Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 53, No 2, Summer 2022 (531-542)
DOI: 10.22059/ijhs.2020.310047.1851

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۵۳، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۱ (ص ۵۴۲-۵۳۱)

نشریه پژوهشی:

تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب در برخی رقم‌های سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) حاصل از تلاقی دای الل

قاسم رحیمی[۱]، محمدرضا حسندخت[۲]، داود حسن‌پناه[۳*] و امیر موسوی[٤]
۱. دانش آموخته دکتری، گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. استاد، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
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، ایران
٤. دانشیار، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست‌فناوری، تهران، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/٦/۲٦ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۳۰)

چکیده

این پژوهش به منظور ایجاد تنوع ژنتیکی و دستیابی به هیبریدهای مناسب از نظر صفات زراعی، بازارپسندی و سازگار با شرایط اقلیمی مناطق سیب‌زمینی‌خیز کشور و متحمل به کم‌آبیاری، به مدت دو سال (۱۳۹۵ و ۱۳۹٦) در منطقه اردبیل انجام شد. آزمایش به صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. کرت اصلی کم آبیاریدر سه سطح (۱۰۰، ۸۰ و ٦۰ درصد نیاز آبی گیاه) و کرت فرعی شامل ۱۲ جمعیت سیب‌زمینی بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد بین سطوح مختلف کم‌آبیاری، ژنوتیپ و اثرمتقابل بین آنها از لحاظ صفات تعداد و وزن غده در بوته، عملکرد غده، تعداد ساقه اصلی در بوته و طول استولون تفاوت معنی‌دار و از لحاظ صفت درصد ماده خشک غده فقط بین ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌دار مشاهده گردید. دراین آزمایش از ۲۷۹ تلاقی موفق ۲٤٤ هیبرید انتخاب گردید. هیبریدهای انتخاب شده دارای ۹۷۵/۵ گرم و ۷/۵ غده در بوته بودند. در هر سه شرایط محیطی بیشترین وزن غده در بوته و عملکرد غده مربوط به هیبرید آگریا♀ × کایزر♂ و در شرایط نرمال و تنش ملایم متعلق به هیبرید کایزر ♀ × ساوالان♂ بود. بیشترین کارایی مصرف آب در هر سه شرایط محیطی (۱۰۰، ۸۰ و ٦۰ آب قابل استفاده) در هیبریدهای ۲ [آگریا (والد مادری) × کایزر (والد پدری)] و ۹ [کایزر (والد مادری)× ساوالان (والد پدری)] مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی:صفات کمی و کیفی، ماده خشک غده، هیبرید.

Effect of deficit irrigation on yield, yield component and water use efficiency in some potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars from diallel crossing

Ghasem Rahimi[1], Mohammad Reza Hassandokht[2], Davoud Hassanpanah[3*] and Amir Mousavi[4]
1. Ph.D. Graduate, Department of Horticulture Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Professor, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3. Associate Professor, Horticulture Crops Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Centre, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran
4. Assocaite Professor, National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology (NIGEB), Tehran, Iran
(Received: Sept. 16, 2020- Accepted: Dec. 20, 2020)

ABSTRACT

This study was conducted for create genetic diversity and access to suitable hybrids in terms of agronomic traits, marketability and adaptation to climatic conditions and tolerance to water deficit stress in Ardabil region during two years (2017 and 2018). The experiment was splitplot based on randomized complete blocks design with three replications. The main plot was deficit irrigationat three levels (100, 80 and 60% of plant water requirement) and the sub plot consisted of 12 potato populations. Results of analysis of variance showed that there was significant difference between different levels of deficit irrigation, genotypes and their interactions in terms of number and weight of tuber per plant, tuber yield, number of main stems per plant and length of stolon and in terms of tuber dry matter percentage, only significant difference was observed between genotypes. In this experiment of the 279 successful crossings 244 hybrids were selected. Selected hybrids had an average of 975.5 g and 7.5 tubers per plant. In all three environmental conditions, the highest tuber weight per plant and tuber yield was related to ♂Agria × ♀Ceaser hybrid, and in normal and moderate stress conditionsbelonged to ♂Savalan × ♀Ceaser hybrid. The highest water use efficiency was observed in all three environmental conditions in hybrids 2 [Agria (mother parent) × Caeser (mother parent)] and 9 [Caeser (mother parent) × Savalan (father parent)].

Keywords: Hybrid, quantitative and qualitative traits, tuber dry matter.

* Corresponding author E-mail:hassanpanah_d@yahoo.com

مقدمه

استفاده از تکثیر جنسی سیب‌زمینی می‌تواند مواد ژنتیکی لازم را برای اصلاح‌گران این محصول استراتژیک فراهم سازد. با وجود این که مهمترین هدف در برنامه‌های به‌نژادی افزایش عملکرد است، اما به دلیل کمی و پلی‌ژنیک بودن این صفت مطالعه آن مشکل است (Heidari Roodbali *et al*., 2016). پیشرفت کم در گزینش برای عملکرد باعث شد توجه به‌نژادگران به گزینش صفات ثانویه جلب شود (Landjeva *et al*., 2008). صفات ثانویه که وراثت‌پذیری بالا و همبستگی بالایی با عملکرد داشته باشند دارای اهمیت زیادی هستند. صفات متعددی برای این امر پیشنهاد شده است. استفاده از روش اصلاحی مناسب و گزینش درست شانس دستیابی به ژنوتیپ‌های بهبود یافته را افزایش می‌دهد (Sadeghi, 2014). در اصلاح‌نباتات برای دستیابی به رقم‌هایی با صفات مطلوب زراعی، اطلاع از ساختار ژنتیکی والدین مورد تلاقی، جهت انتخاب روش اصلاحی مناسب توسط پژوهشگران بسیار حائز اهمیت است. کسب چنین اطلاعاتی با به کارگیری روش‌های مختلف ژنتیک کمی، از جمله تلاقی‌های دی‌آلل انجام می‌شود. از اطلاعات ژنتیکی بدست آمده از طریق طرح‌های آمیزشی دی‌آلل، می‌توان برای تدبیر راهکارهای اصلاحی و ایجاد ژرم‌پلاسم جدید، به منظور بهبود صفات کمی و کیفی و ایجاد مقاومت در مقابل عوامل تنش‌زای زنده و غیرزنده استفاده کرد (Hemati *et al*., 2010). سیب‌زمینی یکی ازمواد اصلی در غذای مردم سراسر جهان محسوب می‌شود. طی سالیان دراز در شمار زیادی از کشورها سیب‌زمینی به عنوان منبع اصلی تامین کننده انرژی برای انسان مورد استفاده قرار گرفته است. سیب‌زمینی علاوه بر نشاسته دارای پروتیئن‌های مثل آلبومین، گلوبولین، پرولین و ویتامین‌های مختلفی است (Fallahi, 1997). ایران از نظر میزان تولید سیب‌زمینی رتبه دوازدهم را در بین کشورهای جهان به خود اختصاص داده است. اردبیل بهدلیل شرایط محیطی مناسب یکی از مناطق اصلی تولید سیب‌زمینی کشور به‌شمار می‌رود (Mohammad Dost Chamanabad *et al*., 2010). بر اساس آمار منتشر شده توسط سازمان فائو، کشور چین با تولید ۹۹ میلیون تن و ایران با ۵/۱ میلیون تن به ترتیب رتبه های اول تا سیزدهم تولید سیب‌زمینی جهان را در اختیار دارند (FAO, 2019). کشور ما،به جز رقم های ساوالان و خاوران، عملاً فاقد رقم‌های سیب‌زمینی ملی بوده و تقریباً کلیه رقم‌های سیب‌زمینی موجود در کشور وارداتی می باشند. بخش قابل توجهی از این رقم‌ها به دلیل عدم اتمام دوره حق به نژادگر آنها، مشمول قوانین حق مالکیت معنوی بوده و در صورت عضویت ایران در سازمان تجارت جهانی و کنوانسیون UPOV الزاماً هر گونه استفاده تجاری از آنها منوط به پرداخت حق امتیاز و کسب موافقت شرکت‌های اصلاح‌کننده خواهد بود. بنا به دلایل فوق اصلاح و تولید رقم‌های سیب زمینی ملی ضروری است.

خشکی یکی از معمول‌ترین تنش‌هایی می‌باشد که تولید محصولات کشاورزی را تهدید می‌کند، به طوری که از مجموع ۱۴۹ میلیون کیلومتر مربع سطح قاره‌ها، در حدود یک سوم آن را مناطق خشک و نیمه خشک تشکیل داده و این مناطق بالغ بر ۷۰۰ میلیون نفر از جمعیت دنیا را در خود جای داده است (Passioura, 2007). تنها گزینه موثر برای تأمین امنیت غذایی برای جمعیت رو به افزایش جهان، استفاده از کشاورزی آبیاست. زیرا میزان محصول کشاورزی تولید شده تحت آبیاری دو برابر میزان محصول تولید شده در شرایط دیم است (Sepaskhah &Ahmadi, 2010). ضروری است با توجه به کمبود منابع آبی، راندمان مصرف آب در بخش کشاورزی افزایش یابد و روش‌های کنترل‌کننده و ذخیره کننده آب از جمله کم آبیاری مورد توجه بیشتر قرار گیرد. کم آبیاری سنتی روشی است که در آن گیاهان به صورت هدفمند تحت آبیاری قرار می‌گیرند و این امر در حالتی رخ می‌دهد که گیاه کمترین حساسیت را نسبت به تنش داشته باشد. آب مهمترین ترکیب برای فعالیت گیاه محسوب می گردد و بیش از ۸۰ درصد بافت در حال رشد گیاه از آب تشکیل شده است (Akbari Nodehi, 2011). اهمیت این ماده حیاتی به این دلیل است که برای اجرای وظایف گیاه لازم می‌باشد. همچنین مقدار آب آبیاری، زمان و روش

کاربرد آن در سلامت گیاه و عملکرد آن بسیار اهمیت دارد (Maralian *et al*., 2014). کارائی مصرف آب یک نکته اساسی در بهره وری گیاه از منابع آبی محدود می‌باشد که در شرایط بارندگی به مقدار باران استفاده شده در طول دوره رشد و توانایی تولید عملکرد بیشتر به ازای قطرات آب باران بستگی دارد، اما در شرایط آبیاری به مقدار آب تأمین شده برای گیاه مرتبط بوده و به دو روش محاسبه می گردد: روش اول مقدار عملکرد گیاه در واحد آب داده شده به سطح زمین و روش دوم مقدار عملکرد گیاه در واحد آبی که گیاه در طول دوره رشد به صورت تبخیر وتعرق از دست می‌دهد (Koech *et al.,* 2015). با افزایش کارائی مصرف آب، تولید زیست‌توده بیشتر به ازای آب از دست رفته از طریق تبخیر و تعرق بدست می‌آید و مقدار آب کمتری برای رشد و توسعه گیاه لازم می‌باشد و این می‌تواند دلیلی باشد که گیاهانی با کارائی مصرف آبالا در پاسخ به تنش خشکی مقاومت بیشتری به خشکی دارند (Mohadese Servani*et al*., 2014). Khorshidi Benam *et al*. (2002) سه سطح مختلف تنش آبی (۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد آب قابل استفاده خاک) را در سه مرحله رشد سیب‌زمینی روی رقم های مختلف در محیط گلخانه اعمال کردند. نتایج این تحقیق نشان داد اعمال هر گونه تنش محتوای نسبی آب، کارایی مصرف آب، تعداد غده در بوته، درصد ماده خشک و عملکرد را کاهش می‌دهد. Yuan *et al*. (2003) گزارش کرد که با افزایش میزان آب مصرفی ارتفاع گیاه، میزان زیست توده و محصول بازارپسند با وزن غده بیش از ۸۰ گرم افزایش یافت، لیکن وزن خشک محصول و کیفیت غده‌ها کاهش یافت. Jensen *et al*. (2010) در تحقیقات خود نشان دادند اعمال روش کم آبیاری سنتی و کم آبیاری متناوب باعث افزایش محصول بازارپسند سیب زمینی تا ۱۵ درصد و کاهش ۳۰-۲۰ درصد آب مصرفی شده است. Lian *et al*. (2011) در تحقیقات خود نشان دادند اعمال تنش ۵۰ درصدی در مرحله غده زایی روی سیب زمینی باعث کاهش میزان زیست توده گیاه در کم آبیاری سنتی و کم آبیاری متناوب شده است و راندمان مصرف آب در آبیاری کامل و کم آبیاری متناوب یکسان و کمتر از کم‌آبیاری سنتی بوده است. Jafari *et al.* (2019) نتیجه گرفتند رقم مارفونا نسبت به شرایط تنش خشکی تحمل بیشتری دارد. Jahani *et al.* (2021) گزارش کردند ژنوتیپ‌های ۹۰۱۳۷۵ و ساوالان از بالاترین عملکرد غده، درصد ماده خشک غده، وزن مخصوص غده، درصد نشاسته غده، مقدار ویتامین ث غده و درصد پروتئین برخوردار بودند. Mousapour Gorji *et al.* (2021) اعلام نمودند رقم‌ها و کلون‌های با رنگ گوشت روشن‌تر (زرد روشن) عموماً دارای وزن مخصوص و ماده خشک بالاتری بودند.

هدف از اجرای این پژوهش، انجام تلاقی به‌منظور دستیابی به جمعیت‌های در حال تفرق، انتخاب تک-بوته‌های برتر برای دستیابی به هیبریدهای مناسب از نظر صفات زراعی، بازارپسندی و سازگار با شرایط اقلیمی مناطق سیب‌زمینی‌خیز کشور تعیین تنوع ژنتیکی و گروه‌بندی هیبریدها براساس صفات مورد مطالعه، انتخاب هیبریدهای برتر از لحاظ عملکرد قابل قبول، طول استولون کوتاه و بازارپسند برای منطقه اردبیل و مناطق مشابه، مقایسه عملکرد و اجزای عملکرد هیبریدهای سیب‌زمینی در شرایط کم‌آبیاری، تعیین کارآیی مصرف آب هیبریدهای سیب‌زمینی در شرایط کم‌آبیاری بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به مدت دو سال (۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) در شرکت فناوری زرع‌گسترآرتا انجام شد.

شرایط اکولوژیکی منطقه اردبیل

این منطقه از اقلیم معتدل و نیمه‌سردسیر استان اردبیل بوده و متوسط بارندگی ۳۱۰ میلی‌متر و آب و هوای تا حد کمی مرطوب و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۷۲ متر و طول و عرض جغرافیایی آن به ترتیب ′۴۸ °۲۰ و ′۱۵ °۳۸ می‌باشد. متوسط حداکثر و حداقل دمای سالانه و حداکثر دمای مطلق به ترتیب ۱/۹۸، ۱۵/۱۸ و ۲۱/۵۸ درجه سانتی‌گراد است. این منطقه دارای زمستان‌های بسیار سرد و تابستان‌های معتدل می‌باشد. آمار هواشناسی منطقه اردبیل در مرحله رشد سیب‌زمینی در سال ۱۳۹۶ در جدول ۲

نشان داده شده است. خاک محل آزمایش از نوع لومی رسی و میزان مواد آلی ۰/۹۷ درصد بود. زمین مورد نظر مسطح بود و وضعیت آن از نظر زهکشی مناسب و سفره آب زیرزمینی در آن عمیق و وضعیت تهویه خاک نیز مطلوب بود. در جدول ۳ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب محل آزمایش نشان داده شده است. در سال ۱۳۹۵ به ایجاد تنوع ژنتیکی اقدام گردید، بدین منظور از چهار رقم ساتینا، کایزر، ساوالان و آگریا به عنوان والدا ستفاده شد. رقم کایزر پرمحصول و متحمل به تنش کم‌آبی، رقم آگریا پرمحصول، مناسب برای فرنچ‌فرایز و حساس به تنش کم‌آبی، رقم ساوالان پرمحصول، مناسب برای چیپس و متحمل به تنش کم‌آبی و رقم ساتینا پرمحصول، مناسب برای تازه‌خوری و متحمل به تنش کم‌آبیبود (Hasanpanah *et al*., 2016; Nouri *et al*., 2016). اینرقم‌ها به روش دورگ‌گیری متقابل مطابق قالب مندرج در جدول ۱ در گلخانه تلاقی داده شدند. در سال دوم (۱۳۹۶) ارزیابی هیبریدها انجام شد. بدین منظور جمعیت‌های اصلاحی تولیدی در نیمه اول سال ۱۳۹۵، در آذرماه سال ۱۳۹۵ در گلخانه و در گلدان‌های پلاستیکی ۱۰×۱۰ سانتی‌متر محتوی پیت‌ماس و پوکه معدنی به نسبت حجمی ۱:۱ کشت شدند. در طی مراحل رشد، عملیات آبیاری و وجین علف‌های هرز به طور منظم انجام شد.

جدول ۱. چارت هیبریداسیون (نحوه تلاقی) رقم‌های انتخابی سیب‌زمینی.

Table 1. Hybridization chart (crossing mode) of selected potato cultivars.

	A♂	Sa♂	C ♂	S♂
A♀		A♀×Sa♂	A♀× C♂	A♀×S♂
Sa♀	A♂×Sa♀		Sa♀× C♂	Sa♀× S♂
C♀	A♂× C ♀	Sa♂× C ♀		Sa♀× S♂
S♀	A♂×S♀	Sa♂× S♀	C ♂× S♀	

آگریا = A ساتینا=S کایزر=C ساوالان=S

جدول ۲. آمار هواشناسی منطقه اردبیل در سال ۱۳۹۶.

Table 2. Meteorological statistics of Ardebil region in the Year 2018.

The months of the year	Precipitation (mm)	Average temperature (°C)			Average humidity (%)
		Minimum	Maximum	Mean	
April	30.3	2.1	14.3	8.2	69
June	32.9	7.4	21.4	14.4	64
May	2.4	10	24.5	17.3	68
July	9.3	12.8	26.1	19.5	61
August	1.3	11.7	29.5	20.6	58
September	0.1	10.2	29.3	20	57

منبع: پایگاه اطلاع‌رسانی اداره کل هواشناسی استان اردبیل http://www.ardebilmet.ir/to/amar/amar.htm

جدول ۳. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب محل آزمایش.

Table 3. Physical and chemical properties of soil and water at the test site.

Type of analysis	Soil	Type of analysis	Soil
Salinity (ds/m)	1.25	Salinity (µs/m)	1500
pH	7.64	pH	7.66
Saturation percentage	29	Carbonate	0
Percent of lime	7.5	Bicarbonate (ppm)	382
Texture	Clay loam	Sulfate (ppm)	155
Organic carbon (%)	0.97	Chlorine (ppm)	195
Percentage of total nitrogen	0.7	Sodium (ppm)	123.98
Available phosphorus (ppm)	3.4	Calcium (ppm)	188
Available potassium (ppm)	230	Magnesium (ppm)	44.2
Zinc (ppm)	1.22	SAR	2.46
Iron (ppm)	3.22	TDS (mg / l)	750
Copper (ppm)	3.2	Total hardness	480
Manganese (ppm)	4.2		

بررسی هیبریدها در شرایط تنش کم‌آبیاری

طرح آزمایشی

طرح آزمایشی اسپلیت‌پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بود. عامل اصلی کم آبیاری در سه سطح (۸۰،۱۰۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) و عامل فرعی شامل ۱۲ جمعیت بود. فاصلهٔ ردیف‌های کاشت از یکدیگر ۷۵ سانتی‌متر و فاصلهٔ غده‌ها از یکدیگر در روی ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در ابتدا و انتهای هر بلوک یک ردیف رقم آگریا به عنوان حاشیه کاشته شد. کود سولفات پتاسیم به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در یک نوبت، کود فسفات آمونیوم به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در دو نوبت و کود اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در سه نوبت براساس آزمون خاک مصرف شد. بدین ترتیب ۲۵ درصد کود اوره، ۵۰ درصد کود فسفات آمونیوم و کل کود سولفات پتاسیم را با هم مخلوط و در کف جوی ایجاد شده قرار داده و روی آن با ۵ سانتی‌متر خاک مزرعه پوشش داده شد. سپس غده‌ها روی بستر خاک به فاصله ۲۵ سانتی‌متر از همدیگر کشت شدند. پنجاه درصد کود اوره در اولین خاک‌دهی پای بوته و ۲۵ درصد باقی‌مانده آن به همراه ۵۰ درصد بقیه کود فسفات آمونیوم بلافاصله پس از تشکیل غده به طور یکنواخت مورد استفاده قرار گرفتند. بقیه عملیات داشت از قبیل وجین علف‌های هرز و مبارزه با آفات و بیماری‌ها در کلیه کرت‌ها به طور یکنواخت انجام شد. برای مبارزه با آفات از سم کنفیدور به مقدار ۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتار و برای مبارزه با بیماری‌های قارچی از قارچ‌کش مانکوزب به مقدار ۱۰۰۰ گرم در هکتار استفاده شد. میزان آب مصرفی براساس مراحل مختلف رشد و نیاز گیاه مصرف گردید. قسمت‌های هوایی ۱۰ روز قبل از برداشت بوته‌ها سربرداری شدند. در طی مراحل رشد و پس از برداشت هیبریدها از لحاظ صفات کمی و کیفی و کارایی مصرف آب مورد بررسی قرار گرفتند. مقدار آب مصرفی در مراحل مختلف رشد سیب‌زمینی از طریق آبیاری تیپ در شرایط طبیعی در جدول ۴ آورده شده است.برای تعیین درصد ماده خشک غده، برش‌های نازک ۴ غده متوسط (۸۰-۴۰ میلی‌متر) از هر رقم را به صورت جداگانه در داخل آون به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و از طریق رابطه (۱) اندازه‌گیری شد (Khandan *et al.*, 2011):

$$\text{درصد ماده خشک غده} = \frac{\text{وزن غده پس از خشک شدن}}{\text{وزن غده اولیه}} \times ۱۰۰ \quad (۱)$$

کارآیی مصرف آب از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$WUE = TK/ TWU \quad (۲)$$

در این معادله:

WUE: کارآیی مصرف آب (تن در مترمکعب)

TY: عملکرد غده (تن در هکتار)

TWU: کل آب مصرف شده توسط سیب‌زمینی (متر مکعب در هکتار).

تحلیل آماری

برای نرمال بودن کشیدگی و یا چولگی توزیع داده‌ها، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. تجزیه واریانس پس از نرمال بودن داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات مورد ارزیابی در قالب طرح آماری اسپلیت پلات بر پایه بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد.

جدول ۴. مقدار آب مصرفی در مراحل مختلف رشد سیب‌زمینی از طریق آبیاری تیپ در شرایط طبیعی.

Table 4. Amount of water consumed at different stages of potato growth through type irrigation under natural conditions.

Stages of potato growth	Number of irrigation	Amount of water consumed (m^3/ha)	The amount of effective rain (m^3/ha)	Applied water volume* (m^3/ha)
Planting stage	1	159.06	102	261.06
The stage from planting to the onset of tuberculosis	3	477.18	339	816.18
The stage of onset of tuberculosis until maturation	9	6435	121	6556
Total	13	7070.26	562	7633.24

* حجم آب کاربردی = مقدار آب مصرفی + مقدارباران موثر

*Volume of usable water = amount of water consumed + amount of effective rain,

۱۰۰ درصد آب قابل استفاده: ۷۶۳۳/۲۴ مترمکعب درهکتار — 100% usable water: 7633.24 cubic meters per hectare

۸۰ درصد آب قابل استفاده: ۶۱۰۶/۵۹ مترمکعب درهکتار — usable water: 6106.59 cubic meters per hectare 80%

۶۰ درصد آب قابل استفاده: ۴۵۷۹/۹۴ مترمکعب درهکتار — 60% usable water: 4579.94 cubic meters per hectare

مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. برای انجام محاسبه‌های آماری از نرم‌افزار کامپیوتری SAS 9.1 استفاده شد. برای بررسی ارتباط بین صفات، از ضرایب همبستگی خطی استفاده شد. برای محاسبه آن از نرم‌افزار Minitab16 استفاده گردید.

نتایج و بحث

ایجاد تنوع ژنتیکی و ارزیابی هیبریدها در گلخانه

در این آزمایش از ۲۷۹ تلاقی بین رقم‌های اگریا، ساتینا، کایزر و ساوالان، تعداد ۱۵۷ حبه، تعداد ۷۹۸۰ بذر حقیقی سیب‌زمینی از ۱۲ جمعیت اصلاحی در سال ۱۳۹۵ بدست آمد. بذرهای تولیدی شامل تعداد ۱۳۲۲ عدد بذر از تلاقی آگریا♀ × ساتینا♂ (۱۶/۵۷ درصد)؛ تعداد ۴۸۵ عدد بذر از تلاقی آگریا♀× کایزر♂ (۶/۰۸ درصد)؛ تعداد ۲۱۶۳ عدد بذر از تلاقی آگریا♀ × ساوالان♂ (۲۷/۱۱ درصد)؛ تعداد ۱۴۹۵ عدد بذر از تلاقی ساتینا ♀ × آگریا ♂ (۱۸/۷۳ درصد)؛ تعداد ۱۲۲۴ عدد بذر از تلاقی ساتینا ♀ × کایزر ♂ (۱۵/۳۴ درصد)؛ تعداد ۱۷۵ عدد بذر از تلاقی ساتینا♀× ساوالان ♂ (۲/۱۹ درصد)؛ تعداد ۱۰۶ عدد بذر از تلاقی کایزر ♀ × ساتینا ♂ (۱/۳۳ درصد)؛ تعداد ۷۵ عدد بذر از تلاقی کایزر ♀ × آگریا ♂ (۰/۹۴ درصد)؛ تعداد ۱۰۱ عدد بذر از تلاقی کایزر ♀ × ساوالان ♂ (۱/۲۷ درصد)؛ تعداد ۲۱۲ عدد بذر از تلاقی ساوالان ♀ × ساتینا ♂ (۲/۶۶ درصد)؛ تعداد ۳۱۲ عدد بذر از تلاقی ساوالان ♀ × آگریا ♂ (۳/۹۱ درصد) و تعداد ۱۰۱ عدد بذر از تلاقی ساوالان ♀ × کایزر ♂ (۳/۸۸ درصد) بودند (جدول ۵).

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه نشان داد بین سطوح مختلف کم آبیاری، ژنوتیپ‌ها و اثرمتقابل بین آنها از لحاظ صفات تعداد غده در بوته، وزن غده در بوته، عملکرد غده، تعداد ساقه اصلی در بوته و طول استولون تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و از لحاظ صفت درصد ماده خشک غده فقط بین ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده گردید (جدول ۶). این امر حاکی از تنوع ژنتیکی بالای بین رقم‌ها به منظور گزینش برای صفات مورد نظر می‌باشد. بیشترین و کمترین ضریب تغییرات مربوط به خطای آزمایشی به ترتیب با مقادیر ۱۳/۲۷ و ۵/۰۱ درصد مربوط به تعداد غده در بوته و درصد ماده خشک غده بود (جدول ۶). Naeem & Atrashi (2014) اثر متقابل رقم و تیمارهای بیولوژیک نیز بر عملکرد و وزن خشک کل مینی تیوبر نیز معنی دار گزارش نمودند. Heidari Sarban (2016) گزارش کرد رقم کایزر در شرایط تنش از ارتفاع گیاهچه و طول ریشه در گیاهچه بیشتر نسبت به دو رقم آگریا و اسپیریت داشت. Hassanpanah & Hassanabadi (2011) گزارش کردند که بین نوع کشت، رقم‌ها و اثر متقابل آنها از لحاظ صفات عملکرد غده کل، عملکرد غده قابل فروش، تعداد و وزن غده در بوته، بین اثرمتقابل سال و نوع کشت، رقم و نوع کشت، سال و رقم وسال و نوع کشت و رقم تفاوت معنی‌دار مشاهده شد.

جدول ۵. تعداد تلاقی، تعداد حبه و تعداد بذر حقیقی سیب‌زمینی تولید شده از تلاقی دی‌آلل.

Table 5. Number of crosses, number of cubes and number of actual potato seeds produced from diallel cross.

♀	♂	Crosses			
		The number of successful crosses	Number of cubes	The number of real seeds	Percentage of real seeds produced
Agria	Satina	20	11	1322	16.57
	Casear	24	6	485	6.08
	Savalan	35	18	2163	27.11
Satina	Agria	18	13	1495	18.73
	Casear	26	9	1224	15.34
	Savalan	25	15	175	2.19
Casear	Satina	8	6	106	1.33
	Agria	7	9	75	0.94
	Savalan	9	8	101	1.27
Savalan	Satina	31	18	212	2.66
	Agria	42	25	312	3.91
	Casear	25	19	310	3.88
		279	157	7980	-

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس اثر کم‌آبیاری و ژنوتیپ بر برخی صفات سیب زمینی.

Table 6. Results of vaiance analysis effect of deficit irrigation and genotype on some traits of potato.

Source of variation	df	Mean of squares						
		Tuber number per plant	Tuber weight per plant	Tuber yield	Number of main stems per plant	main stem diameter	Tuber dry matter percent	Stolon length
Replication	2	0.18	4444.44	12.48	1	1.56	1.07	1
Deficit irrigation	2	10.63**	283416.1**	3604.3**	16**	100.8**	3.034	4.09**
Error 1	6	2.031	4444.44	12.48	1	0.86	1.067	1
Genotype	11	3.113**	83877.72**	235.55**	2.909**	13.24**	9.944**	12.3**
Deficit irrigation×genotypes	22	1.15**	19796.26**	55.59**	1.18**	6.99**	0.571	2.82**
Error 2	66	0.5054	9141.41	25.67	0.454	0.868	1.068	0.696
Coefficient of variation (%)		13.27	12.62	12.60	18.38	9.48	5.009	9.98

* و **: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

*, ** Significantly difference at 5 and 1 %, respectively.

مقایسه میانگین ها

صفت تعداد غده در بوته از مهمترین صفات است و از اجزای اصلی عملکرد در سیب‌زمینی به شمار می‌رود. هرچه تعداد استولون بیشتر باشد، تعداد غده در بوته نیز بیشتر خواهد شد. از عواملم حیطی تاثیرگذار در تعداد غده در بوته می توان به فشردگی خاک، کاشت عمیق و رطوبت کم خاک اشاره کرد (Hasanpanah & Akbarloo, 2013). بیشترین تعداد غده در بوته، در شرایط نرمال (۱۰۰ درصد آب قابل استفاده)، مربوط به هیبریدهای کایزر ♀ × ساوالان ♂ و ساتینا ♀ × کایزر ♂، در شرایط تنش ملایم (۸۰ درصد آب قابل استفاده)، مربوط به هیبریدهای آگریا♀ × کایزر♂، ساتینا ♀ × آگریا ♂، ساتینا ♀ × کایزر ♂، کایزر ♀ × آگریا ♂ و کایزر ♀ × ساوالان ♂ و در شرایط تنش شدید (۶۰ درصد آب قابل استفاده)، مربوط به هیبریدهای آگریا♀ × ساتینا♂، آگریا♀ × کایزر♂ و آگریا♀ × ساوالان♂ بود (جدول ۷). وزن غده به طول دوره رشد بستگی دارد و با افزایش وزن غده، اندازه غده نیز زیاد می‌شود. علاوه بر میزان تولید مواد فتوسنتزی، انتقال و توزیع مطلوب این مواد از برگ‌ها به غده‌ها از عواملی هستند که نقش اساسی در افزایش وزن غده‌ها در بوته دارند (Kazemi, 2003). بیشترین وزن غده در بوته و عملکرد غده، در شرایط نرمال (۱۰۰ درصد آب قابل استفاده)، مربوط به هیبریدهای آگریا♀× ساتینا♂، آگریا♀× کایزر♂، آگریا♀× ساوالان♂، ساتینا ♀ × آگریا ♂، کایزر ♀ × آگریا ♂، کایزر ♀ × ساوالان ♂، ساوالان ♀ × ساتینا ♂، ساوالان ♀ × آگریا ♂ و ساوالان ♀ × کایزر ♂، در شرایط تنش ملایم (۸۰ درصد آب قابل استفاده)، مربوط به هیبریدهای آگریا♀ × کایزر♂ و کایزر ♀ × ساوالان ♂ و در شرایط تنش شدید (۶۰ درصد آب قابل استفاده)، مربوط به هیبرید آگریا ♀ × کایزر ♂ بود (جدول ۷). تعداد ساقه اصلی در بوته سیب‌زمینی یکی از صفات مهم به شمار می‌رود. به طورکلی هرچه تعداد ساقه بیشتر باشد باعث زیاد شدن تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد برگ‌ها و بالا رفتن سطح فتوسنتز کننده و در نتیجه زیادتر شدن تعداد غده قابل برداشت می‌شود. بیشترین تعداد ساقه اصلی در بوته، در شرایط نرمال (۱۰۰ درصد آب قابل استفاده)، مربوط به هیبریدهای آگریا♀× ساتینا♂، آگریا♀× کایزر♂، کایزر ♀ × ساتینا ♂، ساوالان ♀× آگریا ♂ و ساوالان ♀ × کایزر ♂، در شرایط تنش ملایم (۸۰ درصد آب قابل استفاده)، کلیه هیبریدهای مورد مطالعه و در شرایط تنش شدید (۶۰ درصد آب قابل استفاده)، مربوط به کایزر♀× ساتینا ♂ بود (جدول ۷). بیشترین قطر ساقه اصلی، در شرایط نرمال (۱۰۰ درصد آب قابل استفاده)، مربوط به هیبریدهای آگریا♀× ساوالان♂، ساتینا ♀× ساوالان ♂ و ساوالان ♀× ساتینا ♂، در شرایط تنش ملایم (۸۰ درصد آب قابل استفاده)، مربوط به هیبرید آگریا♀× ساتینا♂ و در شرایط تنش شدید (۶۰ درصد آب قابل استفاده)،

مربوط به هیبریدهای آگریا♀ × ساوالان♂ و ساتینا ♀ × ساوالان ♂ بود (جدول ۷). مقدار ماده خشک تعیین کنندهٔ مقدار آبی است که در حین فرآوری باید از ماده غذایی جدا و تبخیر شود تا محصول به مقدار رطوبت نهایی مطلوب برسد (Yaghoubi & Javadi, 2013). بیشترین درصد ماده خشک غده، در شرایط نرمال (۱۰۰ درصد آب قابل استفاده) و تنش شدید (۶۰ درصد آب قابل استفاده)، مربوط به هیبریدهای آگریا♀ × ساوالان♂ و ساوالان ♀ × ساتینا ♂ و در شرایط تنش ملایم (۸۰ درصد آب قابل استفاده)، مربوط به هیبریدهای آگریا♀ × ساوالان♂، ساوالان ♀ × ساتینا ♂ و ساوالان ♀ × آگریا ♂ بود (جدول ۷). پژوهش‌های بسیاری مؤید این مطلب است که با کاهش میزان آبیاری و اعمال تنش خشکی، ضمن کاهش عملکرد، درصد ماده خشک اندام‌های هوایی و غده‌ها در سیب‌زمینی افزایش می‌یابد. در این تحقیقات علت،کاهش پتانسیل آب اطراف ریشه و کمبود آب در دسترس گیاه ذکر شده است که در نتیجه آن آب کمتری به بافت‌های زنده گیاه هدایت و درصد ماده خشک غده‌ها افزایش می‌یابد (Ayas & Korukcu, 2010, Ayas, 2013; Eskandari *et al*., 2011). در شرایط نرمال (۱۰۰ درصد آب قابل استفاده)، هیبریدهای ساتینا ♀ × آگریا ♂ و ساوالان ♀ × کایرز ♂، در شرایط تنش ملایم (۸۰ درصد آب قابل استفاده)، هیبریدهای ساتینا ♀ × آگریا ♂، ساتینا ♀ × کایزر ♂، ساوالان ♀ × ساتینا ♂، ساوالان ♀ × آگریا ♂ و ساوالان ♀ × کایزر ♂ و در شرایط تنش شدید (۶۰ درصد آب قابل استفاده) هیبریدهای ساتینا ♀ × آگریا ♂، ساتینا ♀ × کایزر ♂ و ساتینا ♀ × ساوالان ♂ از کمترین طول استولون برخوردار بودند و به عنوان هیبریدهای برتر از لحاظ این صفت انتخاب شدند (جدول ۷).

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و ژنوتیپ بر برخی صفات کمی سیب‌زمینی.

Table 7. Mean comparison interaction effect of deficit irrigation and genotype on some potato quantitative traits.

Low decicit irrigation	♀	♂	Tuber number per plant		Tuber weight per plant (g)		Tuber yield (t/ha)		Number of main stems per plant	
100% usable water	Agria	Satina	5.4	defg	1030	a	54.6	a	6	a
		Casear	5.8	c-f	1054	a	55.9	a	4	bc
		Savalan	4.7	fg	1036	a	54.9	a	5	ab
	Satina	Agria	5.1	efg	944	abc	50.0	abc	3	c
		Casear	7.1	ab	715	def	37.9	def	3	c
		Savalan	4.4	g	719	def	38.1	def	4	bc
	Casear	Satina	5.8	c-f	849	bcd	45.0	bcd	6	a
		Agria	6.8	bc	948	abc	50.2	abc	4	bc
		Savalan	8.1	a	1014	a	53.7	a	3	c
	Savalan	Satina	5.5	d-g	974	ab	51.6	ab	4	bc
		Agria	5.5	d-g	1034	a	54.8	a	5	ab
		Casear	5.1	efg	935	abc	49.6	abc	5	ab
80% usable water	Agria	Satina	5.1	efg	745	de	39.5	de	4	bc
		Casear	6.1	b-e	1020	a	54.1	a	4	bc
		Savalan	5.1	efg	744	de	39.4	de	4	bc
	Satina	Agria	6.1	b-e	656	ef	34.8	ef	3	c
		Casear	6.1	b-e	716	def	37.9	def	3	c
		Savalan	5.1	efg	569	f	30.2	f	3	c
	Casear	Satina	5.1	efg	774	de	41.0	de	4	bc
		Agria	6.5	bcd	815	cd	43.2	cd	4	bc
		Savalan	6.5	bcd	936	abc	49.6	abc	3	c
	Savalan	Satina	4.5	g	745	de	39.5	de	4	bc
		Agria	5.1	efg	819	bcd	43.4	bcd	4	bc
		Casear	5.1	efg	745	de	39.5	de	4	bc
60% usable water	Agria	Satina	5.1	efg	514	hij	27.2	ijk	3	cd
		Casear	5.1	efg	712	defg	37.7	d-h	2	d
		Savalan	5.1	efg	419	j	22.2	k	3	cd
	Satina	Agria	4.5	gh	519	hij	27.5	ijk	3	cd
		Casear	5.1	efg	536	hij	28.4	ijk	3	cd
		Savalan	5.1	efg	462	ij	24.5	jk	2	d
	Casear	Satina	4.5	gh	432	j	22.9	k	3	cd
		Agria	4.5	gh	812	cd	43.0	cde	3	cd
		Savalan	5.1	efg	619	efgh	32.8	fghi	3	cd
	Savalan	Satina	4.5	gh	510	hij	27.0	ijk	4	bc
		Agria	3.8	h	606	fghi	32.1	ghij	3	cd
		Casear	4.5	gh	592	fghi	31.4	ghij	4	bc

در هر ستون میانگین هایی با حروف یکسان تفاوت معنی‌دار ی با هم ندارند.

In each column, values with same letter does not have significantly difference with each other.

ادامه جدول ۷. مقایسه میانگین اثرمتقابل کم‌آبیاری و ژنوتیپ بر برخی صفات کمی سیب‌زمینی.

Continued table 7. Mean comparison interaction effect of deficit irrigation and genotype on some potato quantitative traits.

Low deficit irrigation	♀	♂	Main stem diameter (mm)		Tuber dry matter percent (%)		Stolon length (cm)	
100% usable water	Agria	Satina	7.50	fg	18.8	f	7.3	efg
		Casear	11.0	cd	20.2	def	8.4	b-e
		Savalan	14.0	a	22.2	ab	8.9	bc
	Satina	Agria	9.0	ef	20.0	def	11.3	a
		Casear	10.0	de	19.7	def	5.9	h
		Savalan	13.0	ab	19.9	def	7.4	d-g
	Casear	Satina	12.0	bc	19.7	def	9.3	b
		Agria	11.0	cd	18.8	f	8.2	b-e
		Savalan	12.0	bc	20.2	def	8.9	bc
	Savalan	Satina	13.0	ab	23.1	a	6.8	fgh
		Agria	12.0	bc	21.1	bcd	7.2	e-h
		Casear	11.0	cd	20.1	def	6.3	gh
80% usable water	Agria	Satina	14.0	a	19.9	def	9.1	bc
		Casear	11.0	cd	21.1	bcd	8.7	bcd
		Savalan	12.0	bc	22.1	abc	8.9	bc
	Satina	Agria	7.00	g	20.2	def	7.4	d-g
		Casear	10.0	de	20.5	cde	7.2	e-h
		Savalan	10.0	de	19.1	ef	7.8	c-f
	Casear	Satina	12.0	bc	21.1	bcd	12.4	a
		Agria	8.00	fg	18.9	ef	9.2	b
		Savalan	9.00	ef	20.4	def	9.2	b
	Savalan	Satina	11.0	cd	22.2	ab	7.1	e-h
		Agria	10.0	de	22.1	abc	7.2	e-h
		Casear	8.00	fg	20.9	bcd	7.4	d-g
60% usable water	Agria	Satina	7.00	gh	20.1	efg	9.0	d-g
		Casear	6.00	h	21.1	b-e	9.0	d-g
		Savalan	10.00	de	22.4	ab	8.5	e-i
	Satina	Agria	7.00	gh	21.1	b-e	7.5	h-m
		Casear	9.00	ef	20.5	c-f	7.0	k-n
		Savalan	10.00	de	20.1	efg	7.4	h-m
	Casear	Satina	9.00	ef	20.4	d-g	11.1	abc
		Agria	8.00	fg	19.2	fg	9.8	cde
		Savalan	7.00	gh	20.5	c-f	10.1	bcd
	Savalan	Satina	9.00	ef	22.1	abc	8.1	f-l
		Agria	7.00	gh	21.9	a-d	8.0	f-l
		Casear	7.00	gh	21.1	b-e	8.2	f-k

در هر ستون میانگین هایی با حروف یکسان تفاوت معنی‌دار ی با هم ندارند.

In each column, values with same letter does not have significantly difference with each other.

همبستگی بین صفات مورد ارزیابی

تعیین همبستگی بین صفات مختلف، به ویژه عملکرد غده و اجزای آن، به نژادگران این فرصت را می‌دهد که مناسب‌ترین ترکیب اجزاء را که منتهی به عملکرد بیشتر شود، انتخاب نمایند (Balouchzaehi &Kiani, 2013). در شرایط نرمال رابطه بین صفات عملکرد غده با وزن غده در بوته و درصد ماده خشک غده با قطر ساقه اصلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۸). در شرایط تنش ملایم همبستگی بین صفات عملکرد غده با وزن غده در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۹). در شرایط تنش شدید رابطه بین عملکرد غده با وزن غده در بوته مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و با قطر ساقه اصلی منفی و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بود (جدول ۱۰). Taheri Tarigh *et al.*(2007) آزمایشی اجرا و گزارش کردند بیشترین و کمترین ضریب همبستگی صفات با عملکرد به ترتیب مربوط به درصد غده‌های بزرگ‌تر از ۵۵ میلی‌متر و طول استولون بوده است. Bolandi & Hamidi (2016) گزارش کردند که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد غده کل با تعداد غده در متر مربع، وزن و تعداد غده در بوتـه و همچنـین قطـر غده مشاهده گردید. در شرایط این آزمایش با افزایش تعداد غده در بوته، عملکرد غده در هر سه سطح آبیاری کاهش نشان داده است. سایر محققین همچون Nickmanesh & Hassanpanah (2014)، Zakerhamidi & Hassanpanah (2014) و Moradi *et al.*(2017) رابطه عملکرد غده را با تعداد غده در بوته مثبت و معنی‌دار گزارش کرده‌اند که با نتایج حاصل از این تحقیق مغایرت داشت.

کارایی مصرف آب

در این پژوهش، در طی دوره رشد در تیمار ۱۰۰ درصد آب قابل استفاده مقدار ۷۶۳۳/۲۴ مترمکعب در هکتار، در شرایط ۸۰ درصد آب قابل استفاده مقدار ۶۱۰۶/۵۹ مترمکعب در هکتار و در شرایط ۶۰ درصد آب قابل استفاده مقدار ۴۵۷۹/۹۴ مترمکعب در هکتار آب مصرف گردید. بیشترین کارایی مصرف آب (سیب‌زمینی تولید شده به آب مصرفی در ازای هر مترمکعب آب آبیاری) در شرایط ۱۰۰ آب قابل استفاده مربوط به هیبریدهای شماره ۱، ۲، ۳، ۹ و ۱۱، در شرایط ۸۰ آب قابل استفاده مربوط به هیبریدهای شماره ۲، ۹ و ۱۱ و در شرایط ۶۰ آب قابل استفاده مربوط به هیبریدهای شماره ۲، ۸، ۹ و ۱۱ بودند (جدول ۱۱). در هر سه شرایط هیبریدهای ۲، ۹ و ۱۱ دارای بالاترین مقدار کارایی مصرف آب بودند. هیبریدهای ۲ [آگریا (والد مادری) × کایزر (والد پدری)] و ۹ [کایزر (والد مادری) × ساوالان (والد پدری)] علاوه بر داشتن کارایی مصرف آب بیشتر، از عملکرد غده و میزان متحمل به تنش کم‌آبی در شرایط تنش ملایم و شدید بیشتری نیز برخودار بودند.

جدول ۸. همبستگی بین صفات در ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی مورد بررسی در تیمار ۱۰۰ درصد آب قابل استفاده (نرمال).
Table 8. Correlation between traits in potato genotypes studied in the treatment of 100% usable water (normal).

	1	2	3	4	5	6
Tuber number per plant (1)	-					
Tuber weight per plant (2)	0.002	-				
Tuber yield (3)	0.002	0.99**	-			
Number of main stems per plant (4)	-0.455	0.243	0.243	-		
main stem diameter (5)	-0.146	-0.042	-0.042	-0.008	-	
percentage of tuber dry matter (6)	-0.294	0.288	0.288	-0.047	0.667**	-
Stolon length (7)	-0.048	0.272	0.272	-0.140	-0.051	-0.084

*, ** Significantly difference at5 and 1 % probability level, respectively. * و **: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۹. همبستگی بین صفات در ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی مورد مطالعه در تیمار ۸۰ درصد آب قابل استفاده (تنش ملایم).
Table 9. Correlation between studied traits in potato genotypes studied in the treatment of 80% of usable water (mild stress).

	1	2	3	4	5	6
Tuber number per plant (1)	-					
Tuber weight per plant (2)	0.414	-				
Tuber yield (3)	0.414	0.98**	-			
Number of main stems per plant (4)	-0.464	0.341	0.341	-		
main stem diameter (5)	-0.520	0.086	0.081	0.432	-	
percentage of tuber dry matter (6)	-0.510	0.268	0.268	0.449	0.298	-
Stolon length (7)	0.066	0.268	0.268	0.277	0.404	-0.097

*, ** Significantly difference 5 and 1 % probability level, respectively. * و **: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۱۰. همبستگی بین صفات در ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی مورد مطالعه در تیمار ۶۰ درصد آب قابل استفاده (تنش شدید)
Table 10. Correlation between studied traits in potato genotypes studied in the treatment of 60% of usable water (severe stress)

	1	2	3	4	5	6
Tuber number per plant (1)	-					
Tuber weight per plant (2)	-0.176	-				
Tuber yield (3)	-0.176	0.96**	-			
Number of main stems per plant (4)	-0.451	-0.094	-0.094	-		
main stem diameter (5)	0.202	-0.605	-0.605*	0.001	-	
percentage of tuber dry matter (6)	-0.228	-0.387	-0.387	0.320	0.080	-
Stolon length (7)	-0.02	0.202	0.202	-0.009	-0.153	-0.330

*, ** Significantly differenceat 5 and 1 % probability level, respectively. * و **: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۱۱. کارایی مصرف آب هیبریدهای سیب‌زمینی در شرایط تنش شدید نسبت به شرایط نرمال (کیلوگرم بر مترمکعب آب).
Table 11. Water use efficiency of potato hybrids under extreme stress conditions compare to normal conditions (kg/ m^3).

No.	Maternal parent	Paternal parent	100% usable water	80% usable water	60% usable water
1		Satina	7.15	6.47	5.94
2	Agria	Casear	7.32	8.86	8.23
3		Savalan	7.19	6.45	4.85
4		Agria	6.55	5.70	6.00
5	Satina	Casear	4.97	6.21	6.20
6		Savalan	4.99	4.95	5.35
7		Satina	5.90	6.71	5.00
8	Casear	Agria	6.58	7.07	9.39
9		Savalan	7.04	8.12	7.16
10		Satina	6.76	6.47	5.90
11	Savalan	Agria	7.18	7.11	7.01
12		Casear	6.50	6.47	6.86

نتیجه‌گیری کلی

در این آزمایش از ۲۷۹ تلاقی موفق بین رقم‌های آگریا، ساتینا، کایزر و ساوالان، تعداد ۱۵۷ حبه، تعداد ۷۹۸۰ بذر حقیقی سیب‌زمینی از ۱۲ جمعیت اصلاحی بدست آمد که از این تعداد، ۲۳۱۳ بذر جوانه زده و در نهایت ۲۴۴ هیبرید انتخاب گردید. هیبریدهای انتخابی دارای متوسط وزن غده در بوته ۹۷۵/۵ گرم و تعداد ۷/۵ غده در بوته بودند.

در هر سه شرایط محیطی بیشترین صفات وزن غده در بوته و عملکرد غده مربوط به هیبرید آگریا♀× کایزر ♂ و در شرایط نرمال و تنش ملایم هیبرید کایزر ♀× ساوالان ♂ می‌باشد. در هر سه شرایط بیشترین درصد ماده خشک غده، مربوط به هیبریدهای آگریا♀× ساوالان ♂ و ساوالان ♀× ساتینا ♂ بود. این هیبریدها از بیشترین عملکرد غده در شرایط نرمال برخوردار بودند.

بیشترین کارایی مصرف آب (سیب‌زمینی تولید شده به آب مصرفی در ازای هر مترمکعب آب آبیاری) در هر سه شرایط (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ آب قابل استفاده) در هیبریدهای ۲ [آگریا (والد مادری)× کایزر (والد پدری)] و ۹ [کایزر (والد مادری)× ساوالان (والد پدری)] مشاهده گردید.

REFERENCES

1. Akbari Nodehi, D. (2011). Evaluating soybean response to water stress at different growth stages in Mazandaran province. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1(1), 53-61.
2. Ayas, S. (2013). The effects of different regimes on potato (*Solanum tuberosum* L. Hermes) yieldand quality characteristics under unheated greenhouse conditions. *Bulgarian Journal of AgriculturalScience*, 19, 87-95.
3. Ayas, S. & Korukcu, A. (2010). Water-yield relationships in deficit irrigated potato. *Journal of Agricultural Faculty of Uludag University*, 24 (2), 23-26.
4. Bolandi, E.R. &Hamidi, H. (2016). Evaluation of quantitative and qualitative traits of 18 potato clones. *Iranian Journal of Agricultural Research*, 14(2), 328-318. (In Farsi).
5. Eskandari, A., Khuzai, HR, Nezami, A. & Kafi, M. (2011). Study of the Impact of irrigation regime on yield and some qualitative properties of three potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.).*Journal of Soil and Water Science and Agriculture*, 25 (2), 247-240.
6. Evers, D., Lefevre, I., Legay, S., Lamoureux, D., Hausman, J.F., Rosales, R. O., Tincopa Marca, L.R., Hoffmann, L., Bonierbale, M. & Schafleitner, M. (2010). Identification of drought-responsive compounds in potato through a combined transcriptomic and targeted metabolite approach. *Journal of experimental botany*, 61, 2327-2343.
7. Fallahi, M. (1997). *Potato knowledge and technology*. Parsada Publications. 250 pp.
8. Hasanpanah, D. & Akbarloo, H. (2013). Cultivation and processing of edible and seed potatoes. Daneshneghar. 224 p.
9. Hasanpanah, D., HasanAbadi, 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 (3), 748-731.
10. Hassanpanah, D. & Hassanabadi, H. (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 Farsi).
11. Hassanpanah, D. & Hassanabadi, H. (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 Farsi).
12. Heidari Roodbali, M., Abdolshahi, R., Baghizadeh, A. & Ghaderi, M. (2016). Genetic analysis of yield and yield related traits in bread wheat *Triticum aestivum* L. under drought stress condition. *Crop Breeding Journal*, 18, 1-6.
13. Heidari Sarban, B. (2016). *Evaluation of water deficit tolerance in seedlings of potato cultivars treated with polyethylene glycol and plant growth promoting bacteria under in vitro conditions*. M.Sc. in Agriculture, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Ardabil Branch. 110 p. (in Farsi).
14. Hemati, I, Sabaghpour, S. H., Taeb, M., & Choukan, R. (2010). Study on genetic parameters for different agronomic traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes using diallel analysis. *Seed and Plant Improvement Journal*, 26-1(2), 205-218.(In Farsi).
15. Jafari, F., Panahandeh, J., Motallebi-Azar, A.R. & Torabie-Giglou, M. (2019). Response of potato's cultivars and promising clones to osmotic and temperature stress under *in vitro* conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(3), 633-648. (In Farsi).

16. Jahani Jelodar, Y., Barzegar, T., Hassanpanah, D. & Ghahremani, Z. (2021). Evaluation of tuber yield and some quantitative and qualitative traits of 15 promising potato genotypes in Ardebil region. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 52(2), 293-303. (In Farsi).
17. Jensen, C. R., Battilani, A., Plauborg, F., Psarras, G., Chartzoulakis, K., Jovanovic, Z., Li, G. & Andersen, M. N. (2010). Deficit irrigation based on drought tolerance and root signaling in potatoes and tomatoes.*Agricultural Water Management*, (98), 403-413.
18. Kazemi, H. (2003). *Principles of farming*. Tabriz University Press, 520p.
19. Khandan, A., Hassanabadi, H. & Sepahvand, N.A. (2011). National guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability in potato. Seed and Plant Certification & Registration Institute, 40 pp, (In Farsi).
20. Khorshidi Benam, M. B., Rahimzadeh Khoi, F., Mirhadi, M. J. & Nour Mohammadi, A. H. (2002). Investigation of drought stress effects on growth stages of different potato cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 4 (1), 48-59.
21. Koech, O. K., Kinuthia, R. N., Karuku, G. N., Mureithi, S. M. & Wanjogu, R. (2015). Water use efficiency of sixrangeland grasses under varied soil moisture content levels in the arid Tana River County, Kenya.*African Journal of Environmental Science and Technology*, 9(7), 632-640.
22. Landjeva, S., Neumann, K., Lohwasser, U. & Börner, A. (2008). Molecular mapping of genomic regions associated with wheat seedling growth under osmotic stress. *Biologia Plantarum*, 52, 259-266.
23. Lian xu, H., Qin, F., Xu, Q., Tan, J. & Liu, G. (2011). Application of xerophytophysiology in plantproduction- The potato crop improved by partial root zone drying of early season but not whole season.*Scientia Horticulturae*, (129), 528-534.
24. Maralian, H., Nasrollahzadeh, S., Raiyi, Y. & Hassanpanah, D. (2014). Responses of potato genotypes to limitedirrigation. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 5 (5), 13-19.
25. Mohadese Servani, M., Hamid Reza Mobasser, H. R. & Ganjali. H. R. (2014). Influence of drought stress onphotosynthetic, radical oxygen, respiration, assimilate partitioning, activities of enzymes, phytohormones andessential oils in crop plants. *International Journal of Biosciences*, 5(8), 223-236.
26. Moradi, F., Golchin, A. & Abdollahi, S. (2017). Investigating the effect of growth hormones on potato gland function, Agria Cv., 15th *Iranian Soil Science Congress*, Isfahan, 28August, 2017. (In Farsi).
27. Mousapour Gorji, A., Hassanpanah, D. & Ahmadvand, R. (2021). The comparison of the physico-chemical properties and tuberization date of advanced clones and commercial potato cultivars. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 52(2), 473-48. (In Farsi).
28. Naeem, A. &Atrashi, M. (2014). Investigation of the effect of plant growth bacteria and fungi on growth yield and some growth parameters of three potato cultivars (*Solanum tuberosum*). *Journal of Crop Production and Processing*, 4(13), 48-37.
29. 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(2), 502-507.
30. Nouri, A., Nezami, A., Kafi, M. & Hassanpanah, D. (2016). Evaluation of water deficit tolerance of 10 potato cultivars based on some physiological traits and tuber yield in Ardabil region. *Journal of Crop Ecophysiology*, 10(1), 268-243. (In Farsi).
31. Passioura, J.B. (2007). The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. *Journal of Experimental Botany*, 58, 113-117.
32. Sadeghi, F. (2014). Estimation of genetic structure of yield and yield components in bread wheat *Triticum aestivum* L. using diallel method. *Crop Breeding Journal*, 13, 101-113.
33. Sepaskhah, A. R. & Ahmadi, S. H. (2010). A review on partial root zone drying irrigation. *InternationalJournal of Plant Production*, 4(4), 241-259.
34. Taheri Tarigh, S., Zarbaksh, A. J. & Mousapour Gorji, A. (2007). Evaluation of genetical diversity and correlations among traits in different populations of potato. *Agricultural Sciences Journal*, 13(1), 131-141. (In Farsi).
35. Yaghoubi, H. &Javadi, A.S. (2013). Barriers to organic crop production from the viewpoints of sgricultural Jihad experts. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 24(1), 68-57. (In Farsi).
36. Yuan, B. Z., Nishiyama, S. & Kang, Y. (2003). Effects of different irrigation regimes on the growth andyield of drip irrigated potato. *Agricultural Water Management*, (63), 153-167.
37. 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(12), 34-37.