مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۴ شماره ۱ صفحه‌های ۸۳ تا ۹۴ (۱۴۰۲)
مقاله پژوهشی

واکاوی پایداری عملکرد سیب زمینی با استفاده ازروش‌های AMMI وGGE بای–پلات تحت تنش کم‌آبیاری[1]

Stability Analysis of Potato Yield Using AMMI and GGE Biplot Under Water Deficit

زهره حاجی برات، عباس سعیدی*، احمد موسی پور گرجی، محمدرضا غفاری، مهرشاد زین العابدینی[2]

چکیده

برای ارزیابی برهمکنش نژادگان و محیط (GEI) و نژادگان‌های امید بخش، از ۶۰ نژادگان سیب‌زمینی در طی فصول رشد ۱۳۹۹-۱۳۹۸ استفاده گردید. به‌منظور شناسایی نژادگان‌های برتر سیب‌زمینی در پاسخ به کمبود آب، مدل‌های GGE بای‌پلات و AMMI تحت دو تیمار (تنش کم‌آبیاری و آبیاری کامل) همراه با دو رقم تجاری آگریا و سانته انجام شد. این آزمایش در هشت محیط (۲ تیمار ، ۲ مکان و ۲ سال) با استفاده از طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. واکاوی AMMI و GGE بای‌پلات نشان داد که نژادگان G21 نسبت به نژادگان‌های دیگر برای انتخاب نژادگان برتر تمایز بیشتری دارد. عملکرد غده نژادگان –های (90227) G21 ، (8708.177) G31، (KSG95) G44، (8707/861) G28 و (90127) G18 در همه محیط‌ها بالاتر بود. بهترین نژادگان‌های پیشنهادی برای معرفی براساس پایداری بیشتر آنها برای محیط هدف یا محیط‌های موازی است. در این مطالعه، با استفاده از واکاوی AMMI و GGE بای‌پلات، نژادگان‌های برتر شناسایی و انتخاب شدند.

واژه‌های کلیدی: سیب‌زمینی، تنش کم‌آبیاری ، پایداری عملکرد، برهمکنش نژادگان و محیط مورد آزمایش.

مقدمه

سیب‌زمینی، یک محصول غده‌ای غنی از کربوهیدرات بوده و یکی از ضروری‌ترین محصولاتی است که در بیش از ۱۶۰ کشور جهان کشت می‌شود (۱۷). ایران با کاشت سالانه حدود ۱۶۰.۰۰۰ هکتار با تولید بیش از ۵ میلیون تن به عنوان یکی از ۲۵ کشور برتر تولید کننده سیب‌زمینی در جهان محسوب می‌شود. سیب‌زمینی در طول چرخه زندگی خود در معرض تنش‌های غیرزیستی و زیستی است و به دلیل سیستم کم‌عمق ریشه، در معرض انواع تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی قرار می‌گیرد. خشکی دومین عامل اصلی کاهش عملکرد سیب‌زمینی پس از عوامل بیماری‌زا می‌باشد (۱۶). رشد سیب‌زمینی، مانند سایر محصولات، به فاکتورهای زیادی از جمله نژادگان (G)، محیط (E) و برهمکنش نژادگان و محیط بستگی دارد. برهمکنش نژادگان و محیط مربوط به صفات کمی مانند عملکرد است (۱۵). بنابراین، مطالعه ترکیبی از داده‌های نژادگان و برهمکنش نژادگان و محیط برای انتخاب نژادگان‌های برتر از علاقه‌های خاص به‌نژادگران بوده است (۲۳). برخی از مدل‌های آماری برای مطالعه برهمکنش نژادگان درمحیط، پایداری نژادگان‌ها و برهمکنش بین آنها در فرآیند رشد گیاهان استفاده شده‌است (۱۴، ۲۴). شاخص پایداری را می‌توان در دو گروه آماره پایداری تک متغیره و چند متغیره قرار داد (۷). در میان روش‌های چند متغیره،

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱/۱۵

۲- به‌ترتیب دانش آموخته دکتری و استاد گروه زیست فناوری گیاهی و بیوتکنولوژی، دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، دانشیار موسسه تحقیقات به‌نژادی و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، استادیار و دانشیار گروه زیست‌شناسی سیستم‌ها، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (abbas.saidi@gmail.com).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]
[DOR: 20.1001.1.16807154.1402.24.1.7.2]

واکاوی چند متغیره (AMMI) به طور گسترده‌ای برای برهمکنش نژادگان و محیط استفاده می‌شود. روش‌های مختلفی برای تعیین پایداری نژادگان‌ها و محیط‌ها پیشنهاد شده‌است. یک روش به‌تنهایی برای بررسی عملکرد رقم در محیط‌های مختلف نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. برای بررسی اثرات نژادگان، محیط، برهمکنش نژادگان و محیط و واکاوی الگوهای برهمکنش نژادگان و محیط، مدل‌های چند متغیره مانند مدل‌های AMMI و GGE بای‌پلات پیشنهاد شده است. برای افزایش دقت در شناسایی نژادگان‌ها، AMMI برای بررسی اثرات اصلی بوده و برهمکنش بین نژادگان و محیط را به درستی تعیین می‌کند (۹). یکی از ابزاری قدرتمند برای تحلیل و تفسیر مناسب داده‌های چند مکانه در برنامه‌های به‌نژادی AMMI است و برای درک برهمکنش نژادگان و محیط بسیار ارزشمند است (۱۴). به‌نژادگران گیاهان غالباً از AMMI برای تشریح برهمکنش بین نژادگان و محیط و واکاوی کارایی نژادگان‌ها و محیط‌های مورد آزمایش استفاده می‌کنند (۹). مدل AMMI از برهمکنش چندعاملی شامل ANOVA و واکاوی مولفه‌های اصلی (PCA) استفاده می‌کند که می‌تواند برای آزمایشات چند مکانه مورد استفاده قرار گیرد (۳). به منظور تعیین پایداری نژادگان‌ها، عملکرد بالا و پایدار در انواع محیط‌ها می‌بایست ترکیبی از PC1 و PC2 از نمودار GGEبای‌پلات را استفاده نمود (۲۳). بنابراین، برهمکنش نژادگان و محیط در انتخاب و پیشنهاد نژادگان‌ها تأثیر دارد.

از واکاوی AMMI و GGE بای‌پلات می‌توان برای انتخاب نژادگان‌های سیب‌زمینی پایدار در محیط‌های مختلف استفاده نمود (۱۸). تشخیص، انتخاب و تأیید بهترین نژادگان‌ها با برهمکنش نژادگان در محیط که به طور طبیعی در آزمایش‌های چند مکانه وجود دارد، پیچیده و به‌شدت محدود است (۲۱). دو مدل AMMI و GGE بای‌پلات به طور گسترده ای برای ارزیابی پایداری عملکرد محصولات عمده در سراسر جهان مانند جو، سیب‌زمینی شیرین، نیشکر و ذرت استفاده شده‌است (۸،۱۱،۲۰). استفاده از GGE بای‌پلات در مطالعه کیفیت غده‌های سیب‌زمینی نیز انجام شده است. از این روش‌ها برای ارزیابی پایداری نژادگان‌ها و شناسایی محیط‌های موردنظر استفاده می‌شود. در مطالعه حاضر، در مجموع ۶۰ نژادگان سیب‌زمینی برای بررسی عملکرد و پایداری نژادگان‌ها با دو مدل AMMI و GGE بای‌پلات در ۸ محیط (۲ تیمار 2 × مکان 2 × سال) در شرایط (نرمال و تنش کم‌آبیاری) استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

مکان و مواد گیاهی مورد کاشت

در این پژوهش ، ۶۰ نژادگان مختلف سیب‌زمینی شامل دو رقم آگریا و سانته و ۵۸ نژادگان امیدبخش تحت شرایط عادی و تنش کم‌آبیاری به مدت دو سال (۲۰۱۸ و ۲۰۱۹) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل و موسسه تحقیقات به‌نژادی و تهیه نهال و بذر کرج ، ایران آزمایش شدند. لیست نژادگان‌ها در جدول ۱ آورده شده‌است. آبیاری محدود یک مشکل جدی در اردبیل و کرج است. ۶۰ نژادگان سیب‌زمینی از بخش تحقیقات سیب‌زمینی از موسسه تحقیقات به‌نژادی و تهیه نهال و بذر، کرج، ایران دریافت شد. در این آزمایش، دو تیمار تنش کم‌آبیاری و آبیاری نرمال به عنوان شاهد اعمال شد. محل آزمایشات مزرعه‌ایی مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۲ آورده شده است. جهت کشت غده‌ها پشته‌هایی به فاصله ۷۵ سانتی‌متر و غده‌ها به فاصله ۲۰ سانتی‌متری از یکدیگر کشت شدند. به‌منظور تامین احتیاجات رشدی گیاه سیب‌زمینی به میزان ۲۵۰ کیلوگرم کود اوره و ۲۵۰ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم و ۱۵۰ کیلوگرم کود فسفات آمونیوم طی مراحل رشدی به خاک اضافه گردید. داده‌های هر تیمار براساس میانگین سه تکرار بود. همه نژادگان ها در یک قطعه یک ردیفی به طول ۵ متر با عرض کشت ۲۵ سانتی‌متر و فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر با ۱۴ بارآبیاری کشت شدند. تمام تیمارها تا زمان استقرار گیاه به‌خوبی آبیاری شدند، در حالی‌که تیمارهای تحت تنش فقط نیمی از میزان آبیاری نرمال را به‌عنوان تیمارهای شاهد دریافت کردند. مقدار آب مورد استفاده برای تیمارهای عادی و کمبود آب به‌ترتیب شامل ۹۰۰۰ متر مکعب و ۴۵۰۰ متر مکعب بود. مدت زمان و مقدار آبیاری اعمال شده از طریق کنتور نصب شده در هر بلوک تنظیم شد.

واکاوی آماری داده‌ها

واکاوی AMMI با استفاده از نرم‌افزار (https://scs.cals.cornell.edu/people/hugh-gauch/) AMMISOFT انجام گرفت. ANOVA اثر برهمکنش نژادگان در محیط را شناسایی کرده و منجر به واکاوی برهمکنش نژادگان در محیط با استفاده از

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1402.24.1.7.2]

مدل‌های بای‌پلات AMMI و GGE شد. برای برآورد داده‌های عملکرد و ایجاد بای‌پلات که اثرات اصلی و برهمکنش هر دو نژادگان و محیط را نشان می‌دهد، بهترین مدل آماری AMMI با استفاده از نرم افزار GEA-R انجام شد (۱۳).

جدول ۱- لیست نژادگان‌های سیب‌زمینی مورد استفاده در مطالعه.

Table 1. List of potato genotypes utilized in this study.

نام نژادگان Genotype name	کد نژادگان Genotype code	شجره Origin	محیط یک E1	محیط دوم E2	محیط سوم E3	محیط چهارم E4	محیط پنجم E5	محیط ششم E6	محیط هفتم E7	محیط هشتم E8
901675	G1	Caesar×Luca	2.50	3.42	1.93	2.65	3.17	3.36	2.92	5.40
902375	G2	Lota×Caesar	3.73	4.92	1.61	1.80	3.43	3.72	2.23	3.51
901375	G3	Caesar×Luca	3.16	4.39	2.21	2.62	3.40	3.69	3.30	5.33
901029	G4	Satina× Luca	3.34	4.70	0.89	1.08	2.69	2.42	2.12	3.85
905675	G5	Caesar× Luca	3.38	4.63	2.34	3.87	2.93	3.29	3.80	4.90
901575	G6	Caesar× Luca	3.49	4.86	1.46	2.22	2.92	3.13	3.18	4.21
901027	G7	Savalan × Luca	3.98	4.83	1.15	1.90	2.55	2.71	2.32	3.89
90827	G8	Savalan × Luca	4.50	6.31	2.08	2.47	3.12	3.27	1.98	3.96
90575	G9	Caesar× Luca	4.31	5.90	1.73	2.61	3.38	4.22	2.52	4.16
901124	G10	Caesar ×Savalan	2.25	4.32	1.93	2.17	3.27	3.98	2.14	3.85
90924	G11	Caesar ×Savalan	3.76	5.15	1.40	2.32	3.85	3.97	1.83	3.52
90424	G12	Caesar × Savalan	3.18	3.98	1.05	1.19	2.64	2.82	2.60	3.70
90624	G13	Caesar × Savalan	1.85	5.60	1.84	3.14	2.84	2.59	2.53	3.87
901627	G14	Savalan × Luca	3.13	6.26	1.70	1.88	2.79	2.46	2.90	4.90
901475	G15	Caesar × Luca	2.37	6.26	0.92	1.35	2.88	3.38	2.97	3.90
902127	G16	Savalan × Luca	3.45	4.72	2.37	3.95	2.88	3.00	2.18	3.90
901327	G17	Savalan × Luca	1.99	3.33	0.57	0.84	2.01	2.43	2.75	3.89
90127	G18	Savalan × Luca	3.84	5.26	2.24	3.76	2.96	3.13	2.84	4.12
90327	G19	Savalan × Luca	1.84	2.86	2.04	2.36	3.30	3.16	2.06	4.24
90375	G20	Caesar × Luca	2.58	4.89	1.22	1.54	3.24	3.35	2.70	4.32
90227	G21	Savalan × Luca	5.79	7.93	2.17	2.72	3.67	3.94	2.71	3.73
90527	G22	Savalan × Luca	3.02	5.39	2.79	3.93	3.11	3.22	2.60	3.43

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1402.24.1.7.2]

7009/3	G23	Caesar ×Agria	3.79	5.99	1.56	2.36	2.82	3.14	2.67	4.06
8708/133	G24	Caesar × Savalan	1.73	2.48	1.79	2.02	2.40	3.15	2.45	5.04
8702/7	G25	Caesar × Kenebec	2.14	2.84	1.87	2.99	2.06	3.07	2.30	3.33
8707/29	G26	Caesar ×Agria	1.47	3.38	1.48	2.09	2.70	3.07	2.53	3.92
8707/55	G27	Caesar ×Agria	2.66	3.48	1.91	3.30	2.12	2.74	2.51	3.45
8707/861	G28	Caesar ×Agria	2.85	3.56	0.88	1.06	2.83	3.79	2.60	4.06
8702/8004	G29	–	2.06	3.02	1.30	2.15	2.88	3.74	3.11	4.47
8707/83	G30	Caesar ×Agria	2.37	3.18	2.78	3.35	3.05	3.64	2.36	3.76
8708/177	G31	Caesar Savalan×	2.22	4.12	4.03	6.50	3.16	3.55	2.49	4.44
Satina	G32	–	3.70	5.07	1.96	2.75	2.81	3.79	2.55	3.97
8707/26	G33	Caesar ×Agria	1.31	3.09	1.82	2.33	2.87	3.74	2.49	3.85
Agria	G34	–	1.96	2.69	2.57	2.89	2.67	3.05	2.25	3.94
8703/1	G35	Agria×Savalan	2.88	5.21	1.24	1.81	2.98	2.65	2.29	3.33
8708/106	G36	Caesar × Savalan	1.75	4.82	1.84	2.79	3.04	3.67	2.28	4.22
8707/12	G37	Caesar ×Agria	2.27	4.87	2.73	4.15	2.63	3.18	2.20	3.98
8708/2	G38	Caesar ♂×♀ Savalan	1.93	3.81	0.99	1.46	3.33	3.11	2.42	3.70
8708/217	G39	Caesar × Savalan	0.65	5.49	1.64	2.29	2.37	3.05	2.29	3.79
8707/112	G40	Caesar×Agria	2.68	5.69	2.10	3.20	2.79	3.29	2.04	3.41
8707/29	G41	Caesar ×Agria	1.47	3.38	1.48	2.09	2.47	2.73	2.28	3.77
8707/26	G42	Caesar ×Agria	1.31	3.09	1.82	2.33	3.49	3.38	2.15	4.04
KSG64	G43	Caesar × Savalan	1.09	1.48	0.53	0.35	1.85	2.00	1.81	3.01
KSG95	G44	Caesar × Savalan	0.41	0.47	1.65	2.22	2.46	2.74	2.26	4.13
KSG23	G45	Caesar × Savalan	1.10	1.31	1.18	1.73	2.65	3.11	2.35	3.68
KSG82	G46	Savalan × Caesar	1.25	1.94	1.51	2.97	3.03	3.59	2.56	3.52
KSG49	G47	Caesar × Savalan	0.97	2.96	1.06	1.43	2.02	2.61	1.96	3.32
KSG613	G48	Caesar ×Agria	0.89	1.71	0.84	1.86	3.03	3.39	2.30	3.27

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1402.24.1.7.2]

KSG81	G49	Caesar × Savalan		0.78	1.07	1.18	2.24	3.20	3.25	1.52	2.74
KSG21	G50	Caesar × Savalan		1.52	3.18	0.94	0.51	2.25	2.63	2.06	3.80
KSG31	G51	Caesar × Savalan		1.32	1.76	1.85	3.06	2.24	3.04	2.85	2.50
KSG61 6	G52	Caesar ×Savalan		0.96	1.20	1.57	1.39	2.01	2.10	1.89	2.97
KSG69	G53	Caesar × Savalan		0.94	1.63	1.58	2.72	2.10	2.29	1.72	3.21
KSG10 6	G54	Caesar ×Savalan		1.38	2.98	0.88	1.85	2.56	2.73	2.20	3.96
KSG30 2	G55	Savalan × Caesar		0.77	1.17	1.01	0.78	2.50	2.56	2.08	3.12
KSG57	G56	Caesar × Savalan		0.86	1.10	1.69	2.05	2.84	2.63	2.06	3.39
KSG48	G57	Caesar ×Savalan		0.84	1.42	1.37	0.89	2.65	2.33	1.81	3.47
KSG40	G58	Caesar × Savalan		1.20	1.65	0.85	2.16	2.12	2.46	1.81	3.36
KSG11	G59	Caesar ×Savalan		1.40	2.80	2.00	2.67	2.36	2.34	1.33	4.30
KSG20 0	G60	Boren × Savalan		1.48	2.14	1.84	2.66	2.29	2.22	1.46	2.96

واکاوی آماری

ارزیابی مدل AMMI

مدل AMMI برای نژادگان iام در محیط jام،

$$Yij = \mu + Gi + Ej + \sum_{k=1}^{n} \lambda k \alpha ik \gamma jk + \theta_{ij},$$

که در آن، Yijعملکرد غده نژادگان i در محیط j است، μ میانگین و Gi انحراف نژادگان i از μ است، Ej اثر اصلی محیط به عنوان انحراف از μ، λk مقدار واحد برای برهمکنش مولفه اصلی تعامل (IPC) محور k و αik و γjk اسکورهای نژادگان و محیطی IPC (یعنی بردارهای منفرد چپ و راست) برای محور k هستند. مولفه‌های اصلی GGE بای پلات (۲۷، ۲۸)، بر اساس SVD است و به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$\bar{Y}_{ij} - \mu_i - \beta_j = \sum_{k=1}^{n} \lambda k \alpha ik \gamma jk + \epsilon ij$$

$\bar{Y}ij$ کارایی نژادگان i در محیط j است، μ میانگین کل است، βj اثر اصلی محیط j است، k تعداد اجزای اصلی (PC) است λk . مقدار منفرد kام PC است. αik و γjk به ترتیب اسکورهای نژادگان و محیطjام به‌ترتیب برای PCk هستند و εij باقی‌مانده مرتبط با نژادگانiام در محیطjام است.

AMMI شامل یک خانواده مدل با AMMI0، AMMI1، AMMI2 و غیره است که قبل از انتقال اجزای بالاتر به یک باقی‌مانده کنار گذاشته شده ، اجزای اصلی تعامل ۰ ، ۱ ، ۲ یا بیشتر را حفظ می‌کند سرانجام، مدل کامل AMMIF برابر است با داده‌های واقعی (یا به طور متوسط بیش از تکرارها)، بنابراین باقی‌مانده وجود ندارد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1402.24.1.7.2]

جدول ۲- موقعیت جغرافیایی محیط‌های مورد آزمایش در این مطالعه.

Table 2. The geographical location of the tested sites in this study.

محیط Environment	مکان Sites	سال Year	رژیم آبیاری Irrigation Regime	ارتفاع از سطح دریا (m) Altitude	عرض جغرافیایی Latitude (N)	طول جغرافیایی Longitude (E)
محیط یکE1	کرج Karaj	2018	Water deficit کم آبیاری	1,313	35°55´	50°54´
محیط دو E2	کرج Karaj	2018	Normal نرمال	1,313	35°55´	50°54´
محیط سوم E3	کرج Karaj	2019	Water deficit کم آبیاری	1,313	35°55´	50°54´
محیط چهارم E4	کرج Karaj	2019	Normal نرمال	1,313	35°55´	50°54´
محیط پنجم E5	Ardabil اردبیل	2018	Water deficit کم آبیاری	1,350	20' 48 °	15' 38°
محیط ششم E6	Ardabil اردبیل	2018	Normal نرمال	1,350	20' 48 °	15' 38°
محیط هفتم E7	Ardabil اردبیل	2019	Water deficit کم آبیاری	1,350	20' 48 °	15' 38°
محیط هشتم E8	Ardabil اردبیل	2019	Normal نرمال	1,350	20' 48 °	15' 38°

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که واکاوی GGE بای‌پلات و AMMI در طبقه‌بندی نژادگان و ارقام سیب‌زمینی با عملکرد و پایداری بالا در محیط‌های مورد مطالعه ارزشمند هستند. هر مکان نماینده چندین استان و ناحیه در ایران است و به همین ترتیب نتایج حاصل از این محیط‌ها می‌تواند به یک منطقه بزرگتر از کشور ارجاع شود. میانگین عملکرد نژادگان‌ها از ۰/۴۱. تا ۷/۹۳ کیلوگرم بر مترمربع در محیط‌ها متفاوت بود. نژادگان G21 بیشترین عملکرد و نژادگان G44 کم‌ترین عملکرد را داشتند. اکثر نژادگان‌ها حداکثر عملکرد را در محیط‌های E2 و E1 داشتند، در حالی‌که کم‌ترین عملکرد نژادگان‌ها در E6 و E7 بود.

واکاوی واریانس

واکاوی AMMI برای عملکرد غده ۶۰ نژادگان سیب‌زمینی مورد مطالعه در هشت محیط انجام شد. واکاوی AMMI اختلافات قابل توجهی را برای محیط، نژادگان و برهمکنش نژادگان در محیط تشخیص داد. واکاوی واریانس AMMI نشان داد که ۲۵/۸۱٪ از مجموع مربعات (SS) برای عملکرد غده با استفاده از نژادگان ۶/۰۲ ٪ و ۸/۵۱٪ از کل مربعات به ترتیب با اثرات محیط و برهمکنش نژادگان و محیط برآورد شده است. در مطالعه حاضر، مجموع مربعات برهمکنش نژادگان و محیط (۶۶۵/۴۸۰۱۷) تقریباً ۱/۱۱ برابر (۶۰۲/۱۵۶) کل مربعات نژادگان بود که نشان می‌دهد واکاوی AMMI ارزشمند است. در این مطالعه، پاسخ نژادگان‌های سیب‌زمینی به شرایط محیطی توسط مدل AMMI بر اساس تغییرات عملکرد غده بررسی شد. مطابق با گزارشی نشان داده شد که اگر مجموع مربعات (SS) برای مجموع مربعات برهمکنش بین نژادگان و محیط (SSGES) حداقل باشد، واکاوی AMMI بسیار ارزشمند است. درصد بالایی از واریانس مربوط به محیط (۴۹/۴٪)، نژادگان (۱۵/۴٪) و اثر برهمکنش نژادگان در محیط (۱۷/۴٪) برای عملکرد ریشه در سیب‌زمینی شیرین گزارش شده‌است (۴).

مگامحیط‌ها با داشتن نژادگان‌های برتر مختلف شناخته شده‌اند. نژادگان‌های برتر در مدل‌های AMMI در جدول ۳ ارائه شده‌اند. همانطور که در جدول ۳ امده است نژادگان‌های بالا و پایین جدول برهمکنش نژادگان و محیط متضادی با هم دارند. واکاوی مگا محیط بیشتر برای داده‌های آزمایش عملکرد استفاده شده‌است که مقادیر بزرگتر برای آنها بهتر است. به طور کلی، از AMMI1، الگویی مناسب برای توصیف مگا محیط استفاده شد. با این حال، پس از شناسایی نژادگان برتر در هر یک از هشت

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1402.24.1.7.2]

محیط توسط مدل AMMI، از دقیق‌ترین مدل از این خانواده‌ها، یعنیAMMI3، برای تخمین عملکرد نژادگان‌های برتر استفاده شد.

جدول ۳- نژادگان‌های برتر برای مدل AMMI.

Table 3. Winner genotypes for AMMI Model Family.

	خانواده مدل AMMI							AMMI Model Family
نژادگان Genotype	0	1	2	3	4	5	6	F
G21	8	2	2	3	2	2	2	2
G9						1	1	
G11				1	2	2	1	1
G3			4	2	2	1	1	
G5						1	1	1
G1								1
G31		6	2	2	2	2	2	2
Mega environment مگامحیط	1	2	3	4	5	6	7	6

۵۳ نژادگان هرگز برنده نشدند، بنابراین آنها فهرست نشده اند.

53 genotypes never won, so they are not listed.

مدل‌های AMMI در سمت چپ جدول بهترین مدل AMMI است. جدول فوق نژادگان‌های برتر و در نتیجه طیف وسیعی از انتخاب‌ها از AMMI0 تا AMMIF را نشان می‌دهد. بدین ترتیب، در هنگام انتخاب مناسب‌ترین نژادگان از خانواده مدل AMMI برای استفاده برای یک مجموعه داده مشخص، ارتباط بین توضیحات آماری و عملی را روشن می‌کند.

بر اساس نتایج ما، دو مگا محیط از طریق مدل AMMI1 توضیح داده شد. مگا محیط شامل E1 و E2 بوده که در آن نژادگان G21 برترین نژادگان بود، در حالی‌که E5 ، E7 ، E6 ، E8 ، E3 و E4 مگا محیط دو را تشکیل داده و G31 به عنوان نژادگان برتر شناخته شد. علاوه بر این، G21 و G31 با ۲ مگا محیطی که توسط AMMI1 مشخص شده نیز به عنوان نژادگان برتر شناسایی شدند.

جدول ۴- نژادگان های برتر براساس مدل‌های AMMI برای نژادگان‌های سیب‌زمینی.

Table 4. Winning genotypes based on AMMI family of models for the potato dataset.

		AMMI1 Ranks					AMMIF Ranks				
محیط Environment	Ratio نسبت	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
محیط دوم E2	1.0000	21	8	9	23	14	21	8	14	15	23
محیط یک E1	1.0000	21	8	9	23	14	21	8	9	7	18
محیط پنجم E5	1.0855	31	5	21	3	9	11	21	42	2	3
E7 محیط هفتم	1.1366	31	5	3	21	9	5	3	6	29	15
محیط ششم E6	1.1170	31	5	3	21	9	9	10	11	21	32
محیط هشتم E8	1.1233	31	5	3	21	9	1	3	24	14	5
محیط سوم E3	1.7492	31	5	3	1	30	31	22	30	37	34
محیط چهارم E4	1.6851	31	5	3	1	30	31	37	16	22	5

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1402.24.1.7.2]

در جدول فوق، محیط‌ها به صورتی بررسی شده‌اند که از بالا و پایین جدول دارای الگوهای متقابل برهمکنش نژادگان با محیط هستند. نسبت (Ratio) عملکرد نژادگان برتر در هر محیط تقسیم بر عملکرد نژادگان‌های برتراست با هر دو عملکرد توسط مدل AMMI1 برآورد شد که برای نژادگان برتر به طور کلی برابر با ۱ است. این نسبت اهمیت سازگاری نژادگان‌ها را ارزیابی می‌کند که ناشی از برهمکنش نژادگان با محیط است.

براساس نتایج حاصل از این پژوهش، نژادگان‌ها و محیط‌ها در جدول ۴ به گونه‌ای ذکر شده‌اند که نژادگان‌های موجود در بالا و پایین جدول دارای الگوهای برهمکنش نژادگان در محیط متضاد هستند. این بدان معنی‌است که یک نژادگان در بالای جدول ۳ دارای هم‌بستگی مثبت با برهمکنش نژادگان در محیط در بالای جدول ۴ و هم‌بستگی منفی با برهمکنش محیط در نژادگان با محیط‌های پایین جدول ۴ دارد. بنابراین، نژادگان ۲۱ (G21) دارای GE مثبت با محیط E1 و E2 و هم‌بستگی منفی نژادگان با محیط E3 و E4 دارد. در حالی‌که نژادگان ۳۱ (G31) هم‌بستگی مثبت با برهمکنش نژادگان و محیط E3 و E4 و دارای هم‌بستگی منفی با برهمکنش نژادگان و محیط E1 و E2 داشت. در گزارشی نشان داده‌شد که واکاوی AMMI بهترین مدل برای بررسی برهمکنش نژادگان و محیط در ذرت بود (۱۰). در این مطالعه، نشان داده‌شد که واکاوی AMMI وGGE بای‌پلات بهترین مدل برای شناسایی نژادگان‌های برتر سیب‌زمینی در پاسخ به خشکی هستند که با یافته‌های گزارش شده توسط Mitrović و همکاران (۱۰) مطابقت داشت. علاوه بر این، مطالعه دیگری نشان داد که هر دو مدل AMMI و GGE بای‌پلات نتایج مشابهی در نژادگان‌های گندم نان داشتند (۵).

واکاوی GGE بای پلات

برای عملکرد غده، واکاوی GGE بای پلات دو مولفه اصلی اول و دوم ۵۸/۰۷ ٪ و ۱۶/۱۹٪ از کل برهمکنش نژادگان و محیط را به خود اختصاص دادند (شکل ۱). الگوی چند ضلعی شکل ۲ برهمکنش نژادگان و محیط از ۶۰ نژادگان سیب‌زمینی با هشت محیط است. این چند ضلعی با پیوستن خطوطی که از مبدأ منشا بای‌پلات فاصله دارند، به گونه‌ای تشکیل شده‌است که تمام خطوط دیگر در چند ضلعی گنجانده شده‌اند. یافته‌های ما نشان داد که نژادگان‌های G44، G4، G44، G43، G21 و G31 رفتار بسیار مشابهی در محیط‌ها نشان می‌دهند. شکل ۲ گروه بای‌پلات را به شش بخش تقسیم کرده و همه محیط‌ها به دو محیط بزرگ تقسیم شده‌اند. بنابراین، اردبیل (E5، E6 ، E7وE8) و کرج (E1، E2 ، E3 وE4) برای دو سال در دو بخش قرار گرفتند. برای عملکرد غده، واکاوی GGE بای‌پلات"کدام برای کجا مناسب است[1]" نژادگان‌های G21، G31 ، G43، G4وG44 را در یک بخش قرار داد. یافته‌های ما نشان داد که این نژادگان‌ها از نظر عملکرد غده به‌خوبی با تنش کم‌آبیاری سازگاری دارند. برای عملکرد، نژادگان G21 در نزدیکی محیط‌های طبیعی نرمال در GGE بای‌پلات "کدام برای کجا مناسب است" واقع شد (شکل ۱). داده‌ها برای ۶۰ نژادگان در طی دو سال در تمام محیط‌های مورد آزمایش و برای نمایش گرافیکی مختصات محیطی متوسط (AEC) و "کدام برای کجا مناسب است" برای عملکرد غده مورد واکاوی قرار گرفت (شکل ۱). این نتایج با نتایج AMMI1 مطابقت داشت. در نمودار "کدام برای کجا مناسب است" برای نمودار GGE بای‌پلات، یک چند ضلعی با اتصال نژادگان‌هایی که از منشا دورتر هستند و همه نژادگان‌ها توسط چند ضلعی احاطه شده‌اند ایجاد می‌شود (شکل ۱). در این مطالعه، دو محیط بزرگ (مگا محیط) برای عملکرد غده مشخص شد. یک مگا محیط پنج مکان شامل کرج (E1) و (E2) و اردبیل (E5) و (E7) و (E8) و مگا محیط دوم شامل کرج (E4) و (E3) و مکان اردبیل (E6) بود. محیط‌های بزرگ در بخش‌های مختلف بای‌پلات قرار گرفتند. بای‌پلات چهار بخش از جمله تمام محیط‌های مورد آزمون در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ را نشان داد و در نتیجه دو مگا محیط تعیین شد: یک مگا محیط دارای سه مکان بود و مگا محیط دیگر شامل پنج مکان بود. محل قرارگیری نژادگان‌ها بر روی رئوس چند ضلعی در نمودار "کدام برای کجا مناسب است" بهترین یا کم‌ترین عملکرد هر نژادگان را در محیط‌های مورد آزمایش نشان می‌دهد (۲۳). شکل چند ضلعی به مقایسه چشمی فاصله بین نژادگان‌ها و محیط کمک می‌کند (۲۳).

پایداری نژادگان ها

میانگین هماهنگی محیط (AEC) [2] محیط آزمایش را برای بررسی عملکرد نژادگان ها رتبه‌بندی می کند. با توجه به نتایج ما، نژادگان‌ها موقعی پایدار در نظر گرفته شدند که کوتاه‌ترین اندازه را از AEC داشته باشند. بر این اساس،

۱- which-won-where ۲- Average Environment Coordination

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1402.24.1.7.2]

G21 ، G9 و G10و G18 با کوتاه‌ترین بردار از محور AEC پایدارترین نژادگان‌ها شناخته شدند. در حالی‌که G31، G19 و G12 با بلندترین بردار از AEC ناپایدارترین نژادگان‌ها بودند. همچنین، نژادگان‌های ایده‌آل دارای اسکورهای PC1 بزرگ (میانگین عملکرد بالا) با اسکور PC2 کوچک (پایداری بالا) بودند. بنابراین، در این مطالعه نژادگان‌های G6، G25، G16، G23و G34 اسکور PC1 بزرگتر و PC2 کوچک‌تر داشتند که نشان می‌دهد نژادگان‌های با عملکرد بالا و پایدار هستند (شکل ۲).

میانگین کارایی و پایداری نژادگان‌ها در شکل ۳ آورده شده است. نژادگان‌های G21، G18، G22 و G10 با کوتاه‌ترین بردار از محور AEC به عنوان پایدارترین نژادگان‌ها شناخته شدند در حالی‌که G31 ، G15و G4 با بلندترین بردار از AEC بی ثبات‌ترین نژادگان‌ها بودند. بنابراین، G6 وG23 ، G34، G16 و G25 عملکرد غده کمتری را نشان داد در حالی‌که G29، G26 ، G30 و G28 عملکرد غده بالاتری را در تمام محیط‌ها به دست آورند.

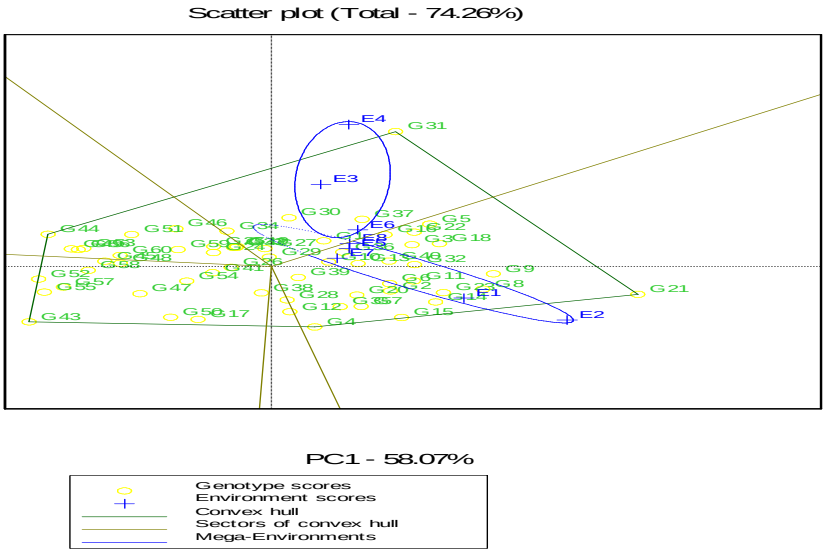

Fig. 1. The which-won-where GGE biplot for tuber yield of 60 potato genotypes under 8 environments (E).

شکل ۱- بای‌پلات کدام برای کجا (GGE) مناسب است برای عملکرد ۶۰ نژادگان سیب زمینی در ۸ محیط مورد آزمایش.

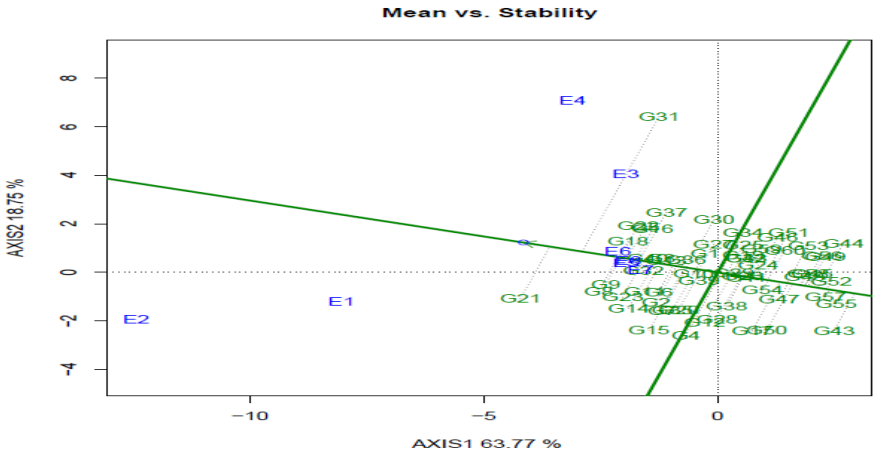

Fig. 2. GGE biplot of potato genotypes for tuber yield and specific G*E interactions in eight environments.

شکل ۲- GGE بای‌پلات نژادگان‌های سیب‌زمینی برای عملکرد غده و برهمکنش نژادگان و محیط مورد آزمایش در هشت محیط مورد آزمایش.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1402.24.1.7.2]

موقعیت نژادگان روی زاویه چند ضلعی در بای‌پلات "کدام برای کجا مناسب است" عملکرد بالا یا پایین عملکرد هر نژادگان را نشان می‌دهد. میانگین هماهنگی محیط(AEC) ، محیط مورد آزمایش را برای بررسی عملکرد نژادگان‌ها رتبه‌بندی می‌کند. گزارش شده‌است که خط AEC برای ارزیابی عملکرد غده و پایداری نژادگان‌ها مفید است (۷، ۲۲). بر اساس یافته‌های ما، نژادگان‌ها در صورت نزدیک بودن به منشا با کوتاه‌ترین بردار از AEC نژادگان پایدار در نظر گرفته شدند. بنابراین، نمودار ۴ در این مطالعه میانگین کارایی و پایداری نژادگان‌ها را نشان می‌دهد. AEC خطی است که برای ارزیابی میانگین عملکرد دانه و پایداری نژادگان‌ها می‌تواند ارزشمند باشد. بر اساس نتایج یک مطالعه، نژادگان‌ها زمانی پایدار در نظر گرفته می‌شود که نژادگان‌ها با کوتاه‌ترین بردار از AEC نزدیک به مبدا قرار گرفته باشند. نژادگان‌های پایدار تنها زمانی مطلوب هستند که دارای بازدهی بالایی باشند و نزدیک به محل نژادگان ایده آل در GGE بای‌پلات قرار بگیرند (۲۲). بر این اساس، G21، G9 و G8 با کوتاه‌ترین بردار از محور AEC به عنوان پایدارترین نژادگان‌ها محسوب شدند در حالی‌که نژادگان‌های G31، G19، G12 و G9 با طولانی‌ترین بردار از AEC ناپایدارترین نژادگان‌ها بودند.

براساس نتایج برخی پژوهشگران، ارقام ایده‌آل دارای اسکورهای PC1 بالا و اسکور PC2 کوچک هستند (۲). درک تأثیر برهمکنش نژادگان و محیط برای اهداف به‌نژادیی، برای تشخیص مکان‌های آزمایش ایده آل و توصیه نژادگان‌های پایدار بسیار مفید است. در میان نژادگان‌های سیب‌زمینی، نژادگان‌هایی با عملکرد بالا مانند G5، G31، G21، G18 و G4 بر اساس پایداری و عملکرد غده با میزان عدد PC1 کم و عملکرد بالا توصیه کرد. در GGE بای‌پلات برای طبقه‌بندی نژادگان‌های پایدار در محیط‌ها و طبقه‌بندی بهترین نژادگان‌ها برای مگا محیط متنوع بسیار مهم است (۳،۱۷). یافته‌های ما نشان داد که دو مدل AMMI و GGEاز نظر سازگاری خاص با شرایط محیطی نتایج یکسانی دارند. کارآیی و موفقیت چنین انتخابی به کارایی نژادگان‌ها در محیط‌های مختلف بستگی دارد (۶). بنابراین، نژادگان‌ها برای ارزیابی سازگاری و پایداری آنها در محیط‌های مختلف مکمل یکدیگر هستند (۵).

بهترین نژادگان برای یک محیط خاص حداکثر عملکرد را دارد و در آن محیط خاص بهترین واکنش را نشان می‌دهد، در حالی‌که در سایر محیط‌ها پایداری کمتری دارد و بنابراین باید برای یک محیط خاص پیشنهاد شود (۱). بنابراین، در این مطالعه، G6، G25، G16، G23 و G34 که دارای میزان PC1 بالاتر و میزان PC2 کوچکتر بودند ، دارای عملکرد بالا و پایدار بودند. هنگامی که محیط ها ارتباط مثبتی باهم دارند، انتظار می‌رود عملکرد نژادگان در یک محیط مشابه عملکرد درمحیط-های دیگر باشد. بنابراین، می‌توان پیشنهاد کرد که در چنین مواردی می‌توان از هر دو محیط به عنوان محیط آزمایش استفاده کرد (۲۲، ۲۵). ارزیابی محیط‌های مورد آزمایش در ارزیابی چند مکانه و جند زمانه نه تنها ضروری بوده بلکه برای شناسایی نژادگان با سازگاری گسترده‌تر با مناطق خاص آب و هوایی نیز ضروری است. عملکرد غده بسیار تحت تأثیر تغییرات نژادگان و شرایط محیطی قرار گرفته و شناسایی نژادگان برتر در پاسخ به خشکی برای انتخاب و رهاسازی رقم مهم است. بر اساس دو مدل AMMI وGGE بای‌پلات، نشان داده‌شد که نژادگان G21، G1، G31 و G18 بسیار پایدار بوده و با محیط‌های خاص سازگار هستند. بهره‌گیری از واکاوی مدل‌های AMMI و GGE بای‌پلات در برنامه های به‌نژادیی، که در آن سازگاری خاص را می‌توان به عنوان هم‌زمانی مثبت فنولوژی گیاهان با کمبود آب در نظر گرفت، در شناسایی نژادگان سازگار و پایدار در محیط‌های متنوع بسیار ارزشمند است (۱۹).

نتیجه گیری

به‌طور خلاصه، واکاوی AMMI وGGE بای‌پلات وجود برهمکنش نژادگان و محیط موردآزمایش را در بین ۶۰ نژادگان سیب‌زمینی نشان داد. نتایج نشان داد که نژادگان G21 پایدارترین نژادگان و دارای بالاترین عملکرد در پاسخ به تنش کم‌آبیاری نشان داد. نژادگان‌های کاندیدای سیب-زمینی (90227) G21، (8708.177) G31 ، G44 (KSG95)، (8707/861) G28 و (90127) G18 عملکرد غده زیادی را در تمام محیط های آزمایش (آبیاری کامل و تنش کم آبیاری) تولید کردند. استفاده از سایر روش‌های پایداری در ارزیابی پایداری نژادگان‌های سیب‌زمینی در محیط های در نظر گرفته شده ارزشمند به نظر می‌رسند. عملکرد غده صفت پیچیده‌ایی بوده که تحت تأثیر عوامل

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1402.24.1.7.2]

مختلفی به‌همراه محیط به طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت تأثیر قرار می‌گیرد. بر اساس نتایج این آزمایش، نژادگان G21و G31 می‌توانند برای تولید کارآمد برای کشت مداوم در مناطق مختلف تحت تنش خشکی استفاده شوند. این نژادگان می‌توانند به‌عنوان منابع ژنتیکی مفید برای تولید پایدار سیب‌زمینی و برای اهداف به‌نژادیی در پاسخ به تنش استفاده شوند.

References منابع

1. El Meskaoui, A .2013. Plant Cell Tissue and Organ Culture Biotechnology and its application in Medicinal and aromatic plants. Med. Aroma. Plants. 50:147-151.
2. Fougat, R.S., C. Joshi, K. Kulkarni, S. Kumar, A. Patel, A. Sakure, and J. Mistry. 2014. Rapid development of microsatellite markers for Plantago ovata Forsk.: using next generation sequencing and their cross-species transferability. Agriculture, 4:199-216.
3.Gauch, J.R H.G.1992. Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs. Elsevier Science; 1st edition (November 20, 1992).705–715
4. Gurmu, F., S. Hussein, and M. Laing. 2018. Combining ability, heterosis, and heritability of storage root dry matter, beta-carotene, and yield-related traits in sweet potato. HortScience, 53: 167-75.
5. Kandus, M., D. Almorza, R. Boggioronceros, and Jc Salerno .2010. Statistical models for evaluating the genotype-environment interaction in maize (*Zea mays* L.). Phyton-Revista Internacional de Bot. Exp.. 1: 39.
6. Kouchaki, A.R.L. Tabrizi, and Mm Nasiri. 2005. Organic cultivation of Plantago ovata and Plantago psyllium in response to water stress. Iran. J. Field Crops Res. 2:67.
7. Lin, Cs. and M.R. Binns. 1988. A superiority measure of cultivar performance for cultivar× location data. Can. J. Plant Sci. 68: 193-198.
8. Makongwana, Mp .2016. GGE-Biplot and genetic diversity analysis of maize hybrids and inbred lines from the breeding program at UKZN. B Sc. Agric (Hons) University of KwaZulu-Natal Pietermaritzburg, South Africa. 50-60.
9. Agahi, K., J. Ahmadi, H.A. Oghan, M.H. Fotokian, and S.F. Orang .2020. Analysis of genotype× environment interaction for seed yield in spring oilseed rape using the AMMI model. Crop Breed. Appl. Biotechnol. 27: 20.
10. Mitrović, B., D. Stanisavljević, S. Treskić, M. Stojaković, M. Ivanović, G. Bekavac, and M Rajković. 2012. Evaluation of experimental maize hybrids tested in multi-location trials using AMMI and GGE biplot analyses. Turkish J. Field Crop. 17: 35-40.
11. Ngailo, S., H. Shimelis, J. Sibiya, K. Mtunda, and J. Mashilo. 2019. Genotype-by-environment interaction of newly- developed sweet potato genotypes for storage root yield, yield-related traits and resistance to sweet potato virus disease. Heliyon. 5: 01448.
12. Obidiegwum, J.E., G.j. Bryan, H.G. Jones, and A. Prashar. 2015. Coping with drought: stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. Front. Plant Sci. 6. 542-565.
13. Pacheco, A., M. Vargas, G. Alvarado, F. Rodríguez, M. López, J. Crossa, and J. Burgueño. 2015. GEA-R (Genotype× Environment Analysis whit R for Windows.) Version 4.0.
14. Parsaei, P., M. Bahmani, N. Naghdi, M. Asadi-Samani, and M. Rafieian-Kopaei .2016. The most important medicinal plants effective on constipation by the ethnobotanical documents in Iran: A review. Der Pharmacia Lettre. 8: 188-94.
15. Pour-Aboughadareh, A., M. Yousefian, H. Moradkhani, P. Poczai, and Kh, Siddique .2019. STABILITYSOFT: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits. Appl. Plant Sci. 7: 01211.
16. Rizhsky, L., H. Liang, J. Shuman, V. Shulaev, S. Davletova, and R. Mittler.2004. When defense pathways collide. The response of Arabidopsis to a combination of drought and heat stress. Plant Physiol.134: 1683-96.
17. Roostaei, M., R. Mohammadi, and A. Amri .2014. Rank correlation among different statistical models in ranking of winter wheat genotypes. Crop J**.** 2: 154-163.
18. Rukundo, P., H. Shimelis, M. Laing, and D. Gahakwa .2013. Storage root formation, dry matter synthesis, accumulation and genetics in sweet potato. Aust. J. Crop Sci. 17: 2054-2061.
19. Saidi, A., A. Akbari, J. Mozzaffari, A. Heidari, M. Seraj-Azari, B. Pirayeshfar, A. Yazdansepas, M. Torabi, A. Alizadeh, M. Vahabzadeh, and H. Asadi .2000. Iranian wheat pool. A history of wheat breeding. The world wheat book.
20. Tena, E., F. Goshu, H. Mohamad, M. Tesfa, D. Tesfaye, and A. Seife .2019. Genotype× environment interaction by AMMI and GGE-biplot analysis for sugar yield in three crop cycles of sugarcane (*Saccharum officinirum* L.) clones in Ethiopia. Cogent Food Agr. 5: 1651925.
21. Van Eeuwijk, F.A., M.A. Malosetti, and Mp. Boer.2007. Modelling the genetic basis of response curves underlying genotype x environment interaction. InScale and Complexity in Plant Systems Research: Gene Plant- Crop Relations. 21:115-126

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1402.24.1.7.2]

22. Yan, W. and Ms, Kang .2002. Gge Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists. CRC Press. 28.
23. Yan, W. and N.A. Tinker.2006. Biplot Analysis of Multi-Environment Trial Data: Principles and Applications. Can. J. Plant Sci. 86: 623-645.
24. Zubair, M., H. Nybom, M. Ahnlund, and K. Rumpunen .2012. Detection Of Genetic And Phytochemical Differences Between And Within Populations of Plantago Major L. (Plantain). Sci. Hort. 136:9-16.
25. Hajibarat, Z., A. Saidi, A. Mousapur Gorji, M.R. Ghaffari and M. Zeinalabedini .2020. Evaluation of Drought Tolerance of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Under Water Deficit. J. Crop Breed. 12(35): 102-112.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1402.24.1.7.2]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 24 (1): 83-94 (2023)
Research article

Stability Analysis of Potato Yield Using AMMI and GGE Biplot Under Water Deficit

Z. Hajibarat[1], A. Saidi[2]*, A. Musapour Garji[3], M.R. Ghafari[4], M. Zeinalabidini[1]

To evaluate the interaction of genotypes in the environment (GEI) and promising clones, 60 potato genotypes were used during the growing seasons of 2018-2019. To identify the best potato genotypes in response to water deficit, GGE biplot and AMMI models were performed under two treatments (water deficit and normal conditions) with two commercial cultivars Agria and Sante. The experiment was performed in eight environments (2 treatments, 2 locations, and 2 years) using a randomized complete block design with three replications. AMMI and GGE biplot analysis showed that the G21 clone was more different than other genotypes for selecting the superior genotype. The yield of the tuber of promising clones G21 (90227), G31 (8708.177), G44 (KSG95), G28 (8707/861), and G18 (90127) was higher in all environments. The best-proposed genotypes for introduction are based on their greater stability for the target environment or parallel environments. In this study, using AMMI and GGE biplot analysis, superior genotypes were identified and selected.

Keywords: Potato, Water deficit, Yield stability, Genotype interaction in the environment

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1402.24.1.7.2]

1. Graduated Ph.D. Student and Professor, Department of Plant Sciences and Biotechnology, Faculty of Life Sciences and Biotechnology, Shahid Beheshti University, Associate Professor, Department of Vegetable Research, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Assistant Professor and Associate Professor, Department of Systems Biology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, 31359-33151, Iran, respectively.
* Corresponding Author, Email: (abbas.saidi@gmail.com).