تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره سوم، پائیز ۱۴۰۰
۷۴۷-۷۵۸
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3123.1801

مقاله پژوهشی

ارزیابی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی هیبریدهای حاصل از تلاقی ارقام تجاری سیب‌زمینی

محمدرضا وصالی[۱]، رضا برادران[۲*]، داود حسن پناه[۳]، محمدجواد ثقه‌الاسلامی[۲]

۱. دانشجوی دکتری اصلاح نباتات، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند

۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند

۳. دانشیار بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۲۶

چکیده

در راستای ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی تعداد ۱۲ هیبرید حاصل از تلاقی ارقام تجاری سیب‌زمینی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو سطح آبیاری (تأمین ۱۰۰ و ۶۵ درصد نیاز آبی) در گلخانه شرکت کشاورزی زرع گستر آرتا اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس وجود تنوع در بین ۱۲ هیبرید حاصل از تلاقی را نشان داد. در تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیشترین عملکرد غده با میانگین ۵۳/۵۵ تن در هکتار مربوط به هیبرید R12 (♀Luca×Esprit♂)) بود. بیشترین عملکرد غده در شرایط تأمین ۶۵ درصد از نیاز آبی معادل با ۳۴/۴۱ و ۳۵/۴۷ تن در هکتار مربوط به هیبریدهای S13 (♀Luca×Esprit♂) و S14 (♀Luca×Esprit♂) بود. در شرایط تنش بیشترین عملکرد غده و نیز بیشترین میانگین شاخص‌های تحمل به خشکی MP, GMP و TOL مربوط به هیبرید R14 (♀Luca × Esprit♂) بود. نتایج بای‌پلات نشان داد که دو هیبرید R14 (♀Luca×Esprit♂) و S13 (♀Luca×Esprit♂) در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم تحمل به خشکی MP, GMP و TOL قرار دارند و توزیع هیبریدها در فضای بای‌پلات حاکی از وجود تنوع ژنتیکی بین هیبریدها نسبت به تنش خشکی است. بیشترین فاصله ژنتیکی به‌دست‌آمده از تجزیه خوشه‌ای بین دو هیبرید R14 (♀Luca × Esprit♂) و R12 (♀Luca×Esprit♂) و هیبرید حساس S12 (♀Luca × Esprit♂) است. نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل همبستگی بین عملکرد غده در تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تأمین ۶۵ درصد از نیاز آبی معادل و شاخص تحمل به خشکی نشان داد که دو شاخص MP و GMP مناسب‌ترین شاخص‌ها برای تعیین هیبرید-های متحمل به تنش در سیب‌زمینی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: **سوپرجاذب، عملکرد دانه، آهن، آبیاری مطلوب، کاتالاز**

مقدمه

سیب‌زمینی با نام علمی *Solanum tuberosum* L. یکی از گیاهان مهم زراعی در جهان است. بر اساس آماری که سازمان فائو ارائه کرده، همه‌ساله در جهان حدود ۳۸۵ میلیون تن سیب‌زمینی تولید شده است که متوسط عملکرد این محصول در هکتار حدود ۲۰ تن بوده است . میزان تولید سیب‌زمینی در استان اردبیل ۷۳۰۵۶۵ تن بوده و میزان عملکرد سیب-زمینی در استان اردبیل ۳۷ تن در هکتار گزارش شده است (Ministry of Agricultural Jihad, 2018). گیاهان در دوران رشد با انواعی از تنش‌های زیستی و غیرزیستی مواجه می‌شوند (Rassam et al., 2014). تنش کمبود آب از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی به شمار می‌رود که سبب

* نگارنده پاسخگو: رضا برادران. پست الکترونیک: r.baradaran@yahoo.com

کاهش رشد و عملکرد در بسیاری از گیاهان زراعی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌گردد (Zheng et al., 2019) و در گیاهان در معرض تنش بسته به ماهیت کمبود آب، پاسخ‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی متنوعی ظاهر می‌شود (Reddy et al., 2004).

شاخص‌های مختلفی برای تعیین تحمل به تنش معرفی‌شده‌اند، اما درمجموع، شاخص‌هایی که در هر دو شرایط تنش و عدم تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد باشند، به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند. زیرا این شاخص‌ها، قادر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و غیرتنش هستند و می‌توان از آن‌ها برای تخمین پایداری عملکرد استفاده کرد (Fischer and Maurer, 1978). شاخص حساسیت به تنش (SSI; Fischer and Maurer, 1978)؛ میانگین هارمونیک (Harm)، شاخص تحمل (TOL) و بهره‌وری متوسط (MP) (Rosielle and Hamblin, 1981)، شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) (Fernandez, 1992) و شاخص‌های مقاومت به خشکی (Lan, 1998)، شاخص تحمل به تنش تغییریافته (Farshadfar and Sutka, 2002)، شاخص میزان محصول محیط تنش و غیر تنش، شاخص به تنش‌های غیرزیستی، درصد حساسیت به تنش (Moosavi et al.,, 2008) و شاخص کاهش نسبی عملکرد (Ilker et al., 2011) برای گزینش ارقام متحمل به خشکی پیشنهادشده‌اند.

فرناندز (Fernandez, 1992) بر اساس واکنش ژنوتیپ‌ها به شرایط محیطی با تنش یا بدون تنش گزارش کرد و آن‌ها را در چهار گروه دسته‌بندی کرد و بیان داشت مناسب‌ترین معیار انتخاب برای تنش معیاری است که قادر به تشخیص گروه A از سایر گروه‌های دیگر باشد (Fernandez, 1992). شاخص تحمل (TOL) به‌صورت اختلاف بین عملکرد در شرایط تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) و شاخص میانگین تولید (MPI) میانگین دو مقدار Yp و Ys معرفی شده است (Rosielle and Hamblin, 1981). مقادیر پایین‌تر شاخص تحمل نمایانگر تحمل بیشتر ارقام به تنش است. ولی گزینش بر پایه شاخص تحمل بیانگر وجود ارقامی با عملکرد بالایی در شرایط تنش و قرار گرفتن ارقام با عملکرد کم در شرایط بدون تنش بودند (Fernandez, 1992). در مورد شاخص MP مقادیر پایین‌تر دلالت بر حساسیت بیشتر ژنوتیپ‌ها به شرایط تنش دارد. گزینش بر پایه شاخص MP باعث افزایش عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خواهد شد. شاخص حساسیت به تنش (SSI) برای شناسایی ارقام حساس به تنش ارائه شده است که بر پایه عملکرد تک‌تک ارقام در هر دو محیط تنش و بدون تنش و همچنین میانگین عملکرد همه ارقام در این دو محیط بنا گذاشته شده است و مانند شاخص تحمل در مقادیر بالا دلالت بر حساسیت ارقام به تنش دارد (Fischer and Maurer, 1978). میانگین بهره‌وری هندسی (GMP) شاخص دیگری است که در مقایسه با شاخص MP توان بیشتری برای جداسازی گروه A از C دارد ازآنجایی‌که این شاخص حساسیت کمتری به مقادیر بسیار متفاوت Ys و Yp دارد، شاخص دیگری با عنوان شاخص تحمل به تنش (STI) بر این پایه ارائه شد که این شاخص قادر به شناسایی ارقام با ظرفیت عملکرد بالا در شرایط بدون تنش و همچنین عملکرد بالا در شرایط تنش است (Fernandez, 1992). مقادیر بالاتر شاخص‌های (STI) و (GMP) نمایانگر تحمل بالاتر ارقام به تنش است. مناسب‌ترین شاخص، شاخصی است که قادر به تشخیص گروه A از سه گروه دیگر باشد (Fernandez, 1992).

گلستانی و پاکنیت (Golestani and Pakniyat, 2007) گزارش کردند شاخص تحمل تنها برای غربال کردن ارقام متحمل به خشکی در شرایط آبیاری نرمال مناسب بوده و انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل بر اساس مقادیر کم این شاخص انجام گرفته و این شاخص نیز همچون شاخص حساسیت به تنش قادر به تشخیص ژنوتیپ‌های گروه A از گروه C نیست. شاخص تحمل به تنش (STI) قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با ظرفیت عملکرد بالا در شرایط بدون تنش و همچنین عملکرد بالا در شرایط تنش است (Fernandez, 1992). مقادیر بالاتر شاخص (STI) و (GMP) نمایانگر تحمل بالاتر ژنوتیپ به تنش است.

حسن‌پناه و حسن‌آبادی (Hassanpanah and Hassanabadi, 2011) گزارش کردند که در شرایط ۱۰۰ درصد آب موردنیاز کلیه‌ی ارقام و کلون‌ها، در شرایط ۷۵ درصد آب موردنیاز کلون‌های ۳۹۷۰۰۸-۳۹۷۰۰۹-۱۰،۳۹۷۰۰۹-۳ و ۳۹۷۰۰۹-۷ و ارقام ساوالان و کایزر و در شرایط ۵۰ درصد آب موردنیاز کلون‌های ۳۹۷۰۰۸-۱۰ و ۳۹۷۰۰۹-۳ و رقم ساوالان از عملکرد غده‌ی قابل‌فروش بیشتری برخوردار بودند. کلون ۳۹۷۰۰۸-۱۰ در کلیه‌ی سطوح آبیاری از بیشترین تعداد و وزن غده‌ی قابل‌فروش در بوته برخوردار بود. در شرایط تنش ملایم و شدید، ازنظر شاخص‌های حساسیت، تحمل و

مقاومت به تنش کم‌آبی کلون‌های ۳۹۷۰۰۸-۳۹۷۰۰۹-۱۰، ۳- و رقم ساوالان نیمه متحمل تا متحمل و رقم آگریا حساس به تنش آبی انتخاب شدند. شهریاری و همکاران (Shahriari et al, 2009) با پنج رقم سیب‌زمینی در چهار فشار اسمزی رقم کایزر را به‌عنوان رقم متحمل به تنش کم‌آبی معرفی نمودند. حسن‌پناه (Hassanpanah, 2009a, b) با بررسی ارقام مختلف سیب‌زمینی طی دو سال در مناطق مختلف اردبیل و در آزمایشگاه در شرایط تنش کم‌آبی، رقم کایزر را به‌عنوان رقم پرمحصول و متحمل به تنش کم‌آبی معرفی نمود. بر اساس نتایج چندین ساله، رقم آگریا (شاهد) به‌عنوان رقم پرمحصول ولی حساس به تنش کم‌آبی و رقم کایزر (شاهد) به‌عنوان رقم متحمل و پرمحصول به تنش کم‌آبی بودند. در بررسی میزان تحمل ارقام به تنش کم‌آبی، رقم کایزر (Hassanpanah, 2010) و رقم کنبک (Najafzadeh Asal et al., 2012) به‌عنوان ارقام متحمل به تنش کم‌آبی انتخاب‌شده‌اند. سبحانی و حمیدی (Sobhani and Hamidi, 2014) نتیجه گرفتند که عملکرد غده در شرایط تنش آبی بسیار ملایم، ملایم، شدید و بسیار شدید نسبت به شرایط نرمال به مقدار ۳۷، ۳۵، ۱۶ و ۶۵ درصد کاهش یافت. نوری و همکاران (Nouri et al., 2016) گزارش کردند که شرایط آبیاری عادی ارقام خاوران و ساتینا از عملکرد غده بیشتر برخوردار بودند. ارقام کایزر، دراگا و خاوران در شرایط تنش ملایم و ارقام آگریا و دراگا در شرایط تنش شدید عملکرد غده بالاتر داشتند. ارقام ساوالان، لوکا، ساتینا و مارفونا در شرایط تنش شدید دارای عملکرد غده بیشتر و رقم ساوالان عملکرد غده بیشتر بودند و به‌عنوان ارقام متحمل به تنش کم‌آبی انتخاب شدند.

درهرصورت شاخص‌های کمی متعددی برای انتخاب ارقام بر مبنای وضعیت عملکرد غده آن‌ها در محیط‌های دارای تنش پیشنهادشده که انتخاب شاخص‌های کمی تحمل به تنش مناسب به شناسایی ارقام با عملکرد غده بالا منجر می‌شود؛ بنابراین هدف از این پژوهش مقایسه شاخص‌های متفاوت تحمل و حساسیت به خشکی و گروه‌بندی هیبریدهای حاصل از تلاقی ارقام تجاری سیب‌زمینی در استان اردبیل بر اساس این شاخص‌ها است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی ۱۲ هیبریدهای حاصل از تلاقی ارقام تجاری سیب‌زمینی آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو سطح آبیاری (۱۰۰ و ۶۵ درصد نیاز آبی گیاه) در گلخانه شرکت کشاورزی زرع‌گستر آرتا در شهر اردبیل اجرا شد. سال اول ایجاد تنوع ژنتیکی و سال دوم خزانه گیری در گلخانه انجام شد.

سال اول: ایجاد تنوع ژنتیکی

در این بخش از چهار رقم لوستا، بانبا، اسپیریت و آگریا به‌عنوان والد استفاده شد این ارقام که بذور حقیقی از آن حاصل‌شده از طریق کشت بافت آزمایشگاهی به‌عمل‌آمده و رقم حاصل از کشت بافت که بذور حقیقی بود برای تهیه میکرو تیوبر به گلدان مخصوص کاشت منتقل شد. از ویژگی‌های مهم رقم لوستا و آگریا پرمحصول، مناسب برای فرنچ فرایز و حساس به تنش کم‌آبی، رقم بانبا پرمحصول، مناسب برای تازه‌خوری و رقم اسپیریت پرمحصول و متحمل به تنش کم‌آبی است (Hassanpanah et al., 2016). ارقام به روش دورگ‌گیری متقابل، اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۶ در گلخانه شرکت کشاورزی زرع‌گستر آرتا تلاقی شدند.

سال دوم: خزانه گیری در گلخانه

جمعیت‌های اصلاحی تولیدی پس از شکستن خواب به‌صورت طبیعی بعد از حدود ۲ ماه نگهداری در دمای اتاق معمولی که دمای آن ۱۸ الی ۲۲ درجه سانتی‌گراد بود، در مهرماه سال ۱۳۹۶ در گلخانه و در بستر کاشت پیت‌ماس و پوکه معدنی به نسبت حجمی ۱:۱ کشت شد. در طی مراحل رشد، عملیات آبیاری و وجین علف‌های هرز به‌طور منظم انجام شد. برای مبارزه با آفات از سم کنفیدور به مقدار ۲/۵ میلی‌لیتر در ۱۰۰ مترمربع و برای مبارزه با بیماری‌های قارچی از قارچ‌کش مانکوزب به مقدار ۱۰ گرم در ۱۰۰ مترمربع استفاده شد. شرایط رشد محیطی در کلیه مراحل تحقیق در گلخانه با طول دوره روشنایی ۱۶ ساعت و ۸ ساعت تاریکی و دمای ۲۲-۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵-۶۵ درصد بود. پس از دو ماه میکروتیوبرها تولید و پس از شکستن خواب مجدداً در دی‌ماه ۱۳۹۶ در گلخانه کشت شدند. در این مرحله خانواده‌ها در ۲ تیمار محدودیت آب (تأمین ۱۰۰ و ۶۵ درصد نیاز آبی) بررسی شد. به خاطر پوست‌بندی غده‌ها قسمت‌های هوایی ۱۰ روز قبل از برداشت بوته‌ها سربرداری شد. فاصلهٔ ردیف‌های کاشت از یکدیگر ۳۵ سانتی‌متر و فاصلهٔ غده‌ها در روی ردیف‌ها ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در طی مراحل رشد

عملیات آبیاری و وجین علف‌های هرز به‌طور منظم انجام شد. اولین آبیاری به‌صورت کامل انجام گرفت. آبیاری بر اساس نیاز گیاه و زمان آن با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج پرتابل مشخص شد بدین ترتیب که دستگاه رطوبت‌سنج را روشن کرده بعد در درجه رطوبت ۶۵ درجه تنظیم در بستر خاک قرار داده و رطوبت نسبی خاک را اندازه‌گیری کردیم.

میزان تحمل هیبریدها به تنش کم‌آبی

به‌منظور تعیین میزان تحمل ارقام به شرایط مختلف کم‌آبی با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده، شاخص‌های تحمل به تنش خشکی (Frenandez, 1992) نیز برای ژنوتیپ‌های موردبررسی محاسبه شد. برای بررسی میزان تحمل و مقاومت به خشکی ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی سیب‌زمینی از شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش (MP،GMP، STI، SSI و TOL) به شرح زیر استفاده شد (Fischer and Maurer, 1978 و Frenandez, 1992).

$$STI = [(GYi) \times (GYp) / (G\bar{Y}i)2] \quad [۱]$$

$$MP = (GYi + GYp) / 2 \quad [۲]$$

$$GMP = [(GYi) \times (GYp)]0.5 \quad [۳]$$

$$SSI = [1 - (GYp) / (GYi)] / SI \quad [۴]$$

$$TOL = (GYi - GYp) \quad [۵]$$

$$SI = [1 - (G\bar{Y}p) / (G\bar{Y}i)] \quad [۶]$$

که در این معادله‌ها، Ys: عملکرد غده یک ژنوتیپ در شرایط تنش، Yp: عملکرد غده یک ژنوتیپ در شرایط نرمال، $\bar{Y}s$: میانگین عملکرد غده ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و $\bar{Y}p$: میانگین عملکرد غده یک ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال هستند.

شاخص‌های تحمل به خشکی محاسبه و سپس شاخص‌ها همراه با عملکردهای ۱۰۰ درصد و ۶۵ درصد نیاز آبی با استفاده از نرم‌افزار SPSS-22 مورد تجزیه واریانس و مقایسه قرار گرفتند. روابط بین عملکرد غده در دو محیط و شاخص‌های تحمل محاسبه‌شده انجام و نمودارهای سه‌بعدی از نرم‌افزار SPSS-22 رسم گردید. برای ارزیابی بهتر روابط از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای پلات از نرم‌افزار Minitab15 استفاده شد. برای گزینش هیبریدهای مطلوب از تجزیه خوشه‌ای به روش WARD جهت دورگ‌گیری استفاده شد و نتایج به‌دست آمده به‌صورت نمودار دندروگرام توسط نرم‌افزار Minitab15 ارائه گردید.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد غده در شرایط نرمال (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و تنش کم‌آبی (تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی) نشان داد، اختلاف معنی‌داری ازنظر شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد غده در هر دو شرایط بین هیبریدها وجود دارد (جدول ۱). نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های فرشادفر و همکاران (Farshadfar et al., 2001) و اسدی چالشتوری و همکاران (Asadi-Chaleshtory et al., 2006) مطابقت داشت.

در شرایط نرمال (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) بیشترین عملکرد غده با میانگین ۵۳/۵۵ تن در هکتار متعلق به هیبرید R12 (♀Luca×Esprit♂) بود. بیشترین عملکرد غده سیب‌زمینی در شرایط تنش کم‌آبی (تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی) با میانگین‌های ۳۴/۴۱ و ۳۵/۴۷ تن در هکتار مربوط بود به هیبریدهای S13 (♂Luca×Esprit♀) و S14 (♀Luca×Esprit♂) بود (جدول ۲). تحقیقات انجام‌گرفته توسط دملاش (Demelash, 2013) هم نشان داد که با افزایش میزان آب مصرفی عملکرد محصول سیب‌زمینی افزایش پیداکرده و تیمار بدون تنش آبی دارای بیشترین عملکرد است. در این آزمایش، استفاده از شاخص SSI نشان داد که هیبرید S24 (♂Banba×Agria♀) با کمترین مقدار (۰/۰۶)، بیش‌ترین میزان تحمل به تنش آبی را در بین هیبریدهای موردبررسی داشت. همچنین شاخص TOL نشان داد که دو هیبرید S24 (♂Banba×Agria♀) با کمترین مقدار (۵/۴) و R12 (♀Luca×Esprit♂) با بیش‌ترین مقدار (۲۴/۱۳)، به ترتیب بیشترین و کمترین میزان تحمل به تنش آبی را در بین هیبریدها در شرایط تنش کم‌آبی شدید (۶۵ درصد آب قابل‌استفاده) را داشتند، (جداول ۲). در ارزیابی هیبریدها با استفاده از شاخص TOL طبق فرمول این شاخص، مقدار بالای TOL حاکی از تغییرات بیشتر عملکرد هیبرید در شرایط تنش و بدون تنش رطوبتی است و حساسیت هیبریدها را نسبت به شرایط تنش آبی نشان می‌دهد. بر اساس شاخص TOL تحمل نسبی بیشتر متعلق به هیبریدی است که TOL کوچک‌تری داشته باشد؛ بنابراین گزینش برای تحمل به تنش با حداقل اختلاف در بین YS و YP همراه است. هر چه مقادیر شاخص MP بالاتر باشد، تحمل بیشتر آن هیبرید به تنش را نشان می‌دهد. بیش‌ترین میزان شاخص متوسط محصول‌دهی در شرایط تأمین ۶۵

درصد نیاز آبی به با میانگین‌های ۴۲/۲۶ و ۴۲/۰۴ مربوط به هیبرید R14 (♀Luca × Esprit♂) و R12 (♀Luca ×♂ Esprit) بود که نسبت به هیبریدهای مورد ارزیابی تحمل بیشتری نسبت به شرایط تنش خشکی از خود نشان دادند (جداول ۲). در بین هیبریدهای موردبررسی هیبرید R14 (♀Luca×Esprit♂) با میانگین ۴۱/۱۴ بالاترین میانگین هندسی بهره‌وری را به خود اختصاص دادند. این در حالی است که هیبرید R13 (♀Luca × Esprit♂) با میانگین ۳۰/۶۴ کمترین مقدار میانگین هندسی بهره‌وری را داشتند (جدول ۲). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان چنین گفت که هیبریدهای S24 (♀Agria ×♂Banba)، R12(♀Luca × Esprit♂) و R14(♀Luca × Esprit♂) ازنظر شاخص‌های مورد ارزیابی و ازنظر عملکرد در شرایط تنش (تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی) نیز در وضعیت مطلوبی قرار دارند؛ بنابراین می‌توان هیبریدهای S24 (♀Agria×♂Banba)، R12 (♀Luca × Esprit♂) و R14 (♀Luca × Esprit♂) مناسب‌ترین هیبریدها برای کشت در مناطقی با شرایط مشابه در نظر گرفت.

جدول ۱. تجزیه واریانس شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد غده در شرایط نرمال (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و تنش کم‌آبی (تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی)

Table 1. Analysis of variance of drought tolerance and tuber yield indices under normal conditions (100% 65% plant water requirement) and water deficit stress (65% plant water requirement).

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد نرمال (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) Yield of Normal (100% plant water requirement)	عملکرد تنش (تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی) Yield of Strees(65% plant water requirement)	شاخص تحمل TOL	میانگین محصول‌دهی MP	میانگین هندسی محصول‌دهی GMP	تحمل به تنش STI	حساسیت به تنش SSI
تکرار Replication	2	15.18^{ns}	75.23^{**}	79.4^{**}	38.3^{**}	48.9^{**}	0.05^{**}	0.04^{**}
ژنوتیپ Genotypes	11	150.3^{**}	68.73^{**}	92.1^{**}	85.1^{**}	81.1^{**}	0.12^{**}	0.03^{**}
خطا Error	22	22.893	0.685	6.174	1.767	1.617	0.003	0.003
ضریب تغییرات C.V (%)		*11.34*	*2.83*	*20.23*	*3.73*	*3.63*	*7.6*	*23.81*

*, ** Significant at p≤0.05 and 0.01, respectively

* و **: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

تحمل به خشکی یک صفت پیچیده بوده و عوامل متفاوتی در بروز آن دخالت دارند و تصمیم‌گیری درباره چنین صفاتی برای اصلاح‌گران سخت بوده و گاهی وقت‌ها با نتایج متفاوتی همراه هستند (Yahoueian et al., 2006). به عبارتی احمدی و همکاران (Ahamadi et al., 2000) یکی از شرایط اصلی برای گزینش بهترین شاخص‌ها را وجود رابطه معنی‌دار بین شاخص‌ها با عملکرد در شرایط نرمال و تنش معرفی نمودند. بین میزان عملکرد غده در شرایط آبیاری نرمال (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و تنش کم‌آبی شدید (تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی) با شاخص MP, GMP و STI همبستگی مثبت و معنی‌داری به دست آمد. البته بین میزان عملکرد غده در شرایط تنش ملایم (۶۵ درصد آب قابل‌استفاده) با شاخص حساسیت به تنش (SSI) همبستگی منفی و معنی‌دار (*۰/۶۰۳-) وجود داشت. در مقابل بین شاخص SSI و TOL همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده شد (جدول ۳). درعین‌حال در هر شرایط تنش کم-آبی شدید (تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی) مقادیر بسیار بالای همبستگی دو شاخص STI و GMP با شاخص MP سبب می‌شود که شاخص MP در این دو شاخص پنهان باشد و به همین دلیل هیبریدهای منتخب بر اساس دو شاخص STI و GMP، عمدتاً از مقادیر بالای شاخص MP نیز بهره می‌برند (Naderi et al., 2004). شیری و همکاران (Shiri et al., 2010) گزارش کردند که شاخص‌های MP، GMP و STI در پیش‌بینی عملکرد نسبت به سایر شاخص‌ها از اهمیت بالایی برخوردار بوده و با این شاخص‌ها می‌توان ژنوتیپ‌های متحمل را بهتر گزینش نمود. با توجه به همبستگی بین سه شاخص MP, GMP و STI بهره‌گیری از هر یک از آن‌ها، جهت شناسایی هیبریدهای مطلوب، تفاوتی درنتیجه کار ایجاد نمی‌کند.

جدول ۲. مقایسه میانگین عملکرد غده هیبریدهای حاصل از تلاقی ارقام تجاری سیب‌زمینی در شرایط نرمال (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و تنش کم‌آبی (تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی) و شاخص‌های تحمل به تنش

Table 2. Comparison of mean tuber yield of hybrids obtained from potato cultivars under normal conditions (100% plant water requirement) and water deficit stress (65% plant water requirement) and stress tolerance indices

		میانگین عملکرد غده و شاخص‌های تحمل به تنش Mean tuber yield and stress tolerance indices						
شماره هیبرید Hybrid number	هیبریدهای حاصل از تلاقی ارقام تجاری سیب‌زمینی (Hybrids from the crossing of commercial potato cultivars)	عملکرد غده در شرایط تنش نرمال Yp (t ha-1)	عملکرد غده در شرایط تنش ملایم(کم آبی) Ys (t ha-1)	میانگین تحمل غده TOL	میانگین محصول-دهی غده MP	میانگین هندسی محصول-دهی غده GMP	میانگین تحمل به تنش غده STI	میانگین حساسیت به تنش غده SSI
1	S12 (♂Luca × Esprit♀)	49.75 ^{abc}	23.95 ^{f}	19.86 ^{b}	34.72 ^{b}	33.28 ^{c}	0.64 ^{cd}	0.41 ^{a}
2	S13 (♂Luca × Esprit♀)	46.61 $^{a-d}$	34.41 ^{a}	11.87 ^{c}	40.02 ^{a}	39.55 ^{a}	0.89 ^{a}	0.21 ^{d}
3	S14 (♂Luca × Esprit♀)	43.30 $^{b-e}$	35.47 ^{a}	8.38 ^{cd}	40.52 ^{a}	40.25 ^{a}	0.93 ^{a}	0.10 ^{ef}
4	S23 (♂Banba × Esprit♀)	41.15 ^{cde}	27.56 ^{d}	11.96 ^{c}	34.85 ^{b}	34.29 ^{bc}	0.67 ^{bc}	0.20 ^{d}
5	S24 (♂Banba × Agria♀)	41.09 ^{cde}	32.79 ^{b}	5.40 ^{d}	36.73 ^{b}	36.61 ^{b}	0.77 ^{b}	0.06 ^{f}
6	S34 (♂Esprit × Agria♀)	28.86 ^{f}	18.70 ^{g}	11.12 ^{c}	23.73 ^{b}	23.05 ^{e}	0.31 ^{f}	0.31 ^{bc}
7	R12 (♀Luca × Esprit♂)	53.56 ^{a}	30.24 ^{c}	24.13 ^{a}	42.04 ^{a}	40.22 ^{a}	0.93 ^{a}	0.38 ^{ab}
8	R13 (♀Luca × Esprit♂)	36.33 ^{ef}	26.05 ^{e}	9.27 ^{cd}	31.00 ^{c}	30.64 ^{d}	0.54 ^{e}	0.21 ^{d}
9	R14(♀Luca × Esprit♂)	50.39 ^{ab}	31.70 ^{bc}	18.03 ^{b}	42.26 ^{a}	41.14 ^{a}	0.97 ^{a}	0.24 ^{cd}
10	R23(♀Banba × Esprit♂)	35.25 ^{ef}	26.69 ^{de}	10.56 ^{c}	31.48 ^{c}	31.02 ^{d}	0.55 ^{de}	0.23 ^{cd}
11	R24 (♀Banba × Agria♂)	40.37 ^{de}	31.68 ^{bc}	8.56 ^{cd}	35.67 ^{b}	35.42 ^{bc}	0.72 ^{bc}	0.18 ^{de}
12	R34 (♀Esprit × Agria♂)	39.31 ^{ef}	30.74 ^{c}	8.19 ^{cd}	34.83 ^{d}	34.57 ^{bc}	0.68 ^{bc}	0.16 ^{de}

جدول ۳. همبستگی بین شاخص‌های مختلف تحمل به تنش هیبریدهای سیب‌زمینی شرایط آبیاری نرمال (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و تنش کم‌آبی شدید (تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی)

Table 3. Correlation between different stress tolerance indices of potato hybrids under normal irrigation conditions (100% plant water requirement) and severe water deficit stress (65% plant water requirement)

		تنش نرمال Yp	تنش ملایم Ys	شاخص هندسی محصول‌دهی غده GMP	شاخص محصول‌دهی غده MP	شاخص تحمل غده TOL	شاخص حساسیت به تنش غده SSI
Yp	تنش نرمال	1					
Ys	تنش ملایم	0.507	1				
TOL	تحمل	0.706*	-0.183	1			
MP	میانگین محصول‌دهی غده	0.875**	0.841**	0.361	1		
GMP	میانگین هندسی محصول‌دهی غده	0.83**	0.888**	0.268	0.995**	1	
STI	تحمل به تنش غده	0.832**	0.869**	0.3	0.994**	-0.995**	1

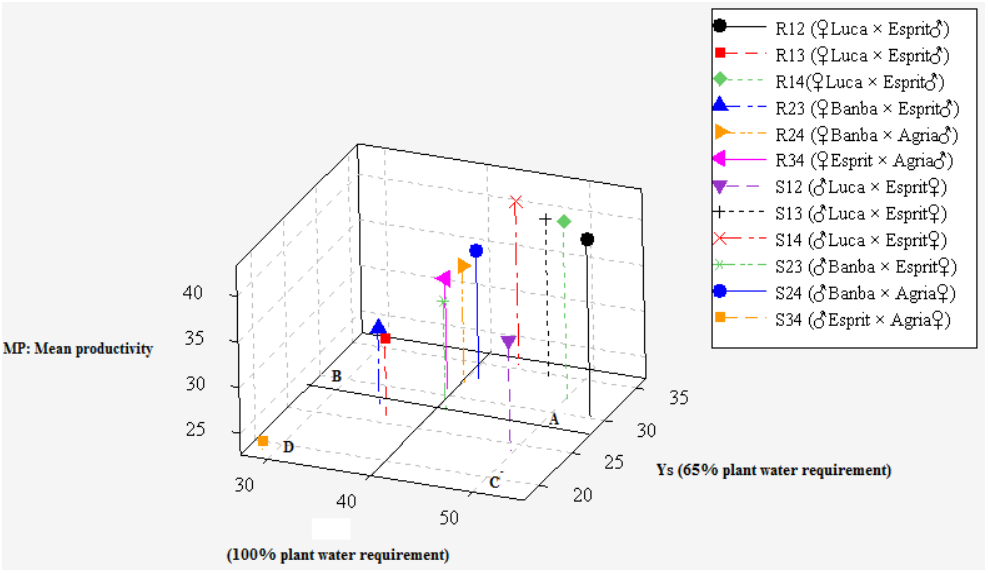
*, ** Significant at p≤0.05 and 0.01, respectively

* و **: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

بعد از شناسایی بهترین شاخص در راستای تحمل به خشکی، برای تعیین هیبریدهای متحمل خشکی از نمودار سه‌بعدی استفاده شد، یوسفی آذر و همکاران (Yousofi-Azar and Rezai, 2007) هیبریدها با توجه به عملکرد YP, YS و شاخص‌های MP و GMP و به کمک نمودار سه‌بعدی در چهار ناحیه a, b, c و d نشان داده و گزارش کردند که شاخصی که بتواند گروه a را از سایر گروه‌ها تمیز دهد مناسب‌ترین شاخص است. پراکنش هیبریدها بر اساس (Yp) (Ys) با شاخص‌های میانگین محصول‌دهی (MP) و میانگین هندسی محصول‌دهی (GMP) نشان داد (شکل‌های ۱ و ۲) که هیبریدهای ۲۴(♂Banba×Agria♀) ، R12 (♀Luca× Esprit♂) و R14(♀Luca×Esprit♂) در گروه a قرارگرفته و مقاوم به کم‌آبی بوده و عملکرد غده بالایی در هر دو محیط دارند.

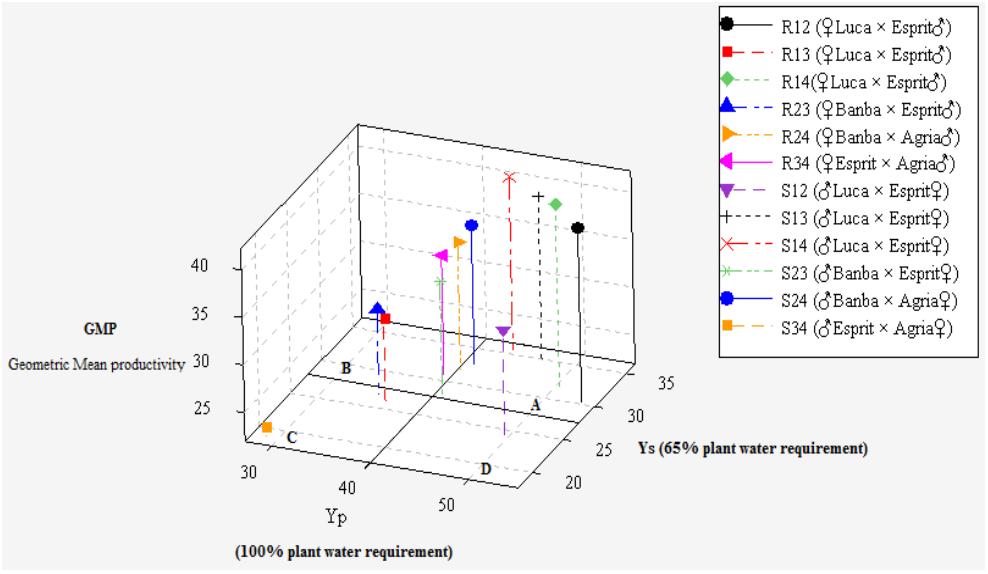
نمودارهای سه‌بعدی توانایی بررسی روابط بین سه متغیر را دارند، برای اینکه بتوانیم روابط تعداد بیشتر از سه متغیر را

بررسی و تحلیل کنیم از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی کمک می‌گیریم، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که درمجموع دو مؤلفه اول و دوم مجموعاً ۹۸/۵۸ از تغییرات کل داده‌ها را تبیین کردند (جدول ۵) مؤلفه اول تغییراتی را در برمی‌گیرد که توسط مؤلفه دوم تبیین نمی‌شود و بالعکس. در این پژوهش مؤلفه اول ۶۵/۴۸ درصد از تغییرات کل داده‌ها را بیان نمود و همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد غده در شرایط تنش ملایم (Ys)، عملکرد غده در شرایط نرمال (Yp)، شاخص میانگین محصول‌دهی (MP)، تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی محصول‌دهی (GMP) داشت.



شکل ۱. پراکنش هیبریدها بر اساس عملکرد غده در آبیاری نرمال (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و تنش ملایم (تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی) و شاخص میانگین محصول‌دهی

Fig. 1. Distribution of hybrids based on tuber yield in normal irrigation (100% water requirement) and mild stress (65% water requirement) and Mean productivity index



شکل ۲. پراکنش هیبریدها بر اساس عملکرد غده در آبیاری نرمال (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و تنش ملایم (تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی) و شاخص میانگین هندسی محصول‌دهی

Fig. 2. Distribution of hybrids based on tuber yield in normal irrigation (100% water requirement) and mild stress (65% water requirement) and geometric mean productivity index

می‌توان مؤلفه اول را به‌عنوان مؤلفه پتانسیل و پایداری عملکرد غده و تحمل به خشکی نام‌گذاری کرد. میزان بالای این شاخص‌ها برای ما مطلوب است دومین مؤلفه ۳۳/۱۱ درصد از کل تغییرات داده‌ها را بیان نمود و همبستگی منفی با عملکرد در شرایط تنش ملایم (Ys) و همبستگی مثبت بالا با شاخص تحمل (TOL) و حساسیت به تنش (SSI) داشت. مؤلفه دوم به‌عنوان مؤلفه حساسیت به تنش نام‌گذاری شد. مؤلفه دوم هیبریدهایی با عملکرد غده پایین و پتانسیل عملکرد غده متوسط را انتخاب کرد ازاین‌رو مقادیر کم شاخص تحمل و حساسیت به تنش برای ما مطلوب خواهد بود (جدول ۴).

جدول ۴. ضرایب مؤلفه‌های اصلی بین عملکرد در شرایط آبیاری نرمال (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و تنش ملایم (تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی) و شاخص تحمل به تنش

Table 4. Principal Coefficients of Coefficients between Normal Irrigation (100% plant water requirement) and Mild Stress (65% plant water requirement) and Stress Tolerance Index

Evaluated variables	متغیرهای مورد ارزیابی	مؤلفه ۱ PCA1	مؤلفه ۲ PAC2	میزان اشتراک Subscription rate
Yp	**تنش نرمال**	0.877	0.445	0.967
Ys	**تنش ملایم**	0.847	-0.512	0.979
TOL	**تحمل**	0.352	0.928	0.986
MP	**میانگین محصول‌دهی غده**	0.999	0.006	0.999
GMP	**میانگین هندسی محصول‌دهی غده**	0.995	-0.091	0.999
STI	**تحمل به تنش غده**	0.993	-0.062	0.991
SSI	**حساسیت به تنش غده**	-0.141	0.98	0.981
Eigenvalues	**مقادیر ویژه**	4.605	2.296	
Variance (percent)	**واریانس (درصد)**	65.789	32.799	
Experimental variance (percent)	**واریانس تجمعی (درصد)**	65.789	98.589	

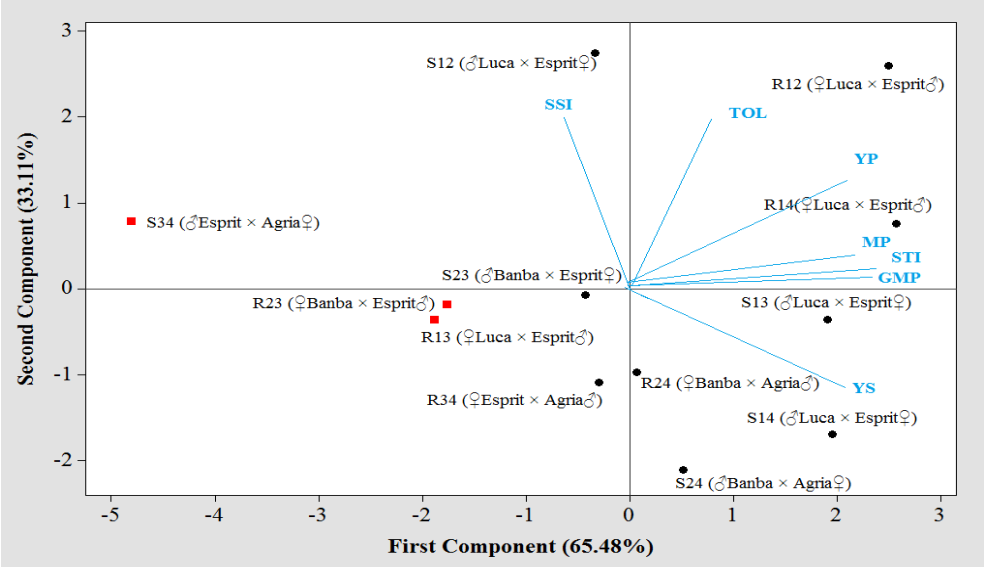
بر اساس نمودار بای‌پلات (شکل ۳) دو هیبرید R14 (♀Luca×Esprit♂) و S13 (♂Luca×Esprit♀) در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم تحمل به خشکی یعنی میانگین محصول‌دهی، میانگین هندسی محصول‌دهی و تحمل به تنش قرار دارند. همچنین هیبرید S14 (♂Luca × Esprit♀) در مجاورت مؤلفه پتانسیل عملکرد قرار دارند. هیبریدهای S12 (♂Luca×Esprit♀) و R12 (♀Luca×Esprit♂) در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش قرارگرفته‌اند که به معنی بالا بودن حساسیت آن‌ها به کمبود آب است. هیبریدهای S34 (♂ Esprit × Agria ♀)، R23 (♀Banba×Esprit♂) و R13 (♀Luca×Esprit♂) در ناحیه با عملکرد پایین و حساسیت بالا به تنش قرارگرفته‌اند. هیبریدهای R23 (♀Banba × Esprit♂)، S23 (♂Banba × Esprit♀) و R34 (♀Esprit × Agria♂) که در مرز بین دو ناحیه پتانسیل و پایداری عملکرد و تحمل به خشکی واقع‌شده‌اند، به‌عنوان نیمه متحمل شناسایی گردیدند.

به‌طورکلی می‌توان این نحوه توزیع هیبریدها در فضای بای پلات را بیانگر وجود تنوع ژنتیکی هیبریدهای حاصل از تلاقی ارقام سیب‌زمینی نسبت به تنش خشکی دانست. نمودار بای پلات همچنین زاویه بین شاخص‌های انتخابی میانگین محصول‌دهی، میانگین هندسی محصول‌دهی و شاخص تحمل به تنش را حاده نشان می‌دهد که دلالت بر وجود همبستگی بالا بین این شاخص‌ها است، همبستگی بالا بین دو شاخص تحمل و حساسیت به تنش نیز در نمودار مشهود است (شکل ۳). نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق با نتایج برخی محققین (Nickmanesh and Hassanpanah, 2014; Jouyandeh Kelashemi and Hassanpanah, 2014; Zakerhamidi and Hassanpanah, 2014; Hassanpanah, 2014) در گیاه سیب‌زمینی مطابقت داشت. حسن‌پناه (Hassanpanah, 2014) در گزارش خود

بیان داشت که در تجزیه عامل‌ها، چهار عامل مستقل از هم مجموعاً ۷۳/۴۹ درصد از تنوع را توجیه نمودند. عامل اول، عامل عملکرد و اجزا آن (صفات عملکرد غده قابل‌فروش، تعداد و وزن غده کل و قابل‌فروش در بوته)، عامل دوم، عامل ساختاری (صفات ارتفاع بوته و تعداد ساقه اصلی در بوته)، عامل سوم، عامل کیفی (درصد ماده خشک غده) و عامل چهارم، عامل فنولوژی (صفت تعداد روز تا غده‌زایی) نام‌گذاری شد. بابازاده و همکاران (Babazadeh et al., 2017) گزارش کردند که سه مؤلفه اول ۳۲/۳۳ درصد از تغییرات کل را توجیه کردند. مؤلفه اول، مؤلفه عملکرد غده، مؤلفه دوم، مؤلفه ساختاری و مؤلفه سوم، مؤلفه تعداد ساقه نام‌گذاری شدند. نتایج به‌دست آمده از نمودارهای سه‌بعدی و نیز نمودار چند متغیره نشان داد که مناسب‌ترین هیبریدها R14 (♀Luca×Esprit♂) و S13 (♂Luca×Esprit♀) می‌باشند. گروه‌بندی هیبریدها بر مبنای میانگین محصول-دهی و میانگین هندسی محصول‌دهی و شاخص تحمل به تنش، با استفاده از تجزیه خوشه‌ای و روش وارد دندروگرام مربوط در شکل ۴ نشان داده شده است. هیبریدهای R14, R12, S14 و S13 در یک گروه قرار گرفتند که همان گروه هیبریدهای متحمل به خشکی و سایر هیبریدهای مورد ارزیابی در گروه دیگری قرار گرفتند که همان گروه هیبریدهای دارای عملکرد پایین و درعین‌حال حساس به خشکی هستند.

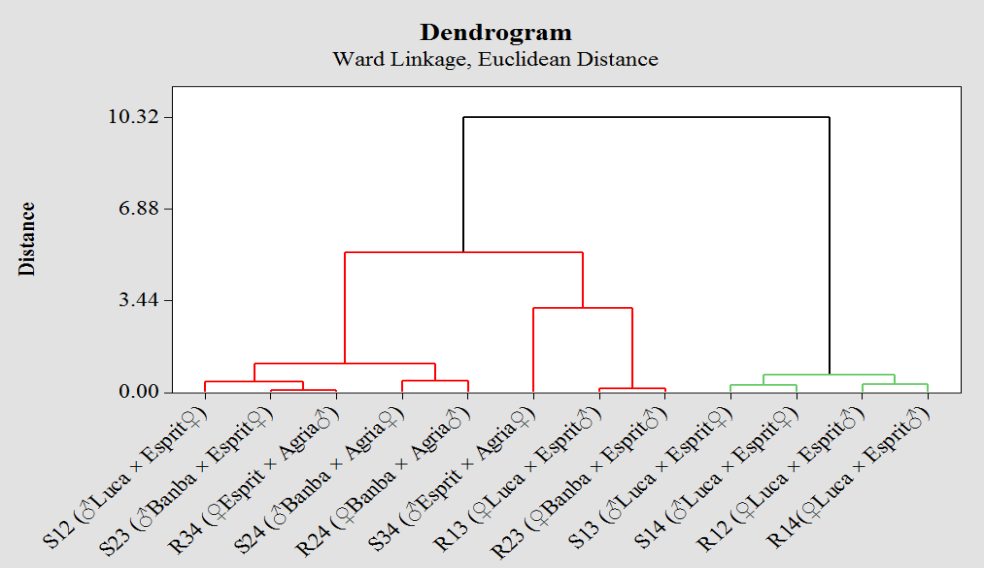
نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که توانایی تفکیک هیبریدهای متحمل به خشکی ارقام سیب‌زمینی توسط شاخص‌های میانگین هندسی محصول‌دهی و میانگین محصول‌دهی و شاخص تحمل فرناندز (STi) نسبت به سایر شاخص‌های ارزیابی میزان تحمل ژنوتیپ‌ها به تنش کم‌آبی، مناسبت‌تر بوده است. در شرایط ارزیابی این آزمایش، درنهایت دو هیبرید R14 (♀Luca×Esprit♂) و S13 (♂Luca×Esprit♀) به‌عنوان هیبریدهای متحمل به تنش کم‌آبی تعیین شدند.



شکل ۳. نمایش بای پلات پنج شاخص تحمل به خشکی در ۱۲ هیبرید حاصل از تلاقی ارقام سیب‌زمینی بر اساس مؤلفه‌های اول و دوم

Fig. 3. Biplot representation of five drought tolerance indices in 12 hybrids derived from potato cultivars based on the first and second components



شکل ۴. دندروگرام به‌دست‌آمده از تجزیه خوشه‌ای بر اساس داده‌های مربوط به شاخص‌های میانگین محصول‌دهی و میانگین هندسی محصول‌دهی و شاخص تحمل به تنش

Fig. 4. Dendrograms obtained from cluster analysis based on data on MP, GMP and TOL

منابع

Ahamadi, G., Zienali-Khaneghah, H., Rostamy, M.A., Chogan, R., 2000. The study of drought tolerance indices and biplot method in eight corn hybrids. Iranian Journal of Agricultural Sciences. 31, 513-523. [In Persian with English summary].

Asadi-Chaleshtory, S., Hasanzadeh-Gorttapeh, A. Fayaz-Moghadam, A., 2006. Evaluation of drought tolerance index in lentil land rates of west Azarbayjan. Gorgan, Journal of Agricultural Sciences and Natural Resource. 13, 65-77. [In Persian with English summary].

Babazadeh, H., Sarai Tabrizi, M Homaee, M., 2017. Assessing and modifying macroscopic root water extraction basil (*Ocimum Basilicum.*) models under simultaneous water and salinity stresses. Soil Physics and Hydrology. Soil Science Society of America Journal. 81, 10–19.

Demelash, N., 2013. Deficit irrigation scheduling for potato production in North Gondar, Ethiopia. African Journal of Agricultural Research. 8, 1144-1154.

FAO (Food and Agricultural Organization)., 2019. FAOSTAT database for agriculture. Available online at: http://faostat3.fao.org/ faostat-gateway /go/to/download/Q/QC/E.

Farshadfar, E., Zamani, M., Motallebi, M., Immamjomeh, A., 2001. Selection for drought resistance in chickpea lines. Iranian Journal Agricultural Sciences. 32, 1. 65-77 [In Persian with English summary].

Fernandez, G.C., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp. 257-270. In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress. Taiwan. 13-16 August.

Fischer, R.A., Maurer, R.., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I: grain yield response. Australian Journal Agricultural Research. 29, 897- 912.

Golestani, M., Pakniyat, H., 2007. Evaluation of drought tolerance indices in sesame lines. Journal of Water and Soil Science. 11, 141-150. 77 [In Persian with English summary].

Hassanpanah, D., Hassanabadi, H., 2011. Evaluating Tolerance of Potato Cultivars and Promising Clones to Water Deficit in Ardabil Region. Journal of Crop and Weed Ecophysiology. 4(4), 1-18. [In Persian with English summary].

Hassanpanah, D., 2009a. Effects of water deficit and potassium humate on tuber yield and yield

component of potato cultivars in Ardabil region, Iranian Journal of Environmental Sciences. 3, 351-356. [In Persian with English summary].

Hassanpanah, D., 2009b. In vitro and in vivo screening of potato cultivars plantlets against water stress by polyethylene glycol and potassium humate. Biotechnology. 8, 132-137.

Hassanpanah, D., 2010. Evaluation of potato advanced cultivars against water deficit stress under in vitro and in vivo condition. Biotechnology. 92, 164-169.

Hassanpanah, D., 2014. Evaluation of genetic diversity for agronomic traits in 65 genotypes potato with the use of Factor and Cluster analysis. Journal of Crop EcoPhysiology. 8, 83-96. [In Persian with English summary].

Hassanpanah, D., 2014. Genetic Diversity of 65 Potato genotypes using factor and cluster analysis, Journal of Crop Ecophysiology. 8, 96-83. [In Persian with English summary].

Hassanpanah, D., Hoseinzadeh, A.A., 2007. Methodology and evaluation of resistance sources to drought in potato cultivars and path analysis yield and yield components. Project final report, Natural Resources Research Center of Ardebil. Press Registration Number 86/1124. 56 pp. [In Persian].

Hassanpanah, D., Kazemi, M., Ahmad Mousapour Gorji, A., Jalali, A.H., 2018. A comprehensive guide to modern potato cultivation kazemi. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), 978-964-520-480-6. [In Persian].

Hassanpanah, D., Hoseinzadeh, H., Hosseinzadeh, A., Soheili, B., Mohammadi, R., 2016. Factor analysis, AMMI stability value parameter and GGE Bi-plot graphical method for quantitative and qualitative traits of potato genotypes. Ecophysiology of Crops. 37, 748-731. [In Persian with English summary].

Ilker, E., Tatar, Ö., Aykut Tonk, F., Tosun, M., 2011. Determination of tolerance level of some wheat genotypes to post-anthesis drought. Turkish Journal of Field Crops. 16, 59-63.

Islami, M., Arzani, A. Meybodi, A.M., 2004. Evaluation of agronomic traits and inheritance ability their in tolerance to salty durum wheat genotypes in without stress field conditions. Journal of Agricultural Sciences. 27, 101-112. [In Persian with English summary].

Jouyandeh Kelashemi, I., Hassanpanah, D., 2014. Evaluation of genetic diversity for yield and yield component in the hybrids produced from breeding population of HPS×II/67 potato. International Journal of Current Life Sciences. 4, 10107-10110.

Lan, J., 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. Acta Agriculturae Boreali-Occid Sinica 7, 85-87.

Ministry of Agricultural Jihad, 2018. Agricultural Statistics, Volume I: Crops in 2016-2017. Ministry of Jihad and Agriculture, Deputy of Planning and Economics, Bureau of Statistics and Information Technology, Ministry of Agricultural Jihad, Tehran [In Persian].

Naderi, A., Hashemi-Dezfouli, S.A., Majidi Hervan, E., Rezaei, A., Nourmohammadi, G., 2000. Study on correlation of traits and components affecting grain weight and determination of effects of some physiological parameters on grain yield in spring wheat genotypes under optimum and drought stress conditions. Journal of Seed and Plant Improvement 16, 374-386. [In Persian with English Summary].

Najafzadeh, S., Ehsanpour, A., 2012. Effect of drought stress on some physiological parameters of two potato cultivars (Kenebec and Concord) under in vitro culture condition. Arid Biome. 2, 70-81. [In Persian with English summary].

Nickmanesh, L., Hassanpanah, D., 2014. Evaluation of genetic diversity for agronomic traits in 127 potato hybrids with using multivariate statistical methods. Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences. 4, 502-507.

Nouri, A., Nezami, A., Kafi, M., Hassanpanah D., 2016. Evaluation of Water Deficit Tolerance of 10 Potato Cultivars Based on some Physiological Traits and (*Solanum tuberosum* L.) Tuber Yield in Ardabil Region. Journal of Crop Ecophysiology. 10, 268-243. [In Persian with English summary].

Reddy, A.R., Chaitanya, K. V. Vivekanandan, M., 2004. Drought-induced responses of hotosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology. 161, 1189-1202.

Rosielle, A., Hamblin A.J., 1981. Theoretical aspects of selection for stress and non-stress environment. Crop Science. 21, 1441- 1446.

Shahriari, R., Hassanpanah, D., Salimi, F., Manafian, M., Parchebaf, A., 2009. Potato mini-tuber production in water deficit condition using polyethylene glycol 6000. 6th Biotech. National Cong. Islamic Republic of Iran. 1-5 pp. [In Persian].

Shiri, M., Valizadeh, M., Majidi Haravan, E., Sanjari, A., Gharib Eshghi, A., 2010. Evaluation of wheat tolerance indices to moisture stress condition. Crop Production (Electronic Journal of Crop Production). 3, 143-161. [In Persian with English summary].

Yahoueian, S.H., Ghannadha, M.R., Babaie, H.R., Habibi, D., 2006. Evaluation of soybean genotypes in drought stress conditions. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding. 2, 57-72. [In Persian with English summary].

Yousofi-Azar, M. Rezai, A.M., 2007.Assessment of drought tolerance in different breeding lines of wheat (*Triticum. aestivum* L). Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources.42, 11.113-121.

Zakerhamidi, S., Hassanpanah, D., 2014. Investigation of genetic diversity for quantitative traits in 166 potato hybrids of produced from Luca and Caesar cultivars crosses. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences. 3, 34-37.

Zheng, J., Su, H., Lin, R., 2019. Isolation and characterization of an atypical LEA gene (IPLEA) from Ipomoea pes-aprae conferring salt/drought and oxidative stress tolerance. Scintific Reports 9, 14838. doi:10.1038/s41598-019-50813-w.