نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد پانزدهم، شماره ۱(۵۷)، بهار ۱۴۰۰، صفحه ۱۵۲-۱۳۱

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/jcep.2021.681010

اثر رژیم‌های قطع آبیاری بر ارقام سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در شرایط اقلیمی اردبیل

آتوسا شفارودی[1*]، مهناز شریفی[2]، عبدالقیوم قلی‌پوری[3]، برومند صلاحی[4] و محمدباقر عالی‌زاده[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۸ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۷/۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۱۸

چکیده

انتخاب رقم‌های متحمل به تنش آبی، در مناطقی با کمبود بارندگی از اهمیت بیشتری برخوردار است. در این راستا، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده با سه تکرار، ۵ رقم سیب‌زمینی و سه رژیم آبیاری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو سال ۹۵-۱۳۹۴ در مرکز تحقیقات کشاورزی اردبیل اجرا شد. عوامل آزمایش شامل سه رژیم آبیاری: آبیاری کامل (با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) به‌عنوان شاهد و قطع آبیاری ۱۵ و ۳۰ روزه که در کرت‌های اصلی و پنج رقم سیب‌زمینی شامل: ارقام آگریا، کایزر و ساوالان و کلون‌های ۱-۳۹۷۰۸۱ و ۱۰-۳۹۷۰۸۲ که در کرت‌های فرعی قرار داده شدند. در این آزمایش رقم ساوالان و کلون‌های ۱۰-۳۹۷۰۸۲ و ۱-۳۹۷۰۸۱ از لحاظ عملکرد غده، ماده خشک غده، کارآیی مصرف آب و عملکرد غده قابل فروش بالا در مقایسه با کایزر و آگریا از برتری نسبی برخوردار بودند. همچنین، در هر دو سال آزمایش، روند تغییرات این ارقام برای صفات مورد مطالعه، در تیمار ۱۵ روز قطع آبیاری، مشابه بود و با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. در نتیجه می‌توان از روش ۱۵ روز قطع آبیاری که سبب صرفه‌جویی در مقدار آب مصرفی می‌گردد، برای منطقه اردبیل استفاده کرد. یافته‌ها می‌تواند در مورد چگونگی استفاده صحیح از کم آبیاری برای تعادل بین عملکرد سیب‌زمینی، حفظ آب و کیفیت محصول مفید باشد.

واژگان کلیدی: تنش کم آبی، عملکرد غده قابل فروش، قطع آبیاری، کارآیی مصرف آب.

۱-دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. * (نگارنده‌ی مسئول) atsh1389@gmail.com

۲-دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳-دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۴-استاد گروه جغرافیا و اقلیم شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۵-دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه صنعتی شاهرود، سمنان، ایران.

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) یکی از منابع با ارزش غذایی انسان به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه است. تولید سیب‌زمینی در جهان پس از گندم، ذرت و برنج با ۳۸۸ میلیون تن از ۱۹ میلیون هکتار رتبه چهارم را به خود اختصاص داده است (Anonymus, 2018). ایران با تولید حدود ۵ میلیون تن با میانگین عملکرد ۳۱ تن در هکتار در سال ۲۰۱۸ سومین تولیدکننده بزرگ سیب‌زمینی در آسیا است (Anonymus, 2018). استان اردبیل ۱۴ درصد از سطح تولید سیب‌زمینی ایران را در اختیار دارد. با این حال، تولید آن در سال‌های اخیر به‌دلیل کاهش بارندگی و دسترسی به منابع آب کاهش یافته است (Ahmadi *et al*., 2016). به‌دلیل محدودیت ریزش‌های جوی و نیز نامناسب بودن توزیع و پراکنش زمانی آن و از طرف دیگر اهمیت استراتژیک سیب‌زمینی در این منطقه که یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است، ناگزیر باید روش‌هایی اتخاذ شود که هم بهره‌وری بهینه از منابع آب موجود حاصل شود و هم به پایداری تولید این گیاه صدمه‌ای وارد نشود (Zin-El-Abedin *et al*., 2019). آب مورد نیاز برای تولید سیب‌زمینی بسته به شرایط آب و هوایی منطقه، نوع خاک، نوع رقم و مرحله رشد متفاوت است (Haghighati *et al*., 2016). افزایش رطوبت خاک تا ۸۰ درصد ظرفیت ذخیره آب، باعث افزایش سطح برگ، سرعت رشد ساقه‌ها، سرعت فتوسنتز، تعداد غده و وزن خشک غده‌ها می‌شود (Nouri *et al*., 2016). شدت، زمان و مدت تنش آبی در طی مراحل مختلف رشد سیب‌زمینی، بر رشد و عملکرد غده مؤثر است. به‌منظور دست‌یابی به عملکرد با کیفیت بالا، تأمین آب مورد نیاز گیاه لازم می‌باشد (Mani and Hannachi, 2015). عدم تأمین آب کافی در دوره بین جوانه‌زنی و شروع غده‌زایی در گیاه سیب‌زمینی باعث کاهش تعداد برگ، پتانسیل آب گیاه، سطح برگ، ارتفاع ساقه، رشد و عملکرد گیاه می‌شود. بنابراین، با کاهش سطح کارآیی استفاده از تابش، شاخص برداشت و ماده خشک غده نیز کاهش می‌یابد (Jolaini and Karimi, 2016).

برنامه‌ریزی آبیاری شامل جلوگیری از کمبود آب خاک از پایین آمدن سطح آستانه برای یک گیاه خاص و شرایط خاک است. یکی از راه‌های بهبود آبیاری، اتخاذ سیاست‌های کم آبیاری است (Nasiri *et al*., 2019). این یک استراتژی بهینه برای حفظ آب در شرایطی است که گیاه در طول دوره رشد خود با کمبود آب مواجه می‌گردد. البته آنچه که از اتخاذ این روش انتظار می‌رود این است که، هیچ کاهش عملکرد قابل توجهی در قبال حفظ این ذخیره آبی ارزشمند حاصل نشود. در حقیقت، هدف از کم‌آبیاری افزایش کارآیی مصرف آب از طریق کاهش مقدار یا دفعات آبیاری است (Hun *et al*., 2017). به این ترتیب گیاه در مرحله خاصی از رشد تحت تنش آبی قرار می‌گیرد. کم آبیاری بسته به میزان حساسیت و مرحله رشد گونه‌های گیاهی، می‌تواند اثرات متفاوتی بر رشد، متابولیسم و عملکرد داشته باشد (Ansari *et al*., 2019). معتضدی و همکاران (Motazedi *et al*., 2019) کم آبیاری را با افزایش مصرف مؤثر از آب، به‌عنوان یک راه حل بهینه برای تولید گیاهان در شرایط کمبود آب، معرفی کرده‌اند.

روش‌های مختلفی برای اعمال کم آبیاری در جهان معرفی و تجربه شده است. آبیاری بخشی یا ناقص ریشه و کم آبیاری تنظیم شده از جمله این روش‌ها است. در روش آبیاری تنظیم شده، گیاه

به‌صورت دوره‌ای آبیاری می‌شود. تکرار این تناوب باعث ایجاد تغییراتی در ساختار فیزیولوژیکی گیاه می‌شود که در نهایت باعث افزایش کارآیی مصرف آب در گیاه می‌گردد (Liu *et al*., 2018). قزووانی و همکاران (Ghazouani *et al*., 2019) برای ارزیابی سودمندی راهبردهای کم آبیاری در سیب‌زمینی در تونس، آزمایشی انجام و نتیجه گرفتند که کم آبیاری بین ۸ تا ۲۳ درصد، بسته به نوع رقم، شرایط محیطی و مکانی، منجر به حصول سود حداکثری می‌شود.

کارآیی مصرف آب عامل اصلی در بهره‌وری گیاه از منابع آبی محدود است که در شرایط آبیاری به مقدار آب تأمین شده برای گیاه ارتباط دارد و به‌عنوان مقدار عملکرد گیاه در واحد آبی که به آن داده شده یا واحد آبی که گیاه در دوره رشد به‌عنوان تبخیر و تعرق از دست می‌دهد، محاسبه می‌شود. با افزایش کارآیی مصرف آب، زیست توده بیشتری برای آب از دست رفته از طریق تبخیر و تعرق تولید می‌شود و برای رشد و نمو گیاه نیاز به آب کمتری است که می‌توان به این واقعیت اشاره داشت که گیاهان با کارآیی مصرف آب بالا در پاسخ به تنش آبی مقاومت بیشتری دارند (Koech *et al*., 2015). سیب زمینی به‌دلیل سیستم ریشه سطحی نسبت به کمبود رطوبت خاک به‌ویژه در شروع غده‌زایی حساس است و کمبود آب در این مرحله باعث کاهش عملکرد غده این گیاه می‌شود (Ierna and Mauromicale, 2018). بنابراین، درک کارآیی استفاده از آب توسط سیب‌زمینی برای برنامه آبیاری و اتخاذ تصمیم مدیریتی مناسب در مورد استفاده از منابع آب محدود، حایز اهمیت است. استفاده از رقم‌های متحمل به تنش کم آبی و داشتن سیستم ریشه‌ای قوی در کاهش مصرف آب و جلوگیری از کاهش عملکرد غده مؤثر است (Silva *et al*., 2019). کم آبیاری روشی برای کاهش مقدار آب مورد استفاده، با کشت رقم‌های مقاوم در برابر تنش آبی با راندمان مصرف بالاتر آب است. چندین مورد از تجزیه پایداری عملکرد گیاه و اجزای آن برای شناسایی رقم‌های حساس و غیرحساس نسبت به شرایط محیطی گزارش شده است. مطالعه‌ها نشان داده‌اند که بین رقم‌های سیب‌زمینی در برابر تنش آبی تفاوت وجود دارد (Nouri *et al*., 2016a; Gultekin and Ertek, 2018). با این حال، بسیاری از پژوهش‌گران نشان داده‌اند که برخی از رقم‌های سیب‌زمینی در برابر کمبود خفیف آب آبیاری مقاوم هستند (Ierna and Mouromicale, 2018; Koech *et al*., 2015; Shi *et al*., 2015). بسیاری از صفت‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در سیب‌زمینی تحت اثر تنش آبی قرار می‌گیرند و می‌توانند به‌عنوان شاخصی برای انتخاب رقم‌های مقاوم به تنش آبی، مورد استفاده قرار گیرند. شناسایی رقم‌های مقاوم در سیب‌زمینی می‌تواند یک روش مناسب برای کاهش اثر تنش آبی باشد (Shi *et al*., 2015; Ghazouani *et al*., 2019). هدف از این پژوهش بررسی واکنش ۵ رقم سیب‌زمینی به قطع آبیاری در استان اردبیل و انتخاب رقم‌هایی با عملکرد بالاتر در شرایط کم‌آبی است.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای طی دو سال زراعی ۹۵-۹۴ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل انجام شد. این مرکز در عرض جغرافیایی°۳۸ و '۲۹ شمالی و طول جغرافیایی °۴۸ '۳۰ شرقی در ارتفاع ۱۳۳۵ متر از سطح دریا واقع شده است. داده‌های هواشناسی مورد نیاز برای بررسی پارامترهای هواشناسی منطقه از ایستگاه هواشناسی نزدیک

مزرعه جمع‌آوری و ذخیره شد. داده‌های ایستگاه شامل درجه حرارت، ساعت‌های آفتابی، رطوبت نسبی، بارندگی و تبخیر و تعرق بودند. تغییر ماهانه آب و هوا در طول فصل رشد در دو سال آزمایش در جدول ۱ و شکل ۱ ارایه شده است.

آزمایش مورد بررسی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد که شامل: سه رژیم متفاوت آبیاری، آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز گیاه با حجم آب مصرفی ۱۰۹۵۰ مترمکعب در هکتار) که از این به بعد شاهد نامیده می‌شود، تیمارهای کم‌آبیاری به‌صورت تأمین ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز گیاه تا ۷۵ روز بعد از کاشت و سپس قطع آبیاری به‌مدت ۱۵ و ۳۰ روز بود (از آنجا که تولید سیب‌زمینی به شدت به آبیاری وابسته است و اردبیل از نظر اقلیمی جزو مناطق نیمه‌خشک محسوب می‌گردد و میانگین بارندگی سالیانه آن حدود ۲۷۵ میلی‌متر است. بنابراین، کمبود آب یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید محصول سیب‌زمینی است. برای کاهش حجم آب مصرفی در تولید این محصول، می‌توان از راهکارهایی مانند کم آبیاری که در آن به‌طور آگاهانه با تخصیص آب کمتر از نیاز واقعی گیاه، مقداری کاهش عملکرد پذیرفته می‌شود، استفاده کرد) و بعد از سپری شدن مدت مذکور مجدداً آبیاری به‌صورت کامل ادامه یافت. البته ۷۵ روز آبیاری کامل با توجه به دریافت درجه حرارت روزانه و رسیدن به مرحله شروع غده‌زایی تخمین زده شد. به‌ترتیب هر یک از تیمارهای قطع آبیاری ۱۵ و ۳۰ روز، حدود ۲۶ و ۳۹ درصد کاهش مصرف آب نسبت به شاهد (آبیاری کامل) را نشان دادند. این تیمارها که از این به بعد به‌ترتیب تنش کم آبیاری ملایم و شدید نامیده می‌شوند، در کرت‌های اصلی و پنج رقم سیب‌زمینی (آگریا، ساوالان، کایزر، کلون ۱- ۳۹۷۰۸۱ و کلون ۱۰- ۳۹۷۰۸۲) در کرت‌های فرعی و به‌عنوان تیمارهای آزمایش در نظر گرفته شدند. هدف از انتخاب این رقم‌ها، به این دلیل بود که رقم آگریا به‌عنوان رقم مورد پسند (به‌دلیل رنگ گوشت مناسب و عملکرد نسبتاً خوب) بیشترین سطح زیرکشت سیب‌زمینی را در کشور و منطقه اردبیل به خود اختصاص داده است، اما حساس به تنش کم‌آبی است (شاهد منطقه) (Hassanppanah *et al.*, 2016)، رقم ساوالان (۳۹۷۰۰۷-۹) اولین رقم ملی معرفی شده در سال ۱۳۸۷ در ایران است که جزو رقم‌های نیمه دیررس، پرمحصول، پایدار و نیمه متحمل به تنش کم‌آبی است. رقم کایزر نیز از رقم‌های پرمحصول در شرایط مطلوب و نامطلوب و متحمل به تنش کم‌آبی گزارش شده است. کلون‌های ۱۰- ۳۹۷۰۸۲ و ۱-۳۹۷۰۸۱ متوسط دیررس، پرمحصول و پایدار (با میانگین عملکرد غده به ترتیب ۳۵/۶۷ و ۳۸/۰۲ تن در هکتار در مقایسه با آگریا (۳۰/۳۲ تن در هکتار) و متحمل به تنش کم‌آبی گزارش شده‌اند (Hassanppanah *et al.*, 2016). بذر مورد نیاز آزمایش نیز از موسسه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل تهیه شد. قبل از کشت از عمق صفر-۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام شد و نمونه جهت بررسی خاک مزرعه به آزمایشگاه فرستاده شد. طبق تجزیه و تحلیل انجام شده، بافت خاک لوم رسی با ظرفیت زراعی (FC) ۳۱٪، نقطه پژمردگی دایمی (PWP) ۱۴/۶٪، هدایت الکتریکی (EC) ۱/۳ ds/m، pH =۷/۸، کربن آلی ۰/۸۰۳ درصد، فسفر قابل استخراج ppm ۲۱، پتاسیم قابل دسترس ppm ۱۸۳، درصد نیتروژن کل ۰/۲

درصد، و وزن مخصوص ظاهری $1/3\ kg.dm^{-3}$ می‌باشد.

غده‌های سیب‌زمینی از قبل جوانه‌زده، به صورت دستی، در عمق ۱۲-۱۰ سانتی‌متر در تاریخ ۱۰ اردیبهشت کشت داده شدند. کاربرد کودها بر اساس داده‌های آزمایش خاک انجام گرفت. از جمله ۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره (۴۶٪ نیتروژن) و ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل استفاده شد. برای کنترل آفت سوسک برگ‌خوار سیب‌زمینی (سوسک کلرادو *Leptinotarsa decemlineata*) از حشره‌کش کنفیدور به میزان ۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتار استفاده شد. کنترل علف‌های هرز در دو نوبت به‌صورت وجین دستی انجام شد.

رقم‌های آزمایشی در کرت‌هایی به مساحت ۲۷ متر مربع (۴/۵ × ۶ متر) با فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر با تراکم ۸ بوته در هر مترمربع به‌صورت جوی و پشته کاشته شدند. برای جلوگیری از حرکت و نفوذ آب از کرت‌های مجاور به یکدیگر، بین کرت‌های فرعی ۷۵ سانتی‌متر و بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر فاصله در نظر گرفته شد. اولین آبیاری دو روز پس از کاشت انجام شد. زمان شروع آبیاری بعدی مبتنی بر تبخیر تجمعی بود که به‌صورت روزانه اندازه‌گیری می‌شد، که معادل ۵۰٪ آب تخلیه شده از خاک است. برای محاسبه مقدار آب مورد نیاز نقشه‌های آزمایشی از رابطه (۱) استفاده شد:

$$W = A \times Kc \times Ep \times Kp$$ رابطه (۱)

که در آن W نیاز آبی گیاه، A مساحت کرت آزمایشی، Kc ضریب گیاهی، Ep مقدار تبخیر از سطح تشت تبخیر و Kp ضریب تشت است. ضریب تشت برابر ۰/۸ در نظر گرفته شد (Nouri *et al.*, 2016a,b). ضریب تتشتک کلاس A بر اساس مجله فنی شماره ۲۴ آبیاری و زهکشی فائو (Nouri *et al.*, 2016a,b) با توجه به شرایط منطقه به‌دست آمده است. ضریب گیاه Kc، نسبت تبخیر و تعرق گیاه در شرایط استاندارد به تبخیر و تعرق گیاه مرجع بوده و بسته به دوره رشد گیاه، به چهار مرحله مجزا تقسیم می‌شود. ضرایب مورد استفاده برای چهار مرحله رشد از زمان کاشت تا ۱۰٪ از پوشش سطح زمین (محاسبه شده از طریق (LAI)، از ۱۰٪ تا ۸۰٪ از پوشش سطح زمین، از پایان مرحله توسعه تا رسیدگی گیاه و مرحله نهایی رسیدگی تا مرحله برداشت گیاه، به ترتیب ۰/۵، ۱/۱۵، ۰/۷۵ و ۰/۶ در نظر گرفته شد (Mani and Hannachi, 2015). بنابراین، پس از محاسبه مقدار آب مورد نیاز برای تیمارها، آب توسط لوله PVC به کرت‌ها هدایت شد و حجم آب ورودی به کرت‌ها پس از عبور از کنتور حجمی اندازه‌گیری و تحویل داده شد (آبیاری کامل (شاهد) با حجم آب مصرفی ۱۰۹۵۰ مترمکعب در هکتار و تیمارهای ۱۵ و ۳۰ روز قطع آبیاری به ترتیب با حجم آب مصرفی ۸۰۴۰ و ۶۶۰۰ مترمکعب در هکتار در کل فصل رشد آبیاری شدند). دور آبیاری از رابطه (۲) به‌دست آمد:

$$I = RAW / (ETc - \mathrm{Re})$$ رابطه (۲)

که در آن I: دور آبیاری (روز)، RAW : آب قابل دسترس (میلی‌متر)، ETc تبخیر و تعرق واقعی (میلی‌متر در روز)، Re مقدار باران مؤثر (میلی‌متر در روز)، در عمق صفر-۳۰ سانتی‌متر از نیمرخ خاک محاسبه شد (Haghighati *et al.*, 2016). آبیاری‌های بعدی باتوجه به دور آبیاری محاسبه شده هر ۱۰ روز یک‌بار و به‌صورت جوی و

پشته انجام گرفت. RWE با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد:

$$RWE = (\bar{}FC - \bar{}PWP)Y \times MAD$$ رابطه (۳)

که در آن θFC مقدار آب حجمی خاک در ظرفیت مزرعه است، θPWP در نقطه پژمردگی دایمی است. به‌منظور تعیین θFC و θPWP، نمونه‌هایی از خاک دست نخورده با استفاده از سیلندرهای ویژه و رطوبت باقی‌مانده با استفاده از صفحه‌های فشاری در ۰/۳۳ اتمسفر برای تعیین θFC و ۱۵ اتمسفر برای تعیین θPWP تهیه شد (Samaee *et al*., 2017). در این رابطه، Y عمق ریشه سیب‌زمینی است. حداکثر عمق ریشه با توجه به محاسبه‌های فائو، برابر با ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. MAD ضریب مدیریتی است که توسط فائو (Nouri *et al*., 2016a,b) برای سیب‌زمینی ۳/۵ در نظر گرفته می‌شود. ETc مقدار تبخیر و تعرق واقعی است که با استفاده از آمار تشت تبخیر کلاس A با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود (Shi *et al*., 2015).

$$ETc = ET\,0 \times Kc$$ رابطه (۴)

که در آن ETc نیاز آبی گیاه بین دو رویداد آبیاری (میلی‌متر) است، Kc ضریب گیاهی وابسته به مرحله رشد گیاه است، ET0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر) است. تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET0) بر اساس روش پنمن فائو (Nouri *et al*., 2016a,b) محاسبه شد که به‌عنوان روش استاندارد برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد شده است. تبخیر و تعرق واقعی با ضرب تبخیر و تعرق مرجع در مقادیر ضریب گیاهی (ETc = ET0 × Kc) برای ماه‌های مختلف ET0، بر اساس مراحل رشد گیاه محاسبه شد. Re: میزان بارندگی مؤثر توسط باران‌سنج واقع در ایستگاه تحقیقات تعیین شد. آمارهای هواشناسی در طی یک دوره آزمایشی دو ساله در جدول ۱ آورده شده است که پس از برآورد مقدار آب برای آبیاری کامل انجام شد. سپس بعد از ۷۵ روز تأمین نیاز آبی، در تیمارهای ۱۵ و ۳۰ روز آبرسانی قطع شد و پس از این مدت، آبیاری کامل تا پایان فصل رشد انجام شد.

به‌منظور تعیین عملکرد غده، کلیه غده‌ها در مساحتی برابر با ۲ مترمربع (پس از حذف حاشیه) به‌صورت دستی برداشت و پس از جداسازی غده‌های کوچک‌تر از ۳۵ میلی‌متر از غده‌های برداشت شده از هر بوته، غده‌های باقی‌مانده (با قطر ۳۵ تا ۵۵ میلی‌متر و بیش از ۵۵ میلی‌متر) وزن شدند و تعداد حاصل به‌عنوان عملکرد غده قابل فروش در هر واحد سطح در نظر گرفته شد. ویژگی‌های کمّی غده سیب‌زمینی از جمله وزن تازه غده در بوته پس از توزین همه غده‌ها و خشک کردن آنها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و توزین مجدد غده‌ها به‌دست آمد. با اندازه‌گیری غده‌های تر و خشک در بوته، عملکرد غده در بوته مشخص شد. کارآیی مصرف آب (WUE) برای هر تیمار به عنوان عملکرد غده قابل فروش تقسیم بر مقدار آب استفاده شده (کیلوگرم بر مترمکعب) از رابطه (۵) محاسبه شد (Koech *et al*., 2015).

$$WUE = \frac{Yield\ (kg)}{ET_a\ (M^3)}$$ رابطه (۵)

برای محاسبه شاخص برداشت از رابطه (۶) استفاده شد (Rahi *et al*., 2018):

$$HI = GY/BY \times 100$$ رابطه (۶)

کـه در آن HI: شـاخص برداشـت (درصـد)، GY: عملکـرد اقتصـادی (عملکـرد خشـک غـده) (برحسـب کیلـوگرم در هکتـار) و BY: عملکـرد زیستی (ماده خشک کـل کـه شـامل وزن خشـک اندام‌های هوایی گیـاه (بـرگ، سـاقه) و انـدام‌هـای زیرزمینی (ریشه و غده) می‌باشد.

تجزیه و تحلیل واریانس داده‌ها برای ارزیابی اثر تیمارهـا بـر عملکـرد و کـارآیی مصـرف آب بـا استفاده از نرم‌افـزار SAS 9.4 انجـام شـد. آزمـون حـداقل اخـتلاف معنـی‌دار (LSD) بـرای مقایسـه تیمارها در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد اعمال شـد. آزمون‌های F در جدول تجزیه مرکـب، بـر اسـاس امید ریاضی واریانس‌ها به‌دست آمد.

نتایج و بحث

اثر سه رژیم آب آبیاری بر پارامترهای رشد و عملکرد پنج رقم سیب‌زمینی و اثر برهم‌کنش آنها در جدول ۲ ارایه شده است.

تعداد غده در بوته: یکی از اجزای اصلی عملکرد در گیاه سیب‌زمینی تعداد غده در بوته است. نتایج تجزیه‌ی واریانس برهم‌کنش تنش آبی، رقم، سال، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۲). نتایج حاصل از اثر برهم‌کنش تیمارها نشان داد بیشترین تعداد غده در گیاه در کلون‌های ۱-۳۹۷۰۸۱ و ۱۰-۳۹۷۰۸۲ در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد؛ که با تیمار کم آبیاری ۱۵ روز در هر دو سال آزمایش تفاوت قابل توجهی نشان ندادند (شکل ۲). این بدان معنی است که علی‌رغم تفاوت در نتایج دو سال آزمایش، روند تغییرات در هر دو سال یکسان بود (جدول ۳). واندر و همکاران (Onder *et al*., 2015) و کیوئین و همکاران (Qin *et al*., 2018) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. از آنجا که درجه حرارت بالاتر باعث از بین رفتن آب خاک به‌صورت تبخیر و تعرق می‌شود، بارگیری مجدد آب خاک از طریق بارندگی در سال اول آزمایش نسبتاً کم بود. رطوبت خاک از طریق بارندگی نسبتاً زیاد و رطوبت نسبی بیشتر در سال دوم، بهتر حفظ شد (شکل ۱). کالایدجیوا و همکاران (Kalaydjieva *et al*., 2015) نیز در این مورد اتفاق نظر دارند. رقم‌های مختلف از نظر تعداد غده‌های تولید شده در گیاه متفاوت هستند (Elzner *et al*., 2018). از طرفی چون تعداد کل غده تولیدی در هر بوته در کنترل ویژگی‌های ژنتیکی گیاه است (Onder *et al*., 2015) احتمالاً به این دلیل، ژنوتیپ‌های ۱- ۳۹۷۰۸۱ و ۱۰- ۳۹۷۰۸۲ در رژیم ۱۵ روز قطع آبیاری تفاوتی با شاهد نشان ندادند. نوری و همکاران (Nouri *et al*., 2016a,b) و سمائی و همکاران (Samaee *et al*., 2017) گزارش کردند که تعداد غده‌های هر گیاه می‌تواند به نوع رقم مربوط باشد. اما با کاهش آب آبیاری در تیمار ۳۰ روز قطع آبیاری، تعداد غده در بوته همه رقم‌ها کاهش معنی‌داری نشان دادند. همچنین، شرایط محیطی مانند دما و نوع خاک بر تعداد غده‌ها اثر می‌گذارد. از آن‌جایی که طول مرحله غده‌بندی در سیب‌زمینی کوتاه است، کم آبیاری در این مرحله بیشترین اثر را در کاهش تعداد غده‌ها دارد (Kassu *et al*., 2017). حقیقتی و همکاران (Haghighati *et al*., 2016) نیز نتایج مشابهی را در مورد کاهش معنی‌دار تعداد غده در بوته به همراه کاهش حجم آبیاری گزارش کردند. الزنر و همکاران (Elzner *et al*., 2018) گزارش دادند که استفاده از تنش آب در دوره تشکیل غده‌ها تعداد غده را کاهش می‌دهد، اما تیمارهای مختلف آبیاری پس از تشکیل غده‌ها اثری بر تعداد غده‌ها ندارد و اثر اصلی آن بر اندازه و میانگین وزن غده‌ها است.

وزن غده در بوته: نتایج برهم‌کنش ارقام و رژیم‌های آبیاری در دو سال آزمایش بر وزن غده در گیاه معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که با شدت یافتن تنش، وزن غده در بوته همه رقم‌ها در شرایط کم آبیاری نسبت به آبیاری کامل کاهش یافته است (شکل ۳). اما کمترین کاهش وزن غده در هر بوته با کاهش میزان آب آبیاری در تیمار ۳۰ روزه قطع آبیاری برای همه رقم‌ها در هر دو سال آزمایش مشاهده شد. بیشترین درصد کاهش وزن غده در بوته در رقم‌های کایزر و آگریا در تیمار تنش کم آبیاری نسبت به تیمار آبیاری کامل مشاهده شد. در حالی که رقم ساوالان و کلون‌های ۱-۳۹۷۰۸۱ و ۱۰-۳۹۷۰۸۲ کاهش معنی‌داری در تیمار کم آبیاری ۱۵ روزه نسبت به آبیاری کامل نشان ندادند. کاسو و همکاران (Kassu *et al*., 2017) و نصراله‌زاده اصل و صداقت (Nasrollahzadeh Asl and Sedaghat, 2017) نیز به نتایج مشابهی اشاره کردند. در زمان قطع آبیاری که همزمان با مرحله غده‌بندی است، میزان بارندگی ۷۹/۵ میلی‌متر بیشتر در سال دوم آزمایش (۱۲۱/۳ میلی‌متر) نسبت به سال اول (۴۱/۸ میلی‌متر) مشاهده شد (جدول ۱). علت کاهش قابل توجه وزن غده در بوته، به افزایش دمای خاک در این دوره از قطع آبیاری و نامساعد شدن شرایط برای رشد و نمو غده‌ها نسبت داده می‌شود. طبق گزارش‌های فنگ و همکاران (Feng *et al*., 2017) تنش آب و دما مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی است. از آنجا که سیب‌زمینی در مرحله تشکیل غده بیشتر مستعد ابتلا به کمبود آبیاری است، کاهش آب اثر بیشتری در کاهش عملکرد سیب‌زمینی در این مرحله دارد (Kassu *et al*., 2017). بیشترین کاهش وزن غده در رقم کایزر و آگریا نسبت به شاهد (آبیاری کامل) مشاهده شد. دلیل کاهش وزن غده می‌تواند تأخیر در رشد گیاه به‌دلیل تنش آبی با کاهش مقدار آب آبیاری باشد (Nouri *et al*., 2016a). در این مرحله، قطع آبیاری باعث کاهش فتوسنتز می‌شود و در نتیجه مواد مغذی کمی به غده‌ها منتقل می‌شود و این امر به نوبه خود باعث کاهش وزن غده‌ها می‌گردد (Silva *et al*., 2019). از طرفی شاید علت آن نیاز غذایی و آبی بالاتر این رقم‌ها نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها باشد، که به‌دلیل وقوع تنش، با کاهش وزن غده مواجه شده‌اند (Nouri *et al*., 2016a). شی و همکاران (Shi *et al*., 2015) گزارش کردند، هنگامی که شرایط بهینه رطوبت خاک در مرحله رسیدگی گیاه سیب‌زمینی وجود داشته باشد، درصد غده‌هایی که اندازه متوسط تا بزرگ دارند، افزایش می‌یابد. باقری و همکاران (Bagheri *et al*., 2016) همچنین اظهار داشتند که، کم آبی باعث کاهش معنی‌داری در عملکرد، اندازه و تعداد غده‌ها می‌شود. همچنین آنها افزودند که کم آبیاری باعث کاهش رشد گیاه، دوره رشد و اندازه غده‌ها می‌شود.

عملکرد غده کل: برهم‌کنش سه عامل روی عملکرد غده کل، اختلاف معنی‌داری نشان نداد، اما برهم‌کنش تیمار رقم در رژیم آبیاری معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کمترین درصد کاهش عملکرد کل غده با کاهش مقدار آب آبیاری در تیمار ۱۵ روز قطع آبیاری نسبت به شاهد، در رقم ساوالان (۱۴/۴۰ درصد) و در تیمار ۱۵ روز قطع آبیاری به‌دست آمد که با کلون‌های ۱-۳۹۷۰۸۱ و ۱۰-۳۹۷۰۸۲ در این تیمار تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۴). بیشترین کاهش عملکرد کل غده نیز مربوط به رقم کایزر با ۴۰ درصد کاهش

عملکرد کل غده در تیمار ۱۵ روز قطع آبیاری و ۵۶ درصد کاهش در تیمار ۳۰ روز قطع آبیاری به‌دست آمد. با توجه به کاهش عملکرد در اثر اعمال تیمار کم‌آبیاری انتظار می‌رود که تغییرات در اجزای عملکرد (تعداد غده در بوته و وزن غده) باعث به‌وجود آمدن این تغییرات شده است. به نظر می‌رسد رقم کایزر از نظر وزن غده در تیمار کاهش آبیـاری نسبت به آبیـاری کامل، دارای غده‌های ریزتری بود که این موضوع در کنار کاهش تعداد غده در این شرایط، باعث کاهش عملکرد کل غده در مقایسه با سایر رقم‌ها شده است. نتایج احمدی و همکاران (Ahmadi *et al*., 2016)، زین‌الابدین و همکاران (Zin El-Abedin *et al*., 2019) و شی و همکاران (Shi *et al*., 2015) نیز نتایج مشابهی گزارش نمودند. بین دو سال آزمایش تفاوت معنی‌دار بود و عملکرد کل غده در سال دوم بیشتر از سال اول به‌دست آمد (جدول ۳). بر اساس جدول ۱ مشاهده می‌شود در سال ۹۵ در فصل رویش سیب‌زمینی، میزان بارندگی ۳۴/۹ میلی‌متر بیشتر، میانگین دمای فصل رشد ۱/۴۱ درجه سلسیوس کمتر و میزان تبخیر و تعرق نسبت به سال ۹۴، ۲۵/۶۷ میلی‌متر کمتر بود. به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل بالا بودن عملکرد غده در سال ۹۵ نسبت به سال ۹۴ میزان بارندگی بیشتر، تبخیر و تعرق و درجه حرارت کمتر در دوره قطع آبیاری باشد. نوری و همکاران (Nouri *et al*., 2016a) نیز با بررسی رقم‌های مختلف سیب‌زمینی طی دو سال در منطقه اردبیل در شرایط تنش کم‌آبی، رقم ساوالان را به عنوان رقم متحمل به تنش کم آبی معرفی نمودند. در این آزمایش، تحمل به تنش کم آبی رقم ساوالان از رقم کایزر (شاهد متحمل به تنش) بیشتر بود. همچنین، بیشتر بودن وزن غده در رقم ساوالان و کلون‌های ۱- ۳۹۷۰۸۱ و ۱۰- ۳۹۷۰۸۲، عملکرد بالاتر غده را در تیمار ۱۵ روز قطع آبیاری در این رقم‌ها باعث گردید که با تیمار شاهد (آبیاری کامل) تفاوت معنی‌داری نداشتند. اثرپذیری عملکرد از اجزای آن، توسط سیلوا و همکاران (Silva *et al*., 2019) نیز گزارش شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که وزن غده در بوته نسبت به تعداد آن در بوته بیشتر تحت اثر کم‌آبیاری و غیریکنواختی توزیع آب قرار گرفته و باعث تغییرات در عملکرد شد. چون وقوع تنش باعث کاهش فتوسنتز و توسعه رویشی در گیاه می‌شود (Han *et al*., 2017) و از علایم کاهش توسعه رویشی می‌توان به کاهش وزن و تعداد غده در بوته گیاه اشاره کرد (Bagheri *et al*., 2016).

عملکرد غده قابل فروش: نتایج برهم‌کنش رقم در رژیم آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌طوری‌که با قطع ۱۵ و ۳۰ روزه آب آبیاری، رقم‌های کایزر و آگریا بیشترین کاهش عملکرد غده قابل فروش را به ترتیب با ۳۴، ۲۹ درصد در تیمار ۱۵ روز و ۴۶ و ۴۱ درصد کاهش نسبت به شاهد در تیمار ۳۰ روز قطع آبیاری نشان دادند (جدول ۴). اما کمترین درصد کاهش عملکرد غده قابل فروش با کاهش مقدار آب آبیاری در تیمار ۱۵ روز قطع آبیاری در کلون ۱۰- ۳۹۷۰۸۲ با ۱۰ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. البته از این نظر تفاوت معنی‌داری با ژنوتیپ‌های ۱-۳۹۷۰۸۱ با ۱۱ درصد و ساوالان با کاهش ۱۲ درصد کاهش عملکرد نسبت به تیمار شاهد نشان نداد (جدول ۴). همچنین، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد غده قابل فروش در سال دوم آزمایش نتایج بهتری نسبت به سال اول داشته است (جدول ۳). سمایی و همکاران (Samaee *et al*.,

2017)، سیلوا و همکاران (Silva *et al*., 2019) و پرویزی و قدمی فیروزآبادی (Parvizi and Ghadami-firooz Abadi, 2015) نیز به نتایج مشابهی در مورد عملکرد غده قابل فروش دست یافتند. کاسو و همکاران (Kassu *et al*., 2017) اشاره کردند که با افزایش میزان آب آبیاری تا آبیاری کامل، عملکرد غده‌ها می‌تواند تا نزدیک شدن به پتانسیل تولید افزایش پیدا کند. بنابراین، تیمار آبیاری کامل، دارای بیشترین عملکرد بوده و تنش شدید به گیاه، باعث کاهش معنی‌دار عملکرد می‌شود. نوری و همکاران (Nouri *et al*., 2016a) نیز گزارش کردند که کاهش آب تا ۵۰ درصد تقاضای آب خاک، عملکرد غده را مشابه ۱۰۰ درصد تقاضای آب خاک (آبیاری کامل) تحت تأثیر قرار می‌دهد. تفاوت نتایج بین دو سال آزمایش نیز احتمالاً به این دلیل است که بالاترین میانگین ساعات آفتابی در طول فصل رشد در سال اول گزارش شده است. انتظار می‌رود که تلفات بیشتری از آب خاک در قالب تبخیر و تعرق ایجاد شود. نتایج داده‌های هواشناسی نشان داد که کمترین مقدار تبخیر و تعرق در یک دوره بین ماه‌های اردیبهشت تا شهریور مربوط به سال دوم آزمایش است (شکل ۱) که به پایین‌تر بودن درجه حرارت و تابش مربوط می‌شود. این نتایج با نظر جلینی و کریمی (Jolaini and Karimi, 2016) که بیان می‌دارند، تبخیر و تعرق در اوج فصل بارانی کمترین و در اوج فصل خشک بالاترین است، موافق است. در این پژوهش زمان اعمال کم‌آبی، در مرحله شروع غده‌زایی بوده که در این زمان سرعت رشد اندام هوایی گیاه کندتر است و انتظار می‌رود، مواد غذایی ساخته شده در برگ گیاه به میزان بیشتری به اندام زیرزمینی گیاه انتقال یافته و وزن اندام زیرزمینی افزایش یابد (Silva *et al*., 2019). تیمار خشکی شدید به دلیل شرایط نامطلوب رطوبتی خاک و در نتیجه اختلال در تأمین آب و مواد غذایی کافی برای گیاه، نتوانست غده‌های موجود را به حد کافی پر و حجیم کند، بنابراین به غده‌های ریزغیرقابل مصرف تبدیل می‌شوند (Zin El-Abedin *et al*., 2019). اما گیاه در برخورد با تنش ملایم (۱۵ روز قطع آبیاری) با کمبود تأمین آب و مواد غذایی مواجه نشد و رقم‌ها در این شرایط کاهش عملکرد غده قابل فروش را نشان ندادند. کلون‌های ۱۰-۳۹۷۰۸۲، ۱- ۳۹۷۰۸۱ و رقم ساوالان دارای سیستم ریشه قوی‌تری نسبت به کایزر و آگریا هستند و شاید علت اصلی تحمل آن‌ها به کم آبی همین است. بنابراین، قطع آبیاری نتوانست تأثیر معنی‌داری بر عملکرد رقم‌های مورد نظر داشته باشد و شاید بتوان گفت که این رقم‌ها حساسیت کمتری که در این مرحله جهت حفظ عملکرد نشان دادند، می‌توان از آنها در شرایط کاهش آب آبیاری بهره برد. استفاده از رقم‌های متحمل به تنش کم‌آبی و داشتن سیستم ریشه‌ای قوی برای کاهش مصرف آب و جلوگیری از کاهش عملکرد غده مؤثر می‌باشد (Iera and Mauromicale, 2018). باقری و همکاران (Bagheri *et al*., 2016) نشان داد که تنش کم‌آبی بیشترین خسارت را به عملکرد غده قابل فروش از ناحیه کاهش وزن غده‌های درشت و خوراکی زده است. شی و همکاران (Shi *et al*., 2015) نشان دادند که تعداد غده بیشتر در بوته نمی‌تواند دلیل بالا بودن عملکرد باشد. چرا که ممکن است با افزایش تعداد غده، رقابت بین غده‌ها برای دریافت مواد پرورده بیشتر شده و در نتیجه اندازه غده‌ها کوچک می‌ماند. اما در تیمارهایی که درصد بالایی غده‌های درشت دارند، می‌توان دلیل افزایش قطر غده‌ها را، کاهش

تعداد غده‌ها دانست؛ که به این ترتیب در افزایش عملکرد غده قابل فروش نقش خواهد داشت.

درصد ماده خشک غده: نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که برهم‌کنش رقم در رژیم آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین-ها نشان داد که با قطع آبیاری ۳۰ روز، بیشترین افزایش درصد ماده خشک غده در رقم ساوالان (۵۳ درصد) به‌دست آمد، که تفاوت معنی‌داری با کلون ۱۰-۳۹۷۰۸۲ نداشت. همچنین، در همه رقم‌ها درصد ماده خشک غده در تیمار ۱۵ روز قطع آبیاری نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشـان داد. اما افزایش درصد ماده خشک غده رقم‌های مورد آزمایش، تفاوت معنی‌داری در تیمارهای ۱۵ و ۳۰ روز قطع آبیاری با یکدیگر نشان ندادند (جدول ۴). همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، درصد ماده خشک غده در سال دوم آزمایش و در کلون‌های ۱-۳۹۷۰۸۱ و ۱۰-۳۹۷۰۸۲ اختلاف معنی‌داری با سایر رقم‌ها و سال اول آزمایش داشت. داده‌های سال اول تبخیر و تعرق بیشتری را نشان می‌دهند و این شاید به خاطر بالاتر بودن درجه حرارت و مقدار تابش باشد (جدول ۱). رطوبت و ساعت آفتابی مهم‌ترین پارامترهای آب و هوایی برای تعیین تبخیر و تعرق هستند (Kassu *et al*., 2017). بعضی از رقم‌ها به دلیل ژنتیکی دارای ماده خشک بالاتری نسبت به دیگر آنها می‌باشند. نتایج مانی و حناچی (Mani and Hannachi, 2015) و گلتکین و ارتک (Gultekin and Ertek, 2018) نیز نشان داده که با اعمال کم‌آبیاری درصد ماده خشک غده‌ها به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. همچنین، اثر تنش آبی در افزایش درصد ماده خشک در این آزمایش با گزارش نوری و همکاران (Nouri *et al*., 2016b) نیز مطابقت دارد و مؤید این نتیجه است که با کاهش میزان آب آبیاری و اعمال تنش خشکی درصد ماده خشک غده‌ها افزایش می‌یابد. کوچ و همکاران (Koech *et al*., 2015) نیز گزارش کردند، محتوای ماده خشک غده‌های سیب‌مینی با افزایش تنش رطوبتی افزایش یافت و کمترین ماده خشک غده در تیمار شاهد و بیشترین آن مربوط به تیمار با تنش آبی شدید بود. چون حدود ۷۵ تا ۸۵ درصد از وزن غده سیب‌زمینی را آب تشکیل می‌دهد. بنابراین می‌توان چنین بیان کرد که افزایش این صفت با افزایش تنش آبی به‌لیل کاهش آب موجود در غده‌های سیب‌زمینی است (Bagheri *et al*., 2016).

عملکرد زیستی (ماده خشک کل): جدول ۴ نشان می‌دهد که با کاهش مقدار آب آبیاری، عملکرد زیستی کاهش می‌یابد که این کاهش در سال دوم آزمایش کمتر از سال اول بود (جدول ۳). در عین حال مقایسه نتایج حاصل از اعمال تیمارهای مختلف آبیاری نشان داد که تیمار قطع ۱۵ روز آبیاری در کلون‌های ۱- ۳۹۷۰۸۱ و ۱۰-۳۹۷۰۸۲ باعث کاهش کمتر (به‌ترتیب ۹ و ۸ درصد) عملکرد زیستی (ماده خشک کل) گیاه نسبت به تیمار شاهد (آبیاری کامل) شد. با توجه به ویژگی‌های ژنتیکی کلون‌های دیررس ۱-۳۹۷۰۸۱ و ۱۰-۳۹۷۰۸۲ از نظر کاهش کمتر زیست توده گیاه در مقایسه با ارقام مورد آزمایش در شرایط قطع آبیاری و همچنین جذب نیتروژن موجود در خاک و سبز باقی ماندن و حفظ ادامه فعالیت فتوسنتزی خود، توانسته‌اند وزن اندام هوایی بیشتری داشته باشند (Ierna and Mauromical, 2018). بیشترین درصد کاهش عملکرد زیستی در رقم‌های کایزر و آگریا در تیمار ۳۰ روز قطع آبیاری (به‌ترتیب ۴۸ و ۳۱ درصد)

به‌دست آمد، هرچند که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. قزووانی و همکاران (Ghazouni *et al*., 2019) و کاسو و همکاران (Kassu *et al*., 2017) نیز به نتایج مشابهی در مورد عملکرد زیستی دست یافتند. با توجه به این نتایج می‌توان اظهار داشت در شرایط تنش خشکی تورژسانس سلول و سطح تعرق کنندگی گیاه کاهش می‌یابد، در این شرایط جذب مواد غذایی کند و رشد و توسعه سلول‌ها در اندام هوایی برگ و ساقه کم شده و حجم اندام هوایی گیاه کاهش می‌یابد (Koech *et al*., 2015). ماده خشک کل گیاه یا عملکرد زیستی نتیجه مواد فتوسنتزی می‌باشد. ماده خشک اندام‌ها با گذشت زمان کاهش می‌یابد و علت آن انتقال مواد فتوسنتزی به غده‌ها است (Silva *et al*., 2019). آغاز رشد غده برابر با کاهش رشد سایر اندام‌های گیاهی می‌باشد. اختلاف‌های زیادی که در عملکرد کل ماده خشک دیده می‌شود، علاوه بر این‌که در اثر اختلاف در سرعت فتوسنتز آنها است، می‌تواند به علت تفاوت در مدت زمانی که فتوسنتز در آنها ادامه دارد باشد (Nouri *et al*., 2016b). البته مدت زمان چرخه مرطوب/ خشک در شرایط مزرعه متأثر است از نوع خاک، آب و هوا و رقم و بر شدت پاسخ قطع آبیاری تأثیر می‌گذارد (Kassu *et al*., 2017; Qin *et al*., 2018).

شاخص برداشت: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی سال، رقم، رژیم آبیاری و برهم‌کنش رقم در سطوح آبیاری بر روی شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). شاخص برداشت سال دوم آزمایش با تفاوت معنی‌دار بهتر از سال اول بود (جدول ۳). مقایسه میانگین برهم‌کنش رژیم آبیاری در رقم نیز نشان داد که با کاهش مصرف آب شاخص برداشت رقم ساوالان و کلون‌های ۱-۳۹۷۰۸۱ و ۱۰-۳۹۷۰۸۲ به‌ترتیب با کاهش ۰/۹، ۳/۴۹ و ۳/۹۱ درصدی نسبت به شاهد (آبیاری کامل) کمترین کاهش را نشان دادند، در حالی که این کاهش معنی‌دار نبود (جدول ۴). تأثیرپذیری شاخص برداشت از رژیم آبیاری با نتایج سی‌و سه مرده (Siosemardeh, 2017) و قزووانی و همکاران (Ghazouani *et al*., 2019) نیز مطابقت داشت. این نتایج تفاوت بین رقم‌ها را در میزان انتقال مواد فتوسنتزی تولیدی اندام‌ها به سمت غده‌ها نشان می‌دهد (Samaee *et al*., 2017). با افزایش تنش رطوبتی، مقادیر عملکرد غده مستقیماً متأثر از کاهش در اجزای تشکیل‌دهنده آن می‌باشد و کاهش شاخص برداشت گواه این نکته است که عملکرد غده در اثر اعمال تنش آبی بر گیاه، اثرپذیری بیشتری نسبت به عملکرد ماده خشک (کل) گیاه داشت (Ghazouani *et al*., 2019). شاید علت کاهش شاخص برداشت، در رقم‌های کایزر و آگریا نسبت به سایر رقم‌ها، کاهش بیشتر عملکرد غده آنها نسبت به عملکرد زیستی در شرایط تنش کمبود آب باشد که با نتایج نوری و همکاران (Nouri *et al*., 2016b) در این مورد همخوانی دارد. علاوه بر شدت تنش، مرحله‌ای از رشد گیاه که در آن دچار تنش می‌شود نیز بر عملکرد گیاه مؤثر است. همچنین کنترل باز بودن روزنه‌ها، هدر رفت آب از گیاه را کنترل می‌کند و باعث کاهش تعرق گیاه می‌شود. از آنجا که شدت کاهش تعرق با شدت کاهش فتوسنتز برابر نیست، بیوماس و غده گیاه در تیمارهای تحت اعمال تنش حفظ شده و شاخص برداشت در این حالت کاهش کمتری نسبت به قطع ۳۰ روزه آبیاری نشان می‌دهد. رهی و همکاران (Rahi *et al*., 2018) نیز بیشترین

شاخص برداشت را از تیمار آبیاری کامل به‌دست آوردند، اما باقری و همکاران (Bagheri *et al*., 2016) در گزارش خود بیان کردند که اعمال تنش آبی، تغییری در شاخص برداشت ایجاد نکرده است. البته این تفاوت ممکن است به علت اقلیم متفاوت، فراهمی آب و مرحله رشد و بافت خاک باشد.

کارآیی مصرف آب (WUE): نتایج تجزیه واریانس مشخص کرد که برهم‌کنش رقم در رژیم آبیاری و سال برای این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). کلون ۱-۳۹۷۰۸۱ در تیمار ۱۵ روز قطع آبیاری، در هر دو سال آزمایش بیشترین درصد افزایش کارآیی مصرف آب (به‌ترتیب با ۱۰۶ و ۱۰۱ درصد افزایش) را نسبت به شاهد (آبیاری کامل) نشان داد، هر چند که از این نظر با کلون ۱۰-۳۹۷۰۸۲ و رقم ساوالان در تیمارهای تنش کم آبی (۱۵ و ۳۰ روز قطع آبیاری) (به‌ترتیب با ۳۰ و ۳۶ درصد افزایش در ۱۵ روز و ۲۶ و ۳۱ درصد افزایش در ۳۰ روز قطع آبیاری) تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۴). کمترین افزایش کارآیی مصرف آب نیز در رقم‌های کایزر و آگریا به‌ترتیب با ۱۱ و ۸ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد. تغییرات کارآیی مصرف آب در سال دوم آزمایش نیز همانند سال اول با کاهش مصرف آب، در همه تیمارها افزایش یافته است با این تفاوت که نتایج سال دوم به نسبت، بیشتر از سال اول آزمایش است (جدول ۳). نتایج یافته‌های کاسو و همکاران (Kassu *et al*., 2017)، رئیسی اسدآبادی و همکاران (Raesi Asad Abadi *et al*., 2017) و ایرنا و مایورومیکال (Ierna and Mauromicale, 2018) مشابه نتایج ما بودند. در برخی از گزارش‌ها بیان شده است که تیمارهای تنش رطوبتی، کارآیی مصرف آب را افزایش داده است. با این حال، افزایش کارآیی مصرف آب به ارقام گیاهی نیز بستگی دارد (Nouri *et al*., 2016b). ماه‌های مرداد و شهریور نقطه اوج نیاز آبی گیاه سیب زمینی در این اقلیم است. با این وجود در سال ۹۵، در این دوره نیاز آبی کمتری با وجود دماهای پایین‌تر هوا گزارش شده است. از طرفی تبخیر و تعرق در اردیبهشت تا شهریور که فصل رشد سیب‌زمینی در این منطقه را نشان می‌دهد، به‌طور قابل توجهی در سال اول بیشتر از سال دوم آزمایش است. از طرفی بارش باران در ماه‌های مرداد و شهریور که مصادف با زمان اعمال قطع آبیاری در این پژوهش بوده است، به‌طور قابل توجهی در سال دوم بیشتر از سال اول است (جدول ۱). احتمال می‌رود به دلیل اینکه میانگین رطوبت نسبی هوا در سال دوم در زمان قطع آبیاری بیشتر از سال اول آزمایش بوده است، این اتفاق رخ داده باشد. حقیقتی و همکاران (Haghighati *et al*., 2016) نیز بیان داشتند در شرایط آب و هوایی مرطوب که فشار بخار بیشتری در مقایسه با آب و هوای خشک دارد، میزان کارآیی مصرف آب بیشتر است. شاید دلیل کارآیی بالای آب این رقم‌ها این باشد که افزایش تولید ماده خشک در شرایط خشکی از راه افزایش جذب آب خاک و اختصاص آن به تعرق روزنه‌ای به‌دست می‌آید (Ansari *et al*., 2019). این مسئله مهم‌ترین پارامتر برای بهبود عملکرد گیاهان زراعی در مناطق خشک و از جنبه‌های ژنتیکی و زراعی می‌باشد (Nasiri *et al*., 2019). استفاده مؤثر از آب با حفظ بالانس آبی گیاه، به تسهیم شیره پرورده به سمت اندام‌های زایشی کمک می‌کند و موجب افزایش شاخص برداشت می‌گردد (Zin-El-Abedin *et al*., 2019). نتایج این تحقیق با

نتایج (Qin *et al*., 2018; Silva *et al*., 2019) مطابقت دارد و مؤید این مطلب است که کم آبیاری باعث افزایش کارآیی مصرف آب می‌شود، به‌طوری‌که رقم ساوالان و کلون‌های ۱-۳۹۷۰۸۱ و ۱۰-۳۹۷۰۸۲ توانسته‌اند با تفاوت زیاد کارآیی مصرف آب را نسبت به شاهد، افزایش دهند. به نظر می‌رسد این رقم‌ها با ریشه قوی خود قادر هستند، آب مورد نیاز جهت تولید حداکثر عملکرد را به‌دست آورد که این نتایج با نتایج دیگر پژوهش‌گران مطابقت داشت (Koech *et al*., 2015; Zin-El-Abedin *et al*., 2019) اما بر خلاف نتایج به‌دست آمده، در پژوهشی نیز بیان شد کارآیی مصرف آب آبیاری سیب‌زمینی با کاهش مقدار آب آبیاری کاهش می‌یابد (Jolaini and Karimi, 2016). احتمالاً تفاوت‌های بین مقادیر به‌دست آمده در این مطالعه با پژوهش‌های دیگر ناشی از مجموعه آزمایشی، تنوع زیستی، بافت خاک، ویژگی‌های آب و هوایی، تعادل آب خاک و توزیع ریشه باشد.

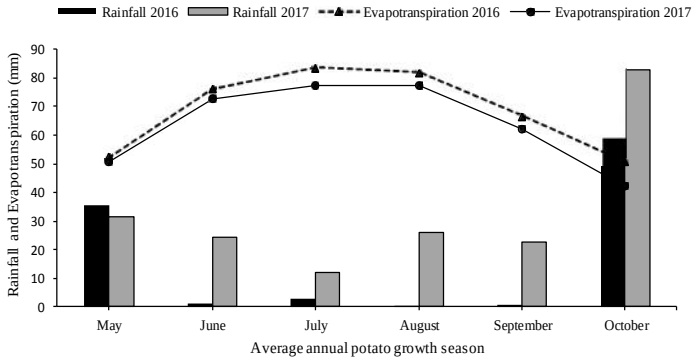
نتیجه‌گیری کلی

باتوجه به بحران آب در کشور و نیاز آبی محصول سیب‌زمینی، اتخاذ تدابیر لازم در مصرف بهینه آب و پایداری تولید این محصول ضروری به‌نظر می‌رسد. کاهش آب مصرفی به‌میزان ۲۶ درصد نسبت به آبیاری کامل با هدف کسب سود حداکثر در استان اردبیل می‌تواند اعمال گردد. همچنین، باتوجه به اینکه کلون‌های ۱-۳۹۷۰۸۱ و ۱۰-۳۹۷۰۸۲ و رقم ساوالان نسبت به دو رقم دیگر بازده بالاتری را در عملکرد غده (به‌ترتیب با ۲۵/۱۹، ۲۶/۰۸ و ۲۴/۸۹ تن در هکتار) و کارآیی مصرف آب (به‌ترتیب با ۵/۳۱، ۴/۷۴ و ۴/۸۳ کیلوگرم در مترمکعب) دارا بودند. می‌توان باتوجه به کاهش روزافزون آب آبیاری و افزایش هزینه آن، کشت این ژنوتیپ‌ها را در منطقه اردبیل توصیه کرد.

جدول ۱- داده‌های هواشناسی در دوره آزمایشی دو ساله

Table 1- Meteorological data over the two-year trial period

ماه‌ها Months	میانگین درجه حرارت ماهانه Average monthly (°C) temperature		رطوبت نسبی Relative (%) humidity		میانگین بارندگی ماهانه Average monthly rainfall (mm)		تبخیر و تعرق Evapotranspiration (mm)		میانگین ساعت‌های آفتابی Average hours of sunshine (h)	
	1394	1395	1394	1395	1394	1395	1394	1395	1394	1395
اردیبهشتMay	15.5	14.8	60.5	63.0	31.7	35.4	52.13	50.77	251.9	254.7
خردادJune	18.7	17.8	50.0	61.0	1.0	24.5	75.91	72.63	283.5	325.7
تیرJuly	19.6	19.2	59.0	67.0	2.7	12.7	83.49	77.24	287.4	299.2
مردادAugust	20.4	19.5	51.0	60.0	0.4	26.2	81.77	77.19	335.8	292.2
شهریور September	18.8	16.4	65.0	68.0	6.0	22.5	66.51	62.1	274.4	251.9
مهرOctober	13	9.8	76.0	79/0	58.8	82.7	50.52	42.01	146	132.6



شکل ۱- رابطه بین بارش ماهانه و تبخیر و تعرق در سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

Figure 1- Relationship between monthly precipitation and evapotranspiration in 2015 and 2016

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات اندازه‌گیری شده در دو سال آزمایش

Table 2- Results of combined analysis of variance of measured traits in two years of experiment

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	تعداد غده در بوته Number of tubers per plant	وزن غده در بوته Tuber weight per plant	عملکرد کل غده Total tuber yield	عملکرد غده قابل فروش Marketable tuber yield
سال Year	1	183.37 **	397071.54**	859.68**	794.52**
سال (تکرار) Year (Repeat)	4	0.393	4892.37	38.05	20.05
رژیم آبیاری Irrigation regime	2	3.07 ns	82972.14*	217.41*	207.33 ns
رژیم آبیاری × سال Year × Irrigation regime	2	4.21 **	4353.59 ns	10.33 ns	12.88*
خطای اصلی (Error a)	8	0.22	1646.81	6.96	2.340
رقم Cultivars	4	15.17 ns	2652.99 ns	20.63 ns	57.35**
رقم × سال Year × Cultivars	4	9.73 **	4797.41**	5.33 ns	1.68 ns
رژیم آبیاری × رقم × Irrigation regime Cultivars	8	13.71 ns	79718.89**	148.97**	124.90**
رژیم آبیاری × رقم× سال Irrigation regime × Year ×Cultivars	8	4.29 **	4850.92**	4.92ns	3.37 ns
خطای فرعی (Error b)	48	0.26	683.96	3.17	3.80
ضریب تغییرات C.V. (%)		7.22	5.14	6.74	8.54

ns و** ,* به‌ترتیب اختلاف غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns and *, ** nonsignificant and significant differences at 1% and 5%, respectively.

ادامه جدول ۲

Table 2- Continued

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	ماده خشک غده Tuber dry matter	عملکرد زیستی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	کارآیی مصرف آب Water use efficiency
سال Year	1	304.57*	128.27*	549.84**	42.18**
سال (تکرار) Year (Repeat)	4	15.21	11.44	23.93	1.31
رژیم آبیاری Irrigation regime	2	49.76**	49.65*	621.53**	17.39*
رژیم آبیاری × سال Year × Irrigation regime	2	0.289 ns	1.48ns	0.76ns	0.186ns
خطای اصلی (Error a)	8	4.86	7.60	5.32	0.0489
رقم Cultivars	4	65.04**	303.63**	1760.8**	0.523ns
رقم × سال Year × Cultivars	4	0.679 ns	1.85ns	5.26ns	0.262ns
رژیم آبیاری × رقم Cultivars × Irrigation regime	8	201.26**	63.33**	681.54**	7.586**
رژیم آبیاری × رقم× سال Irrigation regime × Year ×Cultivars	8	2.98 ns	1.07ns	13.27ns	0.301*
خطای فرعی (Error b)	48	1.73	5.13	6.23	0.128
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	5.19	15.06	3.67	5.58

ns و** ,* به‌ترتیب اختلاف غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, and *, ** nonsignificant and significant differences at 1% and 5%, respectively.

جدول ۳- اثر رژیم آبیاری و رقم روی سیب زمینی در دو سال آزمایش

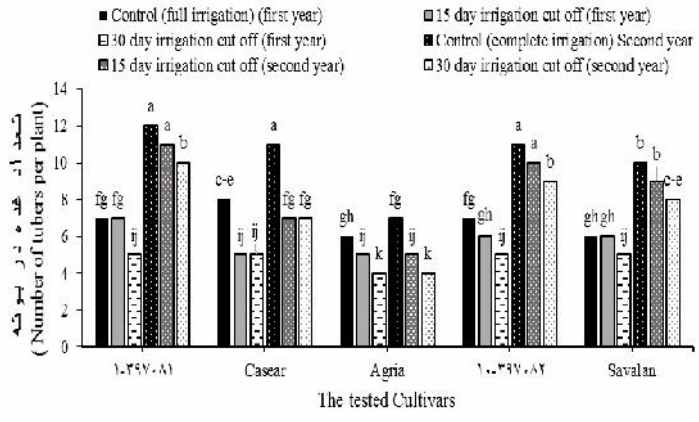
Table 3- Effect of irrigation regime and cultivar on potato in two years experiment

تیمارهای آزمایشی Experimental treatments	تعداد غده در بوته Number of tubers per plant	وزن غده در بوته Tuber weight per plant (g)	عملکرد کل غده Total tuber yield ($t.ha^{-1}$)	عملکرد غده قابل فروش Marketable tuber yield ($t.ha^{-1}$)	ماده خشک غده Tuber dry matter (٪)	عملکرد زیستی Biological yield ($t.ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (٪)	کارایی مصرف آب Water use efficiency (Kg / m^3)
سال (Year)								
Y1= 1394	5.67	442.28	23.30	19.95	27.16	13.85	65.38	5.73
Y2= 1395	8.53	575.12	29.49	25.72	23.48	16.24	70.32	7.09
LSD (p <0.05)	0.36	40.94	3.61	2.62	2.28	1.98	2.86	0.67
رژیم آبیاری Irrigation								
شاهد FI (Control)	7.18	543.5	28.21	25.12	23.94	15.51	70.76	6.11
تنش ملایم LI1 (Mild Stress)	7.37	534.35	27.67	23.41	25.54۵	16.04	70.19	6.52
تنش شدید LI2 (Severe stress)	6.75	448.21	23.30	19.96	26.49	/13.59	62.61	6.35
LSD (p <0.05)	0.28	24.16	1.57	0.91	1.31	1.64	1.37	0.13
رقم‌ها (Cultivars)								
C_1 =397081-1	8.21	521.32	27.69	25.32	27.15	21.85	80.56	6.45
C_2 = Caesar	6.92	497.09	25.25	21.40	22.52	11.06	55.94	6.34
C_3 =Agria	5.78	494.91	25.52	20.96	23.68	12.84	60.56	6.38
C_4 = 397082-10	7.67	511.61	26.22	23.82	27.01	14.39	70.93	6.65
C_5= Savalan	7.92	518.55	27.29	22.65	25.25	15.09	74.16	6.50
LSD (p <0.05)	0.34	17.52	1.19	1.30	0.88	1.51	1.67	0.24

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد کل غده، عملکرد غده قابل فروش، ماده خشک غده، عملکرد زیستی و شاخص برداشت در رقم‌های مورد آزمایش سیب زمینی تحت رژیم‌های آبیاری (میانگین ۲ سال)

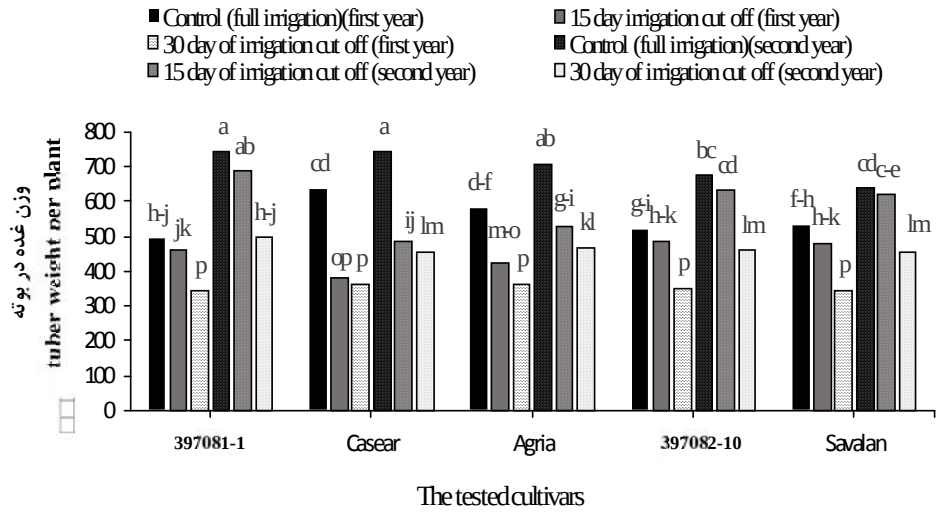
Table 4- Comparison of mean total tuber yield, marketable tuber yield, dry matter tuber, biological yield and harvest index in potato cultivars tested under irrigation regimes (mean 2 years)

رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes	رقم‌ها Cultivers	عملکرد غده Total tuber yield ($t.ha^{-1}$)	عملکرد غده قابل فروش Marketable tuber yield ($t.ha^{-1}$)	درصد ماده خشک غده Percentage of tuber dry matter (٪)	عملکرد زیستی Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest (%) index
FI	397081-1	29.89	23.77	17.92	23.24	70.7
	Caesar	36.93	32.69	13.3	19.47	76.83
	Agria	31.69	29.62	16.52	13.11	84.3
	397082-10	30.99	26.34	22.5	19.56	75.58
	Savalan	29.08	24.44	20.32	14.13	69.37
LI1	397081-1	25.19	21.23	24.75	21.11	68.23
	Caesar	22.02	21.31	17.47	15.74	65.89
	Agria	20.35	21.02	21.26	10.07	67.93
	397082-10	26.08	23.82	30.27	17.84	72.62
	Savalan	24.89	21.59	28.62	12.57	68.74
LI2	397082-10	18.49	17.89	26.9	20.21	64.9
	Caesar	15.93	17.47	17.98	10.05l	59.78
	Agria	15.02	17.29	22.25	9.01	62.47
	397082-10	21.59	17.79	32.69	13.76	64.59
	Savalan	21.77	18.18	31.11	9.83	62.89
	LSD	1.61	1.74	1.54	1.92	2.28



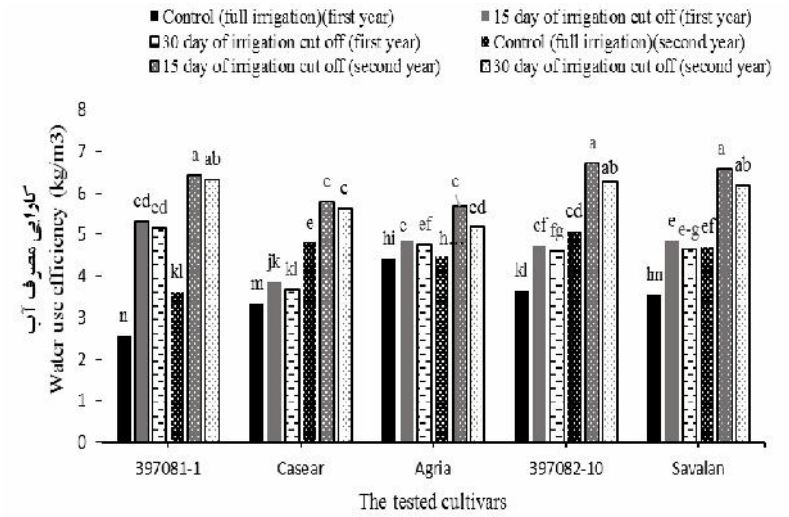
شکل ۲- اثر برهم‌کنش رقم در رژیم‌های آبیاری در دو سال آزمایش روی تعداد غده در بوته

Figure 2- Effect of cultivar interaction on irrigation regimes in two years experiment on number of tubers per plant



شکل ۳- اثر برهم‌کنش رقم در رژیم‌های آبیاری در دو سال آزمایش روی وزن غده در بوته

Figure 3- Effect of cultivar interaction on irrigation regimes in two years experiment on tuber weight per plant



شکل ۴- برهمکنش رقم در رژیم‌های آبیاری در دو سال زراعی بر روی کارایی مصرف آب

Figure 4- Interaction of cultivar in irrigation regimes in two crop years on water use efficiency

References منابع مورد استفاده

- Ahmadi, K., H. Gholizadeh, H. Ebadzadeh, F. Hatami F. Fazli, M. Hosseinpur, A. Kazemian, and M. Rafiei. 2016**.** Agricultural Statistics of 2014-2015 Volume I: Crop Production. Tehran, Ministry of Jihad-e-Agriculture, Deputy Director of Planning and Economics, Center for Information and Communication Technology, 74 p. (In Persian).
- Ahmadi, S.H., M. Agharezaee, A.A. Kamgar-Haghighi, and A.R. Sepaskhah. 2016. Water-saving irrigation strategies affect tuber water relations and nitrogen content of potatoes. *International Journal of Plant Production*. 10 (3): 275- 288.
- Anonymus. 2018. FAO, FAOSTAT database for agriculture. Available online at, http://faostat3.fao.org/ faostat gateway/go/to/download/Q/QC/E.
- Ansari, M.A., A. Egdernezhad, and N.A. Ebrahimipak. 2019. Simulating of potato *(Solanum tuberosum* L.) yield under different irrigation conditions using AquaCrop and Cropsyst models**.** *Journal of Crop Ecophysiology*. 13 (50): 287-304. (In Persian).
- Bagheri, H.R., M.H. Gharineh, A. Bakhshandeh, J. Taei, A. Mehnatkesh, and B. Andarzian. 2016. Effects of water deficit and different nitrogen fertilizer levels on yield, yield components and water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 9 (1): 1-14. (In Persian).
- Elzner, P., M.A. Juzl, and P. Kasal. 2018. Effect of different drip irrigation regimes on tuber and starch yield of potatoes. *Plant Soil Environment*. 64 (11): 546- 550.
- Feng, Z., Sh. Wan, Y. Kang, and Sh. Liu. 2017. Drip fertigation regime for potato on sandy soil. *Emirates Journal of Food and Agriculture.* 29 (6): 476- 484.
- Ghazouani, H., A. Mguidich Belhaj, B. Latrch, B., A. Cherni, B. Douh Mhamdi, I. Ghazouani, and B. Abdelhamid. 2019. Effect of deficit irrigation on vegetative growth and yield of potato crop under the semi arid condition of Tunisia. *Acta Scientific Agriculture*. 3 (8): 164-168.
- Gultekin, R., and A. Ertek. 2018. Effects of deficit irrigation on the potato tuber development and quality. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences*. 2 (3): 93-98.
- Haghighati, B., S. Bromand Nasab, and A. Naseri. 2016. Effect of irrigation water amount bon yield, some qualitative characteristics and water productivity of two potato cultivars. *Crop Physiology Journal*. 28 (3): 45-60. (In Persian).
- Han, H., Y. Ren, Ch. Gao, Zh. Yan, and Q. Li. 2017. Response of winter wheat grain yield and water use efficiency to deficit irrigation in the North China Plain. *Emirates Journal of Food and Agriculture.* 29 (12): 971-977.
- Hassanppanah, D., A. Mousapour Gorji, M. Kahbazi, H. Kabalaei Khiavi, and R. Mohammadi. 2016. Adaptability evaluation of 104 potato hybrids in Ardabil and Alborz Provinces. *Journal of Crop Ecophysiology*. 10 (37): 121-138. (In Persian).
- Ierna, A., and G. Mauromicale. 2018. Potato growth, yield and water productivity response to different irrigation and fertilization regimes. *Agricultural Water Management*. 201: 21-26.
- Jolaini, M., and M. Karimi. 2016. The effect of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on yield and water use efficiency of potato in subsurface drip irrigation. *Journal of Water and Soil*. 31 (1): 51-60. (In Persian).

- Kalaydjieva, R., A. Matev, and Z. Zlatev. 2015. Influence of irrigation regime on the leaf area and leaf area index of french bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 27 (2): 171-177.
- Kassu, T., H. Tilahun, D. Yared, and H. Watanabe. 2017. Effect of irrigation regimes on yield and water use efficiencies of potato. *International Journal Plant Production*. 11(3): 389- 405.
- Koech, O.K., R.N. Kinuthia, G.N. Karuku, S.M. Mureithi, and R. Wanjogu. 2015. Water use efficiency of six rangeland grasses under varied soil moisture content levels in the arid Tana River County, Kenya. *African Journal Environmental Science and Technology* 9 (7): 632-640.
- Liu, H., F. Song, Sh. Liu, F. Liu, and X. Zhu. 2018. Physiological response of maize and soybean to partial root-zone drying irrigation under N fertilization levels. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 30 (5): 364-371.
- Mani, F., and C. Hannachi, 2015. Physiological traits of drought tolerance in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology*. 4 (1): 0131-0150.
- Motazedi, S., S. Seifzadeh, R. HagParast, H.R. Zakerin, H. Jabbari, and J. daneshian. 2019. Assesment of relationships between seed yield and some morphophysiological traits of bread wheat genotypes under rainfed and supplementary irrigation conditions. *Journal of Crop Ecophysiology.* 13 (49): 1-24. (In Persian).
- Nasiri, M., D. Zarehaghi, and M.R. Neyshabouri. 2019. The effect of different levels of pumice mulch and deficit irrigation on the some physiological traits and seed yield of corn (Zea mays L.). *Journal of Crop Ecophysiology*. 13 (50): 217-230. (In Persian).
- Nasrollahzadeh Asl, A., and Gh. Sedaghat. 2017. Effects of planting depth and irrigation disruption on yield and yield components in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*. 1(1): 109-119. (In Persian).
- Nouri, A., A. Nezami, M. Kafi, and D. Hassanpanah. 2016 a**.** Evaluation of water deficit tolerance of 10 potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) based on some physiological traits and tuber yield in Ardabil region. *Journal of Crop Ecophysiology*. 10 (37): 243-268. (In Persian).
- Nouri, A., A. Nezami, M. Kafi, and D. Hassanpanah. 2016 b. Growth and yield response of potato genotypes to deficit irrigation. *International Journal of Plant Production* 10 (2): 139- 158.
- Onder, D., S. Onder, M. Emin Caliskan, and S. Caliskan, 2015. Influence of different irrigation methods and irrigation levels on water use efficiency, yield, and yield attributes of sweet potatoes. *Fresenius Environmental bulletin*. 24(10): 3397- 3403.
- Parvizi, Kh., and A. Ghadami-Firooz Abadi. 2015. The effect of water deficit imposing methods on quantitative and qualitative traits of new potato cultivar. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 13 (3): 637-650.
- Qin, J., D.A. Ramirez, K. Xie, W. Li, W. Yactayo, L. Jin, and R. Quiroz. 2018. Is partial root- zone drying more appropriate than drip irrigation to save water in China? A preliminary comparative analysis for potato cultivation. *Potato Research* 61: 1-16.

- Raesi Asad Abadi, M., R. Nouri Emamzadei, and R. Fatahi. 2017. Improving irrigation schedule of potato in order to improve water use efficiency index. *Irrigation Sciences and Engineering*. 40 (2): 199-207.
- Rahi, A., H. Najafi, G.A. Ranjbar, and M. Ghajarsepanloo. 2018. The role of physiological and biochemical traits in improving the performance of soybean genotypes under water deficit tension. *Crop Physiology Journal*. 10 (39): 79-92. (In Persian).
- Samaee, M., S.A.M. Modarres- Sanavy, A. Mousapour, and E. Zand. 2017**.** The study of potato genotypes (*Solanum tubersum* L.) tolerance to water deficit stress. *Journal of Agricultural Science*. 47 (4): 527-540. (In Persian).
- Shi, Sh., M. Fan, K. Iwama, F. Li, Z. Zhang, and L. Jia, 2015. Physiological basis of drought tolerance in potato grown under long-term water deficiency. *International Journal of Plant Production*. 9: 305-320.
- Silva, E. F., S. O. Jadoski, and L. Martinkoski. 2019. Water depletion depth for irrigation of potato cultivar Agata. *Engenharia Agricola Jaboticabal.* 39 (4): 434-443.
- Siosemardeh, A. 2017. The efficacy of regulated deficit and partial root zone drying irrigation strategies on yield and water use efficiency of potato. *Agicultural Communications*. 5 (3): 1-6.
- Zin El- Abedin, T. K., M. A. Matar, H. M. Al- Ghobari, and A. A. Alazba. 2019. Water-saving irrigation strategies in potato fields: Effects on physiological characteristics and water use in arid region. *Journal Agronomy*. 9 (172): 2-16.

Research Article DOI: 10.30495/jcep.2021.681010

Effect of Deficit Irrigation Conditions on Potato (*Solanum tuberosum* L.) Cultivars in Ardabil Climatic

Atousa Shafaroodi[1*], Mahnaz Sharifi[2], Abdolghayoum Gholipouri[3], Broomand Salahi[4], and Mohammadbagher Aalizadeh[5]

Received: January 2020 , Revised: 28 September 2020, Accepted: 8 November 2020

Abstract

Selection of tolerant cultivars to water stress in areas with reduced rainfall is important. A split plot experiment based on a randomized complete block design with three replications was conducted at the Ardabil Agricultural Research Center during 2015-2016. The experiment factors consisted of three irrigation regimes: full irrigation (with 100% water requirement) considered as control and 15 and 30 days irrigation intervals assigned to main plots and five potato cultivars consisted of: 397081-1 and 397082-10 Clones and Agria, Caesar and Savalan cultivars assigned to sub plots. In this experiment, clones 397082-10 and 397081-1 and Savalan cultivar had relative superiority in terms of tuber yield, tuber dry matter, water use efficiency and high marketable tuber yield compared to Caesar and Agria. Also, in both years of experiment, the trend of variation of these cultivars for the studied traits were similar under deficit irrigation interval of 15-days. The results were not significantly different against control treatment. As a result, 15-days interval irrigation can be used to save water in the Ardabil area.

Key words: Marketable tuber yield, Water deficit stress, Water use efficiency.

1-Ph.D. Student of Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2-Ph.D. Student of Crop Ecology, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3-Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
4-Professor, Department of Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
5-Ph.D. Student of Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Shahrood, Semnan, Iran.
**Corresponding Author: atsh1389@gmail.com*