نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۷، خرداد - تیر ۱۴۰۲، ص. ۳۸۵-۳۷۵

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.2, Vol. 17, Jun.-Jul. 2023, p. 375-385

مقاله علمی-پژوهشی

بهبود بهره‌وری آب و انرژی با کاربرد سامانه هوشمند آبیاری بارانی توتستان

صادق عموئی بیجائیه[۱]، محمدرضا خالدیان[۲*]، رضا صورتی زنجانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۱

چکیده

برگ توت تنها منبع تغذیه کرم ابریشم بوده و کیفیت و کمیت برگ توت می‌تواند به‌طور مستقیم روی ابریشم تولیدی تأثیرگذار باشد. پژوهشی از خرداد تا شهریور سال ۱۴۰۰ به‌منظور بررسی اثر روش‌های آبیاری سطحی و بارانی در مقایسه با دیم بر کمیت و کیفیت برگ توت در مرکز تحقیقات ابریشم کشور واقع در پسیخان رشت انجام شد. چهار تیمار آبیاری شامل: بارانی کلاسیک ثابت (I2)، بارانی کلاسیک ثابت هوشمند (I3) و سطحی(I4) در کنار کشت دیم (I1) مقایسه شدند. بالاترین تعداد برگ روی شاخه، وزن برگ تر، مقدار رطوبت برگ و نسبت تعداد برگ به طول شاخه به‌ترتیب به مقدار ۸۷/۸ عدد، ۸۴/۶ گرم، ۴۵/۶۷ درصد و ۰/۴۶۱ در آبیاری بارانی کلاسیک ثابت به‌دست آمد. در مورد عملکرد درخت و عملکرد در هکتار نیز آبیاری بارانی کلاسیک ثابت بالاتر از دیگر تیمارها به‌ترتیب به‌مقدار ۲۸۶۶/۶۷ گرم و 17200 کیلوگرم در هکتار بود. از لحاظ آماری، تیمار آبیاری بارانی هوشمند از نظر اجزای عملکردی گیاه، تفاوت معنی‌داری با بارانی کلاسیک ثابت نداشت. مقدار آب مصرف شده در تیمار بارانی هوشمند کم‌تر از بارانی کلاسیک ثابت بوده و به همین دلیل بهره‌وری آب و بهره‌وری انرژی بالاتری به‌ترتیب به مقدار ۱۸/۵ کیلوگرم بر مترمکعب و ۱۱۳/۶ کیلوگرم بر کیلووات در ساعت به‌دست آمد. بیشترین مقدار درآمد به ازای فروش به‌صورت پیله تر و نخ ابریشم در تیمار I2 به‌ترتیب با مقادیر ۷۵۲،۵۰۰،۰۰۰ و ۲،۵۸۰،۰۰۰،۰۰۰ریال در هکتار بود. درآمد به ازای واحد آب مصرفی تیمار I3 در کل نسبت به دیگر تیمارها برتری داشت. نتایج نشان داد که آبیاری توتستان مانع وارد شدن تنش آبی به گیاه شده و عملکرد را افزایش می‌دهد. آبیاری بارانی کلاسیک ثابت بالاترین تأثیر مثبت را بر کمیت و کیفیت برگ توت داشته و استفاده از سامانه آبیاری بارانی هوشمند، بهره‌وری آب را افزایش و در کاهش مصرف آب نقش به‌سزایی داشت.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری، توت، رشت

مقدمه

توت یک گونه درختی چوبی با رشد سریع و برگ‌ریز از خانواده Moraceae با طبیعت چند ساله است که منشأ آن تپه‌های کوهپایه مالایی هند و چین است (Yuan and Zhao, 2017; Rohela et al., 2020). توت در طول قرن‌ها در طب سنتی چین به‌عنوان یک داروی متداول برای درمان انواع بیماری‌ها از جمله دیابت، سرطان و همچنین برای تقویت سیستم ایمنی بدن از طریق فعالیت آنتی‌اکسیدانی قوی مورد استفاده قرار گرفته است (Butt et al., 2008). امروزه، از هر بخش گیاه توت در تهیه محصولات صنایع مختلف مانند دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی استفاده می‌شود، که این موضوع باعث شده تا این گیاه به‌صورت صنعتی مورد بهره‌برداری قرار گیرد (Yang et al., 2010; Zhang et al., 2018). یکی از مهم‌ترین دلایل استفاده و بهره‌مندی از درخت توت این است که برگ توت منبع تغذیه اصلی کرم ابریشم بوده و از زمان‌های قدیم برای انجام فعالیت‌های نوغانداری در سراسر جهان استفاده می‌شود (Datta, 2002; Shukla et al., 2018). از این رو، این گیاه از نظر استفاده از آن در درآمدزایی و توانمندسازی جوامع روستایی از طریق پرورش کرم ابریشم (Srivastava et al., 2006; Shukla et al., 2016) و سایر فعالیت‌ها (Tewari et al., 2006) مقرون به صرفه‌ترین است. ایچی‌نویسه، کن‌موچی و شین‌ایچی‌نویسه از رقم‌های اصلاح شده ژاپنی هستند که برای پرورش ابریشم بسیار مورد استفاده قرار گرفته و دارای اهمیت می‌باشند. در اکثر توتستان‌های گیلان این

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلا، گیلان، ایران
۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان و گروه پژوهشی مهندسی آب و محیط زیست پژوهشکده حوزه آبی دریای خزر، رشت، گیلان، ایران
۳- استادیار مرکز تحقیقات ابریشم کشور، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: khaledian@guilan.ac.ir
DOR: 20.1001.1.20087942.1402.17.2.14.0

رقم‌ها در گذشته کشت شده و برای پرورش کرم ابریشم مورد استفاده قرار می‌گیرند (اعتباری، ۱۳۶۶). کن‌موچی یکی از رقم‌های گونه‌ی بومبیسیس[1] می‌باشد. در این واریته تعداد شاخه‌ها زیاد بوده و رنگ شاخسار قهوه‌ای تیره می‌باشد که ضخامت معمولی دارند. می‌توان از برگ این نوع توت برای تغذیه سنین مختلف لارو استفاده نمود (صورتی زنجانی و رکنی، ۱۳۹۶). کشور ما در تولید ابریشم و صنعت نوغان‌داری سابقه طولانی داشته است. در سال ۱۳۸۰ حدود ۶۶۰۰۰ خانوار نوغان‌دار در ایران مشغول به تولید ابریشم بودند که این عدد در سال ۱۳۹۷ به 17000 خانوار کاهش یافت. طی این مدت ذکر شده تعداد خانوارهای نوغاندار در استان گیلان نیز از ۴۷۰۰۰ به ۷۰۰۰ کاهش پیدا نموده است. درصد خانوارهای نوغاندار گیلان در سال ۱۳۸۰ حدود ۷۰ درصد خانوارهای نوغاندار کشور بوده که این آمار در سال ۱۳۹۷ به ۴۲ درصد و همچنین میزان تولید پیله استان گیلان نیز طی این سال‌ها از ۶۸ درصد به ۴۱ درصد کاهش یافته است (علی‌پناه و قراری، ۱۳۹۹). برای بالابردن میزان کمیت و کیفیت ابریشم، باید برگ‌های مناسب و خوبی تولید شود که روش و مقدار آبیاری می‌تواند بر این موضوع بسیار تأثیرگذار باشد.

مشکل اصلی در راه افزایش تولید محصولات کشاورزی در کشور، محدودیت منابع آب می‌باشد. در ایران بیش از ۹۰ درصد از منابع آب در بخش کشاورزی به مصرف می‌رسد و هم‌چون دیگر کشورهای واقع درکمربند خشک کره‌زمین، با مشکل کم‌آبی مواجه می‌باشد. از این رو انتخاب شیوه صحیح و مطلوب آبیاری و افزایش بازده آن با اعمال مدیریت صحیح از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (حقیقتی، ۱۳۹۴).

تأمین آب مورد نیاز و آبیاری بهینه و مطلوب محصولات کشاورزی، یکی از بزرگ‌ترین مشکلات کشاورزی می‌باشد. در کشاورزی هوشمند، هدف اصلی ساخت سامانه‌های هوشمند استفاده و به‌کارگیری حسگرها، دوربین‌ها، جریان‌سنج‌ها، محرک‌ها و ربات‌ها برای اندازه‌گیری متغیرهایی مانند رطوبت خاک، دما، رطوبت، تصاویری از گیاهان و سایر شرایط آب و هوایی می‌باشد. استفاده از سامانه‌های هوشمند آبیاری به‌منظور افزایش فرآیند نظارت و کنترل آبیاری و نظارت بر واکنش‌های گیاه از نظر رشد و تنش آبی مفید خواهد بود (Isik et al., 2017; Abioye et al., 2020). آبیاری هوشمند روشی مبتنی بر دانش و فناوری می‌باشد که امروزه به‌دلیل داشتن مزایایی هم‌چون قابلیت کنترل خودکار (در برخی سامانه‌ها) و امکان بهینه‌سازی عملکرد محصول و بالابردن کارآیی مصرف آب آبیاری[2]، نسبت به آبیاری‌های سنتی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد (Irrigation Association, 2011). هدف از انجام این مطالعه، مقایسه اثر کاربرد سامانه آبیاری بارانی هوشمند بر افزایش بهره‌وری و عملکرد برگ تازه توت است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در توتستان مرکز تحقیقات ابریشم کشور، واقع در منطقه پسیخان شهرستان رشت (استان گیلان) با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۹- از سطح دریای آزاد اجرا شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول 1 ارائه شده‌اند.

مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک با استفاده از روش صحرایی سیلندر ۱/۴۴ گرم بر سانتی مترمکعب به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک از روش سیلندر استفاده شد.

برای محاسبه میزان بارش مؤثر از روش بارندگی قابل اطمینان استفاده شده است. این روش بر اساس یک فرمول تجربی می‌باشد که سازمان خواربار جهانی (FAO) برای اقلیم‌های خشک و مرطوب ارائه نموده است (کولائیان و غلامی سفیدکوهی، ۱۳۹۱). روابط آن عبارتنداز:

$$If\ P \le 70\ mm \rightarrow P_{eff} = 0.6P - 10$$
$$If\ P > 70\ mm \rightarrow P_{eff} = 0.8P - 24 \qquad (۱)$$

P_{eff}: بارش مؤثر هر ماه (mm)

P: بارش کل هر ماه (mm)

برای محاسبه نیاز آبی توت، داده‌های ماهانه ایستگاه هواشناسی فرودگاه رشت (نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی) از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۹ به‌صورت میانگین ماهانه شامل میانگین حداقل و حداکثر دما برحسب درجه سلسیوس، مجموع بارندگی برحسب میلی‌متر، مجموع ساعات آفتابی برحسب ساعت، میانگین سرعت باد برحسب متر بر ثانیه و میانگین رطوبت نسبی برحسب درصد جمع‌آوری شد. با استفاده از نرم‌افزار کراپ‌وات مقادیر ETo تخمین زده شد. سپس با استفاده از داده‌های نشریه فائو ۵۶ (Allen et al., 1998)، طول مراحل رشد و میانگین ضریب گیاهی توت تعیین شد. با استفاده از این اطلاعات، منحنی تغییرات ضریب گیاهی در طول فصل رشد رسم شد. سپس تبخیر-تعرق گیاه توت درطول فصل رشد به‌دست آمد (جدول ۲). با استفاده از مقدار تبخیر-تعرق گیاه توت، نیاز آبی محاسبه شد (علیزاده، ۱۳۸۵).

1- Morus bombycis L.

2- WUE

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (صورتی زنجانی، ۱۳۹۹)

بافت خاک	CEC (cmol/kg)	pH	پتاسیم (٪)	فسفر (٪)	کلسیم (٪)	کربن (٪)	نیتروژن (٪)
شنی لومی	۴۰/۱۰	۷/۳	۰/۶	۰/۱۸	۰/۵۱	۱/۲۳	۱/۱

جدول ۲- مقادیر ETo و ETc به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT

ماههای فصل آبیاری	ET_0 (میلی‌متر بر روز)	ET_C (میلی‌متر بر روز)
خرداد	۳/۵۳	۳/۷۱
تیر	۳/۷۱	۳/۸۹
مرداد	۳/۳۸	۳/۵۵
شهریور	۲/۷۶	۲/۹

این آزمایش در سه قطعه زمین که مساحت هرکدام از آن‌ها حدود ۵۰۰۰ مترمربع (نیم هکتار) با طول ۱۰۰ متر و عرض ۵۰ متر، انجام گرفت. فاصله درخت‌های توت از یک‌دیگر روی خطوط تقریباً ۷۰ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها ۱۵۰ تا ۱۷۰سانتی‌متر بود. از هر تیمار، پنج درخت توت به عنوان تکرار در نظر گرفته شد. درخت‌های توت موجود در زمین‌های انتخابی این آزمایش، گونه‌ی اصلاح شده ژاپنی، به‌نام کن‌موچی[1] از گونه بومبیسیس[2] بودند.

این آزمایش به‌منظور بررسی اثر روش‌های آبیاری سطحی و بارانی در مقایسه با دیم بر کمیت و کیفیت برگ توت و عملکرد پیله کرم ابریشم در توتستان‌های مرکز تحقیقات کرم ابریشم ایران در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تیمار آبیاری و پنج تکرار (پنج درخت توت) انجام شد. تیمارها شامل آبیاری بارانی کلاسیک ثابت، آبیاری بارانی کلاسیک ثابت هوشمند، آبیاری سطحی (جویچه‌ای) و بدون آبیاری(دیم) بودند (جدول ۳).

جدول ۳- نامگذاری تیمارهای طرح

نام روش	تیمار آبیاری
I1	بدون آبیاری (دیم، به‌عنوان شاهد)
I2	آبیاری بارانی مرسوم
I3	آبیاری بارانی هوشمند
I4	آبیاری سطحی

منبع تأمین آب مورد استفاده این آزمایش از شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود بود. آبیاری توتستان از اوایل خردادماه تا اواخر شهریور سال ۱۴۰۰ انجام شد. آبیاری‌ها در اکثر مواقع صبح انجام می‌شد. گاهی اوقات به‌دلیل فراهم نبودن شرایط آبیاری، آبیاری قبل از شب صورت می‌گرفت. راندمان برای آبیاری‌های بارانی ۷۵ درصد و برای آبیاری سطحی ۵۰ درصد درنظر گرفته شد. فاصله بین آبیاری‌های بارانی مرسوم سه روز و آبیاری سطحی هر ۱۰ روز یک‌بار در نظر گرفته شد. در بخش آبیاری بارانی هوشمند، زمان‌بندی خاصی برای آبیاری صورت نگرفت و زمان آن متناسب با مقدار رطوبت خاک توسط حسگر تعیین می‌شد. برای اعمال آبیاری هوشمند، یک پکیج الکترونیکی بر پایه حسگر رطوبت خاک، طراحی و ساخته شد. این سامانه هوشمند رطوبت خاک را به‌طور مداوم بررسی کرده و مقدار آن را به ایستگاه پمپاژ منتقل می‌نمود. تخلیه مجاز رطوبتی ۵۰ درصد در نظر گرفته شد (Allen et al., 1998). با داشتن تبخیر و تعرق گیاهی و بارندگی موثر، نیاز خالص آبیاری محاسبه شده است سپس با در نظر گرفتن راندمان آبیاری بارانی معادل ۷۵ درصد و راندمان آبیاری سطحی معادل۵۰ درصد، عمق ناخالص آبیاری محاسبه شده است. با در نظر گرفتن مساحت اعمال آبیاری، حجم آب آبیاری تعیین شده است. در زمان‌های کمبود رطوبت خاک که توسط حسگر سنجیده می‌شد، آبیاری صورت می‌گرفت. این سامانه هوشمند در دو بخش مجزا شامل بخش مرکزی و بخش حسگر طراحی شد. برق این سامانه با استفاده از آداپتور ۱۲ ولت تأمین می‌شد. امکان استفاده از باتری برای مواقع اضطراری نیز در نظر گرفته شد.

پس از اتمام فصل آبیاری، از هر تیمار آبیاری ۵ درخت توت به‌طور تصادفی انتخاب و سپس شاخه‌ها با قیچی‌های مخصوص از انتهائی‌ترین نقطه ممکن به‌صورت دستی بریده شد. از هر درخت تعداد برگ روی هر شاخه، وزن برگ، طول شاخه و وزن شاخه محاسبه شد.

مقدار عملکرد گیاه توت برای هر تیمار آبیاری با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$Yp = \frac{Y}{A} \qquad (۲)$$

در این رابطه، Yp: عملکرد محصول برحسب کیلوگرم بر هکتار، Y: محصول بر حسب کیلوگرم و A: مساحت برحسب هکتار هست.

بهره‌وری آب آبیاری، بهره‌وری آبیاری + بارندگی و همچنین بهره‌وری انرژی (Kitani *et al.*, 1999)، مطابق روابط زیر محاسبه شد (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲):

$$WP = \frac{Y}{I} \qquad (۳)$$

در این رابطه، WP: بهره‌وری آب برحسب (Kg/m^3)، Y:

1- Kenmochi
2- M.bombycis

عملکرد محصول (Kg/ha) و I: آب آبیاری (m³/ha) هست.

$$WP\ i+r = \frac{Y}{I+r} \quad (۴)$$

در این رابطه، WP: بهره‌وری آب آبیاری + بارندگی برحسب (Kg/m³)، Y: عملکرد محصول (Kg/ha) و I: آب آبیاری (m³/ha)، r: بارندگی (m³/ha) هست.

$$EP = \frac{Y}{E} \quad (۵)$$

در این رابطه، EP: بهره‌وری انرژی برحسب (Kg/Kw.hr)، Y: عملکرد محصول (Kg/ha) و E: انرژی مصرفی (Kw.hr) هست. برای تعیین انرژی مصرفی، از کاتالوگ پمپ استفاده شده است.

درآمد به ازای فروش محصول (درآمد ناخالص) برای شاخ و برگ گیاه توت، پیله تر و همچنین ابریشم انجام شد. قیمت‌های سال 1400 مربوط به هر کدام، از مرکز تحقیقات ابریشم کشور دریافت و محاسبات انجام شد. پس از محاسبه درآمد ناخالص، آن را تقسیم بر مقدار آب آبیاری مصرف شده نموده و به‌این صورت درآمد به ازای واحد حجم آب مصرف شده (BPD)[1] به‌دست آمد.

$$BPD = \frac{P}{I} \quad (۶)$$

در این رابطه، BPD: درآمد به ازای واحد حجم آب مصرف شده (ریال بر مترمکعب)، P: درآمد حاصل از فروش محصول (ریال در هکتار) و I: آب آبیاری مصرف شده (m³/ha) هست.

آنالیز شیمیایی برگ توت

پس از اندازه‌گیری پارامترهای گیاهی، برگ‌ها خشک شده و سپس برای به‌دست آوردن مقدار عناصر درشت‌مغذی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و ریزمغذی (آهن، روی و منیزیم) موجود در برگ، نمونه‌ها از هر تیمار به‌طور تصادفی انتخاب شده و تحویل آزمایشگاه مرکزی دانشگاه گیلان شد. اندازه گیری نیتروژن موجود در برگ خشک توت با استفاده از روش کجلدال، اندازه گیری فسفر با استفاده از روش طیف‌سنجی جذب اتمی، اندازه‌گیری پتاسیم با استفاده از روش بیناب‌سنج نشر شعله‌ای (فلیم فتومتر) انجام شد. اندازه‌گیری عناصر ریزمغذی موجود در برگ خشک توت نیز با استفاده از روش جذب اتمی و با استفاده از دستگاه Agilent AA240 انجام شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نسخه ۱۹ برنامه SPSS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با دو روش LSD و دانکن انجام شد. برای رسم نمودارها از برنامه Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

مقدار آب مصرف شده

در جدول ۴ تعداد دفعات آبیاری و حجم کل آب آبیاری در طول مدت آزمایش ارائه شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، مقدار آب مصرف شده در آبیاری بارانی هوشمند کمتر از آبیاری سطحی و آبیاری بارانی مرسوم بوده است. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با نتایج دورسان و سمیح (Dursun and Semih, 2011) در رابطه با مصرف شدن آب کمتر در تیمار آبیاری بارانی هوشمند نسبت به تیمار آبیاری بارانی مرسوم مطابقت دارد.

جدول ٤- تعداد دفعات آبیاری و مقدار حجم آب مصرف شده در طول فصل آبیاری برای هر تیمار

تیمارهای آبیاری	تعداد آبیاری	حجم کل آب آبیاری (m^3/ha)
آبیاری بارانی مرسوم I2	۲۶	۱۵۱۵
آبیاری بارانی هوشمند I3	۱۷	۸۵۸
آبیاری سطحی I4	۱۱	۲۳۹۰

تعداد برگ روی شاخه

طبق نتایج تجزیه واریانس مربوط به تعداد برگ تشکیل شده روی شاخه، اثر روش‌های آبیاری معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که بین تیمارهای آبیاری I3 و I2 در مقابل I4 و I1 تفاوت معنی‌داری وجود دارد، ولی بین تیمارهای آبیاری I3 و I2 تفاوت معنی‌دار نبوده است (جدول ۶). بیشترین تعداد برگ در تیمار آبیاری I2 به مقدار ۸۷/۸۷ و پس از آن برای I3 با ۸۰/۸۹ به‌دست آمد. کانته (Kanta, 2015) طی پژوهشی روی آبیاری توت به این نتیجه رسید که تعداد برگ در آبیاری بارانی بیشتر از دیگر روش‌ها بوده که با نتیجه‌ی پژوهش حاضر مطابقت دارد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین‌ها می‌توان نتیجه گرفت که انجام آبیاری در توتستان باعث افزایش تعداد برگ و به دنبال آن زیادشدن بازدهی توتستان می‌شود که با نتایج بیژن نیا و همکاران (۱۳۸۵) مطابقت دارد. در آبیاری بارانی برگ‌های بیشتری نسبت به آبیاری سطحی روی شاخسار توت تشکیل می‌شود. این موضوع می‌تواند به‌دلیل ایجاد فضای مرطوب در آبیاری بارانی در اطراف گیاه باشد. نتایج مجدسلیمی و همکاران (۱۳۸۹) روی چای نشان داد که آبیاری بارانی با دور کوتاه از طرفی آب مورد نیاز گیاه را تامین می‌کند و از سوی دیگر در زمان‌های گرم و خشک سال، مانع سوختگی برگ‌ها شده و دمای هوا را کاهش داده تا برگ بتواند شرایط را تحمل نماید که با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش مطابقت دارد.

1- Benefit Per Drop

وزن برگ تر

مقایسه میانگین‌ها از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد نشان داد که روش آبیاری بر وزن برگ تر تاثیرگذار بوده و بین تیمارهای آبیاری I3 و I2 در مقابل I4 و I1 تفاوت معنی‌داری وجود داشته، ولی بین آبیاری I3 و I2 تفاوت معنی‌دار نبوده است. با توجه به مقایسه میانگین داده‌های مربوط به وزن برگ تر، بیشترین وزن برگ تر در آبیاری I2 به مقدار ۸۴/۶ گرم و پس از آن برای I3 با 82/19 گرم به‌دست آمد (جدول ۵ و ۶). با توجه به نتایج به‌دست آمده، به‌طور کلی وزن برگ تر در تیمارهای آبیاری بارانی بیشتر از حالت آبیاری سطحی می‌باشد که با نتیجه کانته (Kanta, 2015) مطابقت دارد.

وزن برگ خشک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر روش‌های آبیاری بر وزن برگ خشک معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵ درصد نشان داد که فقط تفاوت معنی‌دار بین تمام تیمارهای آبیاری درمقابل شرایط دیم (شاهد) وجود داشته است (جدول ۶). بین هیچ‌کدام از روش‌های آبیاری، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین مقدار وزن برگ خشک ثبت شده مربوط به تیمار I3 با مقدار 44/718 گرم بوده است.

مقدار رطوبت برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر روش‌های آبیاری بر مقدار رطوبت برگ معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵ درصد نشان داد که بین تیمارهای آبیاری I3 و I2 در مقابل I4 و I1 تفاوت معنی‌دار بوده، ولی بین آبیاری I3 و I2 تفاوت معنی‌دار نبوده است (جدول ۶). با توجه به مقایسه میانگین داده‌های مربوط به مقدار رطوبت برگ، بیشترین مقدار در آبیاری I2 به مقدار ۴۸/۶۷۵ درصد و پس از آن برای I3 با ۴۵/۷۲۶ درصد به‌دست آمد.

طول شاخه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر روش‌های آبیاری بر طول شاخه معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد نشان داد که بین تیمارهای آبیاری I4 و I3 هیچ تفاوت معنی‌داری وجود نداشته است. بلندترین طول شاخه مربوط به تیمارهای آبیاری I4 و I3 به ترتیب با طول ۲۰۲/۷۳۰ و 194/130 سانتی‌متر می‌باشد. کم‌ترین طول شاخه در تیمار I1 به مقدار ۱۷۰/۷سانتی‌متر بوده است. کانته (Kanta, 2015) طی پژوهشی روی آبیاری توت به این نتیجه رسید که آبیاری بارانی طول شاخه‌های بلندتری را نسبت به دیگر روش‌های آبیاری داشته است که با نتیجه پژوهش حاضر مطابقت ندارد.

وزن شاخه

مقایسه میانگین‌ها از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد نشان داد که روش آبیاری بر وزن شاخه تاثیرگذار بوده و اختلاف معنی‌داری وجود داشته است (جدول ۵ و ۶). بیشترین وزن شاخه در تیمار آبیاری I4 به مقدار 293/6 گرم و کمترین وزن مربوط به تیمار آبیاری I1 با مقدار ۱۸۹/۸ گرم می‌باشد.

نسبت تعداد برگ به طول شاخه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر روش‌های آبیاری بر نسبت تعداد برگ به طول شاخه معنی‌دار بود (جدول ۵). با توجه به مقایسه میانگین داده‌های مربوط به نسبت تعداد برگ به طول شاخه، بیشترین مقدار در آبیاری I2 به مقدار ۰/۴۶۱ و پس از آن برای I3 با ۰/۴۱۶ به‌دست آمد (جدول ۶).

عملکرد گیاه

با توجه به مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵ درصد، بیشترین و کمترین عملکرد برگ به‌ترتیب برای تیمارهای آبیاری I2 و I1 ثبت شد (جدول ۵ و ۷). با توجه به نتایج به‌دست آمده، روش‌های بارانی مرسوم و هوشمند تفاوت معنی‌داری باهم نداشته ولی با روش آبیاری سطحی تفاوت معنی‌دار بوده است که با نتیجه پژوهش راجرام و کادری (Rajaram and Qadri, 2014) مبنی بر بیشتر بودن عملکرد گیاه توت با سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار مطابقت دارد.

عملکرد در هکتار

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر روش‌های آبیاری بر عملکرد در هکتار معنی‌دار بود (جدول ۵). بیشترین و کمترین عملکرد برگ به ترتیب برای تیمارهای آبیاری I2 و I1 به‌مقدار ۲۸۶۶ و 1433 گرم بر درخت ثبت شد. راجرام و کادری (Rajaram and Qadri, 2014) نیز در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که عملکرد در هکتار در سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار بسیار بالاتر از حالت سنتی بوده که با نتایج پژوهش حاضر تطابق دارد.

بهره‌وری آب آبیاری

با توجه به مقایسه میانگین داده‌های مربوط به بهره‌وری آب آبیاری، بیشترین مقدار در آبیاری I3 به مقدار ۱۸/۵ کیلوگرم بر مترمکعب و پس از آن برای I2 با ۱۱/۳ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد (جدول ۵ و ۷). آبیاری I4 نسبت به آبیاری‌های بارانی مرسوم و هوشمند بهره‌وری آب کم‌تری را به مقدار ۵/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب از خود نشان داد. نتایج نشان داد که روش آبیاری بارانی در کل بهره‌وری آب بیشتری را نسبت به روش آبیاری سطحی دارد که با

نتایج راجرام و کادری (Rajaram and Qadri, 2014) و ابراهیمیان و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت دارد.

بهره‌وری آب آبیاری + بارندگی

با توجه به مقایسه میانگین داده‌های مربوط به بهره‌وری آب آبیاری + بارندگی، بیشترین مقدار در آبیاری I3 به مقدار ۵/۹ کیلوگرم بر مترمکعب و پس از آن برای I2 با ۵/۱۳ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد (جدول ۷). . آبیاری I4 نسبت به آبیاری‌های بارانی مرسوم و هوشمند بهره‌وری آب آبیاری + بارندگی کم‌تری را به مقدار ۳/۱۲ کیلوگرم بر مترمکعب از خود نشان داد.

بهره‌وری انرژی

با توجه به مقایسه میانگین داده‌های مربوط به بهره‌وری انرژی، بیشترین مقدار در آبیاری I3 به مقدار ۱۱۳/۶ کیلوگرم بر کیلووات ساعت و پس از آن برای I2 با ۷۳/۸ کیلوگرم بر کیلووات ساعت به‌دست آمد (جدول ۷). آبیاری I4 نسبت به آبیاری‌های بارانی مرسوم و هوشمند بهره‌وری انرژی کم‌تری را به مقدار ۱۱/۳ کیلوگرم بر کیلووات ساعت از خود نشان داد.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس تاثیر روش‌های آبیاری بر صفات مختلف گیاه و بهره‌وری

صفات	مجموع مربعات	df	آماره f	مقدار احتمال
تعداد برگ روی شاخه	۸۸۳۳/۸۱۱	۱۹	۴۸/۲۷۱	۰/۰۰۰
وزن برگ تر	۹۳۱۸/۸۴۶	۱۹	۶۲/۷۳۶	۰/۰۰۰
وزن برگ خشک	۱۸۳۴/۹۶۱	۱۹	۳۰/۰۸۳	۰/۰۰۰
مقدار رطوبت برگ	۱۰۵۹/۶۹۹	۱۹	۵۴/۷۸۵	۰/۰۰۰
طول شاخه	۳۶۳۶/۶۸۸	۱۹	۱۷/۸۲۳	۰/۰۰۰
وزن شاخه	۴۱۴۸۹/۲۳۹	۱۹	۱۰/۳۴۱	۰/۰۰۱
نسبت تعداد برگ به طول شاخه	۰/۲۱۰	۱۹	۳۹/۳۳	۰/۰۰۰
عملکرد گیاه	۴۵۰۰۶۲۵	۱۱	۱۰/۸۴۴	۰/۰۰۳
عملکرد در هکتار	$۱/۶۲۰ \times ۱۰^{۸}$	۱۱	۱۰/۸۴۴	۰/۰۰۳
بهره‌وری آب آبیاری	۲۷۶/۸۱۶	۸	۳۳/۸۵۳	۰/۰۰۱
بهره‌وری آب آبیاری + بارندگی	۱۵/۴۵۷	۸	۱۲/۱۳۶	۰/۰۰۸
بهره‌وری انرژی	۱۶۸۳۹/۸۴۶	۸	۵۴/۵۲۱	۰/۰۰۰

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر روش‌های آبیاری بر صفات گیاهی

	تعداد برگ روی شاخه	وزن برگ تر (gr)	وزن برگ خشک (gr)	مقدار رطوبت برگ (٪)	طول شاخه (cm)	وزن شاخه (gr)	تعداد برگ به طول شاخه
I1	۳۶/۴۶^{c}	۳۲/۷۳^{c}	۲۲/۷۶^{b}	۳۰/۴۳^{c}	۱۷۰/۶۶^{c}	۱۸۹/۸^{c}	۰/۲۱۵^{c}
I2	۴۸/۸۶^{a}	۸۴/۶^{a}	۴۳/۱۷^{a}	۴۸/۶۸^{a}	۱۹۰/۵۳^{b}	۲۳۱/۲^{b}	۰/۴۶۱^{a}
I3	۸۰/۸^{a}	۸۲/۱۹^{a}	۴۴/۷۲^{a}	۴۵/۷۳^{a}	۱۹۴/۱۳^{ab}	۲۴۲/۴۶^{b}	۰/۴۱۶^{a}
I4	۶۱/۲^{b}	۶۸/۶۶^{b}	۴۰/۷۷^{a}	۴۰/۳۶^{b}	۲۰۲/۷۳^{a}	۲۹۳/۶^{a}	۰/۳۰۳^{b}

جدول 7- مقایسه میانگین اثر روش‌های آبیاری بر بهره‌وری

تیمار آبیاری	عملکرد گیاه (gr)	عملکرد در هکتار (Kg/ha)	بهره‌وری آب آبیاری (Kg/m^3)	بهره‌وری آب آبیاری + بارندگی (Kg/m^3)	بهره‌وری انرژی (Kg/Kw.hr)
I1	۱۴۳۳/۳۴^{c}	۸۶۰۰^{c}	–	–	–
I2	۲۸۶۶/۶۷^{a}	۱۷۲۰۰^{a}	۱۱/۳^{b}	۵/۱^{a}	۷۳/۸^{b}
I3	۲۶۵۰^{ab}	۱۵۹۰۰^{ab}	۱۸/۵^{a}	۵/۹^{a}	۱۱۳/۶^{a}
I4	۲۲۰۰^{b}	۱۳۲۰۰^{b}	۵/۵^{c}	۳/۱^{b}	۱۱/۲۵^{c}

درآمد به ازای فروش به‌صورت برگ توت

مقایسه میانگین‌ها از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد نشان داد که بین تیمارهای آبیاری تفاوت معنی‌دار نداشته اما بین تیمارهای آبیاری درمقابل تیمار بدون آبیاری تفاوت معنی‌دار وجود داشته است (جدول ۸ و ۹). بیشترین مقدار در آبیاری I2 به مقدار ۲۱،۵۰۰،۰۰۰ ریال در هکتار بوده است و پس از آن برای I3 با ۱۹،۸۷۵،۰۰۰ ریال در هکتار به‌دست آمد.

درآمد به ازای فروش به‌صورت پیله تر

مقایسه میانگین‌ها از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد نشان داد که بین تیمارهای آبیاری بارانی و سطحی تفاوت معنی‌دار وجود داشته است (جدول ۸ و ۹). بین تیمارهای آبیاری دستی و هوشمند، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. با توجه به مقایسه میانگین داده‌های مربوط به درآمد به ازای فروش به‌صورت پیله تر، بیشترین مقدار در آبیاری I2 به مقدار ۷۵۲،۵۰۰،۰۰۰ ریال بر هکتار و پس از آن برای I3 با ۶۹۵،۶۲۰،۰۰۰ ریال بر هکتار به‌دست آمد. آبیاری I4 نسبت به آبیاری‌های بارانی مرسوم و هوشمند درآمد به ازای فروش به‌صورت پیله تر کم‌تری را به مقدار ۳۷۶،۲۵۰،۰۰۰ ریال بر هکتار از خود نشان داد.

درآمد به ازای فروش به‌صورت ابریشم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر روش‌های آبیاری بر درآمد به ازای فروش ابریشم معنی‌دار بود (جدول ۸ و ۹). بین تیمارهای آبیاری دستی و هوشمند، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. بیشترین مقدار در آبیاری I2 به مقدار ۲،۵۸۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال بر هکتار و پس از آن برای I3 با ۲،۳۸۵،۰۰۰،۰۰۰ ریال بر هکتار به‌دست آمد.

درآمد به ازای واحد حجم آب مصرف شده (BPD)[1]

BPD به ازای فروش برگ توت

مقایسه میانگین‌ها از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد نشان داد که بین تیمارهای آبیاری سطحی و بارانی مرسوم تفاوت معنی‌دار وجود نداشته ولی تیمار آبیاری بارانی هوشمند با دیگر روش‌های آبیاری تفاوت معنی‌داری داشته است (جدول ۸ و شکل۱). بیشترین مقدار در آبیاری I3 به مقدار ۲۳،۱۴۸ ریال بر مترمکعب و پس از آن برای I2 با ۱۴،۱۷۷ ریال بر مترمکعب به‌دست آمد.

BPD به ازای فروش پیله تر

مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵ درصد نشان داد که بین تمام تیمارهای آبیاری تفاوت معنی‌دار داشته است (جدول ۸ و شکل ۱). بیشترین مقدار در آبیاری I3 به مقدار ۸۱۰،۱۸۵ ریال بر مترمکعب و پس از آن برای I2 با ۴۹۶،۲۰۸ ریال بر مترمکعب به‌دست آمد. آبیاری I4 نسبت به آبیاری‌های بارانی مرسوم و هوشمند BPD به ازای فروش پیله تر کم‌تری را به مقدار ۲۴۱،۴۱۴ ریال بر مترمکعب از خود نشان داد.

BPD به ازای فروش ابریشم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر روش‌های آبیاری بر BPD به ازای فروش ابریشم معنی‌دار بود (جدول ۸ و شکل ۱). با توجه به مقایسه میانگین داده‌های مربوط به BPD به ازای فروش ابریشم، بیشترین مقدار در آبیاری I3 به مقدار ۲،۷۷۷،۷۸۰ ریال بر مترمکعب و پس از آن برای I2 با ۱،۷۰۱،۲۸۶ ریال بر مترمکعب به‌دست آمد.

آنالیز شیمیایی برگ توت

عناصر ریزمغذی (آهن، روی و منیزیم)

مقایسه میانگین‌ها از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد نشان داد که بین تیمارهای آبیاری بارانی مرسوم، هوشمند و سطحی تفاوت معنی‌داری وجود نداشته است (جدول ۸ و شکل ۲). بین تیمار بدون آبیاری (دیم) و آبیاری بارانی مرسوم تفاوت معنی‌داری وجود نداشته اما تیمار I1 نسبت به سایر روش‌های آبیاری معنی‌دار بود. با توجه به مقایسه میانگین داده‌های مربوط به درصد آهن موجود در برگ، بیشترین مقدار در آبیاری I1 به مقدار ۰/۹۲۲ درصد و پس از آن برای I2 با ۰/۶۸۹ درصد به‌دست آمد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر روش‌های آبیاری بر درصد روی موجود در برگ معنی‌دار نبوده است (جدول ۸). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر روش‌های آبیاری بر درصد منیزیم موجود در برگ معنی دار نبوده است (جدول ۸).

عناصر درشت مغذی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر روش‌های آبیاری بر درصد نیتروژن موجود در برگ معنی دار بوده است (جدول ۸). با توجه به مقایسه میانگین داده‌های مربوط به درصد نیتروژن موجود در برگ، بیشترین مقدار در آبیاری I1 به مقدار ۲/۳۷ درصد به‌دست آمد. تفاوت معنی‌داری بین مقدار نیتروژن موجود در برگ توت در روش‌های آبیاری مشاهده نشد (شکل ۲). مقایسه میانگین‌ها از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد نشان داد که بین تیمارها تفاوت معنی‌داری وجود داشته است (جدول ۸ و شکل ۲). با توجه به مقایسه میانگین داده‌های مربوط به درصد فسفر موجود در برگ، بیشترین مقدار در

1- Benefit Per Drop

آبیاری I1 به مقدار ۰/۰۶۶ درصد به‌دست آمد. هیچ تفاوت معنی‌داری بر مقدار فسفر موجود در برگ توت بین روش‌های آبیاری مشاهده نشد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر روش‌های آبیاری بر درصد پتاسیم موجود در برگ معنی‌دار نبوده است (جدول ۸).

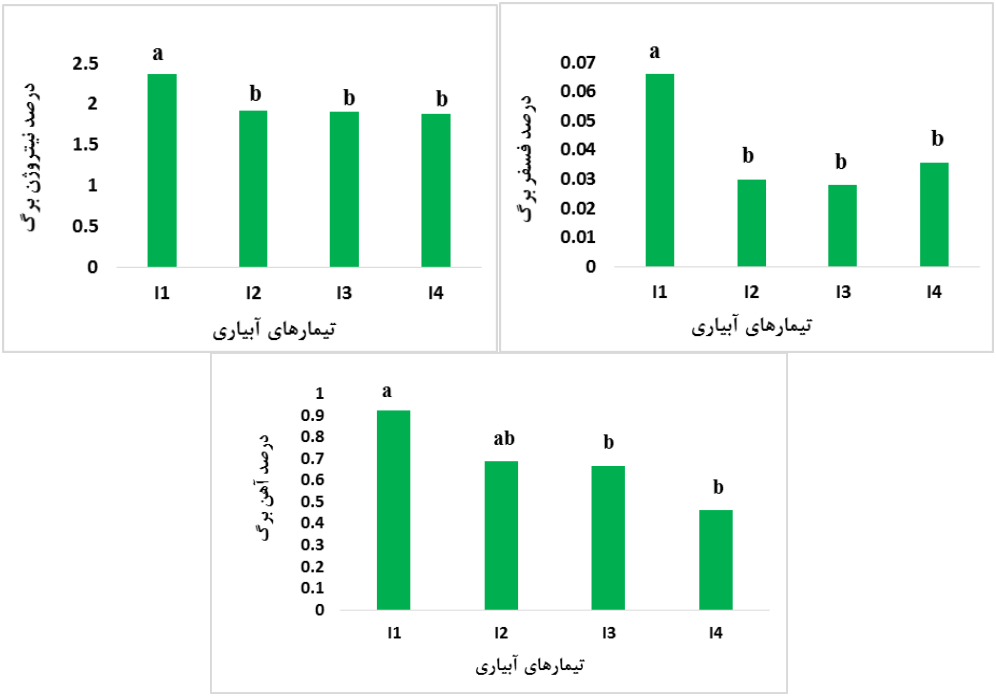
جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس تاثیر روش‌های آبیاری بر شاخص‌های اقتصادی و درصد عناصر موجود در برگ

صفات	مجموع مربعات	df	آماره f	مقدار احتمال
درآمد به ازای فروش برگ توت	۲/۵۳۲×۱۰^۱۴	۱۱	۱۰/۸۴۴	۰/۰۰۳
درآمد به ازای فروش پیله تر	۳/۱۰۱×۱۰^۱۷	۱۱	۱۰/۸۴۴	۰/۰۰۳
درآمد به ازای فروش ابریشم	۳/۶۴۶×۱۰^۱۸	۱۱	۱۰/۸۴۴	۰/۰۰۳
BPD به ازای فروش برگ توت	۴/۳۲۸×۱۰^۸	۸	۳۳/۸۰۶	۰/۰۰۱
BPD به ازای فروش پیله تر	۵/۳۰۲×۱۰^۱۱	۸	۳۳/۸۰۶	۰/۰۰۱
BPD به ازای فروش ابریشم	۶/۲۳۳×۱۰^۱۲	۸	۳۳/۸۰۶	۰/۰۰۱
درصد آهن موجود در برگ توت	۰/۴۴۴	۱۱	۶/۷۴۸	۰/۰۱۴
درصد روی موجود در برگ توت	۰/۰۰۹	۱۱	۰/۲۲۲	۰/۸۷۹
درصد منیزیم موجود در برگ توت	۷۷/۱۹۲	۱۱	۱/۷۸۰	۰/۲۲۹
درصد نیتروژن موجود در برگ توت	۰/۷۰۱	۱۱	۶/۴۵۶	۰/۰۱۶
درصد فسفر موجود در برگ توت	۰/۰۰۳	۱۱	۲۶/۲۵۳	۰/۰۰۰
درصد پتاسیم موجود در برگ توت	۱/۱۵۹	۱۱	۱/۶۸۰	۰/۲۴۸

جدول ۹- مقایسه میانگین تاثیر روش‌های آبیاری بر درآمد فروش

تیمار آبیاری	درآمد از فروش برگ (ریال)	درآمد از فروش پیله تر (ریال)	درآمد از ابریشم (ریال)
I1	۱۰،۷۵۰،۰۰۰ c	۳۷۶،۲۵۰،۰۰۰ c	۱،۲۹۰،۰۰۰،۰۰۰ c
I2	۲۱،۵۰۰،۰۰۰ a	۷۵۲،۵۰۰،۰۰۰ a	۲،۵۸۰،۰۰۰،۰۰۰ a
I3	۱۹،۸۷۵،۰۰۰ ab	۶۹۵،۶۲۰،۰۰۰ ab	۲،۳۸۵،۰۰۰،۰۰۰ ab
I4	۱۶،۵۰۰،۰۰۰ b	۵۷۷،۵۰۰،۰۰۰ b	۱،۹۸۰،۰۰۰،۰۰۰ b

شکل ۱- مقایسه میانگین تاثیر روش‌های آبیاری بر BPD بر حسب ریال بر متر مکعب



شکل ۲- مقایسه میانگین تاثیر روش‌های آبیاری بر درصد عناصر موجود در برگ

نتیجه‌گیری

براساس نتایج این پژوهش، آبیاری توتستان به‌طور کلی باعث افزایش عملکرد، تعداد برگ روی شاخه و مقدار رطوبت برگ شده که می‌تواند به‌طور محسوسی روی تولید پیله توسط کرم ابریشم تأثیرگذار باشد. با اعمال آبیاری بارانی به‌دلیل راندمان و یکنواختی توزیع بیشتر نسبت به آبیاری سطحی نه تنها عملکرد افزایش می‌یابد، بلکه به‌دلیل ایجاد فضای مرطوب و کاهش دما در ایام گرم تابستان، موجب افزایش کمی و کیفی برگ‌ها شده است. بهره‌وری در روش آبیاری بارانی هوشمند بالاترین مقدار را به‌دلیل مدیریت درست آبیاری براساس رطوبت خاک ثبت نمود. این موضوع باعث شد تا نه‌تنها آب کمتری مصرف شود بلکه میزان عملکرد گیاه نیز در حد آبیاری بارانی مرسوم به‌دست آمد. با آبیاری توتستان‌ها می‌توان عملکرد کمی و کیفی برگ را افزایش داده و به دنبال آن پیله بیشتر و با کیفیت بالاتری تولید کرد.

منابع

ابراهیمیان، ح.، نوری، ح. و غلامی، ز. ۱۳۹۴. بررسی بهره‌وری انرژی-آب و بهره‌وری اقتصادی انرژی در سامانه‌های آبیاری بارانی و سطحی در شرایط بهره‌برداری از آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت قزوین). مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۱۶(۳): ۴۴-۳۱.

احسانی، م. و خالدی، ه، ۱۳۸۲ ، بهره‌وری آب کشاورزی،کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران (وزارت نیرو).

اعتباری، ا. ۱۳۶۶. کلیات کاشت، داشت و برداشت توت. انتشارات سازمان ترویج کشاورزی. صفحه ۱۷-۱۴.

بیژن‌نیا، ع.ر.، رضوی‌پور، ت.، صیداوی، ع.ر. و حسینی امام.، س.ا. ۱۳۸۵. بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر متغیرهای کمی گیاه توت در استان گیلان. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی. ۷۲(۳): ۶۵-۶۰.

حقیقتی، ب. ۱۳۹۴ .تاثیر مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری بر کارایی مصرف آب سیب‌زمینی در دو روش آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای نواری. رساله دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

صورتی زنجانی، ر. ۱۳۹۹. ارزیابی سودمندی کشت مخلوط گیاهان زراعی و علوفه‌ای با درخت توت (Morus alba L). رساله دکتری دانشگاه گیلان.

صورتی زنجانی، ر و رکنی، ح. ۱۳۹۶. چالش‌های صنعت نوغانداری، الزامات آتی و اولویت‌های پژوهشی مورد نیاز کشور. اولین همایش ملی ابریشم. مهر ۱۳۹۶. رشت. دانشگاه گیلان.

علی‌پناه، م. و قراری، ف. ۱۳۹۹. بررسی عملکرد کرم ابریشم در شهرستان تربت حیدریه. راهبردهای توسعه روستایی. ۷(۱): ۸۴-۷۵.

علیزاده، ا. ۱۳۸۵. طراحی سیستم‌های آبیاری. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).

کولائیان، ع. و غلامی سفیدکوهی، م. ۱۳۹۱ . معرفی بهترین روش تعیین بارندگی مؤثر کشت برنج در شهرستان قائمشهر. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

مجدسلیمی، ک.، صلواتیان، ب. و امیری، ا. ۱۳۹۴. ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک اجرا شده در باغ‌های چای استان گیلان. نشریه آب و خاک(علوم و صنایع کشاورزی). ۲۹(۲): ۳۴۹-۳۳۶.

Abioye, E.A., Abidin, M.S.Z., Mahmud, M.S.A., Buyamin, S., Ishak, M.H.I., Abd Rahman, M.K.I., Otuoze, A.O., Onotu, P. and Ramli, M.S.A. 2020. A review on monitoring and advanced control strategies for precision irrigation. Computers and Electronics in Agriculture. 173:1–22.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO. Italy.

Butt, M.S., Nazir, A., Sultan, M.T. and Schroen, K. 2008. Morus alba L. nature's functional tonic. Trends in Food Science & Technology. 19: 505–512.

Datta, R.K. 2002. Mulberry Cultivation and Utilization in India. Mulberry for Animal Production; Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy ISBN 92-5-104568-2.

Irrigation Association. 2011. Irrigation-Sixth Edition. Irrigation Association, Falls Church, Virginia. ISPN-13: 978-1-935324-50-8.

Isik, M., Sonmez, Y., Yılmaz, C.O., Zdemir, V. and Yilmaz, E. 2017. Precision irrigation system (PIS) using sensor network technology integrated with IoS/android application. Applied Sciences. 7(9): 1–14.

Kanta, S. 2015. effect of micro-sprinkler, drip, subsurface and furrow irrigation systems on growth and leaf yield of mulberry in the shivalik foot hill of Punjab. Cibtech Journal of Bio-Protocols. 4(3): 13-16.

Kitani, O., Jungbluth, T., Peart, R.M. and Ramdani, A. 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Volume 5: Energy and Biomass Engineering. ASAE Publication.

Rajaram, S. and Qadri, S.M.H. 2014. Computation of Irrigation Water Requirements, Its Managements and Calendaring in Mulberry Crop for Sustainable Sericulture under Tamil Nadu Conditions. International Journal of Engineering and Science. 4(1): 1-19.

Rohela, G.K., Phanikanth, J., Mir, M.Y., Aftab, A.S., Pawan, S., Sadanandam, A. and Kamili, A.N. 2020. Indirect regeneration and genetic fidelity analysis of acclimated plantlets through SCoT and ISSR markers in Morus alba L. cv. Chinese white. Biotechnology Reports. 25: 313–321.

Shukla, P., Ramesha, A.R., Kangayam, M.P., Rohela, G.K., Aftab, A.S., Chauhan, S.S., Ghosh, M.K. and Mishra, R.K. 2018. Comparative analysis of gene expression profiles among contrasting mulberry varieties under cold stress condition, Journal of Experimental Biology and Agriculture Sciences. 6(6): 973–982.

Shukla, K.R., Gulab, A.S. and Aftab, S.P. 2016. Sharma, Prospect of cold tolerant genes and its utilization in mulberry improvement. Indian Journal of Horticulture. 6: 127–129.

Srivastava, S., Kapoor, R., Thathola, A. and Srivastava, R.P. 2006. Nutritional quality of leaves of some genotypes of mulberry (Morus alba). International Journal of Food Sciences and Nutrition. 57(5-6): 305–313.

Tewari, R.K., Kumar, P. and Sharma, P.N. 2006. Antioxidant responses to enhanced generation of superoxide anion radical and hydrogen peroxide in the copper stressed mulberry plants. Planta. 223: 1145–1153.

Yang, X., Yang, L. and Zheng, H. 2010. Hypolipidemic and antioxidant effects of mulberry (Morus alba L.) fruit in hyperlipidaemia rats. Food Chemistry. Toxicol. 48: 2374–2379.

Yuan, Q. and Zhao, L. 2017. The Mulberry (Morus alba L.) Fruit-A review of characteristic components and health benefits. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 65: 10383–10394.

Zhang, H., Ma, Z.F., Luo, X. and Li, X. 2018. Effects of mulberry fruit (Morus *alba* L.) consumption on health outcomes: a mini-review. Antioxidants (Basel). 7 (5): 69.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.2, Vol. 17, Jun.-Jul. 2023, p. 375-385

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۷، خرداد - تیر ۱۴۰۲، ص. ۳۸۵-۳۷۵

Improving water and energy productivity using a smart sprinkle irrigation system for mulberry orchard

S. Amouei Bijayeh[1], M.R. Khaledian[2,*], R. Sourati Zanjani[3]

Recived: Dec.12, 2022 Accepted: Feb.10, 2023

Abstract

Mulberry leaves are the only nutrition of silkworms and the quality and quantity of mulberry leaves can directly affect the resulting silk. A study was conducted from June to September 2020 to investigate the effect of surface and sprinkle irrigation methods in comparison with rainfed on the quantity and quality of mulberry leaves and silkworm cocoons in the National Silk Research Center located in Pasikhan, Rasht. Four irrigation treatments including manual sprinkle irrigation (I2), smart sprinkle irrigation (I3), and surface irrigation (I4) versus rainfed cultivation (I1) were compared. The results of variance analysis showed that there was a significant difference between treatments. Mean comparison showed that the highest number of leaves per branch, leaf weight, leaf moisture content, and the ratio of number of leaves to branch length were 87.86, 84.6 gr, 45.67%, and 0.461, respectively, obtained in manual sprinkle irrigation. Manual sprinkle irrigation had the highest yield as compared to other treatments (766.7 gr/tree and 6314.3 kg/ha). The highest branch length was obtained in surface irrigation treatment with 202.7 cm. Statistically, at the level of 5%, smart sprinkle irrigation treatment was not significantly different from manual sprinkle irrigation. The amount of water used in smart sprinkle irrigation treatment was less than that of manual sprinkle irrigation, and therefore water productivity and electricity energy efficiency (kg/kWh) were higher, being 7.24 kg/m^3 and 47.1 kg/kWh, respectively. The results showed that irrigation of mulberry orchard can save the plant from water stress and increase yield. Manual sprinkle irrigation has the highest positive effect on the quantity and quality of mulberry leaves and using a smart system can increase water productivity and play an important role in reducing water consumption.

Keywords: Automation, Mulberry, Rasht

1- MSc. Student, Department of Water Eng., Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Guilan, Iran
2- Assocated Professor, Department of Water Eng., Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran, and Department of Water Engineering and Environment, Caspian Sea Basin Research Center, Iran
3- Assistant Professor, Iran Silk Research Center, Iran
(*- Corresponding Author Email: khaledian@guilan.ac.ir)