دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

به‌کارگیری تجزیه به مختصات اصلی در ارزیابی پایداری عملکرد هیبریدهای سیب‌زمینی (*Solanum tubersum* L.)

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

۱- دانشجوی دکتری دانشگاه محقق اردبیلی
۲- استاد دانشگاه محقق اردبیلی، (نویسنده مسوول: ali_asgharii@yahoo.com)
۳- دانشیار بخش تحقیقات زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی اردبیل
۴- استادیار موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران
۵- دانشیار دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۱۱
صفحه: ۱۱ تا ۲۰

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: با توجه به روند رو به رشد جمعیت و تبعات ناشی از آن نظیر افزایش تعداد گرسنگان و نیاز به غذا، سازمان خوار و بار جهانی سیب‌زمینی (*Solanum tubersum* L.) را به‌عنوان یک گیاه امنیت غذایی معرفی کرده است. لذا، افزایش میزان تولید سیب‌زمینی جهت رویارویی با افزایش تقاضای غذایی و امنیت غذایی در سطح جهانی احساس می‌شود (۱۰،۴). اثر متقابل ژنوتیپ – محیط باعث ایجاد پیچیدگی در پیش‌بینی عملکرد می‌شود و چالشی برای برنامه‌های به‌زراعی و به‌نژادی به‌شمار می‌رود. این پژوهش به‌منظور دستیابی به هیبریدهای پایدار با عملکرد بالا و مناسب با شرایط اقلیمی مناطق تولید سیب‌زمینی اجرا شد.

مواد و روش‌ها: تعداد ۲۰ هیبرید سیب‌زمینی همراه با پنج رقم تجاری (ساوالان، آگریا، کایزر، لوتا و ساتینا)، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی اردبیل، اصفهان، خراسان رضوی، کرج و همدان به مدت دو سال (۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) ارزیابی شدند. هر یک از هیبریدها و ارقام شاهد در دو خط به طول شش متر و با فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر و ۲۵ سانتی‌متر فاصله بوته کشت شد. پس از برداشت، عملکرد اندازه‌گیری گردید. تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد انجام شد. از تجزیه به مختصات اصلی برای تجزیه پایداری عملکرد استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر ژنوتیپ، سال، مکان و اثر متقابل سال–مکان، سال– ژنوتیپ، مکان–ژنوتیپ و سال–مکان–ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. لذا، تجزیه و تحلیل اثر متقابل ژنوتیپ – محیط با استفاده از روش چندمتغیره تجزیه به مختصات اصلی انجام شد. در مقایسه با میانگین کل ژنوتیپ‌ها، ۱۰ محیط تحت مطالعه به دو گروه شامل سه محیط با عملکرد بالاتر از میانگین کل و هفت محیط با عملکرد پایین‌تر از میانگین کل تقسیم شد. با استفاده از نمودارهای MST (Minimum spanning tree) و فاصله از مرکز نمودار، هیبریدهای ۱، ۸ و رقم ساوالان در سیکل‌های حداقل و هیبرید ۵ در سیکل‌های حداکثر به‌عنوان هیبریدهای مطلوب در این محیط‌ها شناسایی شدند.

نتیجه‌گیری: هیبریدهای ۱ با عملکرد ۳۵/۵۷ تن در هکتار، ۸ با عملکرد ۳۵/۰۵ تن در هکتار و رقم ساوالان با عملکرد ۳۳/۵۲ تن در هکتار برای محیط‌های کمتر از میانگین کل آزمایش، مناسب و قابل توصیه بودند. هم‌چنین، هیبرید شماره ۵ با عملکرد ۴۱/۲۱ تن در هکتار به‌عنوان مناسب‌ترین هیبرید برای محیط‌های با عملکرد بالاتر از میانگین کل شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ – محیط، تجزیه پایداری، نمودار گرافیکی، تجزیه PCOA، عملکرد غده

مقدمه

جمعیت بشر در جهان در حال حاضر دارای نرخ رشد یک میلیارد نفر در ۱۰ تا ۱۲ سال است (۱۳). سازمان ملل متحد پیش‌بینی کرده است کشور ایران تا سال ۲۰۵۰ جزو ۲۰ کشور پرجمعیت جهان خواهد بود (۱۲). در طول ۵۰ سال گذشته پژوهش‌های کشاورزی و انتقال فناوری به افزایش دو و نیم برابری محصولات کشاورزی جهان کمک کرده است (۱۳). به هنگام خلاصه کردن وضعیت آینده غذا در جهان به سناریوی ۸–۶–۴–۲ که به معنی دو برابر شدن جمعیت، چهار برابر شدن تولیدات کشاورزی، شش برابر شدن تولید انرژی و هشت برابرشدن تولید اقتصاد جهانی تا ۲۰۵۰ اشاره می‌شود (۱۳). لذا، نیاز شدید به تأمین مواد غذایی برای جمعیت رو به رشد کشور از یک‌طرف و لزوم نیل به خودکفایی در امر تولیدات کشاورزی، بی‌نیازی از واردات و ایجاد امنیت غذایی از طرف دیگر ایجاب می‌کند تا میزان تولیدات کشاورزی در کشور افزایش داده شود (۱۶). بر این اساس سازمان خوار و بار جهانی (۴) با توجه به روند رو به رشد جمعیت و تبعات ناشی از آن نظیر افزایش تعداد گرسنگان و نیاز به غذا، سیب‌زمینی را به‌عنوان یک گیاه مهم در ایجاد امنیت غذایی معرفی و توصیه نموده است (۴،۱۰). سیب‌زمینی منبع غذایی اصلی، مهم و همچنین منبع کم هزینه‌ای از انرژی و پروتئین با کیفیت مطلوب است. غده‌های این گیاه به‌عنوان محصولی با ارزش غذایی بالا در جوامع در حال توسعه استفاده می‌شود. ارزش غذایی بالای سیب‌زمینی، این گیاه را به‌عنوان محصول مهمی در شرایط وقوع قحطی معرفی کرده است (۱۴). لذا، افزایش میزان تولید سیب‌زمینی جهت رویارویی با افزایش تقاضای غذایی و امنیت غذایی در سطح جهانی احساس می‌شود (۷). دستیابی به ارقامی با عملکرد و سازگاری بالا به طیف وسیعی از مناطق، یکی از اهداف مهم برنامه‌های به‌نژادی می‌باشد (۱۸). اثر متقابل ژنوتیپ – محیط یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در مطالعه و سنجش میزان عملکرد ارقام در شرایط مختلف محیطی در برنامه‌های اصلاحی محسوب می‌شود (۲۲). وجود اثر متقابل موجب بروز تفاوت‌های قابل ملاحظه بین واکنش ژنوتیپ در محیط‌های مختلف می‌شود که این مسئله سبب کاهش همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی شده و تحلیل دقیق نتایج را مشکل می‌سازد (۱).

برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ – محیط روش‌های مختلفی معرفی شده است که شامل روش‌های تک متغیره پارامتری،

ناپارامتری و چند متغیره می‌باشند (۱۱). هر کدام از این روش‌ها دارای مزایا و محاسنی هستند که محققان مختلف با توجه به شرایط، از این روش‌ها و یا از اکثریت آن‌ها در تحقیقات خود استفاده می‌کنند (۲۳). روش تجزیه به مختصات اصلی[1] (PCOA) از جمله روش‌های چندمتغیره می‌باشد که توسط محققان در تجزیه پایداری مورد استفاده قرار گرفته است (۹،۱۹،۲۰). استفاده از روش تجزیه به مختصات اصلی جهت بررسی پایداری توسط وستکات (۲۵) پیشنهاد شد. تجزیه به مختصات اصلی در واقع حالت تعمیم یافته تجزیه به مؤلفه‌های اصلی است که در آن از شباهت بین افراد استفاده می‌شود (۳). به‌منظور کنترل اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و نیز روش‌های حذف اثرات محیطی، فاصله اقلیدسی هر محیط محاسبه می‌شود و سپس از روش تجزیه به مختصات اصلی استفاده می‌گردد (۳). این روش را گاهی اوقات روش مقیاس‌بندی کلاسیک نیز می‌گویند (۳). تجزیه به مختصات اصلی برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ - محیط در مناطقی که شامل مناطق پر محصول و کم محصول است، مفید می‌باشد. هم‌چنین، استفاده از این روش بستگی به تعداد ژنوتیپ‌های موجود در آزمایش ندارد (۵). در واقع، روش تجزیه به مختصات اصلی یک روش چندمتغیره می‌باشد که روابط داده‌های اصلی را در ابعاد مختلف به‌صورت هندسی به تصویر می‌کشد (۲۲). در مطالعه‌ای که توسط محب‌الدینی و همکاران (۱۷) جهت مطالعه پایداری ۱۸ رقم عدس در ۱۲ محیط صورت گرفت، ارقامی را که بیشتر در رأس نمودارهای حاصله قرار گرفتند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار معرفی نمودند و بیان کردند که استفاده از تجزیه به مختصات اصلی در تعیین ارقام با پایداری مناسب برای محیط‌های مساعد و نامساعد مفید می‌باشد. صباغ‌نیا و همکاران (۲۰) با بررسی ۱۸ ژنوتیپ گندم طی ۳ سال و در ۴ منطقه اظهار داشتند که تجزیه به مختصات اصلی روشی مفید برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ – محیط می‌باشد. رمزی و همکاران (۱۹) استفاده از تجزیه به مختصات اصلی پایداری ۱۸ ژنوتیپ جو را در ۱۲ محیط مورد مطالعه قرار دادند و توانستند ۳ ژنوتیپ را برای محیط‌های کم بازده و یک ژنوتیپ را برای محیط‌های پر بازده معرفی کنند. هدف از این پژوهش نیز تعیین بهترین هیبرید سیب‌زمینی از نظر پایداری عملکرد با استفاده از روش تجزیه به مختصات اصلی بود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق پایداری ۲۰ هیبرید (جدول ۱) و پنج رقم شاهد (آگریا، ساتینا، ساوالان، کایزر و لوکا) سیب‌زمینی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در ایستگاه‌های اردبیل، اصفهان، خراسان رضوی، کرج و همدان مورد ارزیابی قرار گرفت. شرایط اقلیمی و موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است.

با توجه به شرایط زمین طی عملیات خاک‌ورزی ابتدا شخم عمیق و سپس جهت خرد کردن کلوخه‌های ایجاد شده از دیسک استفاده گردید. ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم، ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم بر اساس آزمون خاک محاسبه و با خاک مخلوط شد. هیبریدها و ارقام شاهد در دو خط به طول شش متر و با فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر و ۲۵ سانتی‌متر فاصله بوته کشت شدند. به‌طوری‌که در هر خط۲۵ غده قرار گرفت. ۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتار سم کنفیدور (Imidacloprid) جهت مبارزه با سوسک کلرادو استفاده شد. در طی عملیات داشت خاک‌دهی پای بوته یک‌بار در مرحله ساقه روی بوته‌ها و بار دیگر در مرحله گل‌دهی صورت گرفت. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی در دو مرحله گل‌دهی و ساقه روی بوته‌ها انجام شد. در طول فصل رشد صفات مختلف زراعی از جمله تعداد ساقه اصلی در بوته، ارتفاع بوته، تعداد روز تا غده‌زایی و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی ثبت و پس از برداشت، عملکرد اندازه‌گیری گردید.

برای انجام تجزیه مرکب ابتدا یکنواختی واریانس اشتباهات آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت بررسی گردید. نتیجه این آزمون نشان داد که واریانس‌ها یکنواخت بوده و می‌توان عملیات تجزیه مرکب را برای کل داده‌ها انجام داد. مقایسه میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها با آزمون حداقل اختلافات معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال یک و پنج درصد با نرم‌افزار SAS انجام شد. برای مقایسه ژنوتیپ‌ها با ارقام شاهد میانگین عملکرد هر ژنوتیپ بر میانگین عملکرد ارقام تقسیم و در ۱۰۰ ضرب شد تا درصد عملکرد ژنوتیپ‌ها نسبت به ارقام شاهد مشخص شود. تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش تجزیه به مختصات اصلی مورد ارزیابی قرار گرفت.

ابتدا محیط‌ها بر اساس میزان عملکرد به دو گروه محیط‌های با عملکرد بالا و محیط‌های با عملکرد پایین تقسیم شدند. این تقسیم‌بندی بر اساس میانگین کل عملکرد ژنوتیپ‌ها در تمام محیط‌ها انجام می‌شود (۲۴). به این صورت که محیط‌هایی که میانگین عملکرد آن محیط‌ها از میانگین کل محیط‌ها بیشتر باشد، به‌عنوان محیط‌های با عملکرد بالا (H) در نظر گرفته می‌شوند و محیط‌هایی که میانگین عملکرد آن‌ها کمتر از میانگین کل محیط‌ها باشد، به‌عنوان محیط‌های با عملکرد پایین (L) در نظر گرفته می‌شوند (۲۴). در هر محیط شباهت بین ژنوتیپ‌ها با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (۲۴):

$$S_i(x,y) = \frac{(H_i-(x_i+y_i)/2)}{(H_i-L_i)}$$

در این رابطه $S_i(x,y)$: شاخص شباهت بین دو ژنوتیپ، L و H: به ترتیب پایین‌ترین و بالاترین مقدار میانگین عملکرد ژنوتیپی در محیط iام، y_i: میانگین ژنوتیپ y در محیط iام، x_i: میانگین ژنوتیپ x در محیط iام است.

1- Principal Coordinate Analysis

جدول ۱- هیبریدها و ارقام شاهد سیب‌زمینی مورد مطالعه در این تحقیق
Table 1. The studied potato hybrids and control cultivars studied in this research

شماره	کد هیبرید	والد ♂	والد ♀	شماره هیبرید	کد هیبرید	والد ♂	والد ♀	شماره ارقام شاهد	ارقام شاهد
۱	۱۶	کایزر Caesar	لوتا Luta	۱۱	۳	کایزر Caesar	لوتا Luta	۱۳	کایزر Caesar
۲	۹	کایزر Caesar	لوتا Luta	۱۲	۲	کایزر Caesar	لوتا Luta	۲۲	ساتینا Satina
۳	۱۵	کایزر Caesar	لوتا Luta	۱۴	۲۱	ساوالان Savalan	لوتا Luta	۲۳	لوتا Luta
۴	۱۱	کایزر Caesar	لوتا Luta	۱۵	۵	ساوالان Savalan	لوتا Luta	۲۴	آگریا Agria
۵	۱۳	کایزر Caesar	لوتا Luta	۱۶	۱	ساوالان Savalan	لوتا Luta	۲۵	ساوالان Savalan
۶	۵	کایزر Caesar	لوتا Luta	۱۷	۲	ساوالان Savalan	لوتا Luta		
۷	۲۳	کایزر Caesar	لوتا Luta	۱۸	۳	ساوالان Savalan	لوتا Luta		
۸	۵۶	کایزر Caesar	لوتا Luta	۱۹	۱۶	ساوالان Savalan	لوتا Luta		
۹	۱۲	کایزر Caesar	لوتا Luta	۲۰	۱۴	ساوالان Savalan	لوتا Luta		
۱۰	۴	کایزر Caesar	لوتا Luta	۲۱	۱۳	ساوالان Savalan	لوتا Luta		

جدول ۲- مشخصات جغرافیایی و وضعیت اقلیمی محیط‌های مورد مطالعه
Table 2. Agroclimatic characteristics and Climate condition of studied environments

مکان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	درجه حرارت (°C) متوسط	درجه حرارت (°C) حداقل	درجه حرارت (°C) حداکثر	بارندگی (mm)	درصد رطوبت نسبی
اردبیل	۴۸° ۱۸′E	۳۸° ۱۵′N	۱۳۵۱	۹/۹۰	۴/۱۰	۱۵/۸۰	۲۷۷	۶۸
همدان	۴۸° ۳۲′E	۳۴° ۴۸′N	۱۵۵۰	۱۱/۳۵	۳/۹۳	۱۸/۷۷	۳۸۴	۵۳
کرج	۵۱° ۰۰′E	۳۵° ۴۸′N	۱۳۱۲	۱۴/۴۰	۸/۰۰	۲۰/۸۰	۲۴۷	۵۳
مشهد	۵۹° ۲۳′E	۳۵° ۳۴′N	۱۶۰۰	۱۴/۱۰	۷/۱۰	۲۱/۱۰	۲۲۵	۵۵
اصفهان	۵۱° ۴۰′E	۳۲° ۳۷′N	۱۵۵۰	۱۶/۲۵	۹/۱۰	۲۳/۴۰	۱۲۳	۴۰

برای محیط‌هایی که تولید عملکرد پایینی دارند اولین سیکل که L_1 نامیده می‌شود شامل تجزیه ماتریس شباهت محیط با تولید حداقل عملکرد در بین محیط‌ها می‌باشد. سیکل دوم یعنی سیکل L_2 شامل تجزیه دو محیط با ظرفیت تولید عملکرد کم در بین محیط‌ها و سیکل L_3 نیز شامل تجزیه سه محیط با تولید حداقل عملکرد می‌باشد و به همین صورت تجزیه به مختصات اصلی برای تمام محیط‌های با عملکرد کم انجام می‌شود (۲۴).

مشابه تجزیه‌های بالا سیکل‌های H_1 و H_2 و غیره به ترتیب برای محیط‌های با تولید حداکثر عملکرد انجام می‌شود. هر دو سیکل به همین صورت تا سیکل n برای همه محیط‌های کم بازده و پر بازده پیش رفت. در این روش تنها از مختصات اصلی اول و دوم استفاده می‌شود. اطلاعاتی که به خاطر عدم استفاده از مختصات اصلی سوم و چهارم و غیره از دست می‌روند، می‌توانند باعث ایجاد مشکل در درک بهتر نمودار شوند. برای برطرف نمودن این مشکل می‌توان از روش درخت با حداقل شاخه[1] (MST) استفاده کرد. در این حالت ژنوتیپ‌های با حداکثر میزان شباهت موجود در ماتریس شباهت، در مرکز نمودار قرار می‌گیرند و همه شاخه‌های رسم شده به مرکز نمودار ختم می‌شوند (۲۴). ژنوتیپ‌هایی مطلوب هستند که دورتر از مرکز نمودار قرار گیرند و ژنوتیپ‌های پایدار می‌باشند که طی سیکل‌های مختلف تجزیه به مختصات اصلی دورتر از مرکز نمودار قرار گیرند (۲۴). برای تشخیص بهتر اینکه کدام ژنوتیپ در بعد سوم صفحه مختصات قرار گرفته است، می‌توان از فاصله از مرکزهای[2] به‌دست آمده از تجزیه استفاده کرد. این فاصله از مرکزها فاصله حقیقی و دقیق هر نقطه بر روی صفحه مختصات که هر یک از این نقاط نماینده یک ژنوتیپ می‌باشد را از مرکز صفحه مختصات نشان می‌دهد؛ بنابراین با استفاده از این فاصله از مرکزها، علاوه بر تعیین دقیق فاصله هر ژنوتیپ از مرکز صفحه مختصات، می‌توان نحوه قرار گرفتن هر یک از این نقاط را در بعدهای مختلف صفحه مختصات تعیین کرد و قضاوت درست‌تری در مورد میزان عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف داشت. برای تجزیه و تحلیل پایداری و رسم نمودارها از نرم‌افزار Genstat استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها برای پنج مکان و دو سال انجام شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها حاکی از معنی‌دار بودن اثرات اصلی ژنوتیپ، مکان و سال و اثر متقابل ژنوتیپ – سال، ژنوتیپ – مکان، مکان – سال بود (جدول ۳). از معنی‌دار بودن اثر مکان می‌توان استنباط کرد که عوامل جغرافیایی نظیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا و عوامل جوی مانند میزان بارندگی، طول روز، حداقل و حداکثر دمای خاک موجب ایجاد اختلاف در میزان عملکرد هیبریدها و ارقام مورد مطالعه شده است. معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه می‌باشد. معنی‌دار شدن اثر سال برای عملکرد نشانگر آن است که عواملی مانند میزان و پراکنش بارندگی، توزیع متفاوت ماهانه بارندگی در دوره‌های مختلف رشدی گیاه و عوامل دیگر در سال‌های مختلف یکسان نبوده است. اثر متقابل ژنوتیپ– سال، ژنوتیپ – مکان، مکان – سال و اثر متقابل ژنوتیپ – سال – مکان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). از معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ – سال – مکان می‌توان استنباط نمود که عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف دارای نوساناتی بودند. تجزیه مرکب داده‌ها فقط اطلاعاتی در مورد وجود و یا عدم وجود اثرات متقابل ارائه می‌دهد. تجزیه پایداری برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار سودمند خواهد بود. در چنین شرایطی انتخاب بر اساس عملکرد برای ژنوتیپ‌ها کافی

1- Minimum spanning tree
2- Centroid Distances

نیست و برای حصول عملکرد مطلوب نیاز به ژنوتیپ‌هایی است که سازگاری خوبی با شرایط محیطی مورد آزمایش داشته باشند. برای تشخیص ژنوتیپی که در تمام مناطق عملکرد قابل قبولی داشته و سازگاری وسیعی را با محیط‌های مختلف دارا باشد، باید اقدام به بررسی سازگاری ژنوتیپ‌ها و پایداری عملکرد آن‌ها در محیط‌های مختلف نمود. از طرف دیگر، با توجه به وجود اثر متقابل معنی‌دار بین ژنوتیپ و محیط در هنگام انتخاب بهترین ژنوتیپ، باید ژنوتیپی انتخاب شود که با وجود عملکرد بالا، نوسان عملکرد کمتری داشته باشد و به عبارتی دیگر از پایداری عملکرد بیشتری برخوردار باشد (۱۵). لذا، برای انتخاب هیبرید پایدار از روش تجزیه به مختصات اصلی استفاده شد.

متوسط عملکرد غده‌های سیب‌زمینی مورد مطالعه با استفاده از آزمون LSD در سطوح احتمال یک و پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند (جدول ۴). نتایج نشان داد که به‌ترتیب هیبریدهای شماره ۵، ۱، ۸ و ۱۹ عملکرد بالایی نسبت به میانگین کل را دارا بودند. هم‌چنین این ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری با شاهد کایزر، ساتینا، آگریا و لوکا داشتند و تنها هیبرید شماره ۵ در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری با شاهد ساوالان داشت. می‌توان گفت اگر پایداری ژنوتیپی بهتر از رقم شاهد باشد، از این ژنوتیپ با همان پتانسیل عملکرد و با توجه به مطلوب بودن سایر خصوصیات زراعی می‌توان استفاده کرد (۸).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد غده ۲۵ ژنوتیپ سیب‌زمینی در ۱۰ محیط (پنج مکان و دو سال)

Table 3. Combined analysis of variance of tuber yield (ton ha^{-1}) of 25 potato genotypes in 10 environments (2 years and 5 locations)

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	واریانس توجیه شده (درصد)
مکان	۴	۸۴۷۳/۵۸۶	۲۱۱۸/۳۹۶**	۱۰/۷۴۰
سال	۱	۵۳۶/۷۳۲	۵۳۶/۷۳۲**	۰/۶۸۰
مکان – سال	۴	۱۸۹۸۷/۸۳۱	۴۷۴۶/۹۵۷**	۲۴/۰۶۷
تکرار(مکان – سال)	۲۰	۹۳۷/۸۷۲	۴۶/۸۹۳	۱/۱۸۹
ژنوتیپ	۲۴	۵۶۷۴/۸۹۰	۲۳۶/۴۵۳**	۷/۱۹۳
ژنوتیپ – مکان	۹۶	۱۴۶۱۶/۵۷۳	۱۵۲/۲۵۵**	۱۸/۵۲۷
ژنوتیپ – سال	۲۴	۲۱۰۸/۴۴۸	۸۷/۸۵۱**	۲/۶۷۲
ژنوتیپ – سال – مکان	۹۶	۱۶۶۵۰/۷۹۴	۱۷۳/۴۴۵**	۲۱/۱۰۵
خطا	۴۸۰	۱۰۹۵۳/۶۷۹	۲۲/۸۲	۱۳/۸۸۴
کل	۷۴۹	۷۸۸۹۵/۳۵۷		
ضریب تغییرات (درصد)			۱۵/۰۵	

**: بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار

Table 4. Mean Comparison of potato genotypes yield using LSD

هیبرید و ارقام شاهد	عملکرد غده کل (تن در هکتار)	درصد نسبت به شاهد کایزر	درصد نسبت به شاهد ساتینا	درصد نسبت به شاهد لوکا	درصد نسبت به شاهد آگریا	درصد نسبت به شاهد ساوالان
۱	۳۵/۵۷	۱۲۹	۱۲۴	۱۱۷	۱۱۴	۱۰۶
۲	۲۹/۹۰	۱۰۶	۱۰۲	۹۶	۹۴	۸۷
۳	۳۲/۹۹	۱۲۰	۱۱۵	۱۰۹	۱۰۶	۹۸
۴	۲۹/۷۱	۱۰۸	۱۰۴	۹۸	۹۵	۸۹
۵	۴۱/۲۱	۱۵۰	۱۴۴	۱۳۶	۱۳۲	۱۲۳
۶	۳۲/۷۳	۱۱۹	۱۱۴	۱۰۸	۱۰۵	۹۸
۷	۳۰/۰۱	۱۰۹	۱۰۵	۹۹	۹۶	۹۰
۸	۳۵/۰۵	۱۲۷	۱۲۳	۱۱۵	۱۱۳	۱۰۵
۹	۳۲/۴۴	۱۱۸	۱۱۳	۱۰۷	۱۰۴	۹۷
۱۰	۳۰/۳۹	۱۱۰	۱۰۶	۱۰۰	۹۸	۹۱
۱۱	۳۱/۳۶	۱۱۴	۱۱۰	۱۰۳	۱۰۱	۹۴
۱۲	۳۱/۳۷	۱۱۴	۱۱۰	۱۰۳	۱۰۱	۹۴
کایزر	۲۷/۵۵	۱۰۰	۹۶	۹۱	۸۸	۸۲
۱۴	۳۱/۵۸	۱۱۵	۱۱۰	۱۰۴	۱۰۱	۹۴
۱۵	۲۹/۳۵	۱۰۷	۱۰۳	۹۷	۹۴	۸۸
۱۶	۲۹/۳۲	۱۰۶	۱۰۲	۹۷	۹۴	۸۷
۱۷	۳۳/۳۸	۱۲۱	۱۱۷	۱۱۰	۱۰۷	۱۰۰
۱۸	۳۰/۸۴	۱۱۲	۱۰۸	۱۰۲	۹۹	۹۲
۱۹	۳۳/۹۶	۱۲۳	۱۱۹	۱۱۲	۱۰۹	۱۰۱
۲۰	۳۰/۱۰	۱۰۹	۱۰۵	۹۹	۹۷	۹۰
۲۱	۳۱/۱۸	۱۱۳	۱۰۹	۱۰۳	۱۰۰	۹۳
ساتینا	۲۸/۶۱	۱۰۴	۱۰۰	۹۴	۹۲	۸۵
لوکا	۳۰/۳۷	۱۱۰	۱۰۶	۱۰۰	۹۸	۹۱
آگریا	۳۱/۱۴	۱۱۳	۱۰۹	۱۰۳	۱۰۰	۹۳
ساوالان	۳۳/۵۲	۱۲۲	۱۱۷	۱۱۰	۱۰۸	۱۰۰
میانگین کل	۳۱/۷۲					
LSD ۱%	۳/۱۸					
LSD ۵%	۲/۴۲					

در سیکل L1 با توجه به نمودار پراکنش رسم شده (شکل ۱) با استفاده از تجزیه به مختصات اصلی، ژنوتیپ‌های شماره ۳ و ۲۵ (ساوالان) و ۲۴ (آگریا) در رأس قرار گرفتند و در واقع این سه ژنوتیپ دارای پایداری عملکرد بالایی بودند (شکل ۱). در سیکل دوم (L2) ژنوتیپ‌های ۱، ۸ و ۲۵ (ساوالان) در رأس قرار گرفتند (شکل ۱) که دارای عملکرد بالایی بودند.

در روش تجزیه به مختصات اصلی، پایداری با توجه به سیکل‌ها مشخص می‌گردد. بدین صورت که ژنوتیپی که در تعداد بیشتری از سیکل‌ها در رأس قرار گیرد، علاوه بر این‌که دارای عملکرد مناسبی می‌باشد، از پایداری مطلوبی نیز برخوردار است. لذا با توجه به هفت شکل (اشکال L1 تا L7) مربوط به سیکل‌های حداقل می‌توان گفت که هیبرید شماره ۸ پایدارترین هیبرید در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه این تحقیق بود و قابل توصیه برای محیط‌های با عملکرد پایین می‌باشند. فلورس و همکاران (۶) با استفاده از تجزیه به مختصات اصلی، پایداری ۱۱ ژنوتیپ ماش را در ۱۷ منطقه در جنوب اسپانیا مورد مطالعه قرار دادند و در پژوهش خود از دو روش تجزیه مختصات اصلی و تجزیه اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط استفاده کردند و پیشنهاد نمودند که از شاخص‌های فاصله از مرکز برای ارزیابی پایداری استفاده شود؛ زیرا ممکن است دو مختصه اصلی اول در تجزیه مختصات، واریانس زیادی را توجیه نکنند. لذا لازم است که از مختصه‌های بیشتری استفاده شود و برای این کار از شاخص فاصله از مرکز که از تمام مختصه‌های اصلی تجزیه متصات استفاده می‌کند، استفاده شود. اسلافر و همکاران (۲۱) بیان کردند

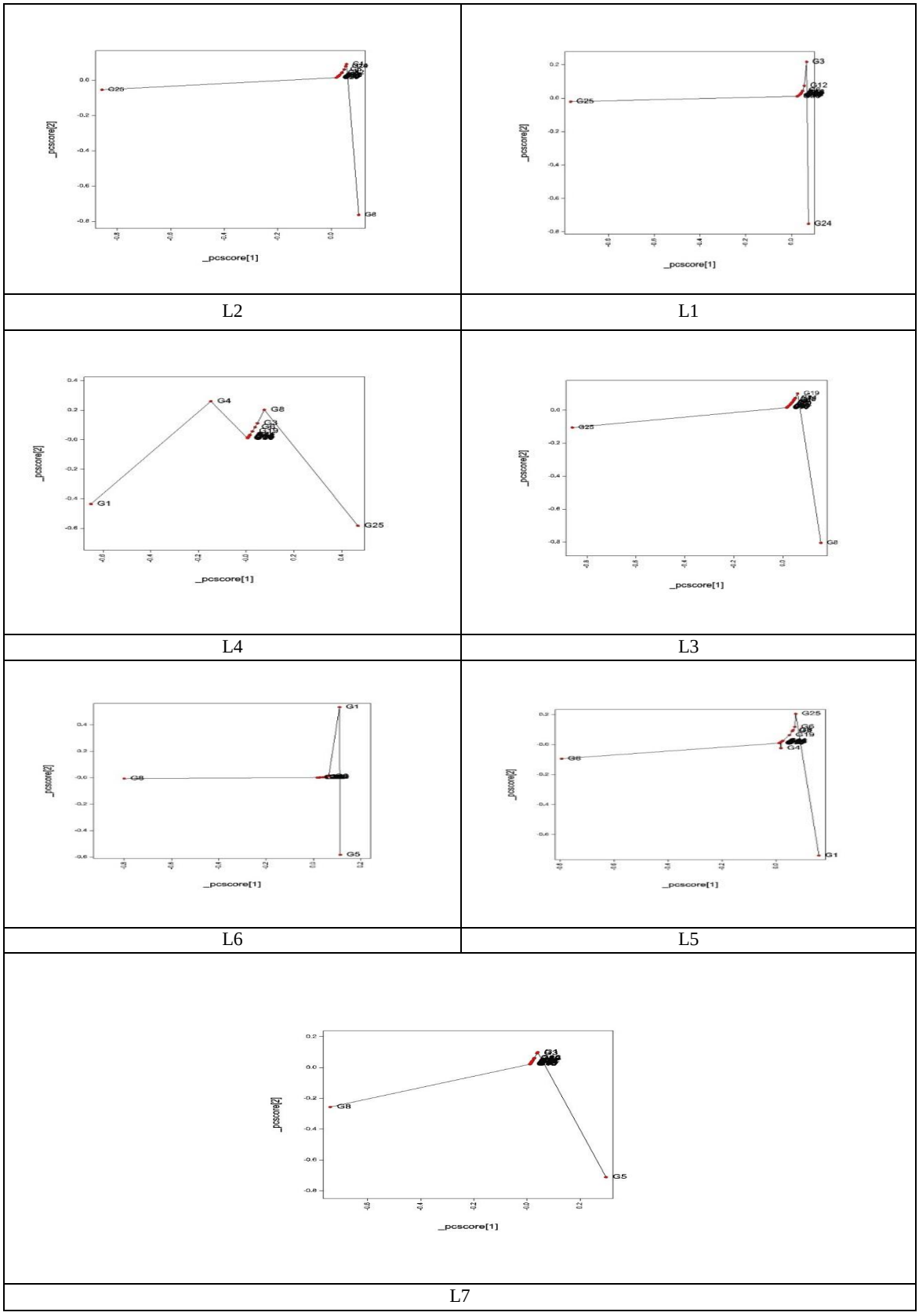
تعیین ژنوتیپ‌های دارای عملکرد مطلوب در سیکل‌های حداقل (محیط‌های کم بازده) و سیکل‌های حداکثر محیط‌های پر بازده از مزیت‌های روش تجزیه به مختصات اصلی می‌باشد. ژنوتیپی که در سیکل‌های حداقل و حداکثر به دفعات بیشتری در یکی از سه رأس نمودار تجزیه به مختصات اصلی قرار گیرد، به‌عنوان ژنوتیپ مطلوب و پایدار به ترتیب برای محیط‌های کم بازده و پر بازده انتخاب می‌شود. در این مطالعه نیز مقادیر فاصله از مرکز برای دوره‌های حداقل در جدول ۵ درج شده است. تعداد دفعاتی که هر ژنوتیپ در یکی از سه رأس قرار می‌گیرد، در ستونی به نام رأس نوشته شده است. ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۸ و ۲۵ (ساوالان) در محیط‌های با حداقل عملکرد دارای پایداری و عملکرد بالا بودند. ژنوتیپ‌های شماره ۱۳ (کایزر)، ۲۲ (ساتینا)، ۲ و ۱۶ دارای حداقل عملکرد با حداقل پایداری بوده و به‌عنوان ژنوتیپ‌های ناپایدار و نامطلوب برای محیط‌های کم بازده انتخاب شدند.

همانند سیکل‌های حداقل (L) برای سیکل‌های حداکثر (H) نیز شکل‌های تجزیه مختصات بر اساس دو مختصه اصلی اول و هم مقادیر فواصل از مرکز محاسبه گردید. در سیکل اول حداکثر (H1) ژنوتیپ‌های شماره ۵، ۱۸ و ۲۱ در رأس قرار گرفتند (شکل ۲).

جدول ۵- رتبه ژنوتیپ‌های برتر بر اساس مقادیر فاصله از مرکز در سیکل‌های حداقل

Table 5. Ranking of superior genotypes based on distance from the center in the low cycles

ژنوتیپ	عملکرد غده (تن در هکتار)	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	رأس
۱	۳۵/۵۷	-	۱	-	۲	۳	۱	۱	۵
۲	۲۹/۳۰	-	-	-	-	-	-	-	۰
۳	۳۲/۹۹	۱	-	-	-	-	-	-	۱
۴	۲۹/۷۱	-	-	-	-	-	-	-	۰
۵	۴۱/۲۱	-	-	-	-	-	۳	۳	۲
۶	۳۲/۷۳	-	-	-	-	-	-	-	۰
۷	۳۰/۰۱	-	-	-	-	-	-	-	۰
۸	۳۵/۰۵	-	۳	۳	۱	۲	۲	۲	۶
۹	۳۲/۴۴	-	-	-	-	-	-	-	۰
۱۰	۳۰/۳۹	-	-	-	-	-	-	-	۰
۱۱	۳۱/۳۶	-	-	-	-	-	-	-	۰
۱۲	۳۱/۳۷	-	-	-	-	-	-	-	۰
کایزر	۲۷/۵۵	-	-	-	-	-	-	-	۰
۱۴	۳۱/۵۸	-	-	-	-	-	-	-	۰
۱۵	۲۹/۳۵	-	-	-	-	-	-	-	۰
۱۶	۲۹/۳۲	-	-	-	-	-	-	-	۰
۱۷	۳۳/۳۸	-	-	-	-	-	-	-	۰
۱۸	۳۰/۸۴	-	-	-	-	-	-	-	۰
۱۹	۳۳/۹۶	-	-	۱	-	-	-	-	۱
۲۰	۳۰/۱۰	-	-	-	-	-	-	-	۰
۲۱	۳۱/۱۸	-	-	-	-	-	-	-	۰
ساتینا	۲۸/۶۱	-	-	-	-	-	-	-	۰
لوکا	۳۰/۳۷	-	-	-	-	-	-	-	۰
آگریا	۳۱/۱۴	۳	-	-	-	-	-	-	۱
ساوالان	۳۳/۵۲	۲	۲	۲	۳	۱	-	-	۵



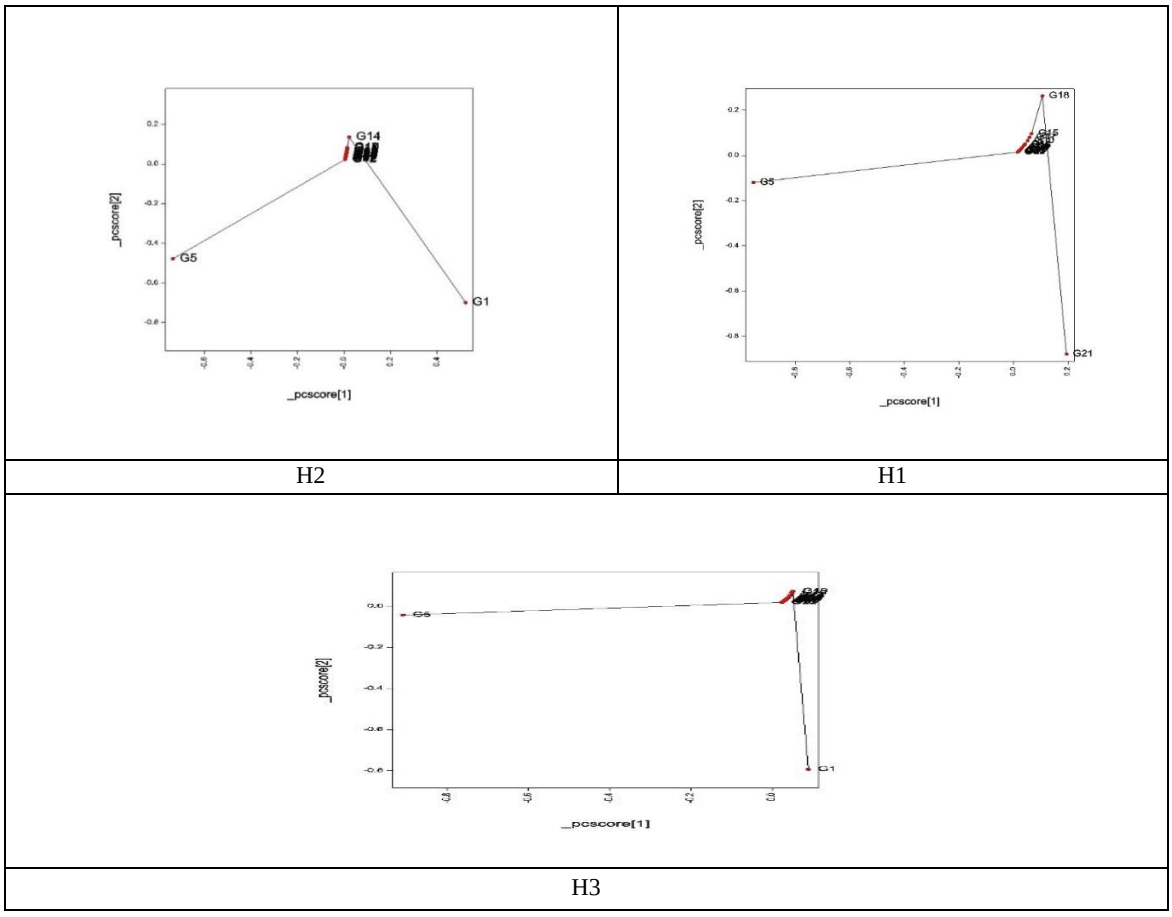
شکل ۱- بای‌پلات مختصات اصلی اول در مقابل مختصات اصلی دوم با استفاده از روش درخت با حداقل شاخه برای هفت سیکل با میانگین کم‌تر از میانگین کل (L)

Figure 1. Biplot of the first two principal coordinate analysis axes by using minimum spanning tree method for the 7 low cycles (L)

با توجه به نمودار حاصل از سیکل‌های حداکثر برای محیط‌هایی که میانگین عملکرد بالاتری از میانگین کل داشتند، هیبرید شماره ۵ در رتبه‌ی اول قرار گرفت (جدول ۶). همچنین این هیبرید، بیشترین میزان عملکرد را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارا بود و لذا با توجه به نتایج این بخش، می‌توان آن را برای کشت در محیط‌های پر بازده و مطلوب توصیه کرد. بر اساس میزان فاصله از مرکز و تعداد دفعاتی که ژنوتیپ‌ها در رأس قرار گرفته‌اند، ژنوتیپ‌های ۱، ۱۴، ۱۹ و ۲۱ با قرار گرفتن در رأس سیکل‌های حداکثر در رتبه‌های بعدی پایداری عملکرد قرار گرفتند (جدول ۶). بیسواس و همکاران (۲) با ارزیابی ۱۹ ژنوتیپ جو در شش محیط دو ژنوتیپ را برای محیط‌های کم بازده و چهار ژنوتیپ را برای محیط‌های با بازده بالا معرفی کردند و بیان نمودند که استفاده از روش تجزیه به مختصات اصلی برای برنامه‌های به‌نژادی مفید می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه با اینکه روش تجزیه به مختصات اصلی مرتبط با مفهوم زراعی (دینامیک) پایداری می‌باشد لذا گسترش استفاده از این روش در برنامه‌های به‌نژادی محصولات زراعی می‌تواند سبب بهبود فرآیند انتخاب ژنوتیپ پایدار گردد و همچنین روش مناسبی جهت اختصاص ژنوتیپ‌های مطلوب و پایدار به محیط‌های خاص می‌باشد. بر اساس روش تجزیه به مختصات اصلی هیبریدهای ۱ (عملکرد ۳۵/۵۷ تن در هکتار)، ۸ (عملکرد ۳۵/۰۵ تن در هکتار) و رقم ساوالان (عملکرد ۳۳/۵۲ تن در هکتار) برای محیط‌های کم بازده و هیبرید ۵ (عملکرد ۴۱/۲۱ تن در هکتار) برای محیط پر بازده معرفی می‌شود.



شکل ۲- بای‌پلات مختصات اصلی اول در مقابل مختصات اصلی دوم با استفاده از روش درخت با حداقل شاخه برای سه سیکل با میانگین بیشتر از میانگین کل (H)

Figure 2. Biplot of the first two principal coordinate analysis axes by using minimum spanning tree method for the 3 high cycles (H)

جدول ۶ – رتبه‌ی ژنوتیپ‌های برتر بر اساس مقادیر فاصله از مرکز در سیکل‌های حداکثر

Table 6. Ranking of superior genotypes based on distance from the center in the high cycles

ژنوتیپ	عملکرد غده (تن در هکتار)	H1	H2	H3	رأس
۱	۳۵/۵۷	-	۳	۳	۲
۲	۲۹/۳۰	-	-	-	۰
۳	۳۲/۹۹	-	-	-	۰
۴	۲۹/۷۱	-	-	-	۰
۵	۴۱/۲۱	۲	۲	۲	۳
۶	۳۲/۷۳	-	-	-	۰
۷	۳۰/۰۱	-	-	-	۰
۸	۳۵/۰۵	-	-	-	۰
۹	۳۲/۴۴	-	-	-	۰
۱۰	۳۰/۳۹	-	-	-	۰
۱۱	۳۱/۳۶	-	-	-	۰
۱۲	۳۱/۳۷	-	-	-	۰
کایزر	۲۷/۵۵	-	-	-	۰
۱۴	۳۱/۵۸	-	۱	-	۱
۱۵	۲۹/۳۵	-	-	-	۰
۱۶	۲۹/۳۲	-	-	-	۰
۱۷	۳۳/۳۸	-	-	-	۰
۱۸	۳۰/۸۴	۱	-	-	۱
۱۹	۳۳/۹۶	-	-	۱	۱
۲۰	۳۰/۱۰	-	-	-	۰
۲۱	۳۱/۱۸	۳	-	-	۱
ساتینا	۲۸/۶۱	-	-	-	۰
لوکا	۳۰/۳۷	-	-	-	۰
آگریا	۳۱/۱۴	-	-	-	۰
ساوالان	۳۳/۵۲	-	-	-	۰

منابع

1. Akbari, S., O.A. Akbarpour and P. Pezeshkpour. 2021. Evaluation of genetic varietion and grain yield stability of lentil genotypes using non-parametric methods. Plant Genetic Researches, 8(1): 95-114 (In Persian).
2. Biswas, T., P. Dinesh Kumar, A.B. Mandal, G.S. Mandal and S. Dewanjee. 2018. A non-parametric method of assessing the yield stability using principal coordinate analysis. IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science, 11: 1-6.
3. Ebadi Segherlu, A. 2006. Genotype by Environment Interaction in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Cultivars. MSc Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 150 pp (In Persian).
4. FAO. 2008. International year of the potato 2008. Available at www.potato2008.org (accessed 19
5. August, 2014). Food and Agriculture Organization, Rome.
6. Farshadfar E. 2011. Advanced Multivariate Statistical Methods. 3th edn. Razi University, Kermanshah, Iran, 754 pp. (In Persian)
7. Flores, F., M.T. Moreno, A. Martinez and J.I. Cubero. 1996. Genotype × environment interaction in faba bean: Comparison of AMMI and principal coordinate models. Field Crops Research, 47: 117-127.
8. Hassanabadi, H., A. Mosapor-Gorgi, D. Hasanpanah, R. Ahmadvand, KH. Parvizi, M. Kazemi, R. Hajianfar and H.R. Abdi. 2013. Khavaran, a new potato cultivar with high yielding and quality. Research Achievements for Field and Horticulture Crops, 2(1): 67-79. (In Persian)
9. Karimizadeh R. 2017. Evaluation of grain yield stability and adaptability of durum wheat genotypes by parametric, nonparametric and multi-variate methods. PHD Thesis, Mohaghegh Ardabili University, Ardebil, Iran, 259 pp (In Persian).
10. Karimizadeh, R., A. Asghari, R. Chinipardaz, O. Sofalian and A. Ghaffari. 2019. Use of principal coordinate analysis for measuring GE interactions in rain-fed durum wheat genotypes. Journal of Agricultural Sciences, 25: 38-46.
11. Kazemi, M., M. Banayan and R. Ghorbani. 2016. Quantitative analysis of food security in Khorasan razavi province based on potato production. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi), 112: 63-75 (In Persian).
12. Ltifi, P., A. Najaphy and L. Zarei. 2020. Study of grain yield stability of barley genotypes by AMMI model. Environmental Stresses in Crop Sciences, 13(2): 319-329 (In Persian).
13. Mirzashahi, M. and S. Ghaffarinejad. 2021. Sustainable Land Management to Ensure Food Security. Journal of land Management, 8(2): 141-155.
14. Moghaddam, M., P. Safari and S.F. Danyali. 2012. GGE biplot analysis analysis agraphical tool for breeders geneticists and agronomists. 1th edn. Parivar publication, 375 pp.
15. Moghaddaszadeh, M., R. Asghari Zakaria, D. Hassanpanah and N. Zare. 2019. Non-parametric stability analysis of tuber yield in potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes. Journal of Crop Breeding, 10(28): 50-63 (In Persian).

16. Mohammadi, M., P. Sharifi and R. Karimizadeh. 2015. Stability Analysis of Seed Yield of Safflower Genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Crop Breeding, 7(16): 104-114 (In Persian).
17. Mohammadnia, SH., A. Asghari, D. Hassanpanah, R. Karimizadeh and A.A. Shokouhian. 2019. Evaluation of genetic stability of some agronomic traits in potato hybrids and cultivars under different climate conditions. Iranian Journal of Field Crops Research, 17(2): 241-253 (In Persian).
18. Mohebodini, M., R. Karimizadeh, M. Mohammadi and N. Sabaghnia. 2012. Principal coordinates analysis of genotype × environment interaction in grain yield of lentil genotypes. Agriculture and Forestry, 57: 93-107.
19. Najafi Mirak, T., M. Agaee Sarbarzeh, A.A. Moayedi, A.K. Kaffashi and M. Sayahfar. 2021. Yield stability analysis of durum wheat genotypes using AMMI method. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science, 31(2): 17-28 (In Persian).
20. Ramzi, E., A. Asghari, O. Sofalian, A. Mehraban and A. Ebadi. 2020. Evaluation of seed yield stability of barley promising genotypes using principal coordinates analysis. Journal of Plant Physiology and Breeding, 10(2): 59-68.
21. Sabaghnia N., M. Mohammadi, and R. Karimizade. 2013. Principal coordinate analysis of genotype × environment interaction for grain yield of bread wheat in the semi-arid regions. Genetika, 45(3): 691-701.
22. Slafer, G., J. Araus, C. Royo and L.G. Morol. 2005. Promising ecophysiological traits for genetic improvement of cereal yields in Mediterranean environments. Annals of Biology, 146: 61-70.
23. Sohrabi, S.S., H. Dehghani and B. Alizadeh. 2016. Evaluation of seed yield Stability of promising winter rapeseed (*Brassica napus* L.) lines using principal coordinates analysis. Journal of Crop Breeding, 8(20): 152-158 (In Persian).
24. Taghizadeh, A.A., R. Aminian dehkordi and A.A. Zeinanloo. 2020. Estimation of compatibility of some olive cultivars and genotypes in tarom climate conditions using non-parametric methods. Iranian Journal of Horticultural Science, 51(3): 657-668 (In Persian).
25. Westcott, B. 1986. Some methods of analyzing genotype-environment interaction. Heredity 56: 243-253.
26. Westcott, B. 1987. A method of assessing the yield stability of crop genotypes. Journal of Agricultural Science, 108: 267-274.

Application of Principal Coordinates Analysis to Evaluate Yield Stability of Potato Hybrids (*Solanum tubersum* L.)

Shiva Mohammadnia[1], Ali Asghari[2], Davoud Hassanpanah[3], Rahmatollah Karimizadeh[4] and Ali Akbar shokouhian[5]

1- PhD. Student University of Mohaghegh Ardabil, Ardabil, Iran
2- Professor, University of Mohaghegh Ardabil, Ardabil, Iran, (Corresponding Author: ali_asgharii@yahoo.com)
3- Associate Professor, Horticulture Crops Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Centre, AREEO, Ardabil, Iran
4- Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran
5- Associate Professor, University of Mohaghegh Ardabil, Ardabil, Iran
Received: 30 September, 2021 Accepted: 2 November, 2021

Extended Abstract

Introduction and Objective: Given the growing rate of population and its consequences, such as hungrier people and more demand for food, the Food and Agricultural Organization (FAO) has introduced potato (*Solanum tubersum* L.) as a food security plant. Thus, the need for expanding potato production is globally felt to manage the increase in food demands and food security (4, 10). The interaction between the genotype and the environment creates complexity in yield prediction and is a challenge for plant production and breeding programs. This study was conducted to achieve a stable high-yielding genotype that is adaptive to climatic conditions of potato-producing regions in Iran.

Material and Methods: A total of 20 potato hybrides along with five commercial varieties (Savalan, Agria, Caesar, Luta and Satina) were evaluated in a randomized complete block design with three replicates in the agricultural research stations of five locations (Ardabil, Hamadan, Isfahan, Karaj, and Razavi Khorasan) in Iran, for two years (2016 and 2017). Each of the hybrids and control cultivars were planted in two rows with six meters long. The rows with inter row spacing of 75 cm and plant spacing of 25 cm was taken. The genotype yields were measured after the harvest. Combined analysis of variances was done and comparison of means was done by LSD at one percent probability level. The principal coordinate analysis was used to analyze yield stability.

Results: The results of combined analysis of variance indicated that the effect of genotype, year, location and year – location, location – genotype, year – genotype and year - location – genotype interactions were significant at 1% level of probability. Therefore, the analysis of genotype - environment interaction was performed using multivariate analysis of principal coordinates. Compared to the grand mean, 10 environments under study were divided into two groups including three environments with higher performance than the total average and seven environments with lower performance than the total average. The most stable genotypes based on the MST (Minimum Spanning Tree) and distance from the center of plots were hybrids 1, 8 and Savalan cultivar in low cycles and hybrid 5 was identified in high cycles.

Conclusions: The hybrids 1 (35.57 ton/ha), 8 (35.05 ton/ha) and Savalan cultivar (33.52 ton/ha) which could be recommended for environments with the yield lower than the average mean of all studied environments. Also, hybrid 5 (41.21 ton/ha) was identified for environments with higher performance than the total average.

Keywords: Genotype – environment interaction, Graphic chart, Stability analysis, PCOA analysis, Tuber yield