

تأثیر مساحت و جنس تقطیرکننده در روش آبیاری تقطیری بر عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی

عباس بهرامی^۱، احمد رضا قاسمی^{۲*}، محمدرضا نوری^۳ و رحیم برزگر^۴

چکیده

کاهش شدید منابع آب شیرین سطحی و بحرانی‌شدن منابع آب زیرزمینی در چند دهه اخیر در بیشتر مناطق کشور به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مسائل کشور مطرح است. به‌همین دلیل راهکار مناسب درجهت بهره‌برداری از منابع آب نامتعارف، مانند آب‌های شور می‌تواند به کاهش اثرات منفی کاهش منابع آب کمک کند. در این پژوهش، یکی از راه‌های بهره‌برداری از منابع آب شور مورد بررسی قرار گرفت. شیرین‌کردن آب شور به روش تبخیر و میعان به کمک انرژی خورشید (آبیاری تقطیری)، یکی از ساده‌ترین روش‌ها برای تولید آب قابل‌استفاده در کشاورزی است. در این پژوهش با اجرای سازه‌های پلاستیکی و پلی‌کربنات به بررسی تأثیر جنس و اندازه سطح تقطیرکننده در روش آبیاری تقطیری بر عملکرد و کارایی مصرف آب در گیاه گوجه‌فرنگی پرداخته شد. آزمایش در ۷ تیمار و ۴ تکرار به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو نوع جنس سطح تقطیرکننده شامل صفحات پلاستیکی (P) و پلی‌کربنات (PC) و سه اندازه سطح خارجی متفاوت شامل ۰/۴۸، ۰/۷۲ و ۰/۹۶ مترمربع انجام شد. همچنین یک تیمار با آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (آبیاری با آب شیرین) نیز به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. در این آزمایش پارامترهای تعداد میوه، وزن تر میوه، وزن تر و خشک اندام هوایی، حجم آب شیرین تولیدشده، میزان نشت یونی، دمای سطح برگ و کارایی مصرف آب اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد تیمار P_3 (صفحه پلاستیکی با سطح خارجی ۰/۹۶ متر مربع) بیشترین میزان تولید آب شیرین را به میزان ۲۱ لیتر به خود اختصاص داده‌است. در مقابل تیمار PC_3 (صفحه پلی‌کربنات با سطح خارج ۰/۴۸ متر مربع) کمترین میزان تولید آب شیرین را به میزان ۱۶/۵ لیتر داشت. شفافیت تیمارهای پلاستیکی و در نتیجه عبور نور بیشتر به داخل سازه نسبت به تیمارهای پلی‌کربنات می‌تواند دلیل این تفاوت در تولید آب شیرین باشد. با توجه به تولید بیشترین مقدار آب شیرین در تیمار P_3 ، بیشترین تعداد میوه، وزن تر میوه و وزن تر و خشک گیاه نیز در این تیمار مشاهده شد. در مقابل کمترین مقدار وزن تر و خشک گیاه، تعداد و وزن تر میوه در تیمار PC_3 مشاهده شد. بیشترین و کمترین کارایی مصرف آب نیز به ترتیب در تیمارهای P_3 و PC_3 به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تقطیری، سطوح تقطیرکننده، کارایی مصرف آب، گوجه‌فرنگی.

ارجاع: بهرامی ع، قاسمی ا، نوری م، ر، و برزگر ر. ۱۴۰۱. تأثیر مساحت و جنس تقطیرکننده در روش آبیاری تقطیری بر عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی. مجله پژوهش آب ایران، ۴۵: ۷۱-۸۰. <https://dx.doi.org/10.22034/iwrj.2022.13784.2384>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد.

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد.

۴- استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد.

* نویسنده مسئول: ghasemiar@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۰

مقدمه

بسیاری از کشورهای دنیا با کمبود آب شیرین روبه‌رو هستند و این درحالی است که میزان آب شیرین در دسترس نیز به شکل نگران‌کننده‌ای درحال کاهش است (خواجی و همکاران، ۲۰۰۸). این محدودیت در منابع آب شیرین، بر رشد اقتصادی بسیاری از کشورهای دنیا، به‌ویژه کشورهای درحال توسعه تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای گذاشته‌است. ایران نیز به‌عنوان یک کشور درحال توسعه با اقلیمی خشک و نیمه‌خشک به شکل فزاینده‌ای با این مشکلات روبه‌روست. بدون برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری در طرح‌ها و پروژه‌های شیرین‌سازی آب‌های شور، در آینده نزدیک کشور از لحاظ تأمین آب به‌ویژه در بخش‌های کشاورزی با مشکلات جدی روبه‌رو خواهد شد. درحال حاضر در بسیاری از کشورهای دنیا با مصرف سوخت‌های فسیلی و آب‌شیرین‌کن‌های بزرگ صنعتی، آب شیرین تولید می‌شود، ولی استفاده از این آب در بخش کشاورزی مقرون‌به‌صرفه نیست. تولید آب شیرین از طریق تبخیر و میعان آب‌های شور یا بی‌کیفیت، با استفاده از انرژی گرمایی خورشید (آبیاری تقطیری)، یکی از ساده‌ترین روش‌های تولید آب برای مصرف در کشاورزی است. در این روش با استفاده از صفحه‌های شفاف یا رنگی، گرمای لازم برای تبخیر از خورشید جذب می‌شود، آب شور در زیر صفحه‌ها قرار گرفته و بعد از فرایند تبخیر و میعان، آب شیرین تولیدشده به خاک وارد و توسط ریشه گیاه جذب می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱- نمایی از آبیاری تقطیری (آلیکو، ۲۰۱۷)

نمک‌زدایی آب شور به کمک انرژی خورشید یکی از گزینه‌های مهم برای استحصال آب خالص از آب ناخالص است و روشی که برای انجام این فرایند مورد استفاده قرار می‌گیرد، به نام تقطیرکننده خورشیدی شناخته می‌شود (پانچل و پاتل، ۲۰۱۶).

در سال‌های اخیر با توجه به مطرح‌شدن استفاده از آب‌های نامتعارف، مقالات و گزارش‌های تحقیقی متعددی در این زمینه ارائه شده‌است که به چند مورد از

پژوهش‌های جدیدتر در این زمینه اشاره می‌شود. سایدور و همکاران (۲۰۱۱) عنوان کردند که در میان روش‌های استحصال آب در مناطق خشک، روش تقطیر آب شور یکی از بهترین روش‌های عملی و اقتصادی به‌ویژه برای تولید انبوه آب شیرین از آب شور دریا به‌نظر می‌رسد. تیگر و همکاران (۲۰۱۲) با هدف کاهش مشکل شوری آب پساب تصفیه‌شده در جنوب الجزایر، طرحی برای آبیاری درختان نخل، پیشنهاد کردند. این طرح از یک حوض پوشیده شده با شیشه یا پلاستیک تشکیل شده که آب شور در داخل حوضچه قرار می‌گیرد. آب پس از تبخیر در مجاورت شیشه یا پلاستیک شفاف جمع می‌شود. الاسماعیل (۲۰۱۴) عنوان کرد با استفاده از جاذب‌های حرارتی مانند رنگ‌های تیره، ذغال چوب یا استفاده از آینه‌های منعکس‌کننده می‌توان میزان تبخیر آب شور در آبیاری تقطیری را افزایش داد.

پالزنولا و همکاران (۲۰۱۸) با ارزیابی یک مجموعه تقطیر چندمنظوره خورشیدی که برای تولید آب شیرین در شبلی اجرا شده بود، نشان دادند که این سیستم می‌تواند تقریباً ۴۶ درصد از کل انرژی مورد نیاز تصفیه آب را تأمین کند. منتیرو و همکاران (۲۰۲۰) با مقایسه روش اسمز معکوس با روش نمک‌زدایی خورشیدی برای تولید آب شیرین در مناطق خشک نشان دادند با توجه به بحث انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، روش تقطیر خورشیدی به روش اسمز معکوس ارجحیت دارد.

در ایران نیز پژوهش‌هایی در این زمینه انجام شده که در زیر به برخی از مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌شود. یوسفی و همکاران (۱۳۹۰) از روش آبیاری چگالشی (نمک‌زدایی و آبیاری به‌طور همزمان) برای تولید آب شیرین استفاده کرده و دریافتند که اگر از لوله‌های زهکشی استفاده شود، آب چگالش‌یافته و هوای مرطوب از درزهای لوله‌ها به درون خاک نفوذ می‌کند و عمل آبیاری و هوادهی خاک انجام می‌گیرد. یوسفی و برومندنسب (۱۳۹۴) نیز با اجرای یک سیستم آبیاری چگالشی نشان دادند که این سیستم به‌طور متوسط ظرفیت تولید ۴ لیتر آب در ۸ ساعت و در طول ۲۵ متر طول لوله را دارد.

قاسمی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی در دانشگاه شهید چمران اهواز، با استفاده از شش دستگاه تقطیرگر خورشیدی نصب‌شده روی سقف گلخانه، اقدام به شیرین‌سازی آب شور ۵ دسی‌زیمنس بر متر کردند. نتایج

کارایی مصرف آب گیاه گوجه‌فرنگی انجام شد. این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد به مختصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی، ۳۲ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۲۰۶۱ متری از سطح دریا انجام شد. براساس تقسیم‌بندی کوپن، این منطقه دارای اقلیم سرد معتدل با تابستان‌های گرم و خشک و متوسط دمای سالانه ۱۵/۴ سانتی‌گراد است.

این مطالعه به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۷ تیمار و ۴ تکرار انجام شد. تیمارها شامل دو نوع جنس سطح تقطیرکننده شامل صفحه پلاستیکی شفاف (P) و صفحه پلی‌کربنات شفاف (PC) و سه اندازه سطح تقطیرکننده (شامل ۰/۴۸، ۰/۷۲ و ۰/۹۶ متر مربع) هستند. در این پژوهش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیز به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد و نتایج علاوه‌بر تجزیه واریانس، به‌صورت آزمایش فاکتوریل، به‌صورت طرح کاملاً تصادفی نیز تحلیل و در قالب یک جدول واحد ارائه شد. هر تیمار شامل چهار تکرار و هر تکرار دارای سه بوته گیاه گوجه‌فرنگی است. جدول ۱ تیمارهای مورد استفاده در پژوهش و حروف اختصاری مربوط به هر تیمار را نشان می‌دهد.

پیش از شروع آزمایش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تعیین شد (جدول ۲). آب شور مورد استفاده در این پژوهش از چشمه آب شور روستای آلیکوه واقع در شهرستان اردل، استان چهارمحال و بختیاری تهیه شد. شوری آب این چشمه ۱۱۰ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد و بعد از رقیق‌کردن با آب شرب (۰/۲۷ دسی‌زیمنس بر متر) به شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر رسانده شد.

آن‌ها نشان داد که مقدار میانگین تولید آب شیرین این شش تقطیرگر، ۴/۸۸ لیتر در روز است. شبیه‌سازی و طراحی بهینه استخر خورشیدی در جهت آبیاری زیرسطحی توسط احمدی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۸) انجام شد. آن‌ها نشان دادند هرچه سطح مقطع هوای ورودی و سرعت هوای ورودی به سامانه کمتر باشد، میزان آب استحصال‌شده برای لوله با طول واحد، بیشتر می‌شود. عرب‌نژاد و همکاران (۱۳۹۹) نیز امکان‌سنجی کشت گلخانه‌ای گیاه ریحان با استفاده از آبیاری چگالشی را بررسی کردند و نشان دادند که آبیاری چگالشی توان تأمین نیاز آبی گیاه ریحان در کشت گلخانه‌ای را دارد.

مشرفیان و همکاران (۱۳۹۹) عملکرد و کارایی مصرف آب فلفل قلمی را در آبیاری تقطیری با چهار نوع آب (آب مقطر، آب آشامیدنی و آب با شوری‌های ۴ و ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر) و سه سطح تقطیرکننده (نیمکره شفاف و رنگی پلاستیکی و شیشه‌ای هرمی شکل) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد، بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که با افزایش شوری، مقدار تولید آب در روش آبیاری تقطیری کاهش می‌یابد. بالاترین درصد تولید آب، مربوط به تیمار آب‌مقطر همراه با ظرف هرمی‌شکل شیشه‌ای بوده‌است. میزان تابش خورشیدی در ایران بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال تخمین زده شده که بالاتر از میزان میانگین جهانی است. همچنین میانگین سالیانه تعداد روزهای آفتابی بیش از ۲۸۰ روز گزارش شده‌است که بسیار قابل‌توجه است (نجفی و همکاران، ۲۰۱۵)؛ بنابراین پتانسیل استفاده از انرژی خورشیدی در ایران برای شیرین‌سازی آب‌های شور بسیار بالا است.

بنابراین هدف از انجام این پژوهش، بررسی عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه گوجه‌فرنگی در روش آبیاری تقطیری در منطقه شهرکرد است. در این تحقیق تأثیر اندازه و جنس سازه‌های تقطیرکننده بر میزان تولید آب شیرین در جهت آبیاری گوجه‌فرنگی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در طی یک فصل زراعی (از ۵ خرداد تا ۱۲ مهر ۱۳۹۸) و به‌منظور بررسی تأثیر جنس و اندازه سطوح مختلف تقطیرکننده در روش آبیاری تقطیری بر عملکرد و

جدول ۱- تیمارهای مورد بررسی در پژوهش

علامت	توضیحات تیمار
اختصاری تیمار	
P ₁	سطح تقطیر هرمی پلاستیکی با مساحت ۰/۴۸ مترمربع
P ₂	سطح تقطیر هرمی پلاستیکی با مساحت ۰/۷۲ مترمربع
P ₃	سطح تقطیر هرمی پلاستیکی با مساحت ۰/۹۶ مترمربع
PC ₁	سطح تقطیر هرمی پلی‌کربناتی با مساحت ۰/۴۸ مترمربع
PC ₂	سطح تقطیر هرمی پلی‌کربناتی با مساحت ۰/۷۲ مترمربع
PC ₃	سطح تقطیر هرمی پلی‌کربناتی با مساحت ۰/۹۶ مترمربع
S	آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

بافت خاک	هدایت الکتریکی (ds.m^{-1})	EC	اسیدیته pH	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	رطوبت ظرفیت مزرعه (درصد وزنی)	رطوبت نقطه پژمردگی (درصد وزنی)
لوم رسی شنی	۱/۶۵		۷/۷۴	۵۱/۵	۲۱/۵	۲۷	۲۲/۱	۹/۷

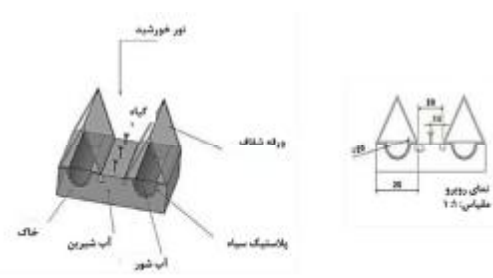
نحوه آماده‌سازی محیط آزمایش

ابتدا عملیات شخم و تسطیح زمین انجام شد. سپس برای هر تیمار (به‌غیر از تیمار شاهد) ۵ جویچه به طول ۱۲۰ سانتی‌متر، عرض ۲۰ سانتی‌متر و عمق ۱۰ سانتی‌متر احداث شد. کف جویچه‌ها با پلاستیک‌های سیاه‌رنگ پوشیده شد که از آب شور پر شدند. فاصله جویچه‌ها با یکدیگر ۳۵ سانتی‌متر است. ۵ سازه هر می به‌عنوان سطح تقطیر روی هر کدام از جویچه‌ها قرار گرفته شد. به‌طوری‌که کف هرم به طول ۳۵ سانتی‌متر روی خاک قرار می‌گیرد. فاصله بین سازه‌ها ۲۰ سانتی‌متر است و نشاهای

گوجه‌فرنگی در ۱۰ سانتی‌متری هر سازه کشت شدند. آب شیرین‌شده از زیر سازه به محل کشت نشت می‌کند. شکل‌های ۲ و ۳ به‌ترتیب طرح شماتیک سازه‌ها و نمایی از طرح را نشان می‌دهند. نشاها با فاصله ۴۵ سانتی‌متر از یکدیگر و در طول سازه همراه با کود حیوانی و زئولیت (۳۰ گرم اطراف هر بوته) که با خاک مخلوط شده، کشت شدند. بعد از یک هفته آبیاری نشاها که ریشه آن‌ها به پایداری و سازگاری با محیط رسید، اقدام به اعمال تیمارها شد.



شکل ۳- سمت راست: نمایی از تیمار شاهد و سمت چپ: تیمارها با سازه‌های صفحات پلاستیک شفاف و صفحات پلی‌کربنات دوجداره شفاف



شکل ۲- تصویر شماتیک سازه‌ها و محل قرارگیری نشاها

متغیرهای مورد بررسی

شاخص‌های گیاهی مورد بررسی در این پژوهش شامل تعداد میوه، وزن تر میوه و وزن تر و خشک اندام هوایی هستند؛ علاوه‌براین میزان آب شیرین تولیدشده، کارایی مصرف آب، دمای سطح برگ (به‌وسیله دماسنج مادون‌قرمز در چهار نوبت در طول آزمایش) و میزان نشت یونی (موسوی و همکاران، ۱۳۹۴) نیز اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

حجم آب شیرین تولیدشده

میزان آب مصرف‌شده هر تیمار در شکل ۴ ارائه شده‌است. آب مصرفی در تیمارها، به‌جز تیمار شاهد، دراصل میزان آب شیرین تولیدشده در تیمارها است. میزان آب تیمار شاهد براساس نیاز آبی گیاه در اختیار آن قرار گرفته و در

طول دوره کاشت ۷۳/۳ لیتر است. بیشترین میزان آب تولیدشده در تیمار پلاستیکی با سطح خارجی بزرگ و به میزان حدود ۲۱ لیتر است. کمترین آب شیرین تولیدشده نیز در تیمار پلی‌کربنات با سطح بزرگ به میزان ۱۶/۵ لیتر مشاهده می‌شود. کاهش تبخیر از سطح و همچنین کاهش نفوذ عمقی به این دلیل که آب به‌صورت جزئی و به مرور زمان در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، می‌تواند دلیل کاهش شدید آب مصرفی در تیمارهای مورد بررسی نسبت به تیمار شاهد باشد.

متوسط تولید آب شیرین در تیمارهای پلاستیکی حدود ۲۰ لیتر و در تیمارهای پلی‌کربنات حدود ۱۸/۵ لیتر است. شفافیت تیمارهای پلاستیکی نسبت به پلی‌کربنات می‌تواند دلیل این تفاوت باشد. بیشینه عبور نور از مواد با جنس پلی‌کربنات دوجداره حدود ۸۰ درصد و جنس پلاستیک

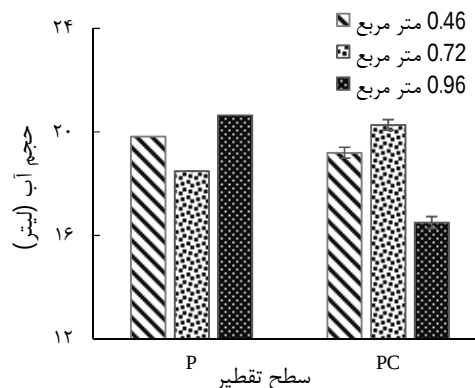
عملکرد گیاه داشته باشد (چنگ و همکاران، ۲۰۱۷)؛ از این رو می‌توان گفت تیمار P_3 نسبت به سایر تیمارها تحت تأثیر تنش آبی کمتری قرار گرفته است. مقدار آب قابل دسترس گیاه از مهم‌ترین عواملی است که ساختار و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (موسوی و همکاران، ۲۰۱۵). در این تحقیق به دلیل تفاوت در میزان تولید آب شیرینی که در اختیار ریشه گیاه قرار می‌گیرد، رطوبت قابل دسترس ریشه در تیمارهای مختلف، متفاوت بوده؛ بنابراین در تعداد و وزن میوه در تیمارهای مختلف، اختلاف ایجاد شده است.

وزن تر و خشک اندام هوایی

همان طور که در شکل ۷ نشان داده شده، بیشترین وزن تر اندام هوایی مربوط به تیمار P_3 با ۳۰۷ گرم و کمترین مربوط به تیمار PC_3 با ۸۹ گرم است که تفاوت معنی‌دار با سایر تیمارها دارند. تیمارهای P_1 ، P_2 ، PC_1 و PC_2 شاهد تفاوت معنی‌داری در وزن تر اندام هوایی ندارند. وزن تر اندام هوایی در تیمار P_3 از تیمار شاهد نیز به صورت معنی‌داری افزایش یافته است، در حالی که تعداد و وزن میوه در این تیمار نسبت به شاهد کاهش یافته بود (شکل‌های ۵ و ۶). به نظر می‌رسد ایجاد تنش محدود در این تیمار، محرک رشد رویشی شده است. با توجه به اینکه این تیمار بیشترین مقدار آب را در بین تیمارها تولید کرده بود، به نظر می‌رسد که گیاه در این تیمار نسبت به تیمارهای دیگر، تحت یک تنش ملایم قرار گرفته است (در بخش نشأت یونی بیشتر بررسی خواهد شد).

مطالعات فراوانی نشان داده‌اند که تنش آبی ملایم می‌تواند باعث افزایش برخی شاخص‌های گیاهی شود. فنایی و همکاران (۱۳۸۳) با بررسی تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد کلزا مشاهده کردند بیشترین مقدار عملکرد در تیمارهای با آبیاری کامل و تنش خشکی در مرحله رویشی به دست آمده است. شعبانی و همکاران (۱۳۸۹) نیز نشان دادند که تنش آبی موجب افزایش شاخه‌های فرعی در کلزا شده است. این الگو تغییرات برای وزن خشک اندام‌های هوایی نیز قابل مشاهده است (شکل ۸).

شفاف حدود ۹۱ درصد است (طباطبایی و تاجی، ۱۳۹۶)؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت تیمارهای پلاستیکی، انرژی بیشتری برای تبخیر آب شور در دسترس داشته و تولید آب شیرین در آن‌ها بیشتر است.

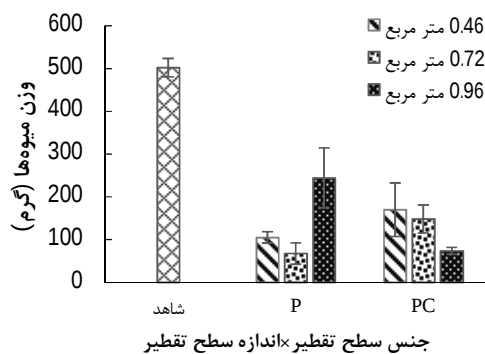


شکل ۴- مقایسه میانگین اثر جنس و اندازه سطح تقطیر بر حجم آب شیرین تولید شده

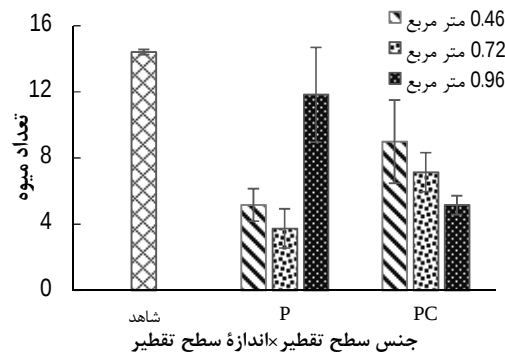
تعداد و وزن میوه و وزن تر و خشک اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس این دو پارامتر در جدول ۳ نشان می‌دهد اثر متقابل اندازه سطح تقطیرکننده و جنس سطح تقطیرکننده در سطح ۵ درصد بر تعداد و وزن میوه و در سطح ۱ درصد بر وزن تر و خشک اندام‌های معنی‌دار است. همچنین جنس سطح تقطیر نیز در سطح ۱ درصد برای وزن تر و خشک اندام هوایی معنی‌دار است.

شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب مقایسه میانگین‌های تیمارها برای تعداد و وزن میوه را نشان می‌دهند. تأثیر جنس سطح تقطیر بر تعداد میوه نشان داد که بیشترین تعداد میوه بعد از تیمار شاهد مربوط به تیمار P_3 (جنس پلاستیکی با مساحت ۰/۹۶ مترمربع) با تعداد ۱۱ و کمترین تعداد میوه مربوط به تیمار P_2 جنس پلاستیکی با مساحت ۰/۷۲ مترمربع) با ۳ عدد است. با توجه به شکل ۵ تیمار شاهد در تعداد میوه تفاوت معنی‌دار با تیمار P_1 و P_2 و تیمارهای پلی‌کربنات (PC) دارد. تغییرات مجموع وزن میوه نیز در تیمارهای مختلف مانند تعداد میوه است. با این تفاوت که همه تیمارها به صورت معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد کاهش یافته‌اند. میزان افزایش و کاهش تعداد و مجموع وزن میوه با تغییرات میزان آب تولید شده در تیمارها همخوانی کلی دارد و ناشی از تنش آبی در تیمارها است. تنش آبی می‌تواند تأثیر مستقیم بر عملکرد و اجزای



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر جنس و اندازه سطح تقطیر بر وزن تر میوه



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر جنس و اندازه سطح تقطیر بر تعداد میوه

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تعداد و وزن میوه و وزن تر و خشک اندام هوایی

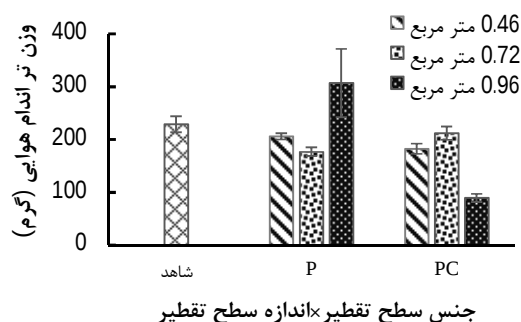
میانگین مربعات				درجه آزادی	منبع تغییرات
وزن خشک اندام هوایی	وزن تر اندام هوایی	وزن میوه‌ها	تعداد میوه		
۲۰۰۱/۸۴**	۲۸۲۲۸/۹**	۴۰۷/۸ ^{ns}	۰/۲۱ ^{ns}	۱	جنس سطح تقطیر
۲۷۱/۳ ^{ns}	۳۶/۴ ^{ns}	۵۲۵۰/۰۹ ^{ns}	۱۸/۶۱ ^{ns}	۲	اندازه سطح تقطیر
۱۹۴۰/۱۵**	۳۵۰۰۵/۳۱**	۳۹۶۳۲/۳۵*	۷۰/۶۳*	۲	جنس*اندازه سطح تقطیر
۱۵۳/۶۹	۳۰۸۳/۷۹	۷۲۰۴/۵۶	۱۲/۴۲	۱۸	خطا

*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیرمعنی‌دار را نشان می‌دهند.

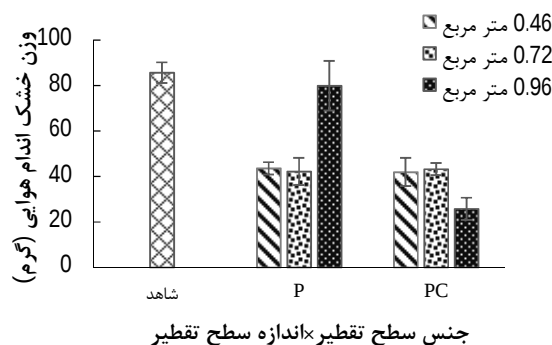
نشت یونی

نشت یونی بیانگر عدم توانایی غشا سلول در حفظ ترکیبات درون آن به دلیل خسارت به غشای سلولی است، بنابراین هرچه میزان نشت یونی بیشتر باشد، نشان می‌دهد که خسارت بیشتری به غشای سلول وارده شده‌است (شاهرخی و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر جنس سطح تقطیر و اثر متقابل جنس و اندازه سطح تقطیر بر نشت یونی در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۴).

با توجه به شکل ۹، کمترین نشت یونی مربوط به تیمار شاهد است، این تیمار براساس نیاز آبی خود آب دریافت کرده بود؛ بنابراین تحت تنش قرار نگرفته‌است. پس از تیمار شاهد، تیمار P₃ (جنس پلاستیک با بزرگ‌ترین سطح) دارای کمترین تنش آبی است و تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد ندارد؛ به عبارت دیگر این تیمار تحت تنش نبوده یا یک تنش ملایم را تجربه کرده‌است که این مسئله با نتایج به دست آمده در بخش‌های حجم آب تولیدشده و اجزای عملکردی گیاه، کاملاً همخوانی دارد. سایر تیمارها از نظر نشت یونی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند، اما با تیمار شاهد و تیمار P₃ تفاوت معنی‌دار نشان می‌دهند؛



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر جنس و اندازه سطح تقطیر بر وزن تر اندام هوایی



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر جنس و اندازه سطح تقطیر بر وزن خشک اندام هوایی

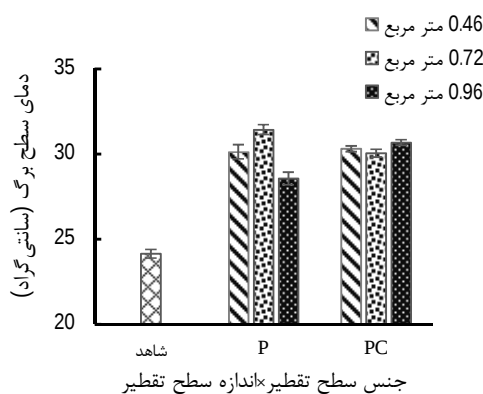
تحت تنش آبی در بسیاری از پژوهش‌های گذشته نیز گزارش شده‌است (مانند مشرفیان و همکاران، ۱۳۹۹، مسکینی و همکاران، ۱۳۹۹).

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در سایر تیمارها، گیاه تحت تنش آبی قرار گرفته‌است که منجر به کاهش تعداد و وزن میوه و وزن تر و خشک اندام هوایی نیز شده‌است (شکل‌های ۴ تا ۸). کاهش شاخص‌های عملکردی گیاه

جدول ۴ - نتایج تجزیه واریانس نشت یونی، دمای سطح برگ

میانگین مربعات		درجه آزادی	منبع تغییرات
دمای سطح برگ	نشت یونی		
۰/۵۶ ^{ns}	۰/۰۱ ^{**}	۱	جنس سطح تقطیر
۲/۵۱ ^{**}	۰ ^{ns}	۲	اندازه سطح تقطیر
۶/۰۷ ^{**}	۰ ^{**}	۲	جنس*اندازه سطح تقطیر
۰/۳۴	۰	۱۸	خطا

^{**} و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و غیرمعنی‌دار را نشان می‌دهند.



شکل ۱۰ - مقایسه میانگین اثر جنس و اندازه سطح تقطیر بر دمای سطح برگ

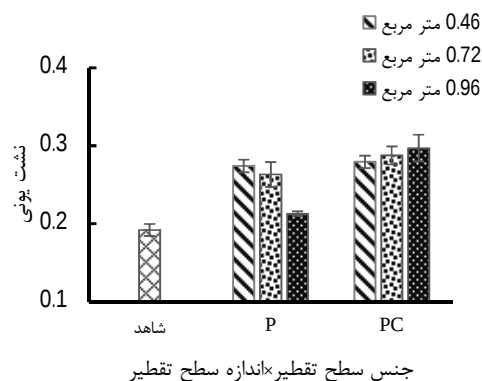
کارایی مصرف آب

در این بخش کارایی مصرف آب تیمارهای مختلف براساس وزن تر میوه به‌دست آمد، با توجه به جدول ۵ تنها اثر متقابل جنس و اندازه سطح تقطیر بر کارایی مصرف آب (وزن تر میوه بر میزان آب مصرفی) در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

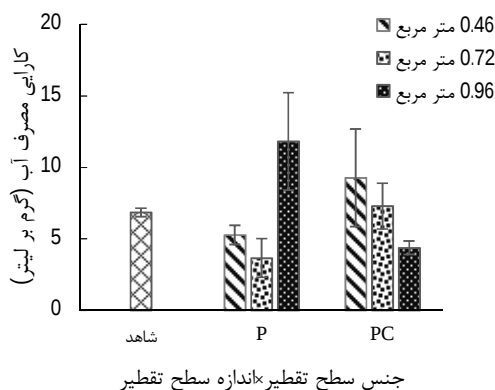
با توجه به شکل ۱۱ در بین تیمارهای مورد بررسی بیشترین کارایی مصرف آب مربوط به تیمار P_3 با حدود ۱۱ گرم بر لیتر و کمترین مقدار مربوط به تیمار PC_3 و P_2 با مقدار حدود ۴ گرم بر لیتر است. تیمار شاهد به‌دلیل اینکه براساس نیاز آبی خود، آب دریافت کرده و بخشی از آب نیز به‌صورت ثقلی از دست رفته، کارایی مصرف آب در آن کمتر از دیگر تیمارها شده‌است. تیمار P_3 با جنس پلاستیک شفاف با بیشترین سطح به‌دلیل جذب نور بیشتر نسبت به تیمارهای با جنس پلی‌کربنات، آب شیرین

دمای سطح برگ

تجزیه واریانس اثر اندازه سطح تقطیر و تأثیر متقابل جنس و اندازه سطح تقطیر بر دمای سطح برگ در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۵). دمای سطح برگ در تمام تیمارها نسبت به تیمار شاهد دچار افزایش معنی‌دار شده‌است (شکل ۱۰). کمترین تفاوت با تیمار شاهد نیز مربوط به تیمار P_3 است. این تیمار بیشترین مقدار آب شیرین را در بین تیمارها تولید کرده بود. بیشترین دمای سطح برگ نیز در دو تیمار P_2 و PC_3 مشاهده می‌شود که کمترین مقدار تولید آب را داشته‌اند (شکل ۴). دمای سطح برگ نیز می‌تواند نشانگر تأثیر تنش آبی بر این گیاه باشد. در شرایط تنش آبی، روزنه‌ها بسته می‌شوند؛ بنابراین به‌دلیل کاهش تعرق و تبادل حرارتی برگ با محیط، دمای برگ افزایش می‌یابد (سیفی و همکاران، ۱۳۹۳؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ سعیدی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۸).



شکل ۹ - مقایسه میانگین اثر جنس و اندازه سطح تقطیر بر نشت یونی



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر جنس و اندازه سطح تقطیر بر کارایی مصرف آب

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس کارایی مصرف آب

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
جنس سطح تقطیر	۱	۰/۰۳ ^{ns}
اندازه سطح تقطیر	۲	۱۴/۳۷ ^{ns}
جنس* اندازه سطح تقطیر	۲	۸۴/۶۲*
خطا	۱۸	۱۸/۹۱

* و ^{ns} به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد و غیرمعنی دار را نشان می‌دهند.

نتیجه‌گیری

بدون برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری در طرح‌ها و پروژه‌های شیرین‌سازی آب‌های شور و فراایندهای مشابه، در آینده نزدیک، کشور از لحاظ تأمین آب در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب با مشکلات جدی روبه‌رو خواهد شد. آبیاری تقطیری یکی از روش‌های مناسب برای کمک به تأمین آب در کشور است. این مطالعه به منظور تولید آب شیرین از طریق تبخیر و میعان آب با استفاده از انرژی خورشید برای استفاده در کشاورزی (آبیاری تقطیری) و به عنوان یکی از ساده‌ترین روش‌های تولید آب باکیفیت انجام شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که جنس سطح تقطیرکننده به صورت چشمگیری بر رشد گیاه تأثیرگذار است. به شکلی که تیمارهای با جنس پلاستیکی نسبت به تیمارهای با جنس پلی‌کربنات تنش آبی کمتری را دریافت کرده‌اند. شفافیت تیمارهای پلاستیکی باعث عبور نور بیشتر به داخل سازه نسبت به تیمارهای پلی‌کربنات شده؛ بنابراین بیشترین تولید آب شیرین در تیمار با جنس پلاستیک و اندازه ۰/۹۶ سانتی‌مترمربع (P3) به دست آمد. در حالی است که تیمار PC3 (جنس پلی‌کربنات و اندازه سطح تقطیر ۰/۹۶ سانتی‌مترمربع) کمترین میزان آب شیرین را تولید کرد؛ بنابراین تیمار با

اندازه ۰/۹۶ سانتی‌مترمربع و جنس پلاستیک (P3) از سایر تیمارها از نظر تولید میوه و کارایی مصرف آب و سایر ویژگی‌های گیاهی در شرایط بهتری قرار دارد. در انتها باید عنوان کرد که اجرای این روش در سطوح بزرگ به سادگی امکان‌پذیر نیست؛ بنابراین در حال حاضر این روش را می‌توان برای سطوح کوچک کشاورزی و در مناطقی که تأمین آب شیرین برای کشاورزی سخت و پرهزینه است، توصیه کرد. همچنین با توجه به مشکلات روزافزون تأمین آب در بخش کشاورزی، یافتن راه‌کارهایی برای امکان اجرای این روش در سطوح بزرگ کشاورزی باید مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد.

سپاسگزاری

از دانشگاه شهرکرد برای تأمین امکانات و هزینه‌های پژوهش فوق، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

۱. احمدی ح.، نصراللهی ع.، ح. شریفی‌پور م. و عیسوند ح. ر. ۱۳۹۶. برنامه‌ریزی آبیاری سویا با استفاده از اختلاف دمای هوا و پوشش گیاهی. مدیریت آب و آبیاری. ۷(۱): ۱۲۱-۱۹۹.

۱۱. مشرفیان دهکردی ز. قاسمی ا.، نوری م. ر. و ریزی س. ۱۳۹۹. کارایی مصرف آب و عملکرد گیاه فلفل قلمی در روش شیرین سازی آب شور به روش تقطیر با نور خورشید. مجله پژوهش آب ایران. ۳۷(۲): ۱۷۳-۱۸۶.
۱۲. موسوی ث.، ارزانی ک.، حسینی م. و یدالهی ع. ۱۳۹۴. بررسی واکنش ارقام تجاری زیتون به تنش سرما با استفاده از روش نشت یونی و کربوهیدرات های محلول. تولید فراوری محصولات زراعی و باغی. ۱۶(۵): ۸۵-۹۴.
۱۳. یوسفی ب.، بهزاد م.، برومندنسب س. و رحمانشاهی زهائی م. ۱۳۹۰. آبیاری چگالشی روشی نوین برای استفاده از آب های شور و نامتعارف، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ایران. ۱-۷.
۱۴. یوسفی ب. و برومندنسب س. ۱۳۹۴. شورزدایی با استفاده از سیستم آبیاری چگالشی (مطالعه موردی: مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز). نشریه آب و فاضلاب. ۲۶(۳): ۱۲۷-۱۳۳.
15. Aliku O. 2017. Desalination: A means of increasing irrigation water sources for sustainable crop production. World's largest science technology and medicine open access book publisher. 278 p.
16. Al-Ismaili A. 2014. Seawater Greenhouses in Oman: Experimental Results. In International Agriculture Congress. November 2014. Putrajaya Malaysia. 1-7.
17. Cheng L. Sun B. Tang H. Wang T. Zhag D. and Li J. 2017. Simple nonlinear model for the relationship between maize yield and cumulative water amount. Journal of integrative agriculture. 16(4): 858-866.
18. Khawaji A. D. Kutubkhanah I. K. and Wie J. M. 2008. Advances in seawater desalination technologies. Desalination. 221(3): 47-69.
19. Monteiro J. Baptista A. Pinto G. Ribeiro L. and Mariano H. 2020. Assessment of the use of solar desalination distillers to produce fresh water in arid areas. Sustainability. 12(1): 53.
20. Mousavi S. Mirlatifi S. and Tabatabaei S. H. 2015. Effect of subsurface drip lateral depth and spacing on grass yield using treated municipal wastewater application. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 19(71): 129-139.
21. Najafi G. Ghobadian B. Mamat R. Yusaf T. and Azmi W. H. 2015. Solar energy in Iran: احمدی مقدم م.، فراهت س.، عینعلی ع. و ولی زاده ج. ۱۳۹۸. شبیه سازی و طراحی بهینه استخر خورشیدی در جهت آبیاری زیرسطحی. نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر. ۵۱(۲): ۵۰۷-۵۲۳.
۳. سعیدی نیا مهری س.، حسینیان ح.، بیرانوند ف. و نصراللهی ع. ۱۳۹۸. تأثیر تنش آبی بر عملکرد و دمای برگ گیاه مرزه و تعیین شاخص CWS. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۳(۲): ۲۴۷-۲۴۲.
۴. سیفی ا.، میرلطیفی س.م.، دهقانی ح. و ترابی م. ۱۳۹۳. تعیین شاخص تنش آب برای درختان پسته تحت روش آبیاری قطره ای زیرسطحی با استفاده از اختالف دمای تاج گیاه و هوا. مدیریت آب و آبیاری. ۴(۱): ۱۲۹-۱۹۱.
۵. شعبانی ع.، کامگار ا.، سپاسخواه ع.، امام ی. و هنر ت. ۱۳۸۹. اثر تنش آبی بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و کیفیت کلزای پاییزه رقم لیکورد. علوم زراعی ایران. ۴۸(۴): ۴۰۹-۴۲۱.
۶. طباطبائی س.ج. و تاکی م. ۱۳۹۶. تکنولوژی گلخانه: ساخت و کنترل شرایط محیطی. دانشگاه شاهد. ۴۴۶ ص.
۷. عرب نژاد ح.، میرزایی ف. و نوری ح. ۱۳۹۹. امکان سنجی کشت گلخانه ای با استفاده از آبیاری چگالشی (گیاه مورد مطالعه: ریحان). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۳(۱۴): ۱۰۶۷-۱۰۷۸.
۸. فنایی ح.، کیخاه ع.، اکبری ح.، مدرس س. و کوهکن آ. ۱۳۸۳. ارزیابی زمان برداشت بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در منطقه سیستان. هشتمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. ۲۴-۲۶ شهریور. رشت. ۱۹-۱۴.
۹. قاسمی ل.، برومندنسب س. و هوشمند ع. ۱۳۹۸. مقدار تولید آب شیرین در تقطیرگرهای خورشیدی متصل به گلخانه برای تأمین نیاز آبی گیاه ریحان در اهواز. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۰(۶): ۱۴۹۱-۱۵۰۷.
۱۰. مسکینی، ف.، جعفرنژادی ع.ر. و دواتگر ن. ۱۳۹۹. ارزیابی اثر تنش کم آبی بر عملکرد گندم در یک خاک با بافت متوسط در استان خوزستان. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۴(۲): ۲۲۹-۲۴۱.

- Current state and outlook. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 49: 931-942.
22. Palenzuela P. Miralles S. Cabrera A. and Cornejo L. 2018. Techno-economic assessment of a multi-effect distillation plant installed for the production of irrigation water in Arica (Chile). *Science of The Total Environment*. 643: 423-434.
23. Panchal H. and Patel P. 2016. Energy absorbing materials used in solar still for enhancement in distillate output: a review. *International Journal of Ambient Energy*. 37(5): 528-540.
24. Saidur R. Rahim N. Islam M. and Solangi K.H. 2011. Environmental impact of wind energy. *Renewable and sustainable energy reviews*. 15(5): 2423-2430.
25. Shahrokhi M. Tehranifar A. Hadizadeh H. and Selahvarzi Y. 2011. Effect of drought stress and Paclobutrazol-Treated seeds on physiological response of *festuca arundinacea*. *Journal of Biological and Environmental Sciences*. 5(14): 77-85.
26. Tigrine Z. Belgroun Z. Abbad B. Dali H. and Aburideh H. 2012. The reduction of water irrigation salinity by solar distillation for the Ouargla. *Procedia engineering*. 33: 92-97.