بررسی عملکرد و ویژگی‌های آن برای دو رقم سیب‌زمینی در روش‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای- نواری

بهناز مولائی[۱]، مهدی قیصری[۱*]، بهروز مصطفی‌زاده فرد[۱] ، اسماعیل لندی[۱] و محمد مهدی مجیدی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۵/۱۴)

چکیده

به‌دلیل محدودیت منابع آب و نیاز روزافزون به محصولات غذائی بررسی اثر روش آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب سیب‌زمینی ضرورت دارد. هدف از این تحقیق بررسی عملکرد و ویژگی‌های آن برای دو رقم سیب‌زمینی بورن و ساتینا تحت دو سیستم آبیاری بارانی و قطره‌ای بود. تیمارهای آزمایش شامل دو روش آبیاری قطره‌ای- نواری و بارانی و دو رقم سیب‌زمینی بورن و ساتینا در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار بود. در هر دو روش آبیاری، آبیاری کامل و براساس تخلیه رطوبت از عمق توسعه ریشه انجام گرفت. عملکرد و بهره‌وری آب در آبیاری قطره‌ای- نواری و آبیاری بارانی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند. در تیمار آبیاری قطره‌ای- نواری و رقم سیب‌زمینی ساتینا، بیشترین میزان عملکرد (۲۴/۰۸ تن بر هکتار) و بهره‌وری آب (۳/۸۳ کیلوگرم بر مترمکعب) به‌دست آمد. همچنین، تیمار آبیاری بارانی و رقم سیب‌زمینی بورن، کمترین میزان عملکرد (۱۲/۹۷ تن بر هکتار) و بهره‌وری آب (۱/۷۳ کیلوگرم بر مترمکعب) را داشت. عملکرد محصول در واحد سطح در آبیاری بارانی ۴۲ درصد کمتر از آبیاری قطره‌ای- نواری بود. برای هر دو رقم سیب‌زمینی، ارتفاع بوته و وزن خشک اندام هوائی در آبیاری قطره‌ای- نواری به‌ترتیب بیشتر و کمتر از آبیاری بارانی به‌دست آمد که این امر به‌دلیل عقب بودن مراحل مختلف رشد گیاه در آبیاری بارانی نسبت به آبیاری قطره‌ای- نواری بود. برای افزایش تولید و بهره‌وری مصرف آب سیب‌زمینی در اقلیم خشک سرد، آبیاری قطره‌ای- نواری توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: آبیاری تحت فشار، بورن و ساتینا، بهره‌وری آب

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:gheysari@cc.iut.ac.ir

مقدمه

ایران در یکی از خشک‌ترین مناطق جهان واقع شده و در وضعیت شدید بحران آبی قرار دارد. با توجه به محدودیت منابع آب و نیاز کشور برای تأمین مواد غذائی مورد نیاز، لازم است با درنظر گرفتن ارزش اقتصادی محصول، سیستم آبیاری مناسب اقلیم منطقه انتخاب شده و با برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت صحیح آب در مزرعه، به‌شکل مناسب از این منابع آب استفاده شود (۸). استان اصفهان با تنوع اقلیمی سرد مرطوب تا سرد خشک (۳) یکی از قطب‌های کشاورزی ایران به‌شمار می‌رود و در اکثر نقاط استان، سیب‌زمینی در سطح وسیع کشت می‌شود. سیب‌زمینی چهارمین محصول کشاورزی جهان پس از گندم، برنج و ذرت و از جمله مهم‌ترین محصولات کشاورزی در سبد غذائی مردم ایران می‌باشد (۴، ۵، ۶ و ۱۱). برای تکثیر سیب‌زمینی عمدتاً از بذر استفاده می‌شود که بذر سالم سیب‌زمینی سبب حداقل ۳۰ درصد افزایش محصول می‌شود (۴).

سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در ایران بسیار مورد استقبال کشاورزان قرار گرفته که البته تلفات تبخیر و بادبردگی زیاد آن در مناطق گرم و خشک، سبب کاهش بهره‌وری آب می‌شود(۱۴). آبیاری قطره‌ای- نواری (Tape) با توجه به راندمان و یکنواختی توزیع بالاتر، می‌تواند گزینه مناسبی برای آبیاری گیاهان زراعی با ارزش باشد. سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای- نواری علاوه بر تفاوت در راندمان و تلفات، دو فرآیند مختلف جریان‌های اشباع و غیراشباع را در بستر خاک ایجاد نموده و با تأثیر گذاشتن بر تهویه خاک و سهولت دسترسی گیاه به آب، موجب تفاوت در بهره‌وری آب می‌شوند (۱۲). به‌دلیل حساسیت گیاه سیب‌زمینی به میزان رطوبت خاک، انتخاب بهترین روش آبیاری با بالاترین بهره‌وری آب اهمیت دارد (۷).

حجم آب مصرفی در سیستم آبیاری بارانی بیشتر از آبیاری قطره‌ای و کارایی مصرف آب در سیستم آبیاری بارانی کمتر از سیستم آبیاری قطره‌ای است (۲۸). در مطالعه‌ای که در اقلیم نیمه‌خشک سرد فریدن به سه روش آبیاری قطره‌ای- نواری (تیپ)، بارانی و جویچه‌ای برای ارقام دیررس سیب‌زمینی آگریا و مارفونا مورد بررسی قرار گرفتند، میانگین عملکرد در سیستم آبیاری قطره‌ای و بارانی به‌ترتیب ۲۵ و ۲۵/۸ تن بر هکتار و حداکثر میزان کارآیی مصرف آب از روش آبیاری قطره‌ای نواری، ۴/۹۲ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد (۸). همچنین در مطالعه‌ای، عملکرد سیب‌زمینی دیررس آگریا در اقلیم نیمه‌خشک همدان و با مدیریت آبیاری قطره‌ای- نواری، ۲۸/۹ تن بر هکتار به‌دست آمد (۱). در پژوهشی دیگر در اقلیم خشک اسرائیل، عملکرد سیب‌زمینی رقم دزیره در دو سیستم آبیاری بارانی و قطره‌ای- نواری مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که آبیاری قطره‌ای- نواری با کاربرد آب کمتر نسبت به آبیاری بارانی عملکرد بیشتری تولید می‌کند (۲۶). در بررسی دو روش آبیاری قطره‌ای- نواری و شیاری و سطوح مختلف نیتروژن و فسفر بر کمیت و کیفیت بذر چغندرقند در اقلیم نیمه‌خشک همدان، حداکثر عملکرد بذر استاندارد و نیز کارائی مصرف آب از روش آبیاری قطره‌ای- نواری به‌دست آمد (۱۳).

همچنین در بررسی‌های صورت گرفته، پژوهشگران دریافتند که در مزارع بزرگ مقیاس آبیاری شده به‌روش بارانی، تلفات تبخیر و بادبردگی موجب ایجاد خرد اقلیمی با دمای هوای کمتر و رطوبت نسبی بیشتر شده که این خرد اقلیم سبب تغییرات فیزیولوژیک گیاه و در نتیجه طولانی شدن فصل رشد گیاه می‌شود (۱۷، ۲۱، ۲۳، ۲۴ و ۲۵). ضربات قطرات آب حاصل از آبیاری بارانی سبب متلاشی شدن خاکدانه‌ها، فشرده و کوبیده شدن سطح خاک، تغییر شکل منافذ لایه سطحی خاک و تشکیل سله شده که در نهایت سبب کاهش هدایت هیدرولیکی لایه سطحی خاک شده و تأخیر در جوانه‌زنی، رشد و غده‌دهی گیاه می‌شود (۹، ۲۰، ۲۲ و ۲۶).

تاکنون مطالعات زیادی در مناطق مختلف ایران روی ارقام مختلف سیب‌زمینی تحت مدیریت آبیاری بارانی و قطره‌ای انجام شده است و عملکرد و بهره‌وری مصرف آب نیز گزارش شده است. اما پژوهشی روی دو رقم سیب‌زمینی بذری بورن

(زودرس) و ساتینا (میان‌رس) تحت دو مدیریت آبیاری بارانی و قطره‌ای- نواری در اقلیم خشک سرد از استان اصفهان انجام نشده است. هدف از این پژوهش، بررسی اثر دو سیستم آبیاری بارانی و قطره‌ای- نواری بر بهره‌وری مصرف آب، عملکرد و اجزاء عملکرد دو رقم سیب‌زمینی بورن و ساتینا در جنوب اصفهان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۰ در مجتمع کشت و صنعت مولائی واقع در استان اصفهان، کیلومتر ۲۳ جادهٔ شهرضا- شیراز با ارتفاع از سطح دریا ۲۰۰۰ متر انجام شد. اراضی این مزرعه از نظر توپوگرافی دارای شیب یکنواخت و بافت خاک لوم رسی است. داده‌های هواشناسی موردنیاز از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک اصلی شهرضا تهیه شد. شهرضا دارای اقلیم خشک با تابستان‌های معتدل، زمستان‌های سرد و متوسط بارندگی سالیانه ۱۴۴ میلی‌متر بوده که بیشترین نزولات جوی در فصل‌های پائیز و زمستان رخ می‌دهد.

مزرعه آزمایشی به‌مساحت ۴۰۳۲ متر مربع شامل ۱۲ پلات آزمایشی، هر پلات به‌ابعاد ۱۲ متر در ۲۸ متر بود. این پژوهش به‌صورت دو آزمایش (دو سیستم آبیاری قطره‌ای- نواری و بارانی) بر روی دو رقم سیب‌زمینی (بورن و ساتینا) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام و آزمایش به‌صورت تجزیه مرکب آنالیز شد. این دو رقم سیب‌زمینی از جمله ارقام وارداتی زودرس و میان‌رس، دارای کلاس S و SE، از کشورهای ایرلند و آلمان بودند. سیستم آبیاری بارانی این طرح، بخشی از یک سیستم آبیاری بارانی مستقر در مزرعه به فواصل آپاش ۲۸×۲۴ متر و آرایش مثلثی بود. سیستم آبیاری قطره‌ای این طرح به‌گونه‌ای طراحی شده بود که کل پلات‌های آبیاری قطره‌ای به‌صورت همزمان آبیاری شوند. نوار آبیاری استفاده شده در این طرح، ساخت ایران، کنار دوخت، هشت خط با سه روزنه در قطره‌چکان و یکبار مصرف بود. قطر نوار آبیاری ۱۶ میلی‌متر و ضخامت اسمی جداره‌ی نوار ۱۷۵ میکرون، فاصله‌ی روزنه ۲۰ سانتی‌متر و فشار کاری ۱ اتمسفر بود و در این فشار قابلیت آب‌دهی روزنه‌ها ۲/۷ لیتر در ساعت بود.

کوددهی بستر براساس توصیه کودی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌پتاسیم و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات‌تریپل انجام شد. همچنین، ۲۰ تن در هکتار کود پوسیده گاوی با استفاده از دستگاه مخصوص در سطح خاک پخش شد. در تاریخ ۲۹ تیرماه، کشت به‌صورت نم‌کاری انجام شد. هر پلات آزمایشی شامل ۱۴ ردیف کاشت با فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر و فاصله کاشت ۲۰ سانتی‌متر بود. کودهای مورد نیاز سیب‌زمینی برای هر دو سیستم آبیاری بارانی و تیپ به‌صورت یکسان از طریق سیستم آبیاری (کود آبیاری) توزیع شد.

با ارزیابی دو سیستم آبیاری، ضرایب یکنواختی توزیع و راندمان دو سیستم اندازه‌گیری شد. از ۱۰ تا ۴۲ روز پس از کاشت، میزان آب مورد نیاز گیاه براساس تأمین رطوبت خاک تا حد FC در عمق ۴۰ سانتی‌متری خاک و با درنظر گرفتن راندمان ۷۵ درصد برای سیستم آبیاری بارانی و راندمان ۸۹ درصد برای سیستم آبیاری قطره‌ای تیپ تعیین شد. از ۴۲ روز پس از کاشت سیب‌زمینی، رطوبت خاک به‌صورت روزانه با استفاده از دستگاه PR_2 اندازه‌گیری و آبیاری براساس میزان تخلیه رطوبتی از عمق توسعه ریشه انجام شد. در هر دو سیستم آبیاری، زمان آبیاری براساس بیشینه تخلیه مجاز رطوبتی (MAD)، برابر ۴۰±۴ درصد آب قابل دسترس خاک (۱۵) صورت گرفت که به‌عبارت دیگر آبیاری کامل و بدون تنش رطوبتی بود. میزان رطوبت حجمی خاک در زمان آبیاری از رابطه (۱) به‌دست آمد (۱۸ و ۱۹):

$$\theta_{irr} = \theta_{Fc} - (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times MAD \qquad [1]$$

که در آن: θ_{irr} = درصد حجمی رطوبت خاک در زمان آبیاری؛ θ_{FC} =درصد حجمی رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه؛ θ_{PWP}= درصد حجمی رطوبت خاک در نقطهٔ پژمردگی دائم؛ MAD = بیشینه درصد تخلیه مجاز رطوبتی.

جدول ۱. تاریخ انجام مدیریت اعمال شده در طرح

روز از سال شمسی	روز پس از کاشت	مدیریت اعمال‌شده
۲۹ تیرماه	۱	کاشت سیب‌زمینی
۸ شهریور	۴۲	شروع پایش روزانه رطوبت با $PR_۲$
۲۸ مهرماه	۹۳	قطع آبیاری
۱۹ آبان‌ماه	۱۱۵	برداشت محصول

براساس پایش روزانه میزان رطوبت خاک با دستگاه $PR_۲$، زمانی که میانگین‌وزنی رطوبت‌خاک در عمق توسعه ریشه به θ_{irr} می‌رسید، آبیاری بعدی انجام می‌شد. برای تعیین عمق آب آبیاری از میانگین وزنی رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه استفاده شد (۱۸):

$$\theta_{V(avg)} = \frac{\sum_{i=۱}^{n}(\theta_{V(i)} \times d_i)}{\sum_{i=۱}^{n} d_i} \qquad [۲]$$

که در آن: $\theta_{v(avg)}$ = متوسط رطوبت حجمی خاک در عمق توسعه ریشه و $\theta_{v(i)}$ = رطوبت حجمی خاک در لایه‌ی iام به ضخامت d_i، کمبود رطوبت خاک (SMD) تا حد FC از رابطه ۳ محاسبه شد (۱۸):

$$SMD = \sum_{i=۱}^{n}(\theta_{FC} - \theta_{BI}) \times d_i \qquad [۳]$$

که در آن: d_i = عمق لایه‌ی iام خاک؛ n = تعداد لایه‌ها در عمق توسعه‌ی ریشه‌ها؛ θ_{BI} = رطوبت حجمی خاک پیش از آبیاری؛ θ_{FC} = رطوبت حجمی خاک در حد گنجایش زراعی؛ i = شماره‌ی لایه‌های خاک در عمق توسعه‌ی ریشه‌ها.

برای تعیین ارتفاع و وزن خشک اندام هوائی در تاریخ ۲۰ مهرماه (۸۶ روز پس از کاشت) نمونه‌گیری بوته انجام شد. ۹۳ روز پس از کاشت با مشاهدهٔ علائم رسیدگی گیاه، آبیاری قطع شد و ۱۱۵ روز پس از کاشت سیب‌زمینی، برداشت محصول انجام شد. در روز برداشت محصول، محدودهٔ پلات‌ها علامت‌گذاری شد. سپس با دستگاه سیب‌زمینی‌کن دو ردیفه کل محصول پلات‌های آزمایشی برداشت شد. سطح هر پلات ۳۱۳ مترمربع بود. با استفاده از رابطه‌ی ۴ میزان بهره‌وری آب برای تولید سیب‌زمینی به‌دست آمد (۱۰).

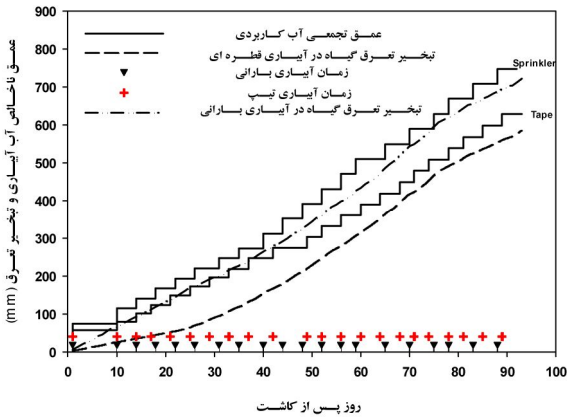
$$WP = \frac{D}{W} \qquad [۴]$$

که درآن: WP = بهره‌وری آب بر حسب کیلوگرم محصول بر مترمکعب آب؛ D = وزن محصول تولید شده (به‌صورت تازه) بر حسب کیلوگرم؛ W = حجم ناخالص آب به‌کار برده شده در مزرعه (با درنظر گرفتن راندمان کاربرد آب در آبیاری) بر حسب مترمکعب.

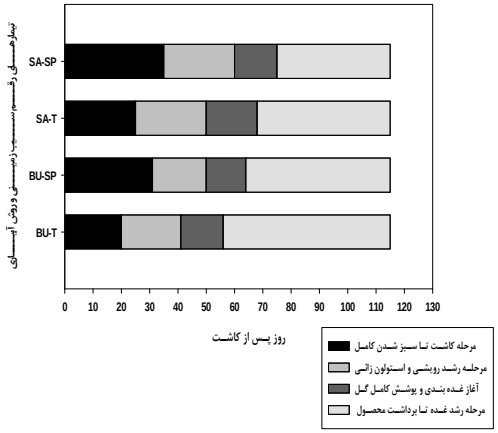
در جدول (۱) اعمال مدیریت در طرح مشخص گردیده است. پس از برداشت محصول و تعیین حجم آب کاربردی برای هر دو سیستم آبیاری، میزان بهره‌وری آب محاسبه و نتایج به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل آماری شد.

نتایج و بحث

در شکل (۱) عمق تجمعی آب کاربردی طی فصل رشد سیب‌زمینی و میزان تبخیر- تعرق گیاه سیب‌زمینی برای آب و هوای شهرضا با استفاده از رابطهٔ فائو- پنمن- مانتیث برای تخمین تبخیر- تعرق سیب‌زمینی در دوره‌ی رشد برای هر دو سیستم آبیاری قطره‌ای- نواری و بارانی نشان داده شده است. ضرائب گیاهی سیب‌زمینی به‌صورت جداگانه برای هر دو روش آبیاری و با استفاده از روابط FAO اصلاح شد. ضریب گیاهی در مرحله ابتدایی رشد (از کاشت تا ۲۵ روز پس از کاشت) برای آبیاری قطره‌ای ۰/۳ و برای آبیاری بارانی ۰/۷۷، در مرحله میانی رشد (از روز ۵۶ تا ۸۵ روز پس از کاشت) برابر ۱/۳۰۵ و



شکل۱. عمق تجمعی آب کاربردی برای دو سیستم آبیاری قطره‌ای و بارانی، تبخیر تعرق تخمینی سیب‌زمینی در دورهٔ رشد و زمان آبیاری در طول فصل رشد



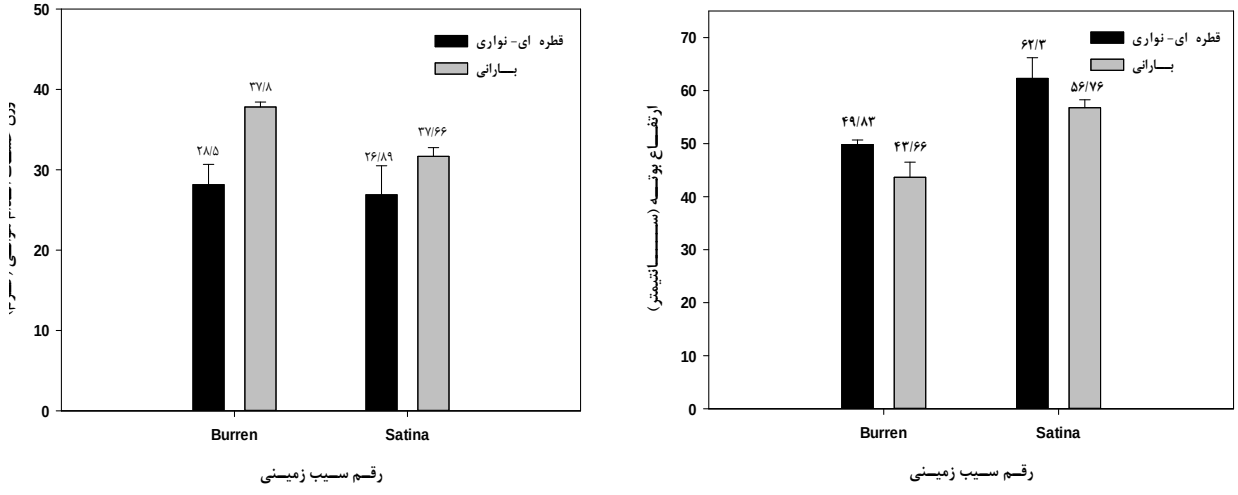
شکل۲. مراحل رشد گیاه سیب‌زمینی (BU بورن و SA ساتینا) در دو سیستم آبیاری بارانی (SP) و قطره‌ای- نواری (T)

در مرحله پایانی (۱۱۵ روز پس از کاشت) برابر ۰/۸۸ درنظر گرفته شد (۱۱ و ۱۵). بر این اساس، میزان تبخیر- تعرق گیاه سیب‌زمینی در طی فصل رشد برای آبیاری قطره‌ای ۵۸۵ میلی‌متر و برای آبیاری بارانی ۶۸۱ میلی‌متر به‌دست آمد. مقدار عمق آب تجمعی ناخالص کاربردی در روش آبیاری قطره‌ای در کل دوره‌ی رشد سیب‌زمینی ۶۲۸ میلی‌متر و در روش آبیاری بارانی ۷۴۷ میلی‌متر به‌دست آمد که در نتیجه حجم آب مصرفی در کل دوره رشد گیاه سیب‌زمینی در سیستم آبیاری قطره‌ای- نواری ۱۶ درصد کمتر از سیستم آبیاری بارانی بود. با توجه به این‌که در طول دوره‌ی رشد این محصول، میزان بارندگی صفر بود، بنابراین فقط میزان آبیاری درنظر گرفته شده است.

در شکل (۲) مراحل مختلف رشد دو رقم سیب‌زمینی بورن و ساتینا، آبیاری شده به دو روش بارانی و قطره‌ای- نواری نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای هر دو رقم بورن و ساتینا مرحله‌ی جوانه‌زنی و سبزشدن گیاه درروش آبیاری بارانی طولانی‌تر و با تأخیر نسبت به آبیاری قطره‌ای- نواری بود. لذا، گیاه در آبیاری قطره‌ای- نواری سریع‌تر وارد مرحله رشد رویشی شده است. همچنین کلیهٔ زمان‌های ورود به هر مرحلهٔ رشد در گیاهان آبیاری شده به روش قطره‌ای- نواری جلوتر از گیاهان آبیاری شده به‌روش بارانی بودند.

در این پژوهش، کل عملیات کاشت سیب‌زمینی در یک روز انجام شد. همچنین در هر دو روش آبیاری، نیاز آبی کامل گیاه (عدم‌وقوع تنش رطوبتی) تأمین گشت. بنابراین علت تفاوت در زمان سبز شدن، غده‌دهی و پوشش کامل گل و سایر مراحل رشد (شکل ۲)، علاوه بر تفاوت در ماهیت دو روش آبیاری قطره‌ای– نواری و بارانی، ممکن است تحت تأثیر خرد اقلیم ایجاد شده و نیز تشکیل سله در خاک سنگین لوم رسی بر اثر آبیاری بارانی باشد. تأثیر خرد اقلیم در دمای کانوپی گیاهان تحت تأثیر نوع سیستم آبیاری قبلاً گزارش شده است (۱۷، ۲۱، ۲۳، ۲۴ و ۲۵)، لذا می‌توان استدلال نمود در پژوهش حاضر نیز این عامل سبب تأخیر در تأمین مقدار درجه روز رشد (GDD) مورد نیاز گیاه برای سبز شدن سیب‌زمینی شده باشد. زیرا مدت زمان استقرار آبپاش در هر موقعیت با توجه به میزان آب مورد نیاز، بین ۲ تا ۳ ساعت بود و آبیاری کل سطح کشت شده به روش بارانی ۹ تا ۱۲ ساعت به طول می‌انجامید، که سبب کاهش دمای سطح کانوپی گیاه و افزایش رطوبت نسبی می‌شد.

ارتفاع بوته در روش آبیاری قطره‌ای- نواری برای هر دو رقم سیب‌زمینی بیشتر از آبیاری بارانی است (شکل ۳- الف). با



شکل ۳. مقایسه میانگین روش‌های آبیاری قطره‌ای- نواری و بارانی و رو رقم سیب‌زمینی بورن و ساتینا بر الف) ارتفاع بوته و ب) وزن خشک اندام هوائی

توجه به عقب بودن مرحله رشد گیاه آبیاری شده به‌روش بارانی، ارتفاع بوته در هر زمان از رشد، کمتر از ارتفاع بوته گیاهان آبیاری شده به روش قطره‌ای بود. با خنک شدن هوا، گیاهان آبیاری شده به‌روش قطره‌ای که فاز رویشی خود را تمام کرده بودند وارد فاز غده‌دهی شدند. همچنین ارتفاع بوته گیاه در هر دو روش آبیاری در رقم ساتینا بیشتر از ارتفاع بوته رقم بورن بود (شکل ۳- الف).

وزن خشک اندام هوائی برای هر دو رقم سیب‌زمینی بورن و ساتینا در روش آبیاری بارانی بیشتر از آبیاری قطره‌ای- نواری می‌باشد (شکل ۳- ب). این نتیجه می‌تواند تحت تأثیر زمان نمونه‌گیری گیاه باشد. زیرا نمونه‌گیری گیاه یک ماه قبل از برداشت محصول انجام شد، در نتیجه بوته‌های آبیاری شده به روش قطره‌ای زرد رنگ، خمیده و متمایل به زمین شده بودند یا به‌عبارتی گیاه به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیده بود و تمام شیره پرورده موجود در اندام هوایی به غده منتقل شده بود. اما در روش آبیاری بارانی به‌دلیل تأخیر در سپری نمودن مراحل فیزیولوژیک هم‌چنان گیاه شاداب بود و هم‌چنان بخش زیادی از شیره پرورده در اندام هوایی وجود داشت. نتایج به‌دست آمده از خصوصیات اندام هوائی گیاه و نیز مشاهده مراحل مختلف رشد در دو روش آبیاری، نشان داد که فصل رشد گیاه در روش آبیاری بارانی طولانی‌تر است. اثر خرد اقلیم بر افزایش فصل رشد گیاه قبلاً گزارش شده است (۱۷ و ۲۴).

همچنین خاکدانه‌های واقع در سطح خاک در اثر برخورد قطرات آب به سطح خاک، مرطوب شده و می‌شکنند و یک لایه گل مرکب از ذرات پراکنده به ضخامت چند میلی‌متر به‌وجود می‌آورند. با توجه به این‌که خاک مزرعه از نوع لوم‌رسی بود، ذرات رس پراکنده شده، در لابه‌لای منافذ بزرگ خاک قرار گرفته و سله ایجاد می‌شود که سله‌ی ایجاد شده جلوی نفوذ آب و هوا به خاک را سد می‌کند (۹). همچنین ضربات حاصل از قطرات آبیاری بارانی سبب فشرده و کوبیده شدن سطح خاک می‌شود (۲۰ و ۲۲) که این سختی خاک در هنگام نمونه‌گیری با آگر به‌منظور کالیبره کردن دستگاه رطوبت‌سنج PR_2 برای خاک مزرعه به‌خوبی قابل مشاهده بود. بنابراین علاوه‌بر خرد اقلیم ناشی از روش آبیاری بارانی، سله‌ی ایجاد شده نیز می‌تواند یکی از دلایل تأخیر در سبز شدن بذر و همچنین رشد رویشی گیاه باشد.

جدول۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و بهره‌وری مصرف آب

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد محصول (تن بر هکتار)	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
روش آبیاری	۱	۲۲۱/۶۷**	۹/۰۹**
خطاء "الف"	۴	۶/۶۸	۰/۱۵
رقم سیب‌زمینی	۱	۱۹/۰۷**	۰/۳۸**
روش آبیاری × رقم سیب‌زمینی	۱	۱/۵۷**	۰/۰۲**
خطاء "ب"	۴	۰/۴	۰/۰۰۸
ضریب تغییرات		۳/۳۸	۳/۲

* و** به‌ترتیب بیان‌گر اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد و ns بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار آماری می‌باشند.

جدول۴. مقایسه میانگین‌های روش آبیاری و رقم سیب‌زمینی بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب

منابع تغییرات	عملکرد محصول (تن بر هکتار)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
روش آبیاری		
قطره‌ای- تیپ	۲۳/۱۸a	۳/۶۹a
بارانی	۱۴/۵۹b	۱/۹۵b
رقم سیب‌زمینی		
بورن	۱۷/۶۳b	۲/۶۴b
ساتینا	۲۰/۱۵a	۳a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

اثر روش آبیاری بر عملکرد محصول و اثر رقم سیب‌زمینی بر عملکرد محصول در واحد سطح معنی‌دار (P <۰/۰۱) شد (جدول ۳). بیشترین میزان عملکرد محصول در آبیاری قطره‌ای- نواری (۲۳/۱۸ تن بر هکتار) و کمترین میزان عملکرد محصول در آبیاری بارانی (۱۴/۵۹ تن بر هکتار) به‌دست آمد (جدول ۴). در روش آبیاری قطره‌ای- نواری با کاربرد ۱۶ درصد آب کمتر، حدود ۵۸ درصد افزایش عملکرد محصول در واحد سطح نسبت به‌روش آبیاری بارانی به‌دست آمد. بیشتر بودن عملکرد محصول با کاربرد آب کمتر، در روش آبیاری قطره‌ای- نواری با یافته‌های سایر پژوهشگران مطابقت دارد (۸، ۱۳، ۲۷ و ۲۸).

بیشترین میزان عملکرد محصول در رقم ساتینا (۲۰/۱۵ تن بر هکتار) و کمترین میزان عملکرد محصول در رقم بورن (۱۷/۶۳ تن بر هکتار) به‌دست آمد (جدول ۴). اثر متقابل سیستم آبیاری و رقم سیب‌زمینی بر عملکرد محصول در واحد سطح معنی‌دار (P<۰/۰۱) شد (جدول ۴). بیشترین میزان عملکرد محصول در آبیاری قطره‌ای- نواری و رقم سیب‌زمینی ساتینا (۲۴/۰۸ تن بر هکتار) و کمترین میزان عملکرد محصول در آبیاری بارانی و رقم سیب‌زمینی بورن (۱۲/۹۷ تن بر هکتار) به‌دست آمد (جدول ۵). عملکرد سیب‌زمینی در سیستم آبیاری قطره‌ای- نواری نسبت به آبیاری بارانی در دو رقم سیب‌زمینی بورن و ساتینا به‌ترتیب ۷۲ و ۴۸ درصد بیشتر بود.

جدول۵. برهمکنش روش آبیاری و رقم سیب‌زمینی بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب

روش آبیاری	رقم سیب‌زمینی	عملکرد محصول (تن بر هکتار)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
قطره‌ای- تیپ	بورن	۲۲/۲۸^{b}	۳/۵۵^{b}
قطره‌ای- تیپ	ساتینا	۲۴/۰۸^{a}	۳/۸۳^{a}
بارانی	بورن	۱۲/۹۷^{d}	۱/۷۳^{d}
بارانی	ساتینا	۱۶/۲^{c}	۲/۱۷^{c}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

تفاوت عملکرد سیب‌زمینی تحت تأثیر نوع سیستم آبیاری با مشاهدات و اندازه‌گیری‌های ارتفاع اندام هوایی توجیه می‌شود. ارتفاع اندام هوائی و سطح پوشش‌گیاهی در گیاه آبیاری شده به‌روش قطره‌ای- نواری بیشتر از گیاه آبیاری شده به‌روش بارانی بود، بنابراین آب کاربردی در این گیاهان صرف تعرق و انجام عمل فتوسنتز شده و به‌دلیل پوشانده شدن زمین توسط تاج پوشش گیاه تبخیر از سطح خاک نیز کمتر بوده است. اما در سیستم آبیاری بارانی به‌دلیل سطح تاج پوشش کمتر و تبخیر آب از سطح خاک به‌دلیل عدم وجود پوشش گیاهی کامل بین پشته‌ها مقدار بیشتری آب در فرایند تبخیر تلف شده است. رقم سیب‌زمینی ساتینا دارای اندام هوائی گسترده‌تر نسبت به رقم بورن بوده لذا توانایی این گیاه برای فتوسنتز و تولید محصول بیشتر بود. برای رقم آگریا در همدان با روش آبیاری قطره‌ای- نواری و آبیاری کامل گیاه عملکرد ۲۸/۹ تن بر هکتار (۱)، برای ارقام آگریا (Agria) و مارفونا (Marfona) در فریدن در آبیاری قطره‌ای- نواری به‌ترتیب ۲۵/۳۳۹ و ۲۵/۳۱۹ تن بر هکتار و در آبیاری بارانی به‌ترتیب ۲۶/۲۸۱ و ۲۵/۱۹۶ تن بر هکتار (۸)، برای رقم دیر رس کارا (Kara) در اقلیم خشک مصر با روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی عملکرد ۳۶/۳۲ تن در هکتار و با روش آبیاری قطره‌ای سطحی عملکرد ۳۲/۱۸ تن بر هکتار (۱۶)، برای رقم سیب‌زمینی روست (Russet Burbank) در آلاکووا- کونیا برای آبیاری قطره‌ای- نواری ۴۶/۴۷ تن بر هکتار و برای آبیاری بارانی ۴۵/۰۵ تن بر هکتار (۲۷) گزارش شده است. با توجه به این‌که نوع واریته (۲)، نوع سیستم آبیاری (۱، ۱۶، ۲۷ و ۲۸) و شرایط اقلیمی (۲۱ و ۲۳) بر میزان عملکرد تأثیر دارد، تفاوت میزان عملکرد در این تحقیق در مقایسه با سایر پژوهشگران قابل توجیه است.

اثر روش آبیاری و اثر رقم سیب‌زمینی بر بهره‌وری مصرف آب معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین میزان بهره‌وری مصرف آب در آبیاری قطره‌ای- تیپ برابر ۳/۶۹ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین میزان بهره‌وری مصرف آب در آبیاری بارانی برابر ۱/۹۵ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد (جدول ۴). بیشترین میزان بهره‌وری مصرف آب در رقم ساتینا برابر ۳ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین میزان بهره‌وری مصرف آب در رقم بورن برابر ۲/۶۴ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد (جدول ۴).

اثر متقابل روش آبیاری و رقم سیب‌زمینی بر بهره‌وری آب معنی‌دار ($P<0/01$) شد (جدول ۳). بیشترین میزان بهره‌وری آب در آبیاری قطره‌ای- تیپ و رقم سیب‌زمینی ساتینا برابر۳/۸۳ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین میزان بهره‌وری آب در آبیاری بارانی و رقم سیب‌زمینی بورن برابر ۱/۷۳ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد (جدول ۵). بهره‌وری آب در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری بارانی برای دو رقم سیب‌زمینی بورن و ساتینا به‌ترتیب ۱۰۰ و ۷۶ درصد بیشتر بود. همچنین عملکرد و بهره‌وری آب رقم بورن نسبت به ساتینا صرف‌نظر از نوع روش به‌ترتیب ۱۳ و ۱۲ درصد کمتر به‌دست آمد. سایر پژوهشگران نیز میزان بهره‌وری آب بالاتر در روش آبیاری قطره‌ای را گزارش کرده‌اند (۱، ۸ و ۲۸).

نتیجه‌گیری

به‌طور متوسط عملکرد محصول سیب‌زمینی دو رقم بورن و ساتینا در روش آبیاری قطره‌ای- نواری ۳۷ درصد بیشتر از عملکرد محصول در روش آبیاری بارانی در خاک با بافت لوم رسی بود که تفاوت عملکرد در دو روش آبیاری می‌تواند، به‌دلیل تفاوت ماهیت نوع جریان آب در خاک در دو روش آبیاری و اثر خرد اقلیمی ناشی از روش آبیاری بارانی باشد. مراحل رشد فیزیولوژیک سیب‌زمینی تحت تأثیر نوع سیستم آبیاری بود، به‌طوری که در سیستم آبیاری قطره‌ای دورهٔ رشد کوتاه‌تر بود. بهره‌وری آب برای تولید سیب‌زمینی در روش آبیاری قطره‌ای- نواری ۴۷ درصد بیشتر از آبیاری بارانی بود. به‌طور متوسط عملکرد سیب‌زمینی رقم بورن ۱۳ درصد کمتر از رقم ساتینا به‌دست آمد. به‌طورکلی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب سیب‌زمینی تحت تأثیر نوع سیستم آبیاری و نوع واریته بودند و سیستم آبیاری قطره‌ای- نواری نه تنها موجب کاهش تلفات آب و صرفه جویی در مصرف آب می شوند، باعث تسریع در طی شدن مراحل رشد رویشی و زایشی گیاه سیب‌زمینی می‌شود.

سپاسگزاری

در اجرای این‌پژوهش مدیریت مجتمع کشت و صنعت مولائی و مهندس خشایار مولائی و همچنین مهندس محمدجواد زارعیان ما را یاری دادند که بدین‌وسیله صمیمانه از آنها تشکر و قدردانی می‌نمایم.

منابع مورد استفاده

۱. اخوان، س. ۱۳۸۴. بررسی روش‌های آبیاری قطره‌ای (Tape) و شیاری از لحاظ عملکرد و کارایی مصرف آب در زراعت سیب‌زمینی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲. اسکندری، ع.، ح. ر. خزائی، ا. نظامی و م. کافی. ۱۳۹۰. مطالعه تأثیر رژیم آبیاری بر عملکرد برخی از خصوصیات کیفی سه رقم سیب‌زمینی (*Solanum tubersum* L.). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۵(۲): ۲۴۷-۲۴۰.

۳. بی‌نام. ۱۳۸۸. خلاصه‌ی سیمای آب و هوا، اقلیم و منابع آب استان اصفهان. اداره‌ی کل مطالعات و بررسی‌های اقتصادی، اصفهان.

۴. پوریای‌ولی، م. ۱۳۸۸. *سیب‌زمینی و تولید خارج از فصل*. چاپ اول، فصل اول و چهارم، نشر نصوح، اصفهان.

۵. خواجه‌پور، م. ۱۳۸۵. *گیاهان صنعتی*. چاپ دوم، فصل سیزدهم، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

٦. رضایی، ع. و ا. سلطانی. ۱۳۸۰. *زراعت سیب‌زمینی (ترجمه)*. چاپ سوم، فصل اول، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد.

۷. روشندل، س.، ع. طاهری، ق. بابایی و ع. مرشدی. ۱۳۸۵. *مدیریت سلامت سیب‌زمینی (ترجمه)*. چاپ اول، فصل هشتم، انتشارات فرارنگ. تهران.

۸. سلیمانی‌پور، ا، ا. باقری و ا. واثقی. ۱۳۹۰. ارزیابی اقتصادی روش‌های آبیاری و تأثیر آن بر عملکرد ارقام سیب‌زمینی در استان اصفهان. تحقیقات اقتصاد کشاورزی ۳(۱): ۱۶۴-۱۴۳.

۹. علیزاده، ا. ۱۳۸۳. *فیزیک خاک*. چاپ اول، فصل سوم ، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد.

۱۰. فرشی، ع. ا.، ج. خیرابی، ح. سیادت، م. میرلطیفی، ص. دربندی، ع. سلامت، م. ر. انتصاری و م. ح. سادات‌میرئی. ۱۳۸۲. *مدیریت آب آبیاری در مزرعه*. چاپ اول، فصل چهارم، انتشارات کمیته‌ی ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران.

۱۱. مبلی، ح.، ح. موسی‌زاده و س. جوان‌بخت. ۱۳۸۸. *فناوری تولید سیب‌زمینی*. چاپ اول، فصل اول و چهارم، مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

۱۲. موسوی، ف. و س. اخوان. ۱۳۸٦. *اصول آبیاری*. چاپ اول، فصل هشتم، انتشارات کنکاش، اصفهان.

۱۳. میرزائی، م. ر، ع. قدمی فیروزآبادی و م. عبداللهیان نوقابی. ۱۳۹۰. تأثیر دو روش آبیاری شیاری و قطره‌ای- نواری و سطوح مختلف نیتروژن و فسفر بر کمیت و کیفیت بذر چغندرقند. مجله علوم گیاهان زراعی ایران ۴۲(۲): ۳۲۸ -۳۱۹.

۱۴. وزارت جهاد کشاورزی. ۱۳۹۲. آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۰. چاپ اول. جلد دوم. نشر وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، تهران.

15. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy.
16. Badr, M. A., S. D. Abou Hussein, W. A. El-Tohamy and N. Grunda. 2010. Efficiency of subsurface drip irrigation for potato production under different dry stress conditions. Gesunde Pflanz 62: 63-70.
17. Cavero, J., E. T. Medina, M. Puig and A. Martinez. 2009. Sprinkler irrigation changes maize canopy microclimate and crop water status, transpiration and temperature. Agron. J. 101(4): 854-864.
18. Gheysari, M., S. M. Mirlatifi, M. Bannayan, M. Homaee and G. Hoogenboom. 2009. Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage. Agric. Water Manage. 96: 809-821.
19. Heermann, D. F., K. H. Solomon. 2007. Chapter 5. Efficiency and uniformity. *In:* Hoffman, G. J., R. G. Evans, M. E. Jensen, D. L. Martin and R. L. Elliott. (Ed.), Design and operation of farm irrigation system. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, MI.
20. Lehrsch, G. A. and D. C. Kincaid. 2010. Sprinkler irrigation effects on infiltration and near surface unsaturated hydraulic conductivity. J. Am. Soc. of Agric. and Biolo. Engi. 53(2):397-404.
21. Li, J. 1998. Modeling crop yield as affected by uniformity irrigation system. Agric. Water Manage. 38: 135-146.
22. Li, D. C., B. Velde and Zhang, T. L. 2004. Observation of pores and aggregates during aggregation in some clay-rich agricultural soils as seen in 2D image analysis. Gederma 118: 191-207.
23. Liu, H. and Y. Kang. 2006. Regulating Field Microclimate using Sprinkler Misting under Hot-dry Windy conditions. Biosystems Eng. 95(3): 349-358.
24. Liu, H. and Y. Kang. 2006. Effect of sprinkler irrigation on microclimate in winter wheat field in the North China Plain. Agric. Water Manage. 17 p.
25. Olanya, O. M., G. C. Starr, C. W. Honeycutt, T. S. Griffin and D. H. Lambert. 2007. Microclimate and potential for late blight development in irrigated potato. Crop Prot. 26: 1412-1421.
26. Ragab, R. A. 1983. The effect of sprinkler intensity and energy of falling drops on soil surface sealing. Soil Sci. 136(2): 117-123.
27. Shalhevet, J., D. Shimshi and T. Meir. 1983. Potato irrigation requirement in hot climate using sprinkler and drip methods. J.Agronomy 75: 13-16.
28. Yavuz, D., M. Kara and S. Suheri. 2012. Comparison of different irrigation methods in terms of water use and yield in potato farming. J. of Selcuk Univ. Natur. and Applied Sci. 1(2): 1-12.