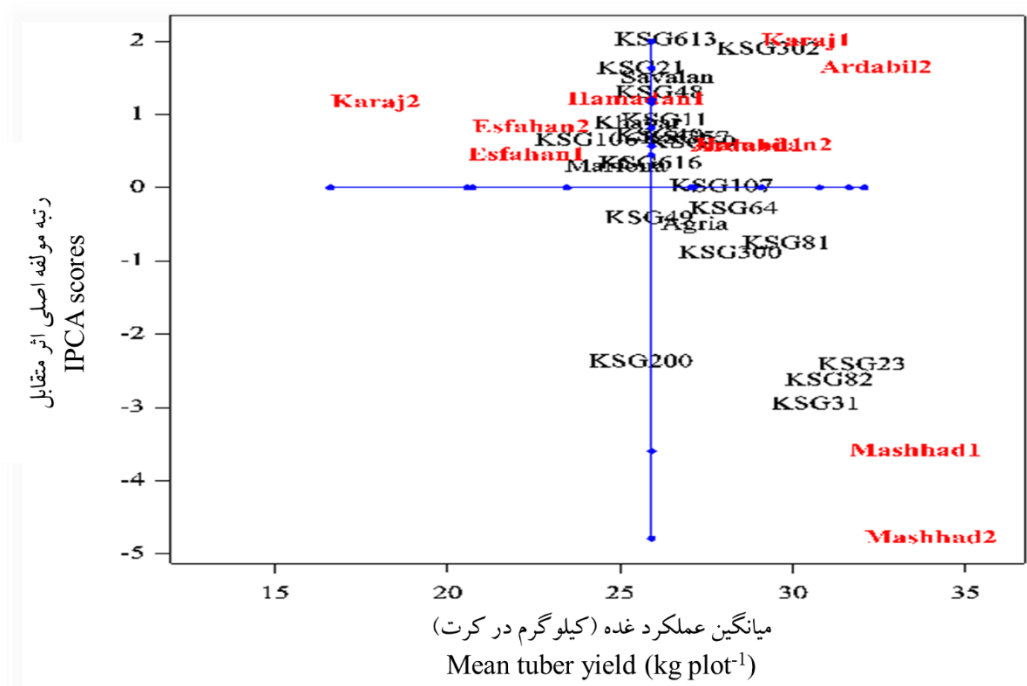
بودند. کلون‌های KSG31, KSG82, KSG23 و KSG302 دارای مقادیر مثبت و منفی IPCA1 بیشتری بودند و در نتیجه در مقایسه با دیگر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه دارای پایداری نسبی عملکرد غده کمتری بودند (شکل ۸). حاجی‌برات و همکاران (Hajibarat *et al.*, 2023) بر اساس نتایج بررسی عملکرد غده و پایداری عملکرد، ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی G5, G31, G21, G18, G4 و PC1 را با کمتر و عملکرد غده بالا گزارش کردند. ابدون و گوج (Ebdon and Gauch, 2002) بیان کردند، ژنوتیپ‌هایی که دارای مقدار PC1 نزدیک به صفر باشند، دارای سازگاری عمومی بوده و ژنوتیپ‌هایی که دارای مقادیر بالای PC1 (مثبت یا منفی) هستند، عملکرد نا پایدار دارند و به طور معمول با محیط‌های دارای PC1 بالا و هم علامت خود سازگاری خصوصی دارند.

بر اساس نمودار بای‌پلات میانگین عملکرد غده محیط‌های آزمایشی در مقابل مقادیر IPCA1 محیط‌های اصفهان ۱ و ۲، اردبیل ۱ و همدان ۲ دارای IPCA1 کوچکتر (۰/۴۴۳-۰/۸۱۸) بودند (شکل ۸). بنابراین ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی در این مکان‌ها از پایداری عملکرد غده بیشتری برخوردار بودند. مقادیر IPCA1 برای محیط‌های همدان ۱، اردبیل ۲ و کرج ۱ و ۲ بین ۱/۲۰۱ تا ۱/۹۹۶ بود. محیط‌های مشهد ۱ و مشهد ۲ اگرچه دارای میانگین عملکرد غده بیشتر بودند، ولی مقادیر IPCA1 آنها بالا و به ترتیب ۳/۵۹۷- و ۴/۷۸۸- بود و به‌عنوان

احتمال یک درصد معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$) و به طور تجمعی حدود ۸۲/۱۵ درصد از کل اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند (جدول ۳). مقدار نویز یا باقیمانده (اثر سایر مولفه‌ها) معنی‌دار نشد، ولی به تنهایی در برگیرنده ۵/۱۹ درصد از مجموع مربعات ژنوتیپ × محیط بود که به همراه مولفه معنی‌دار نشده سوم مجموعاً ۱۷/۸۴ درصد از مجموع مربعات ژنوتیپ × محیط را تشکیل داد.

بنابراین استفاده از همه مؤلفه‌های اصلی تاثیر چندانی در افزایش اعتبار برآورد مدل نخواهد داشت و مدل برآورد شده توسط دو جزء IPCA1 و IPCA2 بهتر خواهد بود. به همین منظور در این تحقیق نمودار بای‌پلات با استفاده از مقادیر ژنوتیپی و محیطی دو جزء AMMI که در برگیرنده ۸۲/۱۵ درصد از اطلاعات مربوط به اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بودند، ترسیم شد. بر اساس تجزیه الگوی واکنش ژنوتیپ‌ها بر مبنای IPCA1 و میانگین، کلون‌ها و ارقام دارای عملکرد بالا عموماً از پایداری عملکرد غده نسبی پایینی برخوردار بودند (شکل ۸).

از میان کلون‌هایی که دارای عملکرد غده بالاتر از میانگین جامعه مورد مطالعه بودند، کلون‌های KSG81, KSG64, KSG300 و KSG107 به همراه رقم آگریا (شاهد) دارای مقادیر IPCA1 کوچکتر و نزدیک به صفر بودند و از پایداری بی‌عملکرد غده بالا و سازگاری عمومی خوبی برخوردار

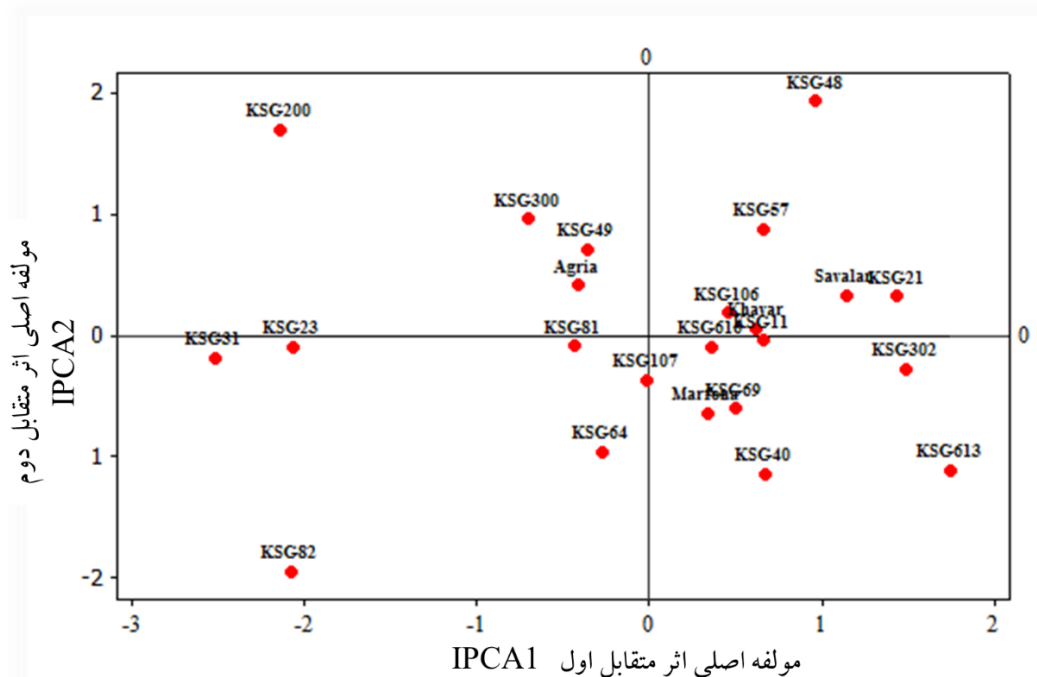


شکل ۸- نمودار بای پلات پراکنش ژنوتیپ و محیط بر اساس مقادیر اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل و میانگین برای عملکرد غده کل

Fig. 8. Scatter biplot of genotype and environment based on IPCA1 of interaction scores and mean of total tuber yield

مارفونا (شاهد) به قسمت مرکزی نمودار نزدیک تر بودند و بنابراین کلون‌های دارای عملکرد پایدار محسوب می‌شوند. از طرف دیگر کلون‌های KSG31, KSG82, KSG200, KSG613 و KSG23 در فاصله دورتری از مرکز واقع شدند و دارای پایداری عملکرد غده کمتری بودند. فاصله از مبدأ (مرکز) منعکس کننده بزرگی برهمکنش برای هر یک از ژنوتیپ‌ها بوده و ارقام و کلون‌های دارای بیشترین فاصله از مبدأ، دارای بیشترین برهمکنش و در نتیجه عملکرد ناپایدارتر بودند (شکل ۹).

محیط‌های نا مساعد برای ژنوتیپ‌ها تلقی می‌شوند (شکل ۸). پراکنندگی محیط‌ها در این نمودار نشان می‌دهد که محیط‌ها به لحاظ پایداری عملکرد غده ژنوتیپ‌های سیب زمینی تفاوت‌های زیادی با یکدیگر داشتند که موید نتایج تجزیه واریانس مرکب است (جدول ۳). نتایج بای پلات ترسیمی براساس IPCA1 و IPCA2 تا حد زیادی مشابه نتایج بای پلات میانگین عملکرد غده ژنوتیپ‌های سیب زمینی در مقابل مقادیر IPCA1 بود (شکل ۹). کلون‌های KSG616, KSG81, KSG107, KSG49 و KSG64 به همراه ارقام آگریا و



شکل ۹- بای پلات حاصل از اولین و دومین مولفه اصلی اثر متقابل در مدل AMMI برای عملکرد غده کل
 Fig. 9. AMMI biplot of the first second principal components for total tuber yield

بودند (جدول ۴). کلون‌های برتر در کرج، اردبیل، همدان، اصفهان و مشهد به ترتیب ۱۵/۶-۱۷/۳، ۴۱/۹-۴۱/۴ و ۲۱/۲-۵/۸، ۴۱/۳-۲۶/۶، ۹/۹-۶/۸ درصد برتری عملکرد غده نسبت به رقم آگریا (شاهد) داشتند (جدول ۴).

رتبه چهار ژنوتیپ برتر در هر یک از مکان‌ها و میانگین عملکرد غده آنها در جدول ۴ ارائه شده است. کلون KSG302 در چهار مکان، کلون KSG82 در سه مکان، کلون‌های KSG23، KSG23 و KSG23 در دو مکان کلون‌ها برتر

جدول ۴- رتبه ژنوتیپ‌های برتر، میانگین عملکرد و آماره پایداری (ASV) در مکان‌های مختلف
 Table 4. The score of superior genotypes, average yield and AMMI stability value (ASV) in different locations

Location	مکان	میانگین عملکرد غده (کیلوگرم در کرت) Mean tuber yield (kg plot ⁻¹)	آماره پایداری AMMI (ASV)	امتیاز ژنوتیپ Genotype score			
				1	2	3	4
Karaj	کرج	22.85	1.817	KSG302	KSG23	KSG21	KSG613
Ardabil	اردبیل	28.91	1.306	KSG48	KSG57	KSG302	KSG81
Hamadan	همدان	25.29	1.145	KSG82	KSG613	KSG302	KSG64
Esfahan	اصفهان	20.65	0.788	KSG82	KSG81	KSG57	KSG302
Mashhad	مشهد	31.85	-5.057	KSG31	KSG23	KSG82	KSG200

تجزیه خوشه‌ای

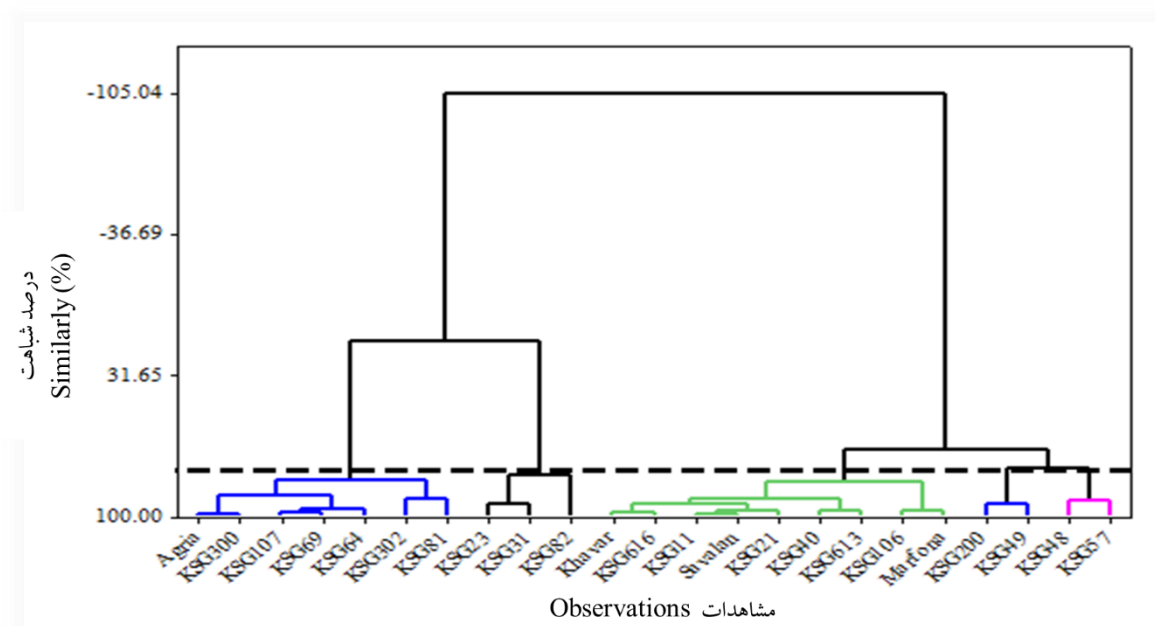
تجزیه خوشه‌ای براساس عملکرد غده، اجزای عملکرد و تعدادی صفات کمی و کیفیت غده، کلون‌ها و ارقام مورد بررسی را با ضریب تشابه ۸۵ درصد به پنج گروه تقسیم کرد (شکل ۱۰). گروه اول شامل آگریا و کلون‌های KSG300, KSG107, KSG69, KSG302 و KSG64, KSG81 بود. ژنوتیپ‌های این گروه عموماً دارای عملکرد غده بالاتر از میانگین جامعه بودند و از پایداری عملکرد غده نسبی نسبتاً خوبی برخوردار بودند. گروه دوم شامل کلون‌های KSG23, KSG31 و KSG82 بود (شکل ۱۰). کلون‌های این گروه در مقایسه با دیگر ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارای میانگین عملکرد غده بالاتر از میانگین، پایداری عملکرد غده نسبی پایین و پایداری زراعی نسبی بالا بودند.

گروه سوم شامل رقم خاوران، KSG11, KSG616, رقم ساوالان، KSG21, KSG613 و KSG40, KSG106 و رقم مارفونا بود. ژنوتیپ‌های این گروه عموماً دارای میانگین عملکرد غده پایین‌تر از میانگین جامعه مورد مطالعه بودند و پایداری نسبی عملکرد غده آنها در مقایسه با دیگر ژنوتیپ‌ها پایین‌تر بود (شکل ۱۰). گروه چهارم شامل کلون‌های KSG49 و KSG200 بود که عملکرد غده پایین‌تر از میانگین جامعه داشتند و پایداری عملکرد آنها نیز پایین بود. گروه پنجم شامل کلون‌های KSG57 و KSG48 بود که دارای میانگین عملکرد غده

در حد میانگین جامعه و پایداری عملکرد غده قابل قبول بودند (شکل ۱۰). نتایج تجزیه خوشه‌ای تا حدود زیادی منطبق بر نتایج ضریب برتری نسبی عملکرد غده و نمودار پراکنش ژنوتیپ‌ها بر اساس مقادیر اولین مؤلفه اصلی و میانگین عملکرد کل بود.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کلون‌ها و ارقام با عملکرد غده بالا عموماً دارای سازگاری خصوصی بودند، بنابراین برای افزایش بهره‌وری و بالا بردن میانگین عملکرد کشور امکان معرفی رقم سیب زمینی سازگار و دارای عملکرد غده پایدار وجود دارد. برتری عملکرد کلون KSG302 نسبت به رقم آگریا (شاهد) در همدان، کرج، اردبیل و اصفهان به ترتیب ۲۷/۶، ۲۷/۳، ۸ و ۵/۸ درصد بود و به دلیل دارا بودن پایداری عملکرد غده بالا، متوسط زودرس بودن (حدود ۱۰۷ روز)، دوره خواب طولانی (حدود ۱۰۳ روز) و میزان ماده خشک بالا (مناسب چپس) برای کشت بهاره در مناطق مختلف کشور مناسب است.

برتری عملکرد غده کلون KSG82 نسبت به رقم آگریا (شاهد) در مناطق همدان، مشهد و اصفهان به ترتیب ۴۱/۱، ۳۲/۴ و ۲۱ درصد بود و به دلیل دارا بودن پایداری عملکرد غده بالا، متوسط رس بودن (حدود ۱۱۴ روز)، دوره خواب طولانی (حدود ۱۰۵ روز)، شکل غده بیضی مایل به گرد و میزان ماده خشک بالا جهت تولید خلال برای کشت در مناطق بهاره مناسب است. برتری عملکرد کلون KSG31



شکل ۱۰- گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس عملکرد غده، اجزای عملکرد و برخی صفات کمی و کیفیت غده با استفاده از تجزیه خوشه‌ای

Fig. 10. Grouping of genotypes based on tuber yield, yield components and some quantitative and tuber quality using cluster analysis

بیضی و محتوای ماده خشک نسبتاً خوب برای تازه خوری و کشت در مشهد مناسب است. لازم به ذکر است که ضریب برتری نسبی کلون یاد شده نسبتاً خوب بود و در صورت نیاز می‌توان از آن جهت کشت در دیگر مناطق نیز بهره برد. برتری عملکرد غده کلون KSG48 نسبت به رقم آگریا (شاهد) در اردیبه ۹/۹ درصد بود و به دلیل دارا بودن پایداری عملکرد غده پایین، دوره خواب طولانی (حدود ۱۱۵ روز)، شکل غده بیضی مایل به گرد و محتوای ماده خشک بالا جهت تولید چیپس و خلال و کشت در اردیبه مناسب است. برتری عملکرد غده کلون KSG64 نسبت به

نسبت به رقم آگریا (شاهد) در مشهد، همدان و اصفهان به ترتیب ۴۱/۹، ۱۴/۴ و ۱۰/۴ درصد بود و به دلیل دارا بودن پایداری عملکرد غده بالا، متوسط/دیررس بودن (حدود ۱۲۱ روز)، دوره خواب طولانی (حدود ۱۰۴ روز)، شکل غده بیضی مایل به گرد و میزان ماده خشک بالا جهت مصارف مختلف (چند منظوره) و کشت در مناطق بهاره مناسب است.

برتری عملکرد غده کلون KSG23 نسبت به رقم آگریا (شاهد) در مشهد ۳۹/۱ درصد بود و به دلیل دارا بودن پایداری عملکرد غده پایین، متوسط/دیررس بودن (حدود ۱۲۳ روز)، دوره خواب طولانی (حدود ۱۱۵ روز)، شکل غده

بودن (حدود ۱۲۲ روز)، دوره خواب طولانی (حدود ۱۰۲ روز)، شکل غده گرد (شبهه رقم مارفونا) و میزان ماده خشک بالا می‌تواند جهت تولید چپس و خلال برای کشت در اصفهان و اردبیل مناسب است.

سپاسگزاری

نگارندگان بدینوسیله از مدیریت موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان‌های اردبیل، همدان، اصفهان، خراسان برای حمایت مالی و در اختیار قرار دادن امکانات مورد نیاز برای اجرای این پژوهش سپاسگزاری می‌کنند.

تعارض منافع

نگارندگان اعلام می‌نمایند که هیچ گونه تعارض منافی ندارند.

رقم آگریا (شاهد) در همدان ۲۶/۶ درصد بود و به دلیل دارا بودن پایداری عملکرد غده پایین، زودرسی (حدود ۱۰۴ روز)، دوره خواب طولانی (حدود ۱۰۸ روز)، شکل غده بیضی مایل به گرد و محتوای ماده خشک بالا می‌تواند جهت تولید چپس و خلال و کشت در همدان مناسب باشد. برتری عملکرد غده کلون KSG57 نسبت به رقم آگریا (شاهد) در اصفهان و اردبیل به ترتیب ۱۵/۶ و ۹ درصد بود و به دلیل دارا بودن پایداری عملکرد غده پایین، زودرسی (حدود ۱۰۵ روز)، دوره خواب نسبتاً خوب (شبهه رقم مارفونا و حدود ۹۵ روز)، شکل غده بیضی مایل به گرد و میزان ماده خشک بالا می‌تواند به صورت چند منظوره برای کشت در مشهد و اردبیل مناسب باشد. برتری عملکرد غده کلون KSG81 نسبت به رقم آگریا (شاهد) در اصفهان و اردبیل به ترتیب ۱۶ و ۶/۸ درصد بود و به دلیل دارا بودن پایداری عملکرد غده پایین، متوسط/دیررس

References

- Atlin, G.N., Baker, R.J., McRae, K.B. and Lu, X. 2000. Selection response in subdivided target regions. *Crop Science*, 40(1), pp.7-13. DOI: 10.2135/cropsci2000.4017
- Cocks, P. 1995. Genotype × site interactions in seed production, hard seed breakdown and regeneration of annual medics (*Medicago spp.*) in west Asia. *Journal of Agricultural Science-Cambridge*, 125(2), pp.199-209. DOI: 10.1017/S002185960008432X
- DeLacy, I.H., Cooper, M. and Basford, K.E. 1996. Relationships among analytical methods used to study genotype-by-environment interactions and evaluation of their impact on response to selection. *Theoretical and Applied Genetics*, 88(5), pp.561-72. DOI: 10.1007/BF01240919
- Ebdon, J.S. and Gauch, H.G. 2002. Additive main effect and multiplicative interaction

- analysis of national turfgrass performance trials: Interpretation of genotype x environment interaction. *Crop Science*, 42(2), pp.489-496. DOI: 10.2135/cropsci2002.4890
- Gauch, H.G. and Zobel, R.W. 1988.** Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. *Theoretical and Applied Genetics*, 76(1), pp.1-10. DOI: 10.1007/BF00288824
- Gauch, H.G. and Zobel, R.W. 1996.** Optimal replication in selection experiments. *Crop Science*, 36(4), pp.838-843. DOI: 10.2135/cropsci1996.0011183X003600040002x
- Hajibarat, Z., Saidi, A., Mousapour Gorji, A., Ghafari, M.R. and Zeinalabidini, M. 2023.** Stability analysis of potato yield using AMMI and GGE biplot under water deficit. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 24(1), pp.83-94 (in Persian). DOR: 20.1001.1.16807154.1402.24.1.7.2
- Hasani, F., Moslemkhany, K., Tahernezhad, Z. and Jazayeri, M.R. 2020.** Adaptation and yield stability evaluation of new potato genotypes using GGE biplot method. *Journal of Crop Breeding*, 12(35), pp.91-101 (in Persian). DOI: 10.52547/jcb.12.35.91
- Hassanpanah, D. 2011.** Analysis of G×E interaction by using the additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) in potato cultivars. *African Journal of Biotechnology*, 2(10), pp.154-158. DOI: 10.5897/AJB09.633
- Hassanpanah, D. and Hassanabadi, H. 2013.** Investigating the stability of tuber yield, quantitative and qualitative traits of promising potato genotype in Ardabil region. *Ecophysiology of Agricultural Plants journal*, 22(2), pp.219-234 (in Persian).
- Hassanpanah, D. and Hassanabadi, H. 2015.** Investigation of quantitative and qualitative traits and interaction effect of genotype × year in 13 advanced potato genotypes using GGE bi-plot and AMMI models. *Ecophysiology of Agricultural Plants journal*, 30(2), pp.149-168 (in Persian).
- Joshi, B.K., Gardner, R.G. and Panthee, D.R. 2011.** GGE biplot analysis of tomato F1 hybrids evaluated across years for marketable fruit yield. *Journal of Crop Improvement*, 25(5), pp.488-496. DOI: 10.1080/15427528.2011.587138
- Khan, A.A., Jilani, M.S., Khan, M.Q. and Zubair, M. 2011.** Effect of seasonal variation on tuber bulking rate of potato. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 21(1), pp.31-37.
- Lin, C.S. and Thompson, B. 1975.** An empirical method of grouping genotypes based on a linear function of the genotype-environment interaction. *Heredity*, 34(2), pp.255-263. DOI: 10.1038/hdy.1975.28

- Mohammadi, R. and Amiri, A. 2012.** Analysis of genotype \times environment interaction in rain-fed durum wheat of Iran using GGE-biplot and non-parametric Methods. *Canadian Journal of Plant Science*, 92(4), pp.757–770. DOI: 10.4141/CJPS2011-133
- Pérez, W., Salas, A., Raymundo, R., Huamán, Z., Nelson, R. and Bonierbale, M. 2001.** Evaluation of wild potato species for resistance to late blight. Pp.49–62. In: CIP Program Report 1999–2000, Research on Potato, Lima, Peru. International Potato Center.
- Perkinz, J.M. 1972.** The principal component analysis of genotype environmental interactions and physical measures of the environment. *Heredity*, 29(1), pp.51-70. DOI: 10.1038/hdy.1972.64
- Scavo, A., Mauromicale, G. and Ierna, A. 2023.** Genotype \times environment interactions of potato tuber quality characteristics by AMMI and GGE biplot analysis. *Scientia Horticulturae*, 310(6). 111750. DOI: 10.1016/j.scienta.2022.111750
- Vada, M.E. 1994.** Environmental Stress and its Impact on Potato Yield. Pp. 239-261. In: Bradshaw, J.E. and Mackay, G.R. (eds.) *Potato genetics*: CAB International. Wallingford, UK.
- Yan, W. and Hunt, L.A. 2001.** Interpretation of genotype \times environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Science*, 41(1), pp.19-25. DOI: 10.2135/cropsci2001.41119x
- Yan, W. and Rajcan, I. 2002.** Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*. 42(1), pp.11-20. DOI: 10.2135/cropsci2002.11100
- Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q. and Szlavnic, Z. 2000.** Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40(3), pp.597-605. DOI: 10.2135/cropsci2000.403597x
- Yan, W., Kang, M.S., Woods, S., Ma, B. and Cornelius, P.L. 2007.** GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 47(2), pp.643-655. DOI: 10.2135/cropsci2006.06.0374
- Yue, G., Pereng, S.K., Walter, T.L., Wassom, G.E. and Liang, G.H. 1990.** Stability analysis of yield in maize, wheat and sorghum and its implications in breeding programs. *Plant Breeding*, 104(1), pp.72-80. DOI: 10.1111/j.1439-0523.1990.tb00405.x

RESEARCH ARTICLE

Assessment of Adaptability and Tuber Yield Stability of New Potato Clones Using Multivariate Statistical Methods

**Mousapour Gorji^{1*} , D. Hasanpanah², Kh. Parvizi³, A. H. Jalali⁴
and R. Ahmadvand⁵**

1 and 5. Associate Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj. Iran.

2. Associate Professor, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ardabil, Iran.

3. Associate Professor, Hamadan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Hamadan, Iran.

4. Assistant Professor, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Esfahan, Iran.

ABSTRACT

Mousapour Gorji, A., Hasanpanah, D., Parvizi, Kh., Jalali, A. H. and Ahmadvand, R. 2023. Assessment of adaptability and tuber yield stability of new potato clones using multivariate statistical methods. *Seed and Plant*, 39, pp.411-435 (in Persian).

To study the adaptability and yield stability of 19 selected potato clones along with four cultivars, Agria, Marfona, Savalan and Khavaran a field experiment was carried out in randomized complete block design with three replications in five locations; Karaj, Ardabil, Hamadan, Esfahan and Mashhad, in 2015 and 2016. GGE Biplot based on environment scaling showed that Isfahan, Ardabil and Hamadan, respectively, were closer to the ideal location and KSG23, KSG82, KSG31, KSG64 and KSG300 clones with mean tuber yield of 30.71, 29.76, 29.38, 27 and 26.68 kg plot⁻¹ (nine square meters), respectively, were more suitable for being grown in ideal areas. The relative superiority coefficient of KSG23, KSG302, KSG81 and KSG107 clones were 2.87, 6.98, 7.81 and 12.49, respectively, and they had relatively good tuber yield stability. The relative superiority coefficient of KSG31, KSG82 and KSG64 clones were 18.07, 15.76 and 13.67, respectively, and almost similar to the Agria control (17.22) and they were superior to the Agria (control) for tuber yield. AMMI analysis revealed that the genotypes reacted differently in different environments and the sum of squares of the genotype × environment interaction was 4.8 times larger than that of the genotypes. KSG81, KSG64, KSG300 and KSG107 clones, and cv. Agria (control) had reasonable tuber yield stability. Based on the adaptability and tuber yield stability, KSG302, KSG82 and KSG31 clones were identified suitable for spring planting in different regions of Iran, KSG23 and KSG57 for Khorasan, KSG64 and KSG48 for Hamadan and Ardabil, respectively, KSG81 for Isfahan and Ardabil.

Keywords: Potato, tuber no. plant⁻¹, total tuber yield, marketable yield, storability.

Introduction

Evaluation of genotype \times environment interaction and selection of genotypes adapted to target environment is very important for plant breeders. Cultivars that have high yield stability and adaptability to different environments are suitable (Gauch and Zobel, 1988). The multivariate statistical methods are necessary to understand the different aspects of genotype \times environment interaction (Gauch and Zobel, 1988). To develop potato cultivars with high adaptability and tuber yield stability for different target environment, it is very important to increase the tuber yield stability and consider genotype \times environment interaction (Hajibarat, *et al.*, 2023). The aim of this research was to investigate the adaptability and tuber yield stability of new potato clones in different major potato production regions in Iran, and to select the superior clones adapted to the target environments for being released as new commercial potato cultivars.

Materials and Methods

In this research, 19 selected potato clones along with Agria, Marfona, Savalan and Khavaran commercial cultivars were evaluated in randomized complete block design with three replications in five regions of Karaj, Ardabil, Hamadan, Mashhad and Isfahan in Iran in 2015 and 2016. Each plot consisted of two rows with between row spacing of 75 cm and within row spacing of 25 cm, 75 and 25 cm. Tuber yield and yield components were measured and recorded. The adaptability and tuber yield stability were investigated using multivariable AMMI, GGE Biplot, and the relative superiority coefficient models. Potato genotypes were grouped using cluster analysis. Analyses were performed using SAS and GenStat softwares.

Results and Discussion

Combined analysis of variance showed that the effects genotype and location on total tuber yield were significant at the 5% level. The effect of year, genotype \times location, genotype \times year and interaction on tuber total yield were significant at the 1% probably level. Significant effect of genotype and environment and their interactions on tuber yield of potato have been reported by Hajibarat, *et al.*, (2023), Khan, *et al.*, (2011), and Hassanpanah (2011).

GGE Biplot analysis based on 10 environments (location and year) scaling showed that the first and second components explained 63.28% of the total variance. Ardabil 1 and 2, Isfahan 1 and 2, Hamadan 1 and Karaj 2 were closer to the ideal region and suitable for positive tuber yield selection. The results of GGE Biplot analysis for total tuber yield based on five environments (locations) scaling showed that the first and second components explained 58.13% of the total variance. Esfahan, Ardabil and Hamadan, respectively, were closer to the ideal region and suitable for positive tuber yield selection. Overall, two mega environments were identified for evaluating potato cultivars and clones. Mashhad 1 and 2 as one mega environment and Karaj 1 and 2, Ardabil 1 and 2, Isfahan 1 and 2 and Hamadan 1 and 2 were identified as another mega environment, which itself includes two smaller environments.

The results of the scatter GGE Biplot based on mean tuber yield and coefficient of variation showed that the tuber yield and variance of clones KSG82, KSG23, KSG31, KSG64 and KSG300 were higher than the grand mean with mean tuber yield of 30.71, 29.76, 29.38, 27 and 26.68 kg plot⁻¹ (9 square meters), respectively. The relative superiority coefficient of KSG23, KSG302, KSG81 and KSG107 clones were 2.87, 6.98, 7.81 and 12.49, respectively, and had good tuber yield stability. The relative superiority coefficient of KSG31, KSG82 and KSG64 clones were 18.07, 15.76 and 13.67, respectively, and almost similar to cv. Agria (17.22).

The results of AMMI analysis showed that 50.7% of the total sum squares are assigned to environmental effect, 8.5% to genotypic effect, and 40.8% to genotype × environment interaction. The sum squares of the genotype × environment interaction was 4.8 times larger than the sum squares of genotype, which indicates the different genotypic responses in different environments. KSG81, KSG64, KSG300 and KSG107 clones along with cv. Agria (control) had reasonable tuber yield stability. In this research, genotypes with high tuber yield in each environment usually had lower tuber yield stability. KSG302, KSG82, and KSG31 clones were identified suitable for spring planting in different potato growing regions in Iran, KSG23 and KSG57 clones for cultivation in Khorasan, KSG64 and KSG48 clones for cultivation in Hamedan and Ardabil, respectively, and KSG81 clone for cultivation in Isfahan and Ardabil regions. Hajjbarat, *et al.*, (2023) also identified superior potato clones by using multivariate statistical models.

References

- Gauch, H.G. and Zobel, R.W. 1988.** Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. *Theoretical and Applied Genetics*, 76(1), pp.1-10. DOI: 10.1007/BF00288824
- Hajjbarat, Z., Saidi, A., Mousapour Gorji, A., Ghafari, M.R. and Zeinalabidini, M. 2023.** Stability analysis of potato yield using AMMI and GGE biplot under water deficit. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 24(1), pp.83-94 (in Persian). DOR: 20.1001.1.16807154.1402.24.1.7.2
- Hassanpanah, D. 2011.** Analysis of G × E interaction by using the additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) in potato cultivars. *African Journal of Biotechnology*, 2(10), pp.154-158. DOI: 10.5897/AJB09.633
- Khan, A.A., Jilani, M.S., Khan, M.Q. and Zubair, M. 2011.** Effect of seasonal variation on tuber bulking rate of potato. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 21(1), pp.31-37.

Corresponding author: mousapour.gorji@gmail.com

Tel.: +982634852983

Received: 31 July 2023

Accepted: 09 November 2023



2023© Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.