دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

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

مینا مقدس‌زاده[۱]، رسول اصغری زکریا[۲]، داود حسن پناه[۳] و ناصر زارع[۴]

۱ و ۴- دانشجوی دکتری و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- عضو هیئت علمی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، (نویسنده مسوول: r-asghari@uma.ac.ir)
۳- عضو هیات علمی بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۷/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۲۳

چکیده

به‌منظور بررسی پایداری عملکرد غده، ۱۵ ژنوتیپ سیب‌زمینی با استفاده از روش‌های ناپارامتری در سه ایستگاه تحقیقاتی، طی دو سال و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد مطالعه قرار گرفتند. بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب، اثرات ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ×محیط معنی‌دار شد. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول ۸۶/۷ درصد واریانس متغیرهای اولیه را توجیه می‌کنند. بای‌پلات مؤلفه اصلی اول (PC1) در مقابل مؤلفه اصلی دوم (PC2)، آماره‌های پایداری ناپارامتری مورد مطالعه در چهار گروه طبقه‌بندی کرد. تجزیه کلاستر میانگین عملکرد غده و آماره‌های ناپارامتری، ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی مورد مطالعه را در دو گروه اصلی داد. بر اساس میانگین رتبه همه آماره‌های ناپارامتری مورد مطالعه، ژنوتیپ‌های G1، G15، G5، G6، G12 و G13 با داشتن کمترین میانگین رتبه، پایدارترین و ژنوتیپ‌های G9، G11، G14، G3 و G7 با داشتن بیشترین میانگین رتبه، ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. با توجه به اینکه معیارهای پایداری Ys_i، R، TOP و LOW با میانگین عملکرد (MY) و مفهوم دینامیک پایداری رابطه داشتند، بنابراین این روش‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا در سیب‌زمینی مناسب هستند. بر اساس این پارامترها ژنوتیپ‌های G5 با عملکرد غده ۴۵/۵۷ تن در هکتار و G1 با عملکرد غده ۳۹/۹۹ تن در هکتار به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه پایداری، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه کلاستر، سیب‌زمینی

مقدمه

سیب‌زمینی منبع غذایی اصلی، مهم و همچنین منبع کم هزینه‌ای از انرژی و پروتئین با کیفیت مطلوب است (۱۸). غده‌های این گیاه به‌عنوان محصولی با ارزش غذایی بالا در جوامع در حال توسعه استفاده می‌شود (۲۸). ارزش غذایی بالای سیب‌زمینی، آن را به‌عنوان محصول مهمی در شرایط وقوع قحطی معرفی کرده است (۴). از آنجایی که وجود اثر متقابل ژنوتیپ×محیط موجب تفاوت در عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف می‌گردد (۳۰)، لذا شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌هایی که دارای پایداری عملکرد در محیط‌های مختلف باشند از اهداف مهم به‌نژادگران است. دو روش عمده جهت تجزیه پایداری به‌منظور گزینش ژنوتیپ‌های پایدار شامل روش‌های پارامتری و روش‌های ناپارامتری است (۲۶). از روش‌های ناپارامتری که عمدتاً جهت برآورد پایداری ژنوتیپ ها استفاده می‌شود می‌توان به آماره‌های ناپارامتری هان ($S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$، $S_i^{(3)}$، $S_i^{(4)}$، $Si^{(5)}$ و $S_i^{(6)}$) (۱۰،۲۲)، آماره‌های تنارازو ($NP_i^{(1)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$) (۳۵)، آماره میانگین رتبه (R) (۱۵)، آماره‌های پایداری کتاتا (σ_r و σ_{my}) (۱۶)، آماره پایداری کانگ (Ys_i) (۱۳) و آماره‌های پایداری فوکس (TOP، MID و LOW) (۶) اشاره کرد. روش‌های ناپارامتری نسبت به روش‌های پارامتری مزایایی دارند که از آن جمله می‌توان به عدم نیاز به نرمال بودن داده‌ها یا یک‌نواختی واریانس خطاهای آزمایشی اشاره کرد. همچنین روش‌های ناپارامتری در مقایسه با روش‌های پارامتری نسبت به خطا یا داده‌های پرت حساسیت کمتری دارند. اضافه یا حذف نمودن یک یا تعداد کمی از ژنوتیپ‌ها بر این شاخص‌ها اثری ندارد. همچنین تجزیه و تحلیل و تفسیر معیارهای ناپارامتری راحت‌تر از معیارهای پارامتری می‌باشد (۱۱،۱۲). تعدادی از محققین پایداری عملکرد غده ژنوتیپ‌های مختلف سیب‌زمینی را نسبت به شرایط محیطی مورد بررسی قرار داده‌اند. حسن‌پناه و حسن‌آبادی (۹) با بررسی ۱۸ کلون امیدبخش سیب‌زمینی به همراه ارقام تجاری ساوالان، آگریا، مارفونا و لیدی‌رزتا طی دو سال در منطقه اردبیل مشاهده کردند که بین کلون‌های امیدبخش و نیز اثر متقابل کلون×سال از نظر عملکرد غده اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در این تحقیق کلون‌های ۷-۳۹۷۰۰۳، ۲۷-۳۹۶۱۵۱، ۱۰۰-۳۹۷۰۴۵ و رقم ساوالان (شاهد) دارای عملکرد غده و پایداری عملکرد بیشتری بودند. حسن‌پناه و حسن‌آبادی (۸) ۲۹ کلون امیدبخش سیب‌زمینی به همراه ارقام تجاری آگریا، مارفونا و لیدی‌رزتا را از نظر صفات کمی و کیفی طی دو سال در منطقه اردبیل مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، کلون‌های ۱۰-۳۹۷۰۸۲، ۲-۳۹۷۰۹۷، ۲-۳۹۷۰۸۲ و ۶-۳۹۶۱۵۶ دارای عملکرد غده کل و قابل فروش، تعداد و وزن غده کل و قابل فروش در بوته بیشتری بودند و به‌عنوان ارقام مناسب برای منطقه اردبیل انتخاب شدند. حسن‌پناه و عزیزی (۷) پایداری عملکرد غده سیب‌زمینی را با استفاده از روش‌های ناپارامتری تنارازو (۳۵)، نصار و هان (۲۲) و تروبرگ و هان (۳۶) مورد بررسی قرار دادند و ارقام Satina و Caesar را به‌عنوان پایدارترین و رقم Agria را به‌عنوان ناپایدارترین رقم شناسایی کردند. در این تحقیق آماره $S_i^{(1)}$ به‌عنوان مناسب‌ترین روش انتخاب شد.

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.50]

تحقیق حاضر به‌منظور بررسی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط بر عملکرد غده ۱۵ ژنوتیپ سیب‌زمینی در شش محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی پایدار همراه با عملکرد بالا و نیز مقایسه کارآیی روش‌های ناپارامتری در این امر انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، پایداری ۱۱ کلون سیب‌زمینی به همراه چهار واریته (کایزر، لوستا، ساوالان و آگریا) در طی دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در سه منطقه اردبیل، همدان و کرج و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت (جداول ۱ و ۲). کشت در دهه اول اردیبهشت ماه به صورت جوی–پشته‌ای و به تعداد ۵۰ غده در هر کرت انجام گردید. هر کرت شامل سه خط ۶ متری با فاصله خطوط ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها بر روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در طی عملیات داشت، خاک‌دهی پای بوته یک بار در مرحله ۱۰ سانتی‌متری بوته‌ها و یک بار دیگر قبل از مرحله غده‌زایی صورت گرفت. در این مرحله علف‌های هرز به صورت دستی وجین شدند. مقادیر مورد نیاز فسفر، نیتروژن و پتاسیم بر اساس آزمون خاک از منابع کودی مربوطه (کود اوره و کود فسفات آمونیوم) تأمین گردید. برای مبارزه با آفات و بیماری‌ها یک بار علیه سوسک کلرادو با سم کنفیدور به مقدار ۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتار و یک‌بار برای پیشگیری بیماری فیتوفترا از سم مانکوزب به مقدار یک کیلوگرم در هکتار استفاده شد. عملیات برداشت غده‌های سیب‌زمینی در دهه اول مهر ماه انجام شد. روش‌های ناپارامتری مختلف جهت برآورد پایداری ژنوتیپ‌ها شامل آماره‌های ناپارامتری هان ($S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$، $S_i^{(3)}$، $S_i^{(4)}$، $Si^{(5)}$ و $S_i^{(6)}$) (۱۰،۲۲)، آماره‌های تنارازو ($NP_i^{(1)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$) (۳۵)، آماره پایداری میانگین رتبه (R) (۱۵)، آماره‌های پایداری کتاتا و همکاران (σ_r و σ_{my}) (۱۶)، آماره پایداری کانگ (Ys_i) (۱۳) و آماره‌های پایداری فوکس (TOP، MID و LOW) (۶) استفاده شد (جدول ۳). همچنین ضرایب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن جهت ارزیابی روابط بین روش‌های پایداری مختلف محاسبه شد. به‌منظور شناخت بهتر روابط بین آماره‌های مختلف، از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. بای‌پلات مؤلفه اصلی اول در مقابل مؤلفه اصلی دوم و نیز بای‌پلات‌های میانگین عملکرد در مقابل آماره‌های ناپارامتری مورد مطالعه رسم گردید. همچنین از تجزیه کلاستر به روش Ward بر اساس فاصله اقلیدوسی به‌منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از لحاظ رتبه میانگین عملکرد و آماره‌های پایداری ناپارامتری استفاده شد. جهت انجام تجزیه‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS، Minitab و Excel استفاده شد.

آماره عملکرد–پایداری کانگ (Ys_i)

کانگ (۱۳) استفاده از میانگین عملکرد و واریانس پایداری شوکلا (۲۹) را جهت گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار پیشنهاد کردند. بر طبق این آماره پایداری، ژنوتیپ‌های با بیشترین ارزش به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته می‌شوند.

آماره‌های پایداری فوکس و همکاران

فوکس و همکاران (۶) سه آماره ناپارامتری TOP، MID و LOW را بر اساس درصد قرارگیری ژنوتیپ‌ها در سه بخش بیشینه (یک سوم ابتدایی)، متوسط (یک سوم میانی) و کمینه (یک سوم انتهایی) معرفی کرده‌اند. بر این اساس هر چقدر مقدار پارامتر TOP ژنوتیپی بیشتر باشد آن ژنوتیپ به‌عنوان پایدارترین و مطلوب‌ترین ژنوتیپ گزینش می‌شود.

آماره پایداری میانگین رتبه کتاتا (R)

در روش ناپارامتری رتبه‌بندی، ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد در همه محیط‌ها رتبه‌بندی می‌شوند به‌طوری‌که به بهترین ژنوتیپ کمترین رتبه و به بدترین ژنوتیپ بیشترین رتبه تعلق می‌گیرد و سپس میانگین رتبه و انحراف معیار رتبه‌ها برای هر ژنوتیپ محاسبه می‌شوند. ژنوتیپ‌هایی که میانگین و انحراف معیار کمی دارند به‌عنوان ژنوتیپ‌های پر پتانسیل محسوب می‌شوند (۱۵).

جدول ۱– ویژگی‌های جغرافیایی مکان‌های مختلف

Table 1. The experimental sites and geographical characteristics of testing environments

کد محیطی	سال	بافت خاک	ارتفاع (متر)	طول و عرض جغرافیایی	مکان
E1	۱۳۹۴	رسی–لومی	۱۳۵۱	۳۸°۱۵′ N	اردبیل
E4	۱۳۹۵			۴۸°۱۸′ E	
E2	۱۳۹۴	شنی–رسی–لومی	۱۸۲۰	۳۴°۴۸′ N	همدان
E5	۱۳۹۵			۴۸°۳۲′ E	
E3	۱۳۹۴	شنی–لومی	۱۳۱۲	۳۵°۴۸′ N	کرج
E6	۱۳۹۵			۵۱°۰۰′ E	

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.50]

جدول ۲- کد ژنوتیپی، والدین و میانگین عملکرد غده ۱۵ ژنوتیپ سیب‌زمینی در شش محیط

Table 2. Genotype code, parents and mean tuber yield of 15 potato genotypes in six environments

کد ژنوتیپی	کد کلون	والدین	E1	E2	E3	E4	E5	E6	میانگین عملکرد
G1	۱۶-۷۵	لوستا ♀× کایزر ♂	۴۴/۳۴	۳۸/۳۶	۳۵/۳۳	۵۴/۲۷	۳۴/۲۶	۳۳/۳۵	۳۹/۹۹
G2	۹-۷۵	لوستا ♀× کایزر ♂	۴۴/۲۸	۲۴/۱۷	۲۹/۹۴	۴۳/۳۲	۲۵/۶۰	۲۳/۷۸	۳۱/۸۵
G3	۱۵-۷۵	لوستا ♀× کایزر ♂	۴۶/۲۹	۳۶/۵۹	۴۵/۴۷	۳۶/۱۹	۳۰/۳۳	۲۳/۳۵	۳۶/۳۷
G4	۱۱-۷۵	لوستا ♀× کایزر ♂	۴۷/۱۷	۲۷/۶۶	۲۸/۲۶	۴۶/۵۴	۲۸/۹۲	۲۶/۸۱	۳۴/۲۳
G5	۱۳-۷۵	لوستا ♀× کایزر ♂	۴۷/۴۱	۶۱/۴۹	۴۶/۶۱	۴۴/۰۷	۳۹/۶۲	۳۴/۲۲	۴۵/۵۷
G6	۵-۷۵	لوستا ♀× کایزر ♂	۴۱/۲۲	۳۳/۷۲	۳۷/۶۹	۳۹/۹۳	۲۲/۷۲	۲۱/۷۱	۳۲/۸۳
G7	۲۳-۷۵	لوستا ♀× کایزر ♂	۳۸/۴۰	۳۴/۲۱	۵۴/۷۵	۴۲/۰۵	۳۵/۹۶	۳۲/۶۶	۳۹/۶۷
G8	ساوالان	ساوالان	۴۴/۳۴	۳۱/۲۸	۲۹/۴۴	۵۲/۵۷	۳۷/۷۹	۳۷/۴۶	۳۸/۸۲
G9	آگریا	آگریا	۳۷/۸۱	۴۴/۷۰	۳۸/۵۰	۳۳/۲۹	۳۲/۵۴	۳۰/۹۵	۳۶/۳۰
G10	۱۴-۷۵	لوستا ♀× کایزر ♂	۳۵/۱۹	۳۵/۵۸	۳۸/۱۴	۴۰/۵۱	۳۱/۳۷	۱۹/۹۷	۳۳/۴۶
G11	۳-۷۵	لوستا ♀× کایزر ♂	۴۰/۲۸	۲۵/۷۶	۲۸/۰۹	۵۲/۴۴	۲۰/۰۰	۲۵/۳۵	۳۱/۹۹
G12	۲-۷۵	لوستا ♀× کایزر ♂	۲۹/۰۳	۲۹/۴۶	۲۰/۴۷	۲۹/۲۳	۲۲/۸۰	۲۴/۵۹	۲۵/۹۳
G13	کایزر	کایزر	۳۶/۳۹	۲۶/۳۴	۱۴/۶۵	۴۲/۲۵	۱۹/۵۱	۲۰/۱۰	۲۶/۵۴
G14	۵-۲۷	لوستا ♀× ساوالان ♂	۴۱/۴۰	۲۵/۱۱	۲۴/۱۶	۴۷/۳۵	۲۱/۵۱	۲۱/۸۳	۳۰/۲۲
G15	لوستا	لوستا	۳۴/۶۹	۳۱/۱۴	۱۷/۸۳	۳۴/۴۷	۲۷/۷۵	۲۱/۵۳	۲۷/۹۰
		میانگین عملکرد (t/ha)	۴۰/۵۵	۴۲/۵۷	۳۳/۷۰	۲۸/۷۱	۳۲/۶۲	۲۶/۵۱	۳۴/۱۱

E1: اردبیل ۱۳۹۴، E2: همدان ۱۳۹۴، E3: کرج ۱۳۹۴، E4: اردبیل ۱۳۹۵، E5: همدان ۱۳۹۵، E6: کرج ۱۳۹۵.

جدول ۳- فرمول‌های مربوط به آماره‌های ناپارامتری

Table 3. Equations of nonparametric stability procedures

آماره‌های ناپارامتری	فرمول	منبع
$S_i^{(1)}$	$S_i^{(1)} = 2\sum_{i=1}^{m-1}\sum_{(i=i+1)}^{m}\left\|r_{ij}^{*} - r_{ij}^{*}\right\| / [m(m-1)]$	هان (۱۰) و نصار و هان (۲۲)
$S_i^{(2)}$	$S_i^{(2)} = \sum_{i=1}^{m-1}\left(r_{ij}^{*} - r_{i.}^{*}\right)^2 / (m-1)$	
$S_i^{(3)}$	$S_i^{(3)} = \sum_{i=1}^{m}\left(r_{ij} - \bar{r}_{i.}\right)^2 / \bar{r}_{i.}$	
$S_i^{(4)}$	$S_i^{(4)} = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}\left(r_{ij} - \bar{r}_{i.}\right)^2 / m}$	
$S_i^{(5)}$	$S_i^{(5)} = \sum_{i=1}^{m}\left\|r_{ij} - \bar{r}_{i.}\right\| / m$	
$S_i^{(6)}$	$S_i^{(6)} = \sum_{i=1}^{m}\left\|r_{ij} - \bar{r}_{i.}\right\| / \bar{r}_{i.}$	
$NP_i^{(1)}$	$NP_i^{(1)} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\left\|r_{ij}^{*} - M_{di}^{*}\right\|$	تنارازو (۳۵)
$NP_i^{(2)}$	$NP_i^{(2)} = \frac{1}{m}\left[\sum_{i=1}^{m}\left\|r_{ij}^{*} - M_{di}^{*}\right\| / M_{di}\right]$	
$NP_i^{(3)}$	$NP_i^{(3)} = \frac{\sqrt{\sum\left(r_{ij}^{*} - \bar{r}_{i.}^{*}\right)^2 / m}}{\bar{r}_i}$	
$NP_i^{(4)}$	$NP_i^{(4)} = \frac{2}{m(m-1)}\left[\sum_{i=1}^{m-1}\sum_{(i=i+1)}^{m}\left\|r_{ij}^{*} - r_{ij}^{*}\right\| / \bar{r}_{i.}\right]$	
σ_r	$\sigma_r = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}\left(r_{ij} - \bar{r}_{i.}\right)^2 / (m-1)}$	کتاتا و همکاران (۱۶)
σ_{my}	$\sigma_{my} = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}\left(r_{ij} - \bar{x}_{i.}\right)^2 / (m-1)}$	

در روابط فوق:

r_{ij} و r_{ij}^{*} = به ترتیب رتبه تصحیح نشده و تصحیح شده ژنوتیپ iام در محیط jام

$\bar{r}_{i.}$ و $\bar{r}_{i.}^{*}$ = به ترتیب میانگین رتبه تصحیح نشده و تصحیح شده ژنوتیپ iام

M_{di} و M_{di}^{*} = به ترتیب میانه رتبه تصحیح نشده و تصحیح شده ژنوتیپ iام

m و 1 = تعداد محیط $\bar{X}_{i.}$ = میانگین ژنوتیپ iام

تصحیح عملکرد با استفاده از رابطه زیر انجام گردید:

$$\left[X_{ij}^{*} = X_{ij} - (\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..})\right]$$

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.50]

نصار و هان (۱۶) آزمون معنی‌داری برای $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$ را پیشنهاد کردند که تقریبی از آماره χ^2 می‌باشد ($\chi^2 = \sum_i^l Z_i^t t=1, 2$):

$$Z_i^t = [S_i^t - E(S_i^t)]^2 / V(S_i^t)$$

در رابطه فوق $E(S_i^t)$ و $V(S_i^t)$ به ترتیب برابر با میانگین و واریانس S_i^t بوده و از روابط زیر محاسبه می‌گردند:

$$E(S_i^{(1)}) = \frac{l^2 - 1}{3l}$$

$$E(S_i^{(2)}) = \frac{l^2 - 1}{12}$$

$$V(S_i^{(1)}) = \frac{(l^2 - 1)[(l^2 - 4)(m + 3) + 30]}{45l^2 m(m - 1)}$$

$$V(S_i^{(2)}) = \frac{(l^2 - 1)[2(l^2 - 4)(m - 1) + 5(l^2 - 1)]}{360m(m - 1)}$$

l: تعداد ژنوتیپ‌ها

m: تعداد محیط‌ها

نتایج و بحث

بر اساس نتایج جدول تجزیه مرکب اثرات اصلی ژنوتیپ، سال و مکان و نیز اثرات متقابل ژنوتیپ در سال و در مکان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). اثرات ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ ومحیط به ترتیب ۲۰/۳۵، ۲۵/۶۸ و ۲۲/۸۲ درصد از مجموع مربعات کل را به خود اختصاص دادند. همچنین اثرات متقابل ژنوتیپ×سال، ژنوتیپ×مکان و ژنوتیپ×سال×مکان به ترتیب ۲۵/۷۵، ۵۳/۵۸ و ۲۵/۶۷ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). به‌منظور مقایسه کارآیی روش‌های ناپارامتری مختلف در گزینش ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا و انتخاب مناسب‌ترین روش‌ها در این راستا، معیارهای مختلف ناپارامتری برای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و رتبه‌بندی آنها در جداول ۵ و ۶ آمده است. مقادیر $Z_i^{(1)}$ و $Z_i^{(2)}$ بر اساس رتبه داده‌های تصحیح شده برای هر ژنوتیپ به‌صورت انفرادی محاسبه گردید. سپس این مقادیر برای آزمون χ^2 روی تمام ژنوتیپ‌ها جمع زده شدند. مقادیر انفرادی $Z_i^{(1)}$ برای ژنوتیپ‌های G5، G1 و G15 بیشتر از مقدار χ^2 جدول (۳/۸۴ =$\chi^2_{0.05\ df=1}$) بدست آمد و معنی‌دار گردید ولی مقادیر انفرادی $Z_i^{(2)}$ برای هیچ کدام از ژنوتیپ‌ها معنی‌دار نشد. با توجه به اینکه مقادیر مجموع Zها (۲۳/۸۵ =$\Sigma Z_i^{(1)}$ و ۱۸/۲۰ =$\Sigma Z_i^{(2)}$) کمتر از مقدار بحرانی کای‌اسکور جدول با درجه آزادی ۱۵ بود که این نشان‌دهنده‌ی عدم تفاوت معنی‌دار بین سطوح پایداری ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی است (جدول ۵).

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب عملکرد غده ۱۵ ژنوتیپ سیب‌زمینی در شش محیط

Table 4. Combined analysis of variance of tuber yield (ton per ha) of 15 potato genotypes in six environments

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	%T SS	% GE SS
محیط (E)	۵	۱۸۱۸/۸۰**	۲۵/۶۸	
سال (Y)	۱	۶۵۰/۲۹**		
مکان (L)	۲	۳۸۰۳/۳۶**		
سال×مکان (Y×L)	۲	۴۱۸/۵۰**		
خطای اول (E1)	۱۲	۲۲۴/۲۵		
ژنوتیپ (G)	۱۴	۵۱۴/۶۶**	۲۰/۳۵	
ژنوتیپ×محیط (G×E)	۷۰	۱۱۵/۴۸**	۲۲/۸۳	
ژنوتیپ×سال (G×Y)	۱۴	۱۴۸/۷۰**		۲۵/۷۵
ژنوتیپ×مکان (G×L)	۲۸	۱۵۴/۶۷**		۵۳/۵۸
ژنوتیپ×سال×مکان (G×Y×L)	۲۸	۵۹/۶۸		۲۵/۶۷
خطای دوم(E2)	۱۶۸	۴۹/۶۳		
کل	۲۶۹	۱۳۱/۶۴		
ضریب تغییرات (درصد)		۲۰/۵۹		

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد،%T SS : درصد توجیه از مجموع مربعات کل و %GE SS : درصد توجیه از مجموع مربعات اثر متقابل

بر اساس آماره‌های پایداری ناپارامتری هان (۱۰) و نصار و هان (۲۲)، ژنوتیپ‌های باکمترین مقادیر به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته می‌شوند. بر اساس آماره‌های $S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$، $S_i^{(4)}$ و $S_i^{(5)}$ ژنوتیپ‌های G5، G1 و G15 با کمترین مقادیر به عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های G9، G10 و G11 با بیشترین مقادیر آماره‌های مذکور به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند (جداول ۵ و ۶). بر اساس آماره $S_i^{(3)}$ ژنوتیپ‌های G15، G12 و G13 پایدارترین و ژنوتیپ‌های G9، G8 و G3 ناپایدارترین بودند. همچنین بر اساس آماره $S_i^{(6)}$ ژنوتیپ‌های G15، G13 و G12 به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های G8، G5 و G9 به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند (جداول ۵ و ۶). بر اساس آماره‌های ناپارامتری $NP_i^{(1)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ پیشنهاد شده توسط تنارازو (۳۵) ژنوتیپ‌های با کمترین مقادیر به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته می‌شوند. بر اساس آماره $NP_i^{(1)}$ ژنوتیپ‌های G1، G4 و G2 به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های G11، G8 و G9 به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند (جداول ۵ و ۶). بر اساس پارامترهای

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.50]

$NP_i^{(2)}$ و $NP_i^{(4)}$ ژنوتیپ‌های G13، G15 و G14 پایدارترین و ژنوتیپ‌های G5، G8 و G7 ناپایدارترین بودند. ژنوتیپ‌های G12، G11 و G15 بر اساس آماره $NP_i^{(3)}$ به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های G5، G8 و G7 به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند (جداول ۵ و ۶). بر اساس آماره پایداری کانگ (Ys_i) ژنوتیپ‌های با بیشترین ارزش به عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار شناخته می‌شوند (۱۳). بنابراین، بر اساس این آماره ژنوتیپ‌های G5، G1 و G7 دارای عملکرد بالا و پایدار و ژنوتیپ‌های G13، G11، G12، G14 و G15 دارای عملکرد پایین و ناپایدار بودند. با توجه به اینکه بر اساس آماره پایداری کانگ (Ys_i) عملکرد و پایداری در یک معیار مشخص می‌شوند، لذا در این روش انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا با اطمینان بیشتری انجام می‌شود. کایا و تورکوز (۱۴)، فرشادفر و همکاران (۵)، زالی و همکاران (۳۸) و روستایی و همکاران (۲۴) طی مطالعات خود به رابطه مثبت بین عملکرد و Ys_i و مفهوم دینامیک پایداری برای این آماره اشاره کرده‌اند. کتاتا (۱۵) استفاده از میانگین رتبه (R) را به‌عنوان معیاری به منظور تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها ارائه کرد. بر این اساس ژنوتیپ‌های با کمترین مقدار R به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته می‌شوند. بر این اساس ژنوتیپ‌های G5، G1 و G8 پایدارترین و ژنوتیپ‌های G13، G12، G15 و G14 ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جداول ۵ و ۶). بر اساس آماره‌های فوکس و همکاران (۶) ژنوتیپ‌های G1 و G5 با داشتن ۸۳/۳۳ درصد TOP، ۱۶/۶۷ درصد MID و عدم قرارگیری در ناحیه LOW به‌عنوان مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها در پژوهش حاضر شناخته شدند. و ژنوتیپ‌های G13، G12، G15 و G6 بر اساس آماره‌های مذکور به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند (جداول ۵ و ۶). نوروزی و عبادی (۲۳) با ارزیابی پایداری ۱۵ لاین اینبرد آفتابگردان، آماره TOP را جهت گزینش ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا مناسب ارزیابی کردند. صباغ‌نیا و همکاران (۲۵)، سولومون و همکاران (۳۱)، یانگ جیان و همکاران (۳۷)، خلیلی و ابوقداره (۱۷) میوت و همکاران (۲۱) و محمدی و امری (۱۹) طی مطالعات خود آماره TOP را دارای مفهوم دینامیک پایداری تشخیص دادند. بر اساس آماره σ_r معرفی شده توسط کتاتا و همکاران(۱۶)، ژنوتیپ‌های با مقادیر کمتر به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین، بر اساس آماره مذکور ژنوتیپ‌های G5، G1 و G15 پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. و بر اساس آماره دیگر معرفی شده توسط کتاتا و همکاران (σ_{my}) (۱۶) ژنوتیپ‌های با مقادیر بالای این آماره به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته می‌شوند. بر این اساس ژنوتیپ‌های G5، G1 و G8 پایدارترین بودند (جداول ۵ و ۶).

به‌طور کلی بر اساس میانگین رتبه همه آماره‌های ناپارامتری مورد مطالعه، ژنوتیپ‌های G1، G15، G5، G6، G12 و G13 با داشتن کمترین میانگین رتبه پایدارترین و ژنوتیپ‌های G9، G11، G14، G3 و G7 با داشتن بیشترین میانگین رتبه ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۶).

همبستگی بین آماره‌های پایداری ناپارامتری

همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن به‌منظور بررسی رابطه بین میانگین عملکرد غده و آماره‌های ناپارامتری محاسبه شد (جدول ۷). بر اساس نتایج بدست آمده، میانگین عملکرد (MY) همبستگی مثبت و معنی‌داری با آماره‌های Ys_i، R، TOP، LOW و σ_{my} داشت. فرشادفر و همکاران (۵)، کایا و تورکوز (۱۴) تدگه و همکاران (۳۴)، یانگ جیان و همکاران (۳۷)، صباغ‌نیا و همکاران (۲۵)، محمدی و همکاران (۲۰)، عبادی سقرلو و همکاران (۳) و محمدی و امری (۱۹) نیز طی مطالعات خود، بین میانگین عملکرد (MY) با TOP و Ys_i ضرایب همبستگی رتبه‌ای مثبت و معنی‌داری مشاهده کردند. بر اساس نتایج مطالعه حاضر، همبستگی MY با آماره‌های پایداری $S_i^{(3)}$، $S_i^{(6)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ منفی و معنی‌دار بدست آمد (جدول ۷). محققان دیگری نیز همبستگی منفی و معنی‌داری بین MY و آماره‌های $S_i^{(3)}$، $S_i^{(6)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ مشاهده کردند (۱۴،۳۳). ضرایب همبستگی رتبه‌ای مثبت و معنی‌داری بین همه جفت پارامترهای ممکن $S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$، $S_i^{(4)}$، $S_i^{(5)}$ و σ_r مشاهده شد (جدول ۷). همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین $S_i^{(3)}$، $S_i^{(6)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ به دست آمد (جدول ۷). بر اساس نتایج این مطالعه TOP همبستگی مثبت و معنی‌داری با $S_i^{(3)}$، $S_i^{(6)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$، $NP_i^{(4)}$ و σ_{my} داشت (جدول ۷). این نتیجه در توافق با نتایج سایر محققین است (۳،۱۴،۱۷).

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.50]

جدول ۵- برآورد آماره‌های پایداری ناپارامتری و آزمون معنی‌داری ($Z_i^{(1)}$ و $Z_i^{(2)}$) برای ۱۵ ژنوتیپ سیب‌زمینی در شش محیط

Table 5. Non-parametric stability parameters for yield and tests of non-parametric stability preceduers ($Z_i^{(1)}$ and $Z_i^{(2)}$) for 15 potato genotypes in six environments

ژنوتیپ	MY (t/ha)	$S_i^{(1)}$	$Z_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	$Z_i^{(2)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(4)}$	$Si^{(5)}$	$S_i^{(6)}$	$NP_i^{(1)}$	$NP_i^{(2)}$	$NP_i^{(3)}$	$NP_i^{(4)}$	Ys_i	R	TOP	MID	LOW	σ_r	σ_{my}
G1	۳۹/۹۹	۲/۲۷	۴/۹۴*	۳/۸۷	۳/۱۷ ns	۵/۲۷	۱/۸۰	۱/۳۳	۲/۱۸	۱/۵۰	۰/۴۳	۰/۵۲	۰/۱۸	۱۶/۰۰	۳/۶۷	۸۳/۳۳	۱۶/۶۷	۰/۰۰	۱/۹۷	۳۹/۸۴
G2	۳۱/۸۵	۴/۰۰	۰/۶۴ns	۱۱/۶۰	۰/۷۲ns	۶/۴۴	۳/۱۱	۲/۳۳	۱/۵۶	۳/۱۷	۰/۳۷	۰/۴۴	۰/۱۴	۲/۰۰	۹/۰۰	۱۶/۶۷	۶۶/۶۷	۱۶/۶۷	۳/۴۱	۲۵/۲۶
G3	۳۶/۳۷	۴/۶۰	۰/۱۰ns	۱۴/۷۰	۰/۲۳ns	۱۱/۳۱	۳/۵۰	۳/۱۷	۲/۹۲	۳/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۴	۰/۲۳	۱۲/۰۰	۶/۵۰	۵۰/۰۰	۳۳/۳۳	۱۶/۶۷	۳/۸۳	۳۲/۹۴
G4	۳۴/۲۳	۴/۱۳	۰/۴۸ns	۱۱/۲۰	۰/۸۱ ns	۸/۰۰	۳/۰۶	۲/۶۷	۲/۲۹	۳/۰۰	۰/۴۳	۰/۵۵	۰/۱۷	۸/۰۰	۷/۰۰	۳۳/۳۳	۵۰/۰۰	۱۶/۶۷	۳/۳۵	۳۰/۰۱
G5	۴۵/۵۷	۱/۹۳	۶/۲۳*	۳/۷۷	۳/۲۱ ns	۸/۶۹	۱/۷۷	۱/۲۸	۳/۵۴	۳/۳۳	۲/۲۲	۱/۹۹	۰/۶۸	۱۸/۰۰	۲/۱۷	۸۳/۳۳	۱۶/۶۷	۰/۰۰	۱/۹۴	۴۷/۵۹
G6	۳۲/۸۳	۳/۲۷	۱/۹۷ns	۷/۷۷	۱/۷۲ns	۴/۲۴	۲/۵۴	۲/۵۰	۱/۶۴	۳/۰۰	۰/۳۳	۰/۳۹	۰/۱۳	۶/۰۰	۹/۱۷	۰/۰۰	۵۰/۰۰	۵۰/۰۰	۲/۷۹	۲۶/۰۷
G7	۳۹/۶۷	۴/۰۰	۰/۶۴ns	۱۰/۶۷	۰/۹۳ ns	۱۰/۰۰	۲/۹۸	۲/۶۷	۳/۰۰	۴/۰۰	۰/۸۰	۰/۸۴	۰/۳۰	۱۵/۰۰	۵/۳۳	۵۰/۰۰	۵۰/۰۰	۰/۰۰	۳/۲۷	۳۷/۷۶
G8	۳۸/۸۲	۴/۰۰	۰/۶۴ns	۱۱/۴۷	۰/۷۵ns	۱۳/۲۳	۳/۰۹	۲/۷۸	۳/۸۵	۴/۳۳	۱/۴۴	۱/۱۱	۰/۴۰	۱۴/۰۰	۴/۳۳	۶۶/۶۷	۳۳/۳۳	۰/۰۰	۳/۳۹	۳۷/۹۲
G9	۳۶/۳۰	۵/۲۰	۰/۰۳ns	۱۹/۸۷	۰/۰۲ns	۱۴/۹۰	۴/۰۷	۳/۵۶	۳/۲۰	۴/۰۰	۰/۸۰	۰/۷۴	۰/۲۷	۱۱/۰۰	۶/۶۷	۶۶/۶۷	۱۶/۶۷	۱۶/۶۷	۴/۴۶	۳۲/۷۶
G10	۳۳/۴۶	۵/۰۰	۰/۰۰ns	۱۷/۳۷	۰/۰۲ns	۹/۸۳	۳/۸۰	۳/۵۰	۲/۳۸	۳/۸۳	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۱۷	۷/۰۰	۸/۸۳	۳۳/۳۳	۳۳/۳۳	۳۳/۳۳	۴/۱۷	۲۷/۳۰
G11	۳۱/۹۹	۵/۰۷	۰/۰۱ns	۱۷/۰۷	۰/۰۴ns	۹/۱۴	۳/۷۷	۳/۳۳	۲/۱۴	۴/۵۰	۰/۴۷	۰/۵۴	۰/۱۹	-۳/۰۰	۹/۳۳	۱۶/۶۷	۳۳/۳۳	۵۰/۰۰	۴/۱۳	۲۵/۱۶
G12	۲۵/۹۳	۳/۲۷	۱/۹۷ns	۶/۹۷	۱/۹۸ns	۲/۹۴	۲/۴۱	۲/۱۷	۱/۱۰	۳/۸۳	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۱۳	-۱/۰۰	۱۱/۸۳	۰/۰۰	۳۳/۳۳	۶۶/۶۷	۲/۶۴	۱۵/۶۶
G13	۲۶/۵۴	۳/۲۷	۱/۹۷ ns	۷/۵۰	۱/۸۱ns	۳/۰۰	۲/۵۰	۲/۱۷	۱/۰۴	۳/۶۷	۰/۲۸	۰/۳۴	۰/۱۲	-۴/۰۰	۱۲/۵۰	۰/۰۰	۱۶/۶۷	۸۳/۳۳	۲/۷۴	۱۵/۶۲
G14	۳۰/۲۲	۴/۸۰	۰/۰۲ns	۱۶/۴۰	۰/۰۷ns	۸/۲۰	۳/۷۰	۳/۳۳	۲/۰۰	۳/۳۳	۰/۲۹	۰/۴۳	۰/۱۶	-۱/۰۰	۱۰/۰۰	۱۶/۶۷	۱۶/۶۷	۶۶/۶۷	۴/۰۵	۲۲/۵۲
G15	۲۷/۹۰	۲/۴۷	۴/۲۴*	۴/۹۷	۲/۷۲ ns	۲/۱۰	۲/۰۳	۱/۸۹	۰/۹۶	۳/۶۷	۰/۲۸	۰/۳۶	۰/۱۲	۱/۰۰	۱۱/۸۳	۰/۰۰	۳۳/۳۳	۶۶/۶۷	۲/۲۳	۱۷/۷۴
		$\Sigma Z_i^{(1)}$=۲۳/۸۵		$\Sigma Z_i^{(2)}$=۱۸/۲۰																
		Test Statistics																		
Mean Yield		$E(S_i^{(1)})$		$E(S_i^{(2)})$		$Var(S_i^{(1)})$		$Var(S_i^{(2)})$		$\chi^2_{Z1, Z2}$		χ^2_{sum}								
۳۴/۱۱ t/ha		۴/۹۷۷		۱۸/۶۶۶		۱/۴۸۸		۶۹/۰۶۶		۳/۸۴		۲۳/۷								

$S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$، $S_i^{(3)}$، $S_i^{(4)}$، $S_i^{(5)}$ و $S_i^{(6)}$: آماره‌های هان (۱۰) و نصار و هان (۲۲)، $NP_i^{(1)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$: آماره‌های تنارازو (۳۵)، Ys_i: آماره کانگ (۱۳)، R: آماره‌های میانگین رتبه کتاتا (۱۵)،TOP، MID و LOW: آماره‌های فوکس و همکاران (۶)،σ_r و σ_{my}: آماره‌های کتاتا و همکاران (۱۶).

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.50]

جدول ۶- رتبه ۱۵ ژنوتیپ سیب‌زمینی برای آماره‌های پایداری ناپارامتری

Table 6. Ranks of 15 potato genotypes for non-parametric stability parameters

ژنوتیپ	MY	$S_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(4)}$	$Si^{(5)}$	$S_i^{(6)}$	$NP_i^{(1)}$	$NP_i^{(2)}$	$NP_i^{(3)}$	$NP_i^{(4)}$	Ys_i	R	TOP	MID	LOW	σ_r	σ_{my}	میانگین رتبه
G1	۲	۲	۲	۵	۲	۲	۸	۱	۶	۸	۷	۲	۲	۱	۴	۱	۲	۲	۳/۳۵
G2	۱۱	۶	۱۰	۶	۱۰	۵	۴	۳	۵	۶	۴	۱۰	۹	۵	۱	۲	۱۰	۱۰	۶/۲۴
G3	۵	۸	۱۱	۱۳	۱۱	۹	۱۱	۵	۹	۱۱	۹	۵	۵	۳	۳	۲	۱۱	۵	۷/۷۱
G4	۷	۷	۸	۷	۸	۷	۹	۲	۶	۱۰	۶	۷	۷	۴	۲	۲	۸	۷	۶/۲۹
G5	۱	۱	۱	۹	۱	۱	۱۴	۴	۱۲	۱۵	۱۳	۱	۱	۱	۴	۱	۱	۱	۴/۷۶
G6	۹	۴	۶	۴	۶	۶	۵	۲	۴	۴	۳	۹	۱۰	۶	۲	۴	۶	۹	۵/۲۹
G7	۳	۶	۷	۱۲	۷	۷	۱۲	۷	۱۰	۱۳	۱۱	۳	۴	۳	۲	۱	۷	۴	۶/۸۲
G8	۴	۶	۹	۱۴	۹	۸	۱۵	۸	۱۱	۱۴	۱۲	۴	۳	۲	۳	۱	۹	۳	۷/۷۱
G9	۶	۱۲	۱۵	۱۵	۱۵	۱۲	۱۳	۷	۱۰	۱۲	۱۰	۶	۶	۲	۴	۲	۱۵	۶	۹/۵۳
G10	۸	۱۰	۱۴	۱۱	۱۴	۱۱	۱۰	۶	۸	۷	۶	۸	۸	۴	۳	۳	۱۴	۸	۸/۵۳
G11	۱۰	۱۱	۱۳	۱۰	۱۳	۱۰	۷	۹	۷	۹	۸	۱۳	۱۱	۵	۳	۴	۱۳	۱۱	۹/۲۴
G12	۱۵	۵	۴	۲	۴	۴	۳	۶	۳	۱	۲	۱۲	۱۳	۶	۳	۵	۴	۱۴	۵/۳۵
G13	۱۴	۵	۵	۳	۵	۴	۲	۵	۱	۲	۱	۱۴	۱۴	۶	۴	۶	۵	۱۵	۵/۷۱
G14	۱۲	۹	۱۲	۸	۱۲	۱۰	۶	۴	۲	۵	۵	۱۲	۱۲	۵	۴	۵	۱۲	۱۲	۷/۹۴
G15	۱۳	۳	۳	۱	۳	۳	۱	۵	۱	۳	۱	۱۱	۱۳	۶	۳	۵	۳	۱۳	۴/۵۹

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.50]

جدول ۷- ضرایب همبستگی رتبه‌ای بین میانگین عملکرد و آماره‌های پایداری ناپارامتری

Table 7. Spearman rank correlation coefficients among yield and stability statistics

	MY	Ys_i	R	$S_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(4)}$	$S_i^{(5)}$	$S_i^{(6)}$	$NP_i^{(1)}$	$NP_i^{(2)}$	$NP_i^{(3)}$	$NP_i^{(4)}$	TOP	MID	LOW	σ_r
Ys_i	۰/۹۵**																
R	۰/۹۸**	۰/۹۶**															
$S_i^{(1)}$	۰/۱۱	۰/۲۷	۰/۱۲														
$S_i^{(2)}$	۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۰۷	۰/۹۶**													
$S_i^{(3)}$	-۰/۸۶**	-۰/۷۹**	-۰/۸۷**	۰/۲۵	۰/۲۷												
$S_i^{(4)}$	۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۰۷	۰/۹۶**	۱/۰۰**	۰/۲۷											
$S_i^{(5)}$	۰	۰/۱۴	۰/۰۲	۰/۹۵**	۰/۹۶**	۰/۳۶	۰/۹۶**										
$S_i^{(6)}$	-۰/۶۲*	-۰/۵	-۰/۶۲*	۰/۶۲**	۰/۶۵**	۰/۸۸**	۰/۶۵**	۰/۷۱**									
$NP_i^{(1)}$	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۵۲**	۰/۴۵	۰/۳۱	۰/۴۵	۰/۵۱*	۰/۵۳*								
$NP_i^{(2)}$	-۰/۸۵**	-۰/۷۸**	-۰/۸۶**	۰/۲	۰/۲۳	۰/۹۶**	۰/۲۳	۰/۲۸	۰/۸۴**	۰/۳۸							
$NP_i^{(3)}$	-۰/۸۸**	-۰/۷۹**	-۰/۸۸**	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۹۴**	۰/۱۸	۰/۲۴	۰/۸۲**	۰/۲۶	۰/۹۴**						
$NP_i^{(4)}$	-۰/۰۹**	-۰/۷۷**	-۰/۸۸**	۰/۲۱	۰/۲	۰/۹۶**	۰/۲	۰/۲۷	۰/۸۴**	۰/۳۴	۰/۹۶**	۰/۹۷**					
TOP	۰/۹۲**	۰/۸۸**	۰/۹۵**	-۰/۰۳	-۰/۰۵	-۰/۸۸**	-۰/۰۵	-۰/۰۹	-۰/۶۹**	-۰/۰۴	-۰/۸۴**	-۰/۸۷**	-۰/۸۹**				
MID	-۰/۰۹	-۰/۰۴	-۰/۰۶	-۰/۰۶	-۰/۱	۰/۱۳	-۰/۱	-۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۱۴	-۰/۳			
LOW	۰/۹۳	۰/۹۳**	۰/۹۷**	۰/۱۱	۰/۰۸	-۰/۸۱**	۰/۰۸	۰/۰۶	-۰/۵۸**	۰/۰۳	-۰/۸۳**	-۰/۸۶**	-۰/۸۴**	۰/۸۹**	۰/۱۱		
σ_r	۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۰۷	۰/۹۶**	۱/۰۰**	۰/۲۷	۱/۰۰**	۰/۹۶**	۰/۶۵**	۰/۴۵	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۲	-۰/۰۵	-۰/۱	۰/۰۸	
σ_{my}	۰/۹۹**	۰/۹۷**	۰/۹۹**	۰/۱۴	۰/۰۹	-۰/۸۶**	۰/۰۹	۰/۰۲	-۰/۶۱*	۰/۰۷	-۰/۸۵**	-۰/۸۷**	-۰/۸۶**	۰/۹۳**	۰/۰۶	۰/۹۵**	۰/۰۹

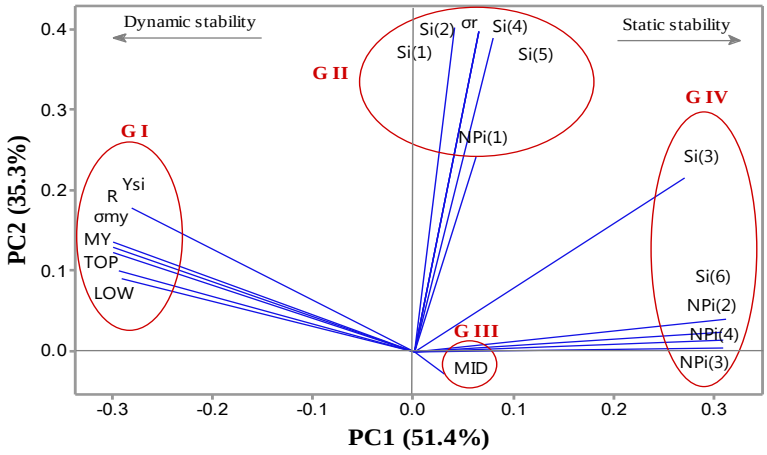
* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.50]

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس میانگین عملکرد غده و آماره‌های پایداری ناپارامتری

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس ماتریس همبستگی رتبه در بین معیارهای پایداری ناپارامتری انجام گرفت. بر اساس نتایج حاصله، دو مؤلفه اصلی اول ۸۶/۷ درصد (به‌ترتیب ۵۱/۴ و ۳۵/۳ درصد به وسیله مؤلفه اصلی اول و دوم) از واریانس متغیرهای اصلی را توجیه کردند. بای‌پلات PC1 در مقابل PC2 روابط بین میانگین عملکرد و پارامترهای پایداری را نشان می‌دهد (شکل ۱). زاویه بین بردارهایی که پارامترهای پایداری را به مرکز بای‌پلات متصل می‌کند، همبستگی تقریبی بین آنها را نشان می‌دهد. زاویه حاده نشانگر همبستگی مثبت و زاویه منفرجه نشانگر استقلال، همبستگی بسیار ضعیف یا همبستگی منفی بین پارامترهای پایداری است. بر اساس این بای‌پلات، پارامترهای پایداری مورد مطالعه می‌توانند در چهار گروه تقسیم‌بندی شوند. گروه اول (GI) شامل میانگین عملکرد (MY)، R، Ys_i، TOP، LOW و σ_{my} بودند. با توجه به اینکه پارامترهای پایداری مذکور (R، Ys_i، TOP، LOW و σ_{my}) ارتباط و همبستگی مثبتی با میانگین عملکرد داشتند بنابراین این پارامترها دارای مفهوم دینامیک (زراعی) پایداری هستند. گروه دوم (GII) شامل معیارهای $S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$، $S_i^{(4)}$، $S_i^{(5)}$، $NP_i^{(1)}$ و σ_r بودند. این معیارها همبستگی مثبتی با یکدیگر داشتند ولی همبستگی معنی‌داری با عملکرد نشان ندادند. گروه سوم (GIII) شامل آماره MID بود. آماره‌های پایداری $S_i^{(3)}$، $S_i^{(6)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ در گروه چهارم (G IV) جای گرفتند. این آماره‌ها رابطه مثبتی با یکدیگر و رابطه منفی با عملکرد داشتند. بنابراین، این پارامترها دارای مفهوم ایستا (بیولوژیکی) از پایداری هستند (شکل ۱). نتایج بدست آمده از پژوهش‌های سایر محققین نیز آماره‌های TOP و Ys_i را دارای مفهوم دینامیکی و آماره‌های ناپارامتری هان (۱۰) و نصار و هان (۲۲) و تنارازو (۳۵) را دارای مفهوم ایستا (بیولوژیکی) می‌دانند (۵،۱۷،۲۳،۲۵،۳۲،۳۷).

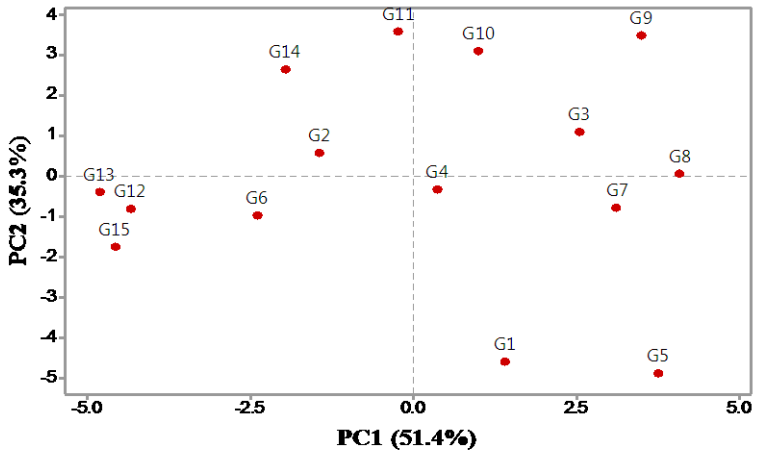
بر اساس دو مؤلفه اصلی اول، کلیه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه می‌توانند در سه گروه اصلی قرار بگیرند. گروه اول شامل ژنوتیپ‌های G1 و G5، گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های G4، G7، G8، G9، G3، G10 و G11 و گروه سوم شامل ژنوتیپ‌های G2، G14، G6، G12، G13 و G15 بودند (شکل ۲).



شکل ۱- بای‌پلات مؤلفه اصلی اول در مقابل مؤلفه اصلی دوم بر اساس میانگین عملکرد و آماره‌های پایداری ناپارامتری ۱۵ ژنوتیپ سیب‌زمینی در شش محیط

Figure 1. Biplot (PC1 vs. PC2) of non-parametric stability procedures based on the rank correlation matrix with yield in 15 potato genotypes in six environments

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.50]



شکل ۲- بای‌پلات مؤلفه اصلی اول در مقابل مؤلفه اصلی دوم برای ۱۵ ژنوتیپ سیب‌زمینی در شش محیط بر اساس میانگین عملکرد و آماره‌های پایداری ناپارامتری

Figure 2. Biplot of PC1 vs. PC2 for 15 potato genotypes in six environments based on mean yield and non-parametric stability procedures

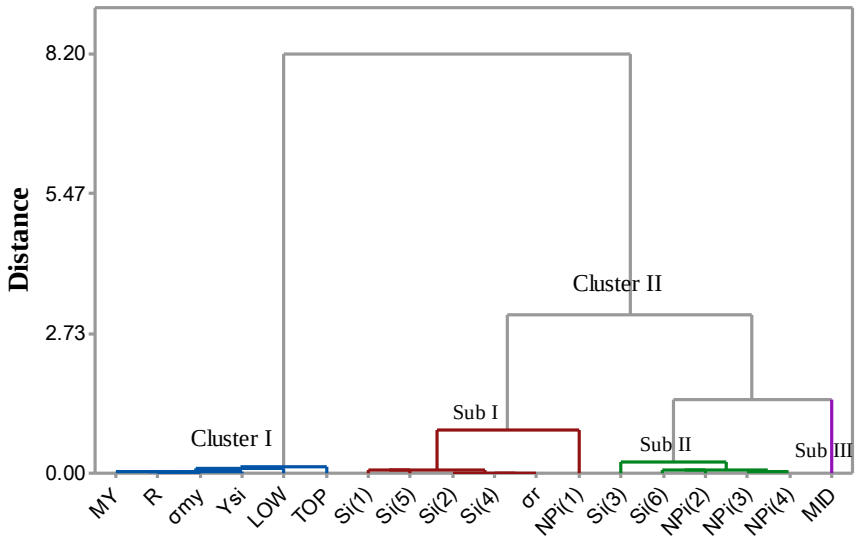
تجزیه کلاستر آماره‌های پایداری ناپارامتری و میانگین عملکرد غده

همچنین به‌منظور درک بهتر از روابط بین آماره‌های پایداری ناپارامتری، تجزیه کلاستر بر اساس روش Ward و فاصله اقلیدوسی انجام گرفت (شکل ۳). بر این اساس پارامترها در دو کلاستر اصلی قرار گرفتند. کلاستر اول شامل میانگین عملکرد (MY)، R، Ys_i، TOP، LOW و σ_{my} بودند. کلاستر دوم شامل سه زیرکلاستر بود که پارامترهای $S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$، $S_i^{(4)}$، $S_i^{(5)}$، $NP_i^{(1)}$ و σ_r در زیرکلاستر اول (Sub I)، پارامترهای $S_i^{(3)}$، $S_i^{(6)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ در زیرکلاستر دوم و پارامتر MID در زیرکلاستر سوم (Sub III) جای گرفت.

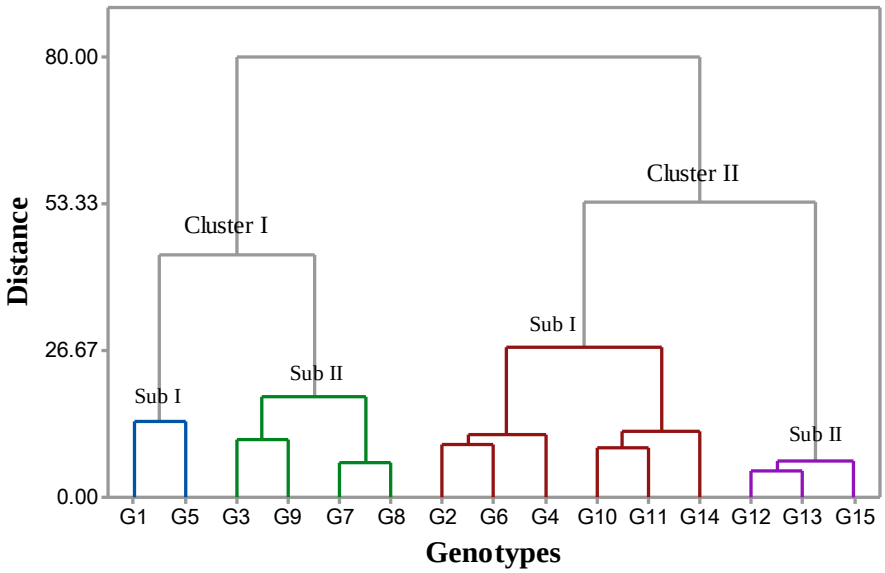
تجزیه کلاستر ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی بر اساس میانگین عملکرد غده و آماره‌های پایداری ناپارامتری

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه کلاستر ژنوتیپ‌ها به روش Ward و فاصله اقلیدوسی، ژنوتیپ‌ها می‌توانند در دو گروه اصلی جای گیرند (شکل ۴). گروه اول شامل دو زیرگروه است که در زیر گروه اول ژنوتیپ‌های با عملکرد بالای G1 و G5 قرار گرفته‌اند. این ژنوتیپ‌ها بر اساس آماره‌های Ys_i، TOP، R، LOW، $S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$، $S_i^{(4)}$، $S_i^{(5)}$، σ_r و σ_{my} به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار مورد شناسایی قرار گرفتند. زیرگروه دوم شامل ژنوتیپ‌های G3، G7، G8 و G9 بود. ژنوتیپ G7 نیز دارای میانگین عملکرد بالا بود و به‌عنوان سومین ژنوتیپ پایدار بر اساس آماره‌های Ys_i و LOW محسوب شده بود. بر اساس نتایج حاصله از تجزیه کلاستر گروه دوم نیز شامل دو زیرگروه بود به‌طوری‌که در زیرگروه اول ژنوتیپ‌های با عملکرد متوسط یا پایین به نام‌های G2، G4، G6، G10، G11 و G14 جای گرفتند. در بین این ژنوتیپ‌های زیرگروه اول، ژنوتیپ‌های G2 و G4 به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها بر اساس $NP_i^{(1)}$ و MID بودند. زیر گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های G12، G13 و G15 بود. در بین ژنوتیپ‌های این زیرگروه، ژنوتیپ G13 بر اساس آماره‌های $S_i^{(3)}$، $S_i^{(6)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ به عنوان ژنوتیپ پایدار محسوب گردید. ژنوتیپ‌های G12 و G15 نیز دارای عملکرد پایین بوده و بر اساس آماره‌های $S_i^{(3)}$، $S_i^{(6)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار یا نیمه پایدار محسوب شدند. بسیاری از به‌نژادگران مفهوم دینامیک پایداری را جهت گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار در شرایط محیطی مختلف ترجیح می‌دهند. بر طبق این مفهوم پایداری، ژنوتیپ‌های گزینش شده دارای پتانسیل پاسخ به بهبود شرایط محیطی می‌باشند. در حالی‌که در مفهوم ایستا (بیولوژیکی) پایداری، ژنوتیپ پایدار عملکرد غیرقابل تغییری در میان محیط‌ها دارد (۱،۲). در مجموع بر اساس نتایج مطالعه حاضر، آماره‌های ناپارامتری هان (۱۰) و نصار و هان (۲۲) و تنارازو (۳۵) با مفهوم استاتیک پایداری رابطه داشته و قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار نیستند در صورتی‌که معیارهای پایداری Ys_i، R، TOP و LOW با میانگین عملکرد (MY) و مفهوم دینامیک پایداری رابطه داشته و استفاده از این روش‌ها جهت گزینش ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا در سیب‌زمینی مناسب می‌باشند. نتایج بدست آمده از پژوهش‌های کایا و تورکوز (۱۴)، صباغ‌نیا و همکاران (۲۵)، یانگ جیان و همکاران (۳۷)، نوروزی و عبادی (۲۳)، سوقی و همکاان (۳۲)، خلیلی و ابوقداره (۱۷)و فرشادفر و همکاران (۵) نیز قرار گرفتن آماره‌های TOP و Ys_i در زمره آماره‌های دارای مفهوم دینامیکی و آماره‌های ناپارامتری هان (۱۰) و نصار و هان (۲۲) و تنارازو (۳۵) در زمره آماره‌های دارای مفهوم ایستا (بیولوژیکی) را مورد تأیید قرار داده‌اند. در این پژوهش بر اساس پارامترهای دارای مفهوم دینامیک پایداری، ژنوتیپ‌های G5 با عملکرد غده ۴۵/۵۷ تن در هکتار و G1 با عملکرد غده ۳۹/۹۹ تن در هکتار به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا شناسایی شدند. با توجه به وجود شرایط محیطی متنوع در ایران، می‌توان از این ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی که دارای عملکرد بالا و سازگاری مطلوب به انواع شرایط محیطی بودند بهره جست.

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.50]



شکل ۳- تجزیه کلاستر آماره‌های پایداری ناپارامتری و میانگین عملکرد غده ۱۵ ژنوتیپ سیب‌زمینی در شش محیط
Figure 3. Cluster analysis of non-parametric stability procedures and mean yield of 15 potato genotypes in six environments



شکل ۴- تجزیه کلاستر ۱۵ ژنوتیپ سیب‌زمینی بر اساس میانگین عملکرد و آماره‌های پایداری ناپارامتری
Figure 4. Cluster analysis of 15 potato genotypes based on mean yield and non-parametric measures of stability

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.50]

منابع

1. Becker, H.C. 1981. Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. Euphytica, 30: 835-840.
2. Becker, H.C. and J. Leon. 1988. Stability analysis in plant breeding. Plant Breeding, 101: 1-23.
3. Ebadi Segherloo, A., S.H. Sabaghpour, H. Dehghani and M. Kamrani. 2008. Non-parametric measures of phenotypic stability in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). Euphytica, 162: 221-229.
4. FAO. 2008. International year of the potato 2008. Available at www.potato2008.org (accessed 19 August, 2014). Food and Agriculture Organization, Rome.
5. Farshadfar, E., S.H. Sabaghpour and H. Zali. 2012. Comparison of parametric and non-parametric stability statistics for selecting stable chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under diverse environments. Australian Journal of Crop Science, 6: 514-524.
6. Fox, P.N., B. Skovmand, B.K. Thompson, H.J. Braun and R. Cormier. 1990. Yield and adaptation of hexaploid spring triticale. Euphytica, 47: 57-64.
7. Hassanpanah, D. and S.H. Azizi Chakherchaman. 2010. Estimating rank and stability analysis of potato cultivars by nonparametric stability analysis. Research Journal of Environmental Sciences, 4: 173-179.
8. Hassanpanah, D. and H. Hassanabadi. 2011. Evaluation of quantitative and qualitative characteristics of promising potato clones in Ardabil region, Iran. Modern Science of Sustainable Agriculture Journal, 7: 37-48 (In Persian).
9. Hassanpanah, D. and H. Hassanabadi. 2012. Evaluation of quantitative, qualitative and tuber yield stability of 18 promising potato clones in Ardabil province. Journal of Crop Ecophysiology, 8: 219-234 (In Persian).
10. Huehn, M. 1979. Beitrage zur Erfassung der phänotypischen Stabilitä t. I. Vorschlag einiger auf Ranginformationen beruhenden Stabilitä tsparameter. EDV in Medizin ünd Biologie, 10: 112–117.
11. Huehn, M. 1990. Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. Euphytica, 47: 189-194.
12. Huehn, M. 1996. Non-parametric analysis of genotype×environment interactions by ranks, In M.S. Kang and H.G. Gauch (ed.) Genotype by environment interaction. CRC Press, BocaRaton, FL, 213-228.
13. Kang, M.S. 1988. A rank–sum method for selecting highyielding, stable corn genotypes. Cereal Research Communications, 19: 361-364.
14. Kaya, Y. and M. Turkoz. 2016. Evaluation of genotype by environment interaction for grain yield in durum wheat using non-parametric stability statistics. Turkish Journal of Field Crops, 21: 51-59.
15. Ketata, H. 1988. Genotype environment interaction. Proceeding of biometrical technique for cereal breeders. ICARDA. Aleppo. Syria, 16-32.
16. Ketata, H., S.K.M. Yan and M. Nachit. 1989. Relative consistency performance across environments. Int. Symposium on Physiology and Breeding of Winter Cereals for stressed Mediterranean Environments. Montpellier, July, 3-6.
17. Khalili, M. and A. Pour-Aboughadareh. 2016. Parametric and non-parametric measures for evaluating yield stability and adaptability in barley doubled haploid lines. Journal of Agricultural Science and Technology, 18: 789-803.
18. Lachman, J., K. Hamouz, M. Orsak and V. Pivec. 2001. Potato glycoalkaloids and their significance in plant protection and nutrition. Rost Vyroba, 47: 181-1912.
19. Mohammadi R. and A. Amri. 2008. Comparison of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted durum wheat genotypes in variable environments. Euphytica, 159:419-432.
20. Mohammadi, R., A. Abdulahi, R. Haghparast and M. Armion. 2007. Interpreting genotype x environment interactions for durum wheat grain yields using non-parametric methods. Euphytica, 157:239-251.
21. Mut, Z., A. Gülümser and A. Sirat. 2010. Comparison of stability statistics for yield in barley (*Hordeum vulgare* L.). African Journal of Biotechnology, 9: 1610-1618.
22. Nassar, R. and M. Huhn. 1987. Studies on estimation of phenotypicstability: Tests of significance for non-parametric measures of phenotypic stability. Biometrics, 43: 45-53.
23. Noruzi, E. and A. Ebadi. 2015. Comparison of parametric and non-parametric methods for analysing genotype× environment interactions in sunflower (*Helianthus annuus* L.) inbred lines. Jordan Journal of Agricultural Sciences, 11: 959-979.
24. Roostaei, M., R. Mohammadi and A. Amri. 2015. Rank correlation among different statistical models in ranking of winter wheat genotypes. The Crop Journal, 2: 154-163.
25. Sabaghnia, N., H. Dehghani and S.H. Sabaghpour. 2006. Nonparametric methods for interpreting genotype × environment interaction of lentil genotypes. Crop Science, 46: 1100-1106.
26. Safavi, S.M. and S. Bahraminejad. 2017. The evaluation of genotype × environment interactions for grain yield of oat genotypes using AMMI model. Journal of Crop Breeding, 922: 125-132 (In Persian).
27. Scapim, C.A., V.R. Oliveira, A.L. Braccini, C.D. Cruz, C.A.B. Andrade and C.G.M. Vidigal. 2000. Yield stability in maize (*Zea mays* L.) and correlations among the parameters of the Eberhart and Russell, Lin and Binns and Huehn models. Genetics and Molecular Biology, 23: 387-393.
28. Secor, G.A. and N.C. Gudmestad. 1999. Managing fungal diseases of potato. Canadian Journal of Plant Pathology, 21: 213-221.
29. Shukla, G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components ofvariability. Heredity, 29: 237-242.

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.50]

30. 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: 152-158 (In Persian).
31. Solomon, K.F., H.A. Smit, E. Malan and W.J. Du Toit. 2007. Comparison study using rank based nonparametric stability statistics of durum wheat. World Journal of Agricultural Sciences, 3:444-450.
32. Soughi, H.A., N.A. Babaeian Jelodar, G.A. Ranjbar and M.H. Pahlevani. 2016. Simultaneous selection based on yield and yield stability in bread wheat genotypes. Journal of Crop Breeding, 8:119-125 (In Persian).
33. Syukur, M., S. Sujiprihati, R. Yunianti and D.A. Kusumah. 2014. Non paramectric stability analysis for yield of hybrid chili pepper (*Capsicum annuum* L.) across six different environments. Journal Agronomi Indonesia, 42: 32-38.
34. Tadege, M.B., H.Z. Utta and A.A. Aga. 2014. Association of statistical methods used to explore genotype×environment interaction (GEI) and cultivar stability. African Journal of Agricultural Research, 9: 2231-2237.
35. Thennarasu, K. 1995. On certain non-parametric procedures for studying genotype environment interactions and yield stability. Ph.D. theses, P.J. School, IARI., New Delhi, 255 pp.
36. Truberg, B. and M. Huehn. 2000. Contribution to analysis of genotype by environment interactions: Comparison of different parametric and non-parametric tests for interactions with emphasis on crossover interactions. Agronomy Crop Science, 185: 267-274.
37. Yong-jian, L., D. Chuan, T. Meng-liang, H.U. Er-liang1 and H. Yu-bi. 2010. Yield stability of maize hybrids evaluated in maize regional trials in southwestern China using nonparametric methods. Agricultural Sciences in China, 9: 1413-1422.
38. Zali, H., E. Farshadfar and S.H. Sabaghpour. 2011. Non-parametric analysis of phenotypic Stability in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in Iran. Crop Breeding Journal, 1: 89-100.

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.50]

Non–Parametric Stability Analysis of Tuber Yield in Potato (*Solanum tuberosum* L.) Genotypes

Mina Moghaddaszadeh[1], Rasool Asghari Zakaria[2], Davoud Hassanpanah[3] and Nasser Zare[4]

1 and 4- PhD. Student and Associated Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, I.R. Iran
2- Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, I.R. Iran, (Corresponding author: r-asghari@uma.ac.ir)
3- Research Staff, Horticulture Crops Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Centre, AREEO, Ardabil, Iran
Received: October 3, 2017 Accepted: January 13, 2018

Abstract

In order to study tuber yield stability of 15 potato genotypes, this research was carried out using randomized complete block design with three replications in three different research stations in Iran during two growing seasons. The combined analysis of variance indicated that the main effects of genotype (G), environment (E) and their interactions genotype and environmen (G×E) were highly significant ($p < 0.01$). The principal component analysis (PCA) based on rank correlation matrix indicated that the first two PCAs explained 86.7% of the variance of original variables. Based on bi-plot analysis, the stability parameters were classified into four groups. Clustering of the genotypes according to the mean yield and nonparametric stability statistics showed that there were two main clusters. Overall, according to mean rank of nonparametric stability parameters, G1, G15, G5, G6, G12 and G13 had the lowest variations and were recognized as the most stable genotypes. Genotypes G9, G11, G14, G3 and G7 had the highest values of mean rank of parameters and therefore, would be considered to be the most unstable. According to the present study, the stability measures Ys_i, R, TOP and LOW were associated with mean yield (MY) and the dynamic concept of stability. Therefore, these procedures were suitable for selecting stable and high yielding genotypes. Based on these parameters, genotypes G5 (45.57 t/ha) and G1 (39.99 t/ha) were identified as high yield stable genotypes.

Keywords: Cluster analysis, Potato, Principal component analysis, Stability analysis

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.50]