نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۶ / شماره ۴/ ۱۴۰۱
10.22092/jwra.2022.359733.941

اثر تنش آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد توت فرنگی با استفاده از آب مغناطیسی شده

مجتبی خوش‌روش[1] و مسعود پورغلام آمیجی

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زارعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
khoshravesh_m24@yahoo.com
دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
mpourgholam6@ut.ac.ir

دریافت: مرداد ۱۴۰۱ و پذیرش: آذر ۱۴۰۱

چکیده

جستجوی راه‌کارهایی جهت کاهش مصرف و حفظ منابع آب از اهمیت بالایی برخوردار است. استفاده از آب مغناطیسی ممکن است در این مورد موثر باشد. در این پژوهش، تاثیر تنش آبی با استفاده از آب مغناطیسی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه توت‌فرنگی بررسی شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در شهرستان نکا انجام شد. فاکتور اصلی شامل نوع آب آبیاری (آب غیرمغناطیسی (W1) و آب مغناطیسی (W2)) و فاکتور فرعی شامل سطح آبیاری در سه سطح (۱۰۰FI ٪ آبیاری غرقابی =I1، ۸۰FI ٪ =I2، و ۶۰FI ٪ =I3) بود. نتایج نشان داد که اثر نوع آب آبیاری و سطح آبیاری بر تعداد میوه در هر بوته، طول، قطر و وزن میوه، زیست‌توده، عملکرد بوته و بهره‌وری آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. به‌طور متوسط، طی دو سال کشت توت‌فرنگی با اعمال میدان مغناطیسی، تعداد میوه در هر بوته، طول، قطر و وزن میوه، زیست‌توده، عملکرد بوته و بهره‌وری آب به‌ترتیب ۱۵/۱٪، ۱۶/۶٪، ۱۸٪، ۲۰/۲٪، ۲۳٪، ۱۶/۸٪ و ۱۱/۷٪ افزایش یافت. با کاهش مقدار آب آبیاری، خصوصیات ظاهری میوه توت‌فرنگی و عملکرد کم شد ولی بهره‌وری مصرف آب افزایش یافت. بیشترین کاهش مربوط به تعداد میوه در هر بوته در سطح آبیاری ۶۰٪ بود که نسبت به تیمار شاهد ۴۲/۷٪ کمتر بود. در نتیجه، با استفاده از فناوری آب مغناطیسی و کم آبیاری، مقدار عملکرد فرنگی بهبود یافت.

واژه‌های کلیدی: آب مغناطیسی، مقدار آبیاری، بهره‌وری آب، وزن میوه

[1]- آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زارعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

مقدمه

با توجه به ارزش آب در کشاورزی و محدودیت این منبع مهم و حیاتی و وجود خشکسالی‌های متناوب در کشور، صرفه‌جویی در مصرف و استفاده بهینه از آب موجود امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد. امروزه روش کم آبیاری یکی از راه‌های عملی و مؤثر است که می‌تواند حداقل آب مصرفی با عملکرد قابل قبول و اقتصادی را تعیین و توجیه نماید. توت‌فرنگی در سطح وسیعی از جهان کشت می‌شود و میوه‌ای است که زود به بار نشسته و در فاصله کوتاهی بعد از کاشت، محصول می‌دهد. مطابق گزارش فائو، سطح زیر کشت جهانی توت‌فرنگی ۳۹۵۸۴۴ هکتار و تولید آن ۹۲۲۳۸۱۵ تن و میانگین عملکرد آن ۲۳۳۰۱/۷ کیلوگرم در هکتار است. سطح زیر کشت توت‌فرنگی در ایران ۵۷۱۸ هکتار با میانگین عملکرد ۱۱۸۳۱ کیلوگرم در هکتار و تولید کل کشور ۶۴۰۹۷ تن است که استان‌های کردستان، مازندران و گلستان به‌ترتیب بیشترین تولید در کشور را دارند (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). توت‌فرنگی میوه‌ای خوشمزه با ارزش غذایی و سلامتی بالایی است. عناصر غذایی قابل استفاده طی رشد و نمو میوه یکی از مهم‌ترین عواملی است که کمیت و کیفیت میوه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (رنجبر و همکاران، ۱۳۹۰). توت‌فرنگی ارزش اقتصادی و تغذیه‌ای قابل توجهی دارد و عطر، طعم و محتویات سرشار از ویتامین آن، این گیاه را به یکی از مهم‌ترین میوه‌های زراعی دنیا تبدیل کرده است (فاطمی و همکاران، ۱۳۸۸). قسمت‌های مختلف میوه، برگ و ریشه (حاوی تانن) گیاه توت‌فرنگی، از دیرباز مصرف دارویی داشته است. گونه توت‌فرنگی به‌طور موفقیت‌آمیز و تجاری به دامنه وسیعی از شرایط آب و هوایی و اقلیمی شامل شرایط معتدله، مدیترانه‌ای، نیمه‌گرمسیری و حتی در ارتفاعات مناطق گرمسیری سازگاری داشته و پرورش داده می‌شود (دودمان و امیری، ۱۳۹۲). با این حال، تولید توت‌فرنگی به‌وسیله دامنه‌ای از تنش‌های زنده و غیرزنده محدود می‌شود.

حدود یک سوم اراضی قابل کشت دنیا از نبود آب کافی برای کشاورزی رنج می‌برند. کاهش بارندگی و افزایش تبخیر و تعرق از جمله مشکلات پیش روی کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است و تنش خشکی و کمبود آب، مهم‌ترین و مخرب‌ترین تنش غیرزنده و یکی از شایع‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر رشد و بهره‌وری گیاهان و محدودکننده تولید گیاهان زراعی در بسیاری از مناطق است (رامانکوتی و همکاران، ۲۰۱۸؛ رینگلر و همکاران، ۲۰۲۲). در حالی که حدود ۷۰ درصد منابع آب قابل استفاده در دنیا به مصرف کشاورزی فاریاب می‌رسد، گسترش جهانی جمعیت طی چند دهه، نیاز به آب بیشتری برای مصارف خانگی، شهری، صنعتی و زیست‌محیطی را سبب خواهد شد. با توجه به تغییرات کلی آب و هوایی و افزایش خشکسالی، انتظار می‌رود که چنین موردی شدیدتر هم شود؛ بنابراین، برای تأمین نیاز غذایی مورد تقاضا، تولید محصول بیشتر به ازای مصرف آب (بارندگی) کمتر (افزایش راندمان مصرف آب) لازم است (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۷).

گیاه توت‌فرنگی به دلیل داشتن سیستم ریشه‌ای سطحی، سطح برگ زیاد و آب‌دار بودن میوه به حجم آب بالایی نیاز دارد و حساسیت زیادی به کمبود رطوبت از خود نشان می‌دهد؛ بنابراین در مناطقی با تابستان‌های گرم و خشک و دارای محدودیت منابع آب، تنش خشکی می‌تواند تأثیر معنی‌داری در عملکرد و کیفیت میوه توت-فرنگی داشته باشد (کلامکووسکی و تریدر، ۲۰۰۶؛ وی و همکاران، ۲۰۱۶). قسمت‌های مختلف توت‌فرنگی که می-تواند تحت تأثیر کمبود آب قرار گیرد شامل تولید و رشد و نمو برگ، تولید ساقه رونده، گسترش ریشه، وزن و تعداد میوه‌ها می‌باشند. میزان صدماتی که در اثر کمبود آب وارد می‌گردد، به مرحله رشد و نمو گیاه و رقم بستگی دارد (قادری و سی‌وسه مرده، ۱۳۹۲). در کم آبیاری با وجود این که عملکرد در واحد سطح کاهش پیدا می‌کند، کاهش در مقدار آب مصرفی، هزینه‌های استحصال، انتقال و توزیع آب موجب کسب سود بیشتر خواهد شد (زگبی

و همکاران، ۲۰۰۴). کاهش آب در دسترس باعث تغییرات فیزیولوژی و بیوشیمیایی زیادی در اندام‌های گیاهی می‌شود و این فعالیت‌ها در گیاه به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم دچار اختلال می‌گردد (رائینی سرجاز و چلاوی، ۲۰۱۱). اولین فرایندهایی که در گیاهان تحت تأثیر تنش‌های غیرزنده قرار می‌گیرند، فتوسنتز، پتانسیل اسمزی، هدایت روزنه‌ای و یا ترکیبی از این ویژگی‌ها می‌باشند که نهایتاً ممکن است به‌صورت تأثیر بر مورفولوژی و فیزیولوژی و مکانیزم‌های بیوشیمیایی، سلولی و مولکولی گیاهان دیده شوند (رشید و همکاران، ۲۰۱۴).

کمبود آب با تأثیر بر ویژگی‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مراحل مختلف رشد و نمو گیاه باعث کاهش فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، عملکرد ماده خشک و در نهایت عملکرد گیاه می‌شود (قادری و همکاران، ۲۰۱۵). بر اساس مطالعات انجام‌شده، میزان تعرق در ارقام توت‌فرنگی کاماروسا، مراک و گاویوتا با کاهش محتوای آب خاک کاهش می‌یابد (قادری و سی‌وسه مرده، ۱۳۹۲). همچنین میزان تعرق، تعداد و سطح برگ‌های جدید، وزن خشک برگ و ریشه، پتانسیل آب برگ و راندمان مصرف آب گیاه در ۱۰ رقم توت‌فرنگی مورد بررسی در شرایط تنش کم‌آبی، به‌طور معنی‌داری کاهش و نسبت وزن خشک ریشه بـه اندام هوایی افزایش می‌یابد (گرنت و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین اسدی اقدم و همکاران (۱۳۹۲) نشان دادند که تنش خشکی در توت‌فرنگی باعث کاهش ۲۰ درصدی طول برگچه‌ها شد که معادل ۸۵٪ کاهش در سـطح برگچه‌ها بود. در بررسی اثر تنش موضعی خشکی در ناحیه ریشه توت‌فرنگی رقم سلوا، مشخص شد که با افزایش شدت تنش، وزن تر اندام‌های هوایی و میوه، تعداد برگ و میوه کاهش یافت. از سوی دیگر، وزن خشک اندام هوایی و میوه با افزایش تنش خشکی، افزایش نشان داد. کاهش در تعداد میوه و برگ و کاهش در میزان سطح برگ در گیاه تـوت‌فرنگی در مواجهه با تنش خشکی به‌منظور جلوگیری از هدررفت آب صورت می‌گیرد و افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی و میوه به‌دلیل کاهش در میزان آب بافت‌ها و به دنبال آن، ذخیره مواد فتوسنتزی بیان شده است. خشکی در برخی ارقام توت‌فرنگی از قبیل السانتا، سوناتا و سمفونی سبب کاهش در اندازه میوه و عملکرد میوه و افزایش در ماده خشک میوه شد (گین-بوردونابا و تری، ۲۰۱۶). اسماعیل و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که تقسیط مقدار آبیاری و تحویل آن در دفعات متعدد باعث افزایش و حفظ رطوبت بستر شده و گیاه در وضعیت مناسب فتوسنتزی و رشد قرار گرفته و میزان عملکرد آن افزایش می‌یابد. شاهنظری و رضائیان (۱۳۹۴) با بررسی کم آبیاری تنظیم‌شده و کم آبیاری ناقص ریشه بر عملکرد توت‌فرنگی نشان دادند که وزن تر، وزن خشک، سطح برگ، شاخص سطح برگ و عملکرد در تیمار آبیاری کامل به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای کم‌آبیاری بود. زگبی و همکاران (۲۰۰۴) نیز اثر کم آبیاری ناقص ریشه را بر عملکرد و کیفیت محصول گوجه‌فرنگی بررسی و گزارش کردند که نرخ فتوسنتز، وزن تر و خشک میوه نسبت به آبیاری کامل کاهش معنی‌دار داشت.

یکی از راهکارها جهت کاهش اثرات تنش خشکی، استفاده از فناوری‌های نوین از جمله فناوری مغناطیسی است. عبور دادن آب مورد استفاده برای آبیاری گیاهان از یک میدان مغناطیسی و پاسخ متفاوت گیاهان به شدت‌های مختلف امواج الکترومغناطیسی می‌تواند راهی جهت افزایش کیفیت آب، کمیت و کیفیت محصول باشد (قدمی فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۹۵؛ پورغلام آمیجی و همکاران، ۱۴۰۱). عبور آب از یک میدان مغناطیسی باعث تغییر بعضی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب مانند کشش سطحی، قابلیت حل نمک‌ها، تغییر ساختار خوشه‌ای، زنجیره پیوند هیدروژنی مولکول‌ها، افزایش اثرات دوقطبی مولکول‌های آب و تغییر در ضریب شکست نور و اسیدیته آب می‌شود (حیدرپور و همکاران، ۱۳۹۵؛ خوش‌روش و همکاران، ۲۰۱۸). این تغییرات به‌وجود آمده به‌واسطه عبور آب از یک میدان مغناطیسی به پارامترهای مختلف شدت میدان مغناطیسی، جهت میدان،

مدت زمان قرار گرفتن در معرض میدان مغناطیسی، نرخ جریان محلول، کیفیت و pH آب بستگی دارد (مصطفی‌زاده فرد و همکاران، ۲۰۱۱).

اثر آب مغناطیسی در افزایش رشد به افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی، ایندول و سنتز پروتئین‌ها نسبت داده می‌شود (کلیک و همکاران، ۲۰۰۸). بیریوکوف و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که آب مغناطیسی ممکن است سبب افزایش نفوذپذیری غشای سلولی دانه، تغییر pH دو طرف غشای سلولی، افزایش فعالیت یون کلسیم و کاهش فعالیت موجودات ذره‌بینی مضر گردد. آب مغناطیسی شده از طریق جذب راحت‌تر و سریع‌تر توسط گیاه، آسیب ناشی از کم آبی را به حداقل می‌رساند و همچنین با افزایش جذب مواد غذایی و املاح از خاک، سبب بهبود عملکرد گیاهان می‌شود (الخزان و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج پژوهش زلوتوپولسکی (۲۰۱۷) نشان داد که میزان محصول و غلظت عناصر میکرو و ماکرو در گیاه کاهو تحت تأثیر آب مغناطیسی افزایش معنی‌دار داشت. احمد و الکادر (۲۰۱۶) در بررسی اثر متقابل تنش خشکی و آب مغناطیسی دریافتند که کیفیت و میزان محصول، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب در گیاه سیب‌زمینی افزایش داشت. حیدری و همکاران (۱۳۹۹) با بررسی کم آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری ناقص ریشه بر گیاه ریحان تحت تأثیر آب مغناطیسی نشان دادند که وزن تر اندام هوایی، شاخص سطح برگ، وزن خشک ریشه و حجم ریشه به‌ترتیب ۵، ۱۳، ۲۸ و ۲۴ درصد افزایش یافت. نتایج بهره‌وری مصرف آب نیز در آبیاری ۱۰۰ درصد بیشترین میزان را نشان داد اما باوجود کاهش ۵۰ درصد میزان حجم آب آبیاری در تیمار کم آبیاری ناقص ریشه، تنها ۱۰ درصد کاهش بهره‌وری مصرف آب مشاهده شد.

با توجه به کاهش منابع آب و افزایش رقابت بین بخش‌های مختلف مصرف آب، اتخاذ راه‌کارهای صرفه‌جویی آب در مناطقی با تولید وسیع محصولات کشاورزی به‌ویژه شمال کشور ضروری است. یکی از راه-کارها استفاده از کم آبیاری و فن‌آوری آب مغناطیسی است. تاکنون در مورد اثر تنش‌های کم آبی در حضور میدان مغناطیسی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه توت‌فرنگی پژوهشی صورت نگرفته است؛ بنابراین، هدف از این پژوهش، بررسی استفاده از آب مغناطیسی و تنش کم آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه توت‌فرنگی است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی دو سال کشت ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در مزرعه‌ای واقع در روستای میانگله شهرستان نکا (استان مازندران) با مختصات طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۳۲ دقیقه (^{o}E) و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۶۷ دقیقه (^{o}N) انجام شد. طبق داده‌های درازمدت و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن، منطقه دارای آب و هوای نیمه مرطوب است. مطابق آمار درازمدت ۳۰ ساله (۲۰۲۱-۱۹۹۱)، متوسط بارندگی سالانه منطقه ۴۷۰ میلی‌متر و میانگین سالانه دمای هوا ۱۷/۶ درجه سانتی‌گراد است.

کشت گیاه توت‌فرنگی رقم سیلوا در کرت‌هایی به ابعاد سه در چهار متر انجام شد. در این طرح فاصله کشت روی ردیف و فاصله ردیف‌ها از هم ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمار شاهد شامل آبیاری کامل در تمام مراحل رشد گیاه و با آب معمولی (غیرمغناطیسی) بود. فاکتور اصلی شامل نوع آب آبیاری (آب غیرمغناطیسی (W1) و آب مغناطیسی (W2)) و فاکتور فرعی شامل سطح آبیاری در سه سطح (۱۰۰ درصد FI[۲] (I1)، ۸۰ درصد FI (I2) و ۶۰ درصد FI (I3)) بود. مغناطیس نمودن آب آبیاری با عبور آب از میان یک آهن‌ربای دائمی با شدت میدان مغناطیسی ۰/۳ تسلا ایجاد شد. خصوصیات شیمیایی آب چاه (قبل از عبور از میدان مغناطیسی) و آب مغناطیسی‌شده در جدول (۱) نشان داده شده است. عدم برقراری تعادل یونی به این دلیل است که برخی کاتیون‌ها و آنیون‌ها که مقدار

[2]- Flood Irrigation

قابل‌توجهی نداشتند، در جدول ذکر نشدند. فقط موارد اصلی که حائز اهمیت بالاتری بودند، قرار گرفتند. این کاتیون‌ها و آنیون‌ها شامل پتاسیم، سولفات و غیره بودند. برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از شروع آزمایش و اعمال تیمارها، نمونه‌برداری از خاک مزرعه انجام شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده

نوع منبع	EC (dS/m)	pH	Ca	Mg	Na	Cl	HCO_3
			meq/l				
آب چاه	۰/۸۶	۷/۲	۱۲/۶	۱/۳	۴/۴	۲/۴	۹/۷
آب مغناطیسی‌شده	۰/۶۱	۷/۱	۱۰/۹	۱/۱	۳/۵	۱/۹	۸/۷

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

عمق (سانتی‌متر)	ذرات تشکیل‌دهنده خاک (٪)			بافت خاک	ρ_b (g/cm^3)	pH	EC (dS/m)
	رس	سیلت	شن				
۳۰-۰	۲۲/۳۵	۳۷/۸۲	۳۹/۸۳	لومی	۱/۵۲	۷/۳	۱/۵۸

روش آبیاری به‌کار برده شده، قطره‌ای نواری بود و میزان آب آبیاری و دور آبیاری بر اساس نیاز گیاه انجام شد. برای محاسبه مقدار آب کاربردی از پایش رطوبت خاک استفاده شد. عمق آب آبیاری مبتنی بر اندازه‌گیری رطوبت خاک و محاسبه کمبود رطوبت خاک در تیمار آبیاری کامل در بازه زمانی ۵ روزه که تخلیه رطوبت خاک به ۶۰ درصد آب قابل دسترس می‌رسید، به شرح زیر برآورد شد. میزان رطوبت حجمی خاک در زمان آبیاری از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\theta_{RI} = \theta_{FC} - (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) * MAD \qquad (۱)$$

که در آن: θ_{RI} میزان رطوبت حجمی خاک در زمان آبیاری، θ_{FC} میزان رطوبت در حد ظرفیت زراعی، θ_{PWP} میزان رطوبت در نقطه پژمردگی دائم (اندازه‌گیری رطوبت حجمی با روش مستقیم و بقیه با دستگاه صفحات فشاری) و MAD میزان تخلیه مجاز رطوبتی است که برابر ۶۰ درصد در نظر گرفته شد (۱۱، ۱۶ و ۱۷). پایش رطوبت به‌صورت روزانه در هر سه سطح آبیاری انجام گرفت و کمبود رطوبت خاک (SMD) از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$SMD = \sum_{i=1}^{n}(\theta_{FC} - \theta_{BI}) * D_i \qquad (۲)$$

که D_i عمق لایه خاک و θ_{BI} رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری (اندازه‌گیری‌شده با روش مستقیم) است. در سال اول (۱۴۰۰) در تیمار I1، I2 و I3 به ترتیب ۲۰۸، ۱۶۶ و ۱۲۵ و در سال دوم (۱۴۰۱) در تیمار I1، I2 و I3 به ترتیب ۲۱۶، ۱۷۳ و ۱۳۰ میلی‌متر آب به گیاه توت‌فرنگی داده شد. میزان آب مصرفی در تیمارهای مختلف تنش آبی متفاوت بود و در تیمار مغناطیسی و غیرمغناطیسی تفاوتی نداشت زیرا همان آب از میدان مغناطیسی عبور کرده تا بتوان تأثیر این دو عامل را در عملکرد گیاه مشاهده کرد. در این پژوهش مقادیر عملکرد و تعداد میوه در هر بوته، طول و قطر میوه، وزن خشک میوه و زیست‌توده اندازه‌گیری شد. وزن میوه‌ها با استفاده از ترازوی حساس دیجیتالی اندازه‌گیری شد. برای اندازه-گیری وزن خشک، مواد گیاهی در داخل پاکت قرار گرفتند و در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از ۴۸ ساعت با ترازوی دیجیتال وزن شدند. از کولیس دیجیتال برای اندازه‌گیری طول و قطر میوه‌ها استفاده شد. همچنین از معادله (۳) جهت محاسبه بهره-وری آب گیاه توت‌فرنگی استفاده شد.

$$WP=y/V \qquad (۳)$$

که در آن: WP بهره‌وری آب آبیاری (kg/m^3)، Y عملکرد (kg) و V حجم آب آبیاری (m^3) است. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS9.4 مورد تحلیل آماری قرار گرفتند و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر نوع آب آبیاری و سطح آبیاری بر خصوصیات ظاهری میوه توت‌فرنگی در جدول (۳) ارائه شده است. با توجه به جدول (۳)، اثر نوع آب آبیاری و سطح آبیاری بر تعداد میوه در هر بوته، طول و قطر میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد؛ اثر متقابل نوع آب آبیاری و سطح آبیاری نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر فاکتورهای مختلف بر خصوصیات ظاهری میوه توت‌فرنگی

سال کشت	منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد میوه در هر بوته	طول میوه	قطر میوه
۱۴۰۰	بلوک	۲	۲۳۳/۰۸**	۵۵۹/۴۷**	۴۳۸/۲۷**
	نوع آب آبیاری	۱	۵۰۴/۳۱**	۹۷۸/۳۳**	۷۴۹/۰۷**
	سطح آبیاری	۲	۸۱۱/۰۱**	۱۴۵۸/۰۸**	۱۰۰۲/۳۱**
	نوع آب آبیاری × سطح آبیاری	۲	۱۱/۷۸**	۴۸/۱۲**	۲۹/۶۱**
	خطا	۱۰	۰/۱۸	۱/۱۸	۰/۹۷
۱۴۰۱	بلوک	۲	۲۴۸/۱۴**	۵۷۸/۱۹**	۴۶۰/۵۲**
	نوع آب آبیاری	۱	۵۳۱/۰۹**	۹۹۶/۸۲**	۷۹۶/۱۹**
	سطح آبیاری	۲	۸۵۱/۷۰**	۱۵۳۱/۴۴**	۱۱۰۸/۴۰**
	نوع آب آبیاری × سطح آبیاری	۲	۱۴/۹۱**	۵۶/۸۰**	۳۶/۱۱**
	خطا	۱۰	۰/۲۰	۱/۱۲	۱/۰۴

**، * و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

مقایسه میانگین اثرات نوع آب آبیاری و سطح آبیاری بر خصوصیات ظاهری میوه توت‌فرنگی در جدول (۴) نشان داده شده است. مقادیر تعداد میوه در هر بوته، طول و قطر میوه در تیمار آب مغناطیسی بیشتر از تیمار آب غیرمغناطیسی شد و این اختلاف در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. همچنین مقادیر تعداد میوه در هر بوته، طول و قطر میوه در سطوح مختلف آبیاری دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بود. حداکثر تعداد میوه در هر بوته، طول و قطر میوه به‌ترتیب برابر ۱۸/۹۸، ۴۱/۸۵ میلی‌متر و ۳۳/۶ میلی‌متر و در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد حاصل شد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر نوع آب آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر اجزای عملکرد توت‌فرنگی

سال کشت	فاکتور		تعداد میوه در هر بوته (عدد)	طول میوه (میلی‌متر)	قطر میوه (میلی‌متر)
۱۴۰۰	نوع آب آبیاری	مغناطیس	۱۵/۸۲ a	۳۶/۷۲ a	۲۹/۲۱ a
		غیر مغناطیس	۱۳/۷۸ b	۳۱/۴۶ b	۲۴/۷۹ b
	سطح آبیاری	۱۰۰	۱۸/۹۶ a	۴۱/۷۵ a	۳۳/۲۸ a
		۸۰	۱۴/۶۵ b	۳۳/۲۸ b	۲۶/۶۱ b
		۶۰	۱۰/۷۹ c	۲۷/۲۴ c	۲۱/۱۱ c
۱۴۰۱	نوع آب آبیاری	مغناطیس	۱۵/۹۷ a	۳۶/۸۳ a	۲۹/۴۶ a
		غیر مغناطیس	۱۳/۸۳ b	۳۱/۵۹ b	۲۴/۹۲ b
	سطح آبیاری	۱۰۰	۱۸/۹۸ a	۴۱/۸۵ a	۳۳/۶۰ a
		۸۰	۱۴/۷۸ b	۳۳/۴۴ b	۲۶/۷۰ b
		۶۰	۱۰/۹۴ c	۲۷/۳۴ c	۲۱/۲۷ c

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیست

با اعمال میدان مغناطیسی، تعداد میوه در هر بوته در تیمارهای مغناطیسی در سال اول و دوم کشت به‌ترتیب ۱۴/۸ و ۱۵/۴۷ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی افزایشی معنی‌دار داشت. طول میوه در تیمارهای مغناطیسی در سال اول و دوم کشت به‌ترتیب ۱۶/۷۲ و ۱۶/۵۸ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی

افزایشی معنی‌دار داشت. قطر میوه در تیمارهای مغناطیسی در سال اول و دوم کشت به‌ترتیب ۱۷/۸۳ و ۱۸/۲۱ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی افزایشی معنی‌دار داشت (جدول ۴). آب مغناطیسی سبب افزایش نفوذ آب به غشای سلولی و جذب بیشتر آب و عناصر غذایی در سلول‌های ریشه می‌شود (الگذری و یاو، ۲۰۰۶؛ صادقی‌پور و آقایی، ۱۳۹۳). همچنین علت افزایش خصوصیات ظاهری میوه توت‌فرنگی در تیمار آب مغناطیسی می‌تواند مربوط به رشد ریشه و هدایت روزنه-ای باشد که جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهد (صادقی‌پور و آقایی، ۲۰۱۳). ال سید (۲۰۱۴) گزارش کرد که آب مغناطیسی با افزایش سطح برگ گیاه باعث می‌شود که سطح برخورد نور بیشتر شده و در نتیجه سرعت فتوسنتز افزایش می‌یابد. حبیبی و همکاران (۱۳۹۸) بیان کردند که آبیاری با آب مغناطیسی باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه نسبت به تیمار شاهد شده و این افزایش به-واسطه سهولت جذب آب توسط گیاه و در نتیجه افزایش رشد رویشی است.

در سال اول کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، تعداد میوه در هر بوته به‌ترتیب ۲۲/۷۳ و ۴۳/۰۹ درصد کاهش یافت. در سال دوم کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، تعداد میوه در هر بوته به-ترتیب ۲۲/۱۲ و ۴۲/۳۶ درصد کاهش یافت و این اختلاف در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج این بخش از پژوهش با یافته‌های قاسمی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد. تأخیر در تولید اندام زایشی و کاهش در آغازش و تشکیل میوه، یکی از دلایل کاهش در تعداد میوه توت‌فرنگی در شرایط تنش کم آبی است (لی و همکاران، ۲۰۰۲؛ رشید و همکاران، ۲۰۱۴).

در سال اول کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، طول میوه به‌ترتیب ۲۰/۲۸ و ۳۴/۷۵ درصد کاهش یافت. در سال دوم کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، طول میوه به‌ترتیب ۲۰/۰۹ و ۳۴/۶۷ درصد کاهش یافت و این اختلاف در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری در سال اول کشت، قطر میوه به‌ترتیب ۲۰/۰۴ و ۳۶/۵۶ درصد کاهش یافت. در سال دوم کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، قطر میوه به‌ترتیب ۲۰/۵۳ و ۳۶/۶۹ درصد کاهش یافت و این اختلاف در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). اندازه و وزن میوه با مقدار آب موجود در بستر کشت ارتباط مستقیمی داشته و قدرت میوه در جذب آب و مواد مغذی در بسترها با کاهش ذخیره آب، به شدت کاهش می‌یابد (دیلمقانی حسنلویی و همتی، ۱۳۹۰). گویلی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که کاهش مولفه‌های رشد در مواجهه با آب کمتر می‌تواند به دلیل کاهش رطوبت قابل دسترس گیاه، کاهش جذب دی‌اکسید کربن به دلیل بسته شدن روزنه‌ها در شرایط خشکی و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز و کربوهیدرات‌های تولید شده طی فرایند فتوسنتز باشد.

نتایج تجزیه واریانس اثر نوع آب آبیاری و سطح آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب توت‌فرنگی در جدول (۵) ارائه شده است. با توجه به جدول (۵)، اثر نوع آب آبیاری و سطح آبیاری بر وزن میوه، زیست‌توده، عملکرد بوته و بهره‌وری آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد؛ اثر متقابل نوع آب آبیاری و سطح آبیاری نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر فاکتورهای مختلف بر عملکرد و بهره‌وری آب توت‌فرنگی

سال کشت	منابع تغییر	درجه آزادی	وزن میوه	زیست‌توده	عملکرد هر بوته	بهره‌وری آب
۱۴۰۰	بلوک	۲	۱۹۸/۹۳**	۱۹۸۴/۲۲**	۱۲۸۹/۰۷**	۷۲/۵۱**
	نوع آب آبیاری	۱	۴۷۶/۰۸**	۲۷۴۸/۰۷**	۱۶۷۵/۷۱**	۱۶۷/۱۹**
	سطح آبیاری	۲	۷۵۱/۲۵**	۳۹۱۲/۹۱**	۲۳۰۱/۶۰**	۲۴۸/۷۷**
	نوع آب آبیاری × سطح آبیاری	۲	۹/۱۲**	۱۹۸/۰۶**	۱۱۹/۴۲**	۳/۹۶**
	خطا	۱۰	۰/۱۱	۲/۳۸	۱/۲۴	۰/۰۸
۱۴۰۱	بلوک	۲	۲۲۰/۰۸**	۲۰۱۹/۶۷**	۱۳۳۵/۲۴**	۸۰/۰۲**
	نوع آب آبیاری	۱	۵۰۲/۱۴**	۲۸۰۹/۳۶**	۱۷۱۸/۰۸**	۱۷۴/۸۶**
	سطح آبیاری	۲	۸۰۶/۱۹**	۴۰۰۲/۱۱**	۲۴۱۸/۰۱**	۲۸۲/۱۴**
	نوع آب آبیاری × سطح آبیاری	۲	۹/۹۸**	۲۲۵/۴۶**	۱۲۷/۹۳**	۵/۱۷**
	خطا	۱۰	۰/۱۳	۲/۴۵	۱/۰۸	۰/۱۰

**، * و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

مقایسه میانگین اثرات نوع آب آبیاری و سطح آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب توت‌فرنگی در جدول (۶) نشان داده شده است. مقادیر وزن میوه، زیست‌توده، عملکرد بوته و بهره‌وری آب در تیمار آب مغناطیسی بیشتر از تیمار آب غیرمغناطیسی شد و این اختلاف در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. با اعمال میدان مغناطیسی به‌دلیل منظم‌تر شدن مولکول‌های آب و اشغال فضای کمتر توسط آن‌ها و افزایش توانایی جذب آب توسط گیاه، کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد (بلیاوس‌کایا، ۲۰۰۴). همچنین افزایش جذب آب و مواد غذایی محلول توسط ریشه، باعث افزایش تولید ماده‌ی غذایی و در نهایت عملکرد گیاه می‌شود (نیکبخت و طالعی، ۱۳۹۸). نیکبخت و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که سطح برگ، وزن تر و بهره‌وری مصرف آب ذرت در تیمار آب مغناطیسی به‌ترتیب ۹/۵، ۸/۳ و ۹ درصد افزایش یافت.

مقادیر وزن میوه، زیست‌توده، عملکرد بوته و بهره‌وری آب در سطوح مختلف آبیاری دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بود (جدول ۶). حداکثر وزن میوه، زیست‌توده، عملکرد بوته و بهره‌وری آب به‌ترتیب برابر ۱۷/۵۷ گرم، ۲۵۳/۴۱ گرم، ۱۷۸/۵۴ گرم و ۵/۵۱ کیلوگرم بر مترمکعب و در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد حاصل شد.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر نوع آب آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب توت‌فرنگی

سال کشت	فاکتور		وزن میوه (گرم)	زیست‌توده (گرم)	عملکرد بوته (گرم)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
۱۴۰۰	نوع آب آبیاری	مغناطیس	۱۵/۵۲ a	۲۱۹/۳۹ a	۱۴۸/۱۸ a	۵/۷۶ a
		غیر مغناطیس	۱۲/۸۶ b	۱۸۰/۷۲ b	۱۲۵/۶۳ b	۵/۱۸ b
	سطح آبیاری	۱۰۰	۱۷/۴۵ a	۲۵۳/۴۱ a	۱۷۱/۳۲ a	۵/۴۹ a
		۸۰	۱۴/۶۳ b	۱۹۹/۶۶ b	۱۳۹/۵۳ b	۵/۵۹ a
		۶۰	۱۰/۴۹ c	۱۴۷/۰۹ c	۹۹/۸۷ c	۵/۳۳ b
۱۴۰۱	نوع آب آبیاری	مغناطیس	۱۵/۶۱ a	۲۱۵/۲۵ a	۱۵۴/۰۵ a	۵/۸۶ a
		غیر مغناطیس	۱۳/۰۳ b	۱۷۲/۶۳ b	۱۳۲/۹۷ b	۵/۲۲ b
	سطح آبیاری	۱۰۰	۱۷/۵۷ a	۲۴۷/۳۰ a	۱۷۸/۵۴ a	۵/۵۱ a
		۸۰	۱۴/۷۶ b	۱۹۴/۲۸ b	۱۴۳/۶۳ b	۵/۵۴ a
		۶۰	۱۰/۶۳ c	۱۴۰/۲۴ c	۱۰۸/۳۶ c	۵/۵۷ a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیست

با اعمال میدان مغناطیسی، وزن میوه در تیمارهای مغناطیسی در سال اول و دوم کشت به‌ترتیب ۲۰/۶۸ و ۱۹/۸۰ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی افزایشی معنی‌دار داشت. مقدار زیست‌توده در تیمارهای مغناطیسی در سال اول و دوم کشت به‌ترتیب ۲۱/۳۹ و ۲۴/۶۸ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی افزایشی معنی‌دار داشت. مقدار عملکرد بوته در تیمارهای مغناطیسی در سال اول و دوم کشت به‌ترتیب ۱۷/۹۴ و ۱۵/۸۵ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی افزایشی معنی‌دار داشت. بهره‌وری آب در تیمارهای مغناطیسی در سال اول و دوم کشت به‌ترتیب ۱۱/۱۹ و ۱۲/۲۶ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی افزایشی معنی‌دار داشت (جدول ۶). با عبور آب از میدان مغناطیسی، پیوندهای هیدروژنی و واندروالس بین مولکول‌های آب شکسته شده و در نتیجه کشش سطحی آب کاهش و حلالیت آب افزایش می‌یابد و در نتیجه املاح معدنی مورد نیاز گیاه در آب به خوبی حل‌شده و در نهایت افزایش کمیت محصول را سبب می‌شود (خوش‌روش و کیانی، ۱۳۹۴). یداللهی و همکاران (۱۴۰۰) نشان دادند که آبیاری با آب مغناطیسی به‌طور متوسط باعث افزایش عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب نخودفرنگی به‌ترتیب به‌میزان ۸/۶٪ و ۸/۷٪ نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی شد. خوش‌روش و همکاران (۱۴۰۰) نشان دادند که آب مغناطیسی با افزایش قدرت حلالیت آب، باعث افزایش فتوسنتز و رشد بذرهای آبیاری‌شده با آب مغناطیسی‌شده و جذب مواد غذایی از خاک نیز بیشتر خواهد شد. همچنین آب مغناطیسی با افزایش رطوبت در خاک و کاهش شوری پروفیل خاک باعث افزایش کمیت محصول خواهد شد. مصطفی‌زاده فرد و همکاران (۲۰۱۲) اثر آب مغناطیسی بر رطوبت عمق‌های مختلف خاک در آبیاری قطره‌ای را بررسی و گزارش نمودند که مقدار رطوبت خاک در تیمار آب مغناطیسی به‌طور متوسط ۷/۵ درصد بیشتر از تیمار آب غیرمغناطیسی بود. در شرایط آب مغناطیسی، مولکول‌های آب تحت تأثیر پیوندهای هیدروژنی و نیروهای واندروالس قرار گرفته و از آنجایی که در واکنش با یون‌ها بودند، آزاد شدند و آب را منسجم‌تر کردند؛ بنابراین مولکول‌های آب در شرایط مغناطیسی به‌راحتی به ذرات خاک چسبیده و به اعماق پایین خاک حرکت نکردند. این یعنی مولکول‌های آب مغناطیسی به‌راحتی به داخل منافذ و خلل و فرج خاک نفوذ کرده و به اعماق پایین خاک منتقل نشدند.

در سال اول کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، وزن میوه به‌ترتیب ۱۶/۱۶ و ۳۹/۸۸ درصد کاهش یافت. در سال دوم کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، وزن میوه به‌ترتیب ۱۵/۹۹ و ۳۹/۵ درصد کاهش یافت و این اختلاف در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). نتایج این بخش با یافته‌های قادری و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. کاهش در وزن میوه به دلیل کاهش در هدایت روزنه‌ای و میزان فتوسنتز ناشی از آن و کاهش در سطح برگ به دلیل تنش کم آبی است نتایج این بخش از پژوهش با یافته‌های رضایی و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد.

مقدار زیست‌توده در سال اول کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، به‌ترتیب ۲۱/۲۱ و ۴۱/۹۵ درصد کاهش یافت. در سال دوم کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، مقدار زیست‌توده به‌ترتیب ۲۱/۴۳ و ۴۳/۲۹ درصد کاهش یافت و این اختلاف در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). کاهش وزن تر اندام هوایی در گیاهان تحت شرایط کمبود آب به علت عدم توسعه و رشد سلولی ناشی از فشار تورژسانس است (رضایی و همکاران، ۱۳۹۹). نتایج این بخش از پژوهش با یافته‌های قاسمی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد. آن‌ها با بررسی اثر کم آبیاری بر گیاه توت‌فرنگی نشان دادند که کمترین سطح برگ در سطح تنش ۶۰ درصد و بیشترین سطح برگ در سطح عدم تنش بود. کاهش پتانسیل آب خاک، باعث کوچک شدن یا کاهش تولید برگ‌های جدید و در نتیجه باعث کاهش زیست‌توده گیاه می‌شود. از آن‌جایی‌که در شرایط کمبود آب،

دهیدراسیون و کاهش حجم سلولی در شاخه‌ها و برگ‌ها بیشتر از ریشه رخ می‌دهد لذا رشد اندام هوایی بیشتر از رشد ریشه‌ها تحت تأثیر کمبود آب قرار می‌گیرند. برخی از گیاهان در پاسخ به کمبود آب، میزان جذب آب را از طریق حفظ نسبی رشد ریشه افزایش می‌دهند و بدین ترتیب گستره جذب رطوبتی خود را افزایش می‌دهند. کمبود آب باعث توسعه ریشه به بخش‌های عمیق‌تر و مرطوب‌تر خاک شده و با جلوگیری از توسعه برگ، میزان مصرف کربن و انرژی را در اندام‌های هوایی کاهش می‌دهد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۹).

مقدار عملکرد بوته در سال اول کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، به‌ترتیب ۱۸/۵۵ و ۴۱/۷ درصد کاهش یافت. در سال دوم کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، مقدار عملکرد بوته به‌ترتیب ۱۹/۵۵ و ۳۹/۳ درصد کاهش یافت و این اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۶). کاهش در سطح برگ گیاه، ترفند گیاه برای جلوگیری از هدر رفت آب بوده و به دلیل کاهش در سطح فتوسنتز کننده، منجر به کاهش عملکرد می‌شود (رشید و همکاران، ۲۰۱۴).

بهره‌وری آب در سال اول کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، به‌ترتیب ۱/۸۲ درصد افزایش و ۲/۹۱ درصد کاهش یافت. در سال دوم کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، بهره‌وری آب افزایش یافت به‌طوری‌که بیشترین بهره‌وری آب در تیمار ۶۰ درصد آبیاری اتفاق افتاد (جدول ۶). رضایی و همکاران (۱۳۹۹) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. آن‌ها نشان دادند که بیشترین و کمترین مقدار بهره‌وری آب به ترتیب مربوط به آبیاری کامل و سطح آبیاری ۶۰ درصد بود.

نتیجه‌گیری

توت‌فرنگی یکی از محصولات مهم تجاری است که افزایش کمی و کیفی عملکرد آن از جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌است. کم آبیاری راه‌کاری مناسب برای کسب عملکرد قابل قبول و اقتصادی با مصرف حداقل آب است که در کنار اعمال میدان مغناطیسی می‌توان به نتایج مناسبی دست یافت. در این پژوهش، تأثیر آب مغناطیسی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه توت‌فرنگی تحت شرایط کم آبیاری مورد بررسی قرار گرفت. به‌طور کلی نتایج پژوهش نشان داد که استفاده از آب مغناطیسی باعث اثرات مثبت و معنی‌دار بر عملکرد و اجزای عملکرد توت‌فرنگی نسبت به تیمار شاهد داشت. همچنین کم آبیاری نیز بر صفات مورد بررسی توت‌فرنگی اثر معنی‌دار داشت و بهترین نتایج در تیمار آبیاری کامل با استفاده از آب مغناطیسی حاصل شد. با استفاده از آب مغناطیسی، می‌توان در مصرف آب صرفه‌جویی نمود و اثرات تنش آبی را تا حدی کاهش داد.

فهرست منابع

۱. احمدی، ک.، عبادزاده، ح. ر.، حاتمی، ف.، محمدنیا افروزی، ش.، عباس طالقانی، ر.، یاری، ش. و کلانتری، م. ۱۴۰۰. آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۹. انتشارات مرکز فناوری و اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی، جلد ۳. ۱۶۴ ص.

۲. اسدی اقدم، ا.، طباطبایی، ج. و حاجیلو، ج. ۱۳۹۲. تأثیر خشکی قسمتی از منطقه ریشه بر ویژگی‌های کمی و کیفی تـوت‌فرنگی رقم سلوا. تولید و فراوری محصولات زراعی و باغی. جلد ۳. شماره ۸. ۸۰-۷۳.

۳. پورغلام آمیجی، م.، خوش‌روش، م.، دیوبند هفشجانی، ل. و قدمی فیروزآبادی، ع. ۱۴۰۱. اثر آبیاری با پساب مغناطیسی تصفیه‌شده بر بهره‌وری آب ذرت. آبیاری و زهکشی ایران. جلد ۱۶. شماره ۱. ۲۵۳-۲۴۳.

۴. حبیبی، ه.، موحدی نائینی، س. ع.، خوش‌روش، م. و صابری، ع. ۱۳۹۸. تأثیر آب مغناطیسی بر عملکرد و جذب برخی از عناصر در ذرت در شرایط مزرعه. مهندسی زراعی. جلد ۴۲. شماره ۲. ۱۴۲-۱۳۱.

۵. حیدرپور، م.، خوش‌روش، م. و مشاوری، ی. ۱۳۹۵. اثر آب شور مغناطیسی شده بر اصلاح آب‌وخاک در آبیاری قطره‌ای. پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک. جلد ۲۳. شماره ۲. ۱۹۳-۱۷۹.

۶. حیدری، ط.، شاهدی، ب. و بانژاد، ح. ۱۳۹۹. تأثیر آب مغناطیسی بر خصوصیات رشدی ریحان تحت کم آبیاری و آبیاری ناقص ریشه. مدیریت آب در کشاورزی. جلد ۷. شماره ۲. ۱۵۸-۱۴۹.

۷. خوش‌روش، م. و کیانی، ع. ر. ۱۳۹۴. اثر آب شور مغناطیسی شده بر نفوذپذیری و هدایت الکتریکی بافت‌های مختلف خاک. آبیاری و زهکشی ایران. جلد ۹. شماره ۴. ۶۵۴-۶۴۶.

۸. خوش‌روش، م.، عرفانیان، ف. و پورغلام آمیجی، م. ۱۴۰۰. اثر آبیاری با پساب مغناطیسی تصفیه‌شده بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت. مدیریت آب در کشاورزی. جلد ۸. شماره ۱. ۱۲۸-۱۱۵.

۹. دودمان، م. و امیری، م. ا. ۱۳۹۲. اثر N، K و Mg بر عملکرد و کیفیت میوه توت‌فرنگی (*Fragaria*× *ananassa* cv. Sun Rise) در شرایط کشت هیدروپونیک. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. جلد ۴. شماره ۱۶. ۱۱۸-۱۱۱.

۱۰. دیلمقانی حسنلویی، م. ر. و همتی، س. ۱۳۹۰. اثر بسترهای مختلف کشت بر میزان عناصر غذایی، عملکرد و خصوصیات کیفی توت‌فرنگی رقم سلوا در کشت بدون خاک. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. جلد ۲. شماره ۷. ۷-۱.

۱۱. رضایی، ش.، زارع ابیانه، ح.، ساری‌خانی، ح. و جوزی، م. ۱۳۹۹. ارزیابی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه توت‌فرنگی گلخانه‌ای تحت سطوح مختلف آبیاری در بسترهای کشت خاکی و غیرخاکی. آبیاری و زهکشی ایران. جلد ۱۴. شماره ۵. ۱۷۰۷-۱۶۹۷.

۱۲. رنجبر، ر.، عشقی، س. و رستمی، م. ۱۳۹۰. اثر محلول‌پاشی سولفات نیکل و اوره بر رشد زایشی و ویژگی-های کمی و کیفی میوه توت‌فرنگی رقم پاجارو (*Fragaria ananassa* Duch. cv. Pajaro). علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. جلد ۲. شماره ۷. ۴۸-۴۱.

۱۳. شاهنظری، ع. و رضائیان، م. ۱۳۹۴. تأثیر کم‌آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه بر خصوصیات کمی و کیفی توت‌فرنگی. آب‌وخاک. جلد ۲۹. شماره ۴. ۸۲۷-۸۲۰.

۱۴. صادقی‌پور، ا. و آقایی، پ. ۱۳۹۳. بررسی اثر تنش خشکی و کاربرد آب مغناطیسی بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش. پژوهش‌های به زراعی. جلد ۱۶. شماره ۱. ۸۶-۸۰.

۱۵. فاطمی، ل.، طباطبایی، ج. و فلاحی، ا. ۱۳۸۸. تأثیر سیلیسیوم بر شدت فتوسنتز و غلظت عناصر غذایی گیاه تـوت‌فرنگی در شـرایط تنش شوری. دانش کشاورزی و تولید پایدار. جلد ۱۹. شماره ۱. ۱۱۸-۱۰۷.

۱۶. قادری، ن.، و سی‌وسه مرده، ع. ۱۳۹۲. تأثیر تنش خشکی بر برخی از ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در ارقامتوت‌فرنگی. علوم باغبانی ایران. جلد ۴۴. شماره ۲. ۱۳۶-۱۲۹.

۱۷. قاسمی، ح.، امیری فهلیانی، ر.، کاوسی، ب. و دهداری، م. ۱۳۹۷. واکنش برخی ارقام توت‌فرنگی (*Fragaria*×*ananssa* Duch.) به کم‌آبیاری از نظر سطح برگ و برخی ویژگی‌های کمی و کیفی میوه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. جلد ۹. شماره ۱. ۳۸-۲۵.

۱۸. قدمی فیروزآبادی، ع.، خوش‌روش، م.، شیرازی، پ. و زارع ابیانه، ح. ۱۳۹۵. اثر آبیاری مغناطیسی بر عملکرد دانه و بیوماس گیاه سویا رقم DPX در شرایط کم آبیاری و شوری آب. پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۳۰. شماره ۱. ۱۴۳-۱۳۱.

۱۹. نیکبخت، ج. و طالعی، ا. ۱۳۹۸. تأثیر آب مغناطیسی بر خصوصیات هیدرولیکی آبیاری قطره‌ای-نواری و عملکرد وکارایی مصرف آب ذرت. حفاظت منابع آب‌وخاک. جلد ۸. شماره ۴. ۳۶-۲۱.

۲۰. یداللهی، ا. ح.، خوش‌روش. م. و غلامی سفیدکوهی، م. ع. ۱۴۰۰. تأثیر کم‌آبیاری تنظیم‌شده با آب مغناطیسی بر خواص کمی، کیفی و بهره‌وری آب نخودفرنگی. پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۳۵. شماره ۴. ۳۸۹-۳۷۳.

21. Ahmed, M. E. M. and EL-Kader, N. I. A. B. D. 2016. The influence of magnetic water and waterregimes on soil salinity, growth, yield and tubers quality of potato plants. Middle East Journal ofAgriculture Research, 5(2), 132-143.
22. Algozari, H. and Yao, A. 2006. Effect of the magnetizing of water and fertilizers on some chemical parameters of soil and growth of maize. MS.c. Thesis. University of Baghdad, Baghdad, Iraq.
23. Al-Khazan, M., Mohamed Abdullatif, B. and AlAssaf, N. 2011. Effects of magnetically treatedwater on water status, chlorophyll pigments and some elements content of Jojoba (Simmondsiachinensis L.) at different growth stages. African Journal of Environmental Science andTechnology, 5(9), 722-731.
24. Belyavskaya, N. A. 2004. Biological effects due to weak magnetic field on plants. Advances in spaceResearch. 34, 1566–1574.
25. Biryukov, A. S., Gavrikov, V. F., Nikiforov, L. O., and Shcheglov, V. A. 2005. New physical methods of disinfection of water. Journal of Russian Laser Research, 26(1), 1913-1925.
26. Celik, O., Atak, C., and Rzakulieva, A. 2008. Stimulation of rapid regeneration by a magnetic field in paulownia node cultures. Journal of Central European Agriculture, 9(2), 297-303.
27. El Sayed, H. E. S. A. 2014. Impact of magnetic water irrigation for improve the growth, chemical composition and yield production of broad bean (Vicia faba L.) plant. American journal of experimental agriculture, 4(4), 476-496.
28. Gavili, E., Moosavi, A. A., and Moradi Choghamarani, F. 2018. Cattle manure biochar potential for ameliorating soil physical characteristics and spinach response under drought. Archives of Agronomy and Soil Science, 64(12), 1714-1727.
29. Ghaderi, N., Nourmohammadi, S. and Javadi, T. 2015. Morpho-physiological responses of strawberry (Fragaria ananassa) to exogenous salicylic acid application under drought stress. Journal ofAgricultural Science and Technology, 17, 167-178.
30. Giné-Bordonaba, J., and Terry, L. A. 2016. Effect of deficit irrigation and methyl jasmonate application on the composition of strawberry (Fragaria x ananassa) fruit and leaves. Scientia Horticulturae, 199, 63-70.
31. Grant, O. M., Johnson, A. W., Davies, M. J., James, C. M., and Simpson, D. W. 2010. Physiological and morphological diversity of cultivated strawberry (Fragaria× ananassa) in response to water deficit. Environmental and Experimental Botany, 68(3), 264-272.
32. Ismail, S., Ozava, K., and Khondaker, N. 2008. Influence of single and multiple water application timing on yield and water use efficiency in tomato (var. first power). Agriculture Water Management. 95, 116-122.
33. Khoshravesh, M., Mirzaei, S. M. J., Shirazi, P., and Valashedi, R. N. 2018. Evaluation of dripper clogging using magnetic water in drip irrigation. Applied Water Science, 8(3), 1-8.
34. Klamkowski, K. and Treder, W. 2006. Morphological and physiological responses of strawberry plants to water stress. Agriculture Conspectus Scientifics. 71, 159-165.
35. Li, H., Lascano, R. J., Booker, J., Wilson, L. T., Bronson, K. F., and Segarra, E. 2002. State-space description of field heterogeneity: Water and nitrogen use in cotton. Soil Science Society of America Journal, 66(2), 585-595.

36. Mostafazadeh-Fard, B., Khoshravesh, M., Mousavi, S. F., and Kiani, A. R. 2011. Effects of magnetized water on soil sulphate ions in trickle irrigation. In 2nd International conference on environmental engineering and applications. IACSIT Press, Singapore (Vol. 17). 19-21 August 2011, Shanghai, China.
37. Mostafazadeh-Fard, B., Khoshravesh, M., Mousavi, S. F., and Kiani, A. R. 2012. Effects of magnetized water on soil chemical components underneath trickle irrigation. Journal of irrigation and drainage engineering, 138(12), 1075-1081.
38. Nikbakht, J., Khandeh Rouyan, M., Tavakoli, A. and Tahheri, M. 2014. The effect of magnetic water deficit on yield and water use efficiency of corn. Journal of Water Research in Agriculture. 24(4), 551-563.
39. Raeini-Sarjaz, M., and Chalavi, V. 2011. Effects of water stress and constitutive expression of a drought induced chitinase gene on water-use efficiency and carbon isotope composition of strawberry. J. Appl. Bot. Food Qual, 84, 90-94.
40. Ramankutty, N., Mehrabi, Z., Waha, K., Jarvis, L., Kremen, C., Herrero, M., and Rieseberg, L. H. 2018. Trends in global agricultural land use: implications for environmental health and food security. Annual review of plant biology, 69(1), 789-815.
41. Rashid, B., Husnain, T., and Riazuddin, S. 2014. Genomic approaches and abiotic stress tolerance in plants. In Emerging technologies and management of crop stress tolerance (pp. 1-37). Academic Press.
42. Ringler, C., Agbonlahor, M., Barron, J., Baye, K., Meenakshi, J. V., Mekonnen, D. K., and Uhlenbrook, S. 2022. The role of water in transforming food systems. Global Food Security, 33, 100639.
43. Sadeghipour, O., and Aghaei, P., 2013. Improving the growth of cowpea (Vigna unguiculata L. Walp.) by magnetized water. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, 3(1), 37-43.
44. Wei, W., Hu, Y., Han, Y. T., Zhang, K., Zhao, F. L., and Feng, J. Y. 2016. The WRKY transcription factors in the diploid woodland strawberry Fragaria vesca: identification and expression analysis under biotic and abiotic stresses. Plant Physiology and Biochemistry, 105, 129-144.
45. Zegbe, J. A., Behboudian, M. H., and Clothier, B. E. 2004. Partial rootzone drying is a feasible option for irrigating processing tomatoes. Agricultural water management, 68(3), 195-206.
46. Zlotopolski, V. 2017. Magnetic treatment reduces water usage in irrigation without negatively impacting yield, photosynthesis and nutrient uptake in lettuce. International Journal of Applied Agricultural Sciences, 3(5), 117-122.

Effect of Water Stress on Strawberry Yield and Yield Components using Magnetized Water

M. Khoshravesh[1] and M. Pourgholam-Amiji

Associate Prof., Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

khoshravesh_m24@yahoo.com

Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

mpourgholam6@ut.ac.ir

Received: August 2022 and Accepted: December 2022

Abstract

Searching for ways to reduce consumption and preserve water resources is of great importance. Using magnetized water may be effective in this regard. In this research, the effect of water stress using magnetized water on the yield and yield components of strawberry plants was investigated. The factorial experiment was conducted in the form of randomized complete block design with three replications in 2021 and 2022 in Neka Region. The main factor included the type of irrigation water (Non-Magnetized Water (W1) and Magnetized Water (W2)) and the secondary factor included the level of irrigation in three levels (100% FI: Flood irrigation =I1, 80%FI =I2, and 60%FI =I3). The results showed that the effect of irrigation water type and irrigation level on the number of fruits per plant, length, diameter and weight of fruit, biomass, and plant yield and water productivity was significant ($p< 1\%$). On average, by application of magnetized water, the number of fruits per plant, length, diameter and fruit weight, biomass, plant yield, and water productivity were increased by 15.1%, 16.6%, 18%, 20/2%, 23%, 16.8%, and 11.7%, respectively. By reducing the amount of irrigation water, the appearance characteristics of strawberry fruit and yield decreased, but the water productivity increased. The biggest decrease was related to the number of fruits per plant at the irrigation level of 60%, which decreased by 42.72% compared to the control treatment. In conclusion, use of magnetized water technology and deficit irrigation improved strawberry yield.

Keywords: Magnetized water, Amount of irrigation, Water productivity, Fruit weight

[1] - Corresponding author: Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.