



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

به منظور 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، G5، G6، G12 و G13 با داشتن کمترین میانگین رتبه، پایدارترین و ژنوتیپ‌های G9، G11، G14 و G3 و G7 با داشتن بیشترین میانگین رتبه، ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. با توجه به اینکه معیارهای پایداری r ، Y_{Si} ، 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 به عنوان 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 به عنوان محصولی با ارزش غذایی بالا در جوامع در حال توسعه استفاده می‌شود (۲۸). ارزش غذایی بالای سیب‌زمینی، آن را به عنوان 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 به‌زادگران است. دو روش عمده جهت تجزیه پایداری به منظور گزینش ژنوتیپ‌های پایدار شامل روش‌های پارامتری و روش‌های ناپارامتری است (۲۶). از روش‌های ناپارامتری که عمدتاً جهت برآورد پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده می‌شود می‌توان به آماره‌های ناپارامتری هان $(S_i^{(1)}, S_i^{(2)}, S_i^{(3)}, S_i^{(4)}, S_i^{(5)}, S_i^{(6)})$ و $(S_i^{(1)}, S_i^{(2)}, S_i^{(3)}, S_i^{(4)}, S_i^{(5)}, S_i^{(6)})$ ، آماره‌های تنارازو $(NP_i^{(1)}, NP_i^{(2)}, NP_i^{(3)}, NP_i^{(4)})$ و $(NP_i^{(1)}, NP_i^{(2)}, NP_i^{(3)}, NP_i^{(4)})$ ، آماره میانگین رتبه (R) (۱۵)، آماره‌های پایداری کتنا $(\sigma_{my}$ و $\sigma_r)$ (۱۶)، آماره پایداری کانگ (Y_{Si}) (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 به عنوان ارقام مناسب برای منطقه اردبیل انتخاب شدند. حسن‌پناه و عزیزی (۷) پایداری عملکرد غده سیب‌زمینی را با استفاده از روش‌های ناپارامتری تنارازو (۳۵)، نصر و هان (۲۲) و تروبرگ و هان (۳۶) مورد بررسی قرار دادند و ارقام Satina و Caesar را به عنوان پایدارترین و رقم Agria را به عنوان ناپایدارترین رقم شناسایی کردند. در این تحقیق آماره $S_i^{(1)}$ به عنوان مناسب‌ترین روش انتخاب شد.

تحقیق حاضر به منظور 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 کارایی روش‌های ناپارامتری در این امر انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، پایداری ۱۱ کلون سیب‌زمینی به همراه چهار وارسته (کایزر، لوستا، ساوالان و آگريا) 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 (جدول 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 $(S_i^{(1)})$ ، $S_i^{(2)}$ ، $S_i^{(3)}$ ، $S_i^{(4)}$ و $S_i^{(5)}$ (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 کناتا و همکاران $(\sigma_{my}$ و $\sigma_r)$ (۱۶)، آماره پایداری کانگ (Y_{Si}) (۱۳) و آماره‌های پایداری فوکس (MID, TOP) 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 (Y_{Si})

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 MID, TOP 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 کناتا (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 ۴۸°۱۸' E	اردبیل
E4	۱۳۹۵				
E2	۱۳۹۴	شنی-رسی-لومی	۱۸۲۰	۳۴°۴۸' N ۴۸°۳۳' E	همدان
E5	۱۳۹۵				
E3	۱۳۹۴	شنی-لومی	۱۳۱۲	۳۵°۴۸' N ۵۱°۰۰' E	کرج
E6	۱۳۹۵				

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

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

E1: اردیبهشت ۱۳۹۴، E2: همدان ۱۳۹۴، E3: کرک ۱۳۹۴، E4: اردیبهشت ۱۳۹۵، E5: همدان ۱۳۹۵، E6: کرک ۱۳۹۵.

جدول ۳- فرمول‌های مربوط به آماره‌های ناپارامتری

Table 3. Equations of nonparametric stability procedures

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

در روابط فوق:

r_{ij} و r_{ij}^* = به ترتیب رتبه تصحیح نشده و تصحیح شده ژنوتیپ نام در محیط نام
 \bar{r}_i و \bar{r}_i^* = به ترتیب میانگین رتبه تصحیح نشده و تصحیح شده ژنوتیپ نام
 M_{di} و M_{di}^* = به ترتیب میانه رتبه تصحیح نشده و تصحیح شده ژنوتیپ نام
 m و l = تعداد محیط
 \bar{X}_i = میانگین ژنوتیپ نام
 تصحیح عملکرد با استفاده از رابطه زیر انجام گردید:

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

در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). اثرات ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط 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). به منظور مقایسه کارایی 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 به صورت انفرادی محاسبه گردید. سپس این مقادیر برای آزمون χ^2 روی تمام ژنوتیپ‌ها جمع زده شدند. مقادیر انفرادی $Z_i^{(1)}$ برای ژنوتیپ‌های G1، G5 و G15 بیشتر از مقدار χ^2 جدول $(\chi^2_{0.05, df=1} = 3.84)$ بدست آمد و معنی‌دار گردید ولی مقادیر انفرادی $Z_i^{(2)}$ برای هیچ کدام از ژنوتیپ‌ها معنی‌دار نشد. با توجه به اینکه مقادیر مجموع Z ها $(\sum Z_i^{(1)} = 23/85)$ و $(\sum Z_i^{(2)} = 18/20)$ کمتر از مقدار بحرانی کای اسکور جدول با درجه آزادی ۱۵ بود که این نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین سطوح پایداری ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی است (جدول ۵).

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

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

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

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

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

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

اساس آماره $S_i^{(6)}$ ژنوتیپ‌های G15، G13 و G12 به عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های G8، G5 و G9 به عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند (جدول ۵ و ۶). بر اساس آماره‌های ناپارامتری $NP_1^{(2)}$ ، $NP_1^{(3)}$ و $NP_1^{(4)}$ پیشنهاد شده توسط تنارازو (۳۵) ژنوتیپ‌های با کمترین مقادیر به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته می‌شوند. بر اساس آماره $NP_1^{(1)}$ ژنوتیپ‌های G1، G4 و G2 به عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های G11، G8 و G9 به عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند (جدول ۵ و ۶). بر اساس پارامترهای

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

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 (جدول ۵ و ۶).

به‌طور کلی بر اساس میانگین رتبه همه آماره‌های ناپارامتری مورد مطالعه، ژنوتیپ‌های G1، 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 Y_{Si} ، 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 Y_{Si} 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 $S_i^{(3)}$ ، $S_i^{(6)}$ ، $NP_i^{(2)}$ ، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ داشت (جدول ۷). این نتیجه در توافق با نتایج سایر محققین است (۳، ۱۴، ۱۷).

$NP_i^{(2)}$ 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 (جدول ۵ و ۶). بر اساس آماره پایداری کانگ (Y_{Si}) ژنوتیپ‌های با بیشترین ارزش به‌عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار شناخته می‌شوند (۱۳). بنابراین، بر اساس این آماره ژنوتیپ‌های G1، G5 و G7 دارای عملکرد بالا و پایدار و ژنوتیپ‌های G11، G13، G12، G14 و G15 دارای عملکرد پایین و ناپایدار بودند. با توجه به اینکه بر اساس آماره پایداری کانگ (Y_{Si}) 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 Y_{Si} و مفهوم دینامیک پایداری برای این آماره اشاره کرده‌اند. کتاتا (۱۵) استفاده از میانگین رتبه (R) را به‌عنوان معیاری به‌منظور 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 G12، G13، G15 و G14 ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول 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 G12، G13 و G15 بر اساس آماره‌های مذکور به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند (جدول 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

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

Table 3: Non-parametric statistical parameters for yield and loss of non-parametric stability procedures (Z1 and Z2) for 15 potato genotypes in six environments																				
ژنوتیپ	MY (t/ha)	$S_i^{(1)}$	$Z_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	$Z_i^{(2)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(4)}$	$S_i^{(5)}$	$S_i^{(6)}$	$NP_i^{(1)}$	$NP_i^{(2)}$	$NP_i^{(3)}$	$NP_i^{(4)}$	Y_{Si}	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	-/۴۳	-/۵۲	-/۱۸	۱۶/۰۰	۳/۶۷	۸۳/۳۳	۱۶/۶۷	-/۰۰	۱/۹۷	۳۹/۸۴
G2	۳۱/۸۵	۴/۰۰	-/۶۴ ^{ns}	۱۱/۶۰	-/۷۳ ^{ns}	۶/۴۴	۳/۱۱	۲/۳۳	۱/۵۶	۳/۱۷	-/۳۷	-/۴۴	-/۱۴	۲/۰۰	۹/۰۰	۱۶/۶۷	۶۶/۶۷	۱۶/۶۷	۳/۴۱	۲۵/۲۶
G3	۳۶/۳۷	۴/۶۰	-/۱۰ ^{ns}	۱۴/۷۰	-/۲۳ ^{ns}	۱۱/۳۱	۳/۵۰	۳/۱۷	۲/۹۲	۳/۶۷	-/۶۷	-/۶۴	-/۲۳	۱۲/۰۰	۶/۵۰	۵۰/۰۰	۳۳/۳۳	۱۶/۶۷	۳/۸۳	۳۲/۹۴
G4	۳۴/۲۳	۴/۱۳	-/۴۸ ^{ns}	۱۱/۲۰	-/۸۱ ^{ns}	۸/۰۰	۳/۰۶	۲/۶۷	۲/۲۹	۳/۰۰	-/۴۳	-/۵۵	-/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	-/۶۸	۱۸/۰۰	۲/۱۷	۸۳/۳۳	۱۶/۶۷	-/۰۰	۱/۹۴	۴۷/۵۹
G6	۳۲/۸۳	۳/۲۷	۱/۹۷ ^{ns}	۷/۷۷	۱/۷۳ ^{ns}	۴/۲۴	۲/۵۴	۲/۵۰	۱/۶۴	۳/۰۰	-/۳۳	-/۳۹	-/۱۳	۶/۰۰	۹/۱۷	-/۰۰	۵۰/۰۰	۵۰/۰۰	۲/۷۹	۲۶/۰۷
G7	۳۹/۶۷	۴/۰۰	-/۶۴ ^{ns}	۱۰/۶۷	-/۹۳ ^{ns}	۱۰/۰۰	۲/۹۸	۲/۶۷	۳/۰۰	۴/۰۰	-/۸۰	-/۸۴	-/۳۰	۱۵/۰۰	۵/۳۳	۵۰/۰۰	۵۰/۰۰	-/۰۰	۳/۲۷	۳۷/۷۶
G8	۳۸/۸۲	۴/۰۰	-/۶۴ ^{ns}	۱۱/۴۷	-/۷۵ ^{ns}	۱۳/۳۳	۳/۰۹	۲/۷۸	۳/۸۵	۴/۳۳	۱/۴۴	۱/۱۱	-/۴۰	۱۴/۰۰	۴/۳۳	۶۶/۶۷	۳۳/۳۳	-/۰۰	۳/۳۹	۳۷/۹۲
G9	۳۶/۳۰	۵/۲۰	-/۰۰ ^{ns}	۱۹/۸۷	-/۰۰ ^{ns}	۱۴/۹۰	۴/۰۷	۳/۵۶	۳/۲۰	۴/۰۰	-/۸۰	-/۷۴	-/۲۷	۱۱/۰۰	۶/۶۷	۶۶/۶۷	۱۶/۶۷	۱۶/۶۷	۴/۴۶	۳۲/۷۶
G10	۳۳/۴۶	۵/۰۰	-/۰۰ ^{ns}	۱۷/۳۷	-/۰۰ ^{ns}	۹/۸۳	۳/۸۰	۳/۵۰	۲/۳۸	۳/۸۳	-/۴۸	-/۴۷	-/۱۷	۷/۰۰	۸/۸۳	۳۳/۳۳	۳۳/۳۳	۳۳/۳۳	۴/۱۷	۲۷/۳۰
G11	۳۱/۹۹	۵/۰۷	-/۰۰ ^{ns}	۱۷/۰۷	-/۰۰ ^{ns}	۹/۱۴	۳/۷۷	۳/۳۳	۲/۱۴	۴/۵۰	-/۴۷	-/۵۴	-/۱۹	-۳/۰۰	۹/۳۳	۱۶/۶۷	۳۳/۳۳	۵۰/۰۰	۴/۱۳	۲۵/۱۶
G12	۲۵/۹۳	۳/۲۷	۱/۹۷ ^{ns}	۶/۹۷	۱/۹۸ ^{ns}	۲/۹۴	۲/۴۱	۲/۱۷	۱/۱۰	۳/۸۳	-/۳۲	-/۳۳	-/۱۳	-۱/۰۰	۱۱/۸۳	-/۰۰	۳۳/۳۳	۶۶/۶۷	۲/۶۴	۱۵/۶۶
G13	۲۶/۵۴	۳/۲۷	۱/۹۷ ^{ns}	۷/۵۰	۱/۸۱ ^{ns}	۳/۰۰	۲/۵۰	۲/۱۷	۱/۰۴	۳/۶۷	-/۲۸	-/۳۴	-/۱۲	-۴/۰۰	۱۲/۵۰	-/۰۰	۱۶/۶۷	۸۳/۳۳	۲/۷۴	۱۵/۶۲
G14	۳۰/۲۲	۴/۸۰	-/۰۰ ^{ns}	۱۶/۴۰	-/۰۰ ^{ns}	۸/۲۰	۳/۷۰	۳/۳۳	۲/۰۰	۳/۳۳	-/۲۹	-/۴۳	-/۱۶	-۱/۰۰	۱۰/۰۰	۱۶/۶۷	۱۶/۶۷	۶۶/۶۷	۴/۰۵	۲۲/۵۲
G15	۲۷/۹۰	۲/۴۷	۴/۲۴*	۴/۹۷	۲/۷۳ ^{ns}	۲/۱۰	۲/۰۳	۱/۸۹	-/۹۶	۳/۶۷	-/۲۸	-/۳۶	-/۱۲	۱/۰۰	۱۱/۸۳	-/۰۰	۳۳/۳۳	۶۶/۶۷	۲/۲۳	۱۷/۷۴
		$\Sigma Z_i^{(1)}=23/85$		$\Sigma Z_i^{(2)}=18/20$																
		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 تتارازو (۳۵)، Y_{Si} : آماره کانگ (۱۳)، R: آماره‌های میانگین رتبه کتاتا (۱۵)، TOP، MID و LOW: آماره‌های فوکس و همکاران (۶) و σ_{my} : آماره‌های کتاتا و همکاران (۱۶).

جدول ۶- رتبه ۱۵ ژنوتیپ سیبزمینی برای آماره‌های پایداری ناپارامتری

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

ژنوتیپ	MY	$S_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(4)}$	$S_i^{(5)}$	$S_i^{(6)}$	$NP_i^{(1)}$	$NP_i^{(2)}$	$NP_i^{(3)}$	$NP_i^{(4)}$	Y_{Si}	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	۶/۳۴
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	۶/۳۹
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	۵/۳۹
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	۹/۳۴
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

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

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

	MY	Y _{Si}	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
Y _{Si}	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*	۰/۵۲*								
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	۰/۹۲**	۰/۹۷**	۰/۱۱	۰/۰۸	-۰/۸۱**	۰/۰۸	۰/۰۶	-۰/۵۸**	۰/۰۳	-۰/۸۲**	-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**	۰/۹۲**	۰/۰۶	۰/۹۵**	۰/۰۹

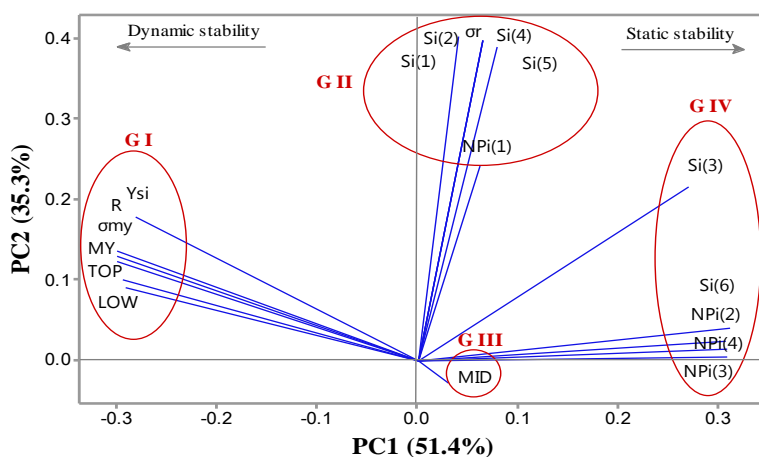
* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

پارامترها دارای مفهوم دینامیک (زرعی) پایداری هستند. گروه دوم (GII) شامل معیارهای $S_i^{(1)}$, $S_i^{(2)}$, $S_i^{(4)}$, $S_i^{(5)}$ و $NP_i^{(1)}$ 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 Y_{Si} را دارای مفهوم دینامیکی و آماره‌های ناپارامتری هان (۱۰) و نصار و هان (۲۲) و تنرازو (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، G10 و G11 و گروه سوم شامل ژنوتیپ‌های G2، G12، G13، G14، G6 و G15 بودند (شکل ۲).

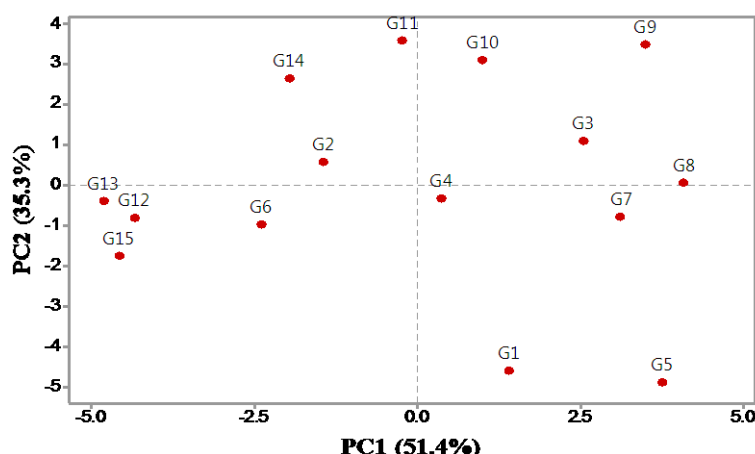
تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس میانگین عملکرد غده و آماره‌های پایداری ناپارامتری

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 (به ترتیب 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 ، Y_{Si} ، TOP ، LOW و σ_{my} بودند. با توجه به اینکه پارامترهای پایداری مذکور (R ، Y_{Si} ، TOP ، LOW و σ_{my}) ارتباط و همبستگی مثبتی با میانگین عملکرد داشتند بنابراین این



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



شکل ۲- بای پلات مؤلفه اصلی اول در مقابل مؤلفه اصلی دوم برای ۱۵ ژنوتیپ سیب زمینی 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

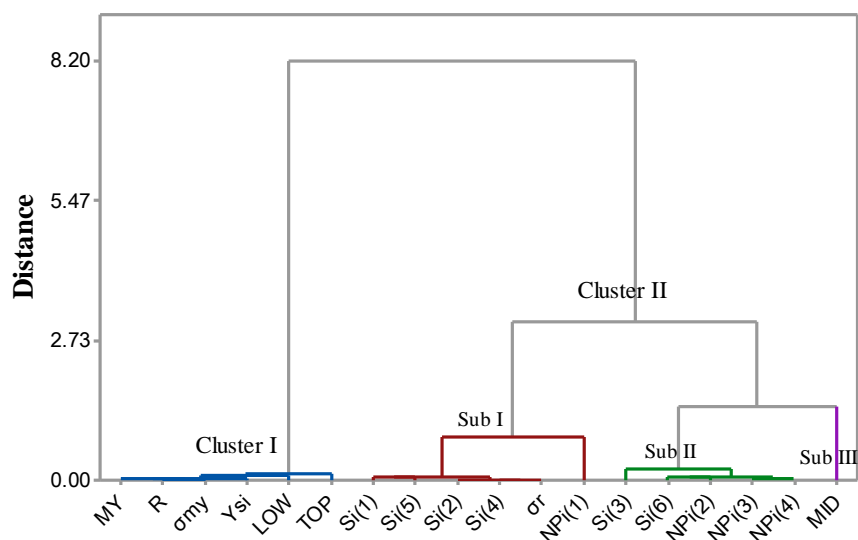
و $NP_1^{(4)}$ به عنوان ژنوتیپ پایدار محسوب گردید. ژنوتیپ‌های G12 و G15 نیز دارای عملکرد پایین بوده و بر اساس آماره‌های $S_i^{(3)}$ ، $S_i^{(6)}$ ، $NP_1^{(2)}$ ، $NP_1^{(3)}$ و $NP_1^{(4)}$ به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار یا نیمه پایدار محسوب شدند. بسیاری از به‌نژادگران مفهوم دینامیک پایداری را جهت گزینش 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 حالی که 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 تنرازو (۳۵) با مفهوم استاتیک پایداری رابطه داشته و قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار نیستند در صورتی که معیارهای پایداری Y_{Si} ، 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 سیب زمینی 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 همکاران (۳۲)، خلیلی و ابوقدره (۱۷) و فرشادفر و همکاران (۵) نیز قرار گرفتن آماره‌های TOP و Y_{Si} در زمره آماره‌های دارای مفهوم دینامیکی و آماره‌های ناپارامتری هان (۱۰) و نصار و هان (۲۲) و تنرازو (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 به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا شناسایی شدند. با توجه به وجود شرایط محیطی متنوع در ایران، می‌توان از این ژنوتیپ‌های سیب زمینی که دارای عملکرد بالا و سازگاری مطلوب به انواع شرایط محیطی بودند بهره جست.

تجزیه کلاستر آماره‌های پایداری ناپارامتری و میانگین عملکرد غده

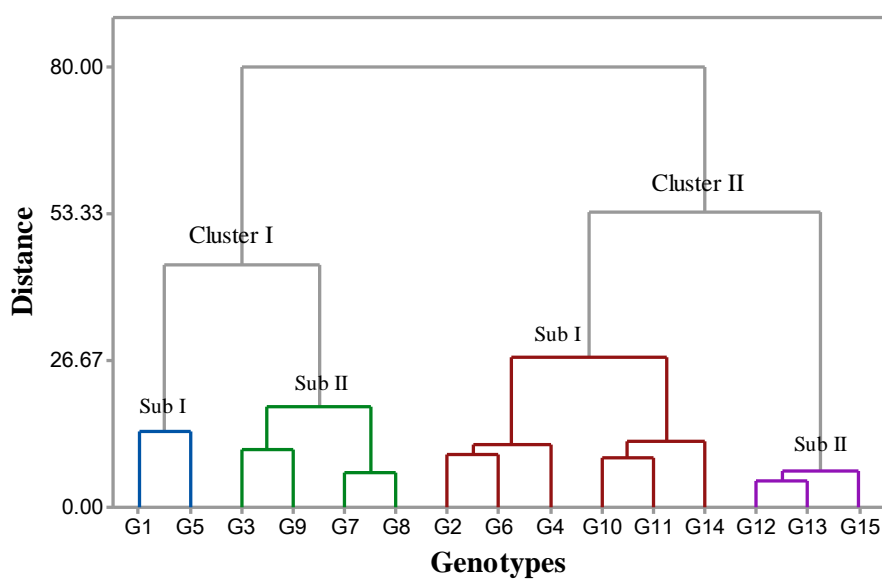
همچنین به منظور درک بهتر از روابط بین آماره‌های پایداری ناپارامتری، تجزیه کلاستر بر اساس روش Ward و فاصله اقلیدوسی انجام گرفت (شکل ۳). بر این اساس پارامترها در دو کلاستر اصلی قرار گرفتند. کلاستر اول شامل میانگین عملکرد (MY)، R ، Y_{Si} ، TOP ، LOW و σ_{my} بودند. کلاستر دوم شامل سه زیرکلاستر بود که پارامترهای $S_i^{(1)}$ ، $S_i^{(2)}$ ، $S_i^{(4)}$ ، $S_i^{(5)}$ و $NP_1^{(1)}$ در زیرکلاستر اول (Sub I)، پارامترهای $S_i^{(3)}$ ، $S_i^{(6)}$ ، $NP_1^{(2)}$ و $NP_1^{(3)}$ در زیرکلاستر دوم و پارامتر MID در زیرکلاستر سوم (Sub III) جای گرفت.

تجزیه کلاستر ژنوتیپ‌های سیب زمینی 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 Y_{Si} ، TOP ، R ، LOW ، $S_i^{(1)}$ ، $S_i^{(2)}$ ، $S_i^{(4)}$ ، $S_i^{(5)}$ و σ_{my} به عنوان 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 به عنوان سومین ژنوتیپ پایدار بر اساس آماره‌های Y_{Si} و LOW محسوب شده بود. بر اساس نتایج حاصله از تجزیه کلاستر گروه دوم نیز شامل دو زیرگروه بود به طوری که 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 به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها بر اساس $NP_1^{(1)}$ و MID بودند. زیر گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های G12، G13 و G15 بود. در بین ژنوتیپ‌های این زیرگروه، ژنوتیپ G13 بر اساس آماره‌های $S_i^{(3)}$ ، $S_i^{(6)}$ ، $NP_1^{(2)}$ و $NP_1^{(3)}$



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

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 Stabilität. I. Vorschlag einiger auf Ranginformationen beruhenden Stabilitätsparameter. *EDV in Medizin und 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 phenotypic stability: 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 of variability. *Heredity*, 29: 237-242.

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 parametric 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.

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

**Mina Moghaddaszadeh¹, Rasool Asghari Zakaria², Davoud Hassanpanah³ and
Nasser Zare⁴**

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 environment (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 Y_{si} , 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