مجله پژوهش آب ایران
جلد ۱۴/ شماره ۲/ پیاپی ۳۷/ تابستان ۱۳۹۹ (۱۷۳-۱۸۶)

کارایی مصرف آب و عملکرد گیاه فلفل قلمی در روش شیرین‌سازی آب شور به روش تقطیر با نور خورشید (آبیاری تقطیری)

زهرا مشرفیان[۱]، احمدرضا قاسمی[۲*]، محمد رضا نوری امامزاده‌ئی[۳] و سعید ریزی[۴]

چکیده

در دهه‌های اخیر به‌دلیل مشهود شدن محدودیت منابع آب شیرین، توجه بسیاری از پژوهشگران به سمت استفاده از روش‌های جدید برای شیرین‌سازی آب شور جلب شده است. شیرین‌سازی آب شور با استفاده از انرژی خورشید، از جملهٔ این روش‌ها ست که در آن آب شور ابتدا تبخیر و سپس با فرآیند میعان تبدیل به آب شیرین می‌شود. زمانی که از این فرآیند برای آبیاری استفاده شود به آن آبیاری تقطیری می‌گویند. در پژوهش حاضر، از روش آبیاری تقطیری با روشی جدید برای آبیاری فلفل قلمی در منطقهٔ شهرکرد استفاده شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار نوع آب (آب مقطر، آب آشامیدنی و آب با شوری‌های ۴ و ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر) و سه نوع ظرف (نیمکره شفاف و رنگی پلاستیکی و شیشه‌ای هرمی شکل) به عنوان سطوح تقطیرکننده و در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که هرچه آب درون ظرف تقطیر شورتر شود، مقدار تولید آب شیرین کمتر می‌شود و در نتیجه وزن‌تر و خشک میوه و شاخساره نیز نسبت به تیمارهای با آب مقطر و آب آشامیدنی کاهش می‌یابد، به‌گونه‌ای که بیشترین کاهش مربوط به آب با شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر است. در بین ظروف تقطیر مورد بررسی نیز بهترین نتیجه را ظرف هرمی شکل شیشه‌ای نشان داد. بالاترین مقدار کارایی مصرف آب نیز در در دو نوع آب شیرین مورد استفاده و به مقدار متوسط ۴/۴ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین مقدار در تیمار آب با شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر و به میزان ۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. در نهایت نتایج بررسی مقدار درصد تأمین آب گیاه فلفل قلمی به‌وسیلهٔ روش آبیاری تقطیری نشان داد؛ در صورتی که از روش آبیاری تقطیری با آب شور ۴ و ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر و ظرف تقطیر هرمی شیشه‌ای استفاده شود، به‌ترتیب ۲۷ و ۲۴ درصد آب مورد نیاز این گیاه تأمین خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تقطیری، آب شور، انرژی تجدیدپذیر، ظروف تقطیر.

ارجاع: مشرفیان ز. قاسمی ا. ر. نوری امامزاده‌ئی م. ر. ریزی س. ۱۳۹۹. کارایی مصرف آب و عملکرد گیاه فلفل قلمی در روش شیرین‌سازی آب شور به روش تقطیر با نور خورشید (آبیاری تقطیری). مجله پژوهش آب ایران. ۳۷: ۱۷۳-۱۸۶.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه 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 دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۶

مقدمه

محدودیت منابع آب شیرین به همراه وقوع خشکسالی‌های طولانی در بیشتر مناطق دنیا به یک معضل جدی تبدیل شده و رشد اقتصادی بسیاری از کشورهای در حال توسعه را تحت تأثیر قرار داده است. بر این اساس بسیاری از کارشناسان، پیش‌بینی می‌کنند که درگیری‌های اصلی در دهه‌های آینده بر سر تصاحب منابع آب شیرین خواهد بود (بلای لوک، ۱۹۹۴). بر اساس پیش‌بینی سازمان ملل متحد تا پایان سال ۲۰۲۵ نزدیک به ۱/۸ میلیارد نفر از مشکل کم آبی رنج خواهند برد (شارون و ردی، ۲۰۱۵). بخش کشاورزی با مصرف ۷۰-۷۵ درصد آب، بزرگ‌ترین مصرف‌کنندهٔ آب شیرین در جهان است (کلزادیلا و همکاران، ۲۰۱۰) که البته این مقدار در ایران بیشتر و حدود ۹۳ درصد است (اسماعیلی و اکبری، ۱۳۹۶). نبود مدیریت صحیح این بخش در بیشتر مناطق دنیا باعث حادتر شدن محدودیت منابع آب شیرین شده است؛ بنابراین برای کاهش آثار منفی کمبود منابع آب شیرین به ویژه در بخش کشاورزی باید به منابع جدید، پایدار و سازگار با محیط‌زیست دست یافت. از مهم‌ترین راهکارها در بحث دستیابی به منابع جدید آب شیرین، می‌تواند شیرین‌سازی آب شور باشد (اودا و همکاران، ۲۰۱۳). تا چندی پیش فرایند شیرین‌سازی محدود به کشورهای کم آب خاورمیانه و شمال آفریقا بود؛ اما امروزه این روش به ابزاری مؤثر برای رفع نیاز رو به رشد جوامع تبدیل شده است (شاتات و همکاران، ۲۰۱۳). هزینه بالای سوخت مهمترین مشکل آب شیرین‌کن‌هاست که برای رفع آن باید منبع انرژی جدیدی جایگزین سوخت‌های فسیلی شود. از جملهٔ این منابع، انرژی خورشید است.

تولید آب شیرین با استفاده از میعان آب شور با استفاده از نور خورشید، از روش‌های ساده برای تولید آب شیرین از آب‌های شور است. با استفاده از این روش می‌توان آب با کیفیت‌های نامناسب را به منبع گسترده آبی جدید و قابل استفاده برای گیاهان تبدیل کرد. از جمله روش‌هایی که امروزه در کشاورزی و برای تولید آب شیرین استفاده می‌شود، می‌توان به روش آبیاری تقطیری[1] و چگالشی[2] اشاره کرد. آبیاری تقطیری، از روش‌های آبیاری است که برای گیاهان با الگوی کشت ردیفی و برای استفاده از آب‌های شور و نامتعارف ارائه شده است (جیندل، ۱۹۶۵). این روش با ترکیب تقطیر آب به کمک نور خورشید و آبیاری همزمان، آب را نمک‌زدایی می‌کند و در اختیار گیاه قرار می‌دهد. در روش آبیاری تقطیری بخار آب در محل تولید، تقطیر و تبدیل به آب می‌شود و به طور مستقیم در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. در آبیاری چگالشی ابتدا آب شور تبخیر می‌شود و سپس هوای گرم و مرطوب تولید شده از محل تبخیر خارج و به درون شبکه لوله‌های مشبک زیرزمینی منتقل و با دادن گرمای خود به زمین سرد و آب در دیواره داخلی لوله چگالش می‌یابد و آبیاری صورت می‌گیرد (الهامی و همکاران، ۲۰۱۷). در سال‌های اخیر مقالات و گزارش‌های متعددی در ارتباط با کاربرد روش آبیاری تقطیری و چگالشی در دنیا ارائه شده است که در زیر به چند مورد پرداخته می‌شود:

ویج‌گرن (۱۹۸۶) مطالعات نظری خود را روی سیستم آبیاری چگالشی انجام داد و زمینی به مساحت یک هکتار را با استفاده از بخار حاصل از تبخیر آب شور و چگالش آن در لوله‌های زیرزمینی آبیاری کرد. گولمان (۱۹۸۷) انتقال بخار آب در لوله‌های بدون سوراخ برای تولید آب شیرین خوراکی و لوله‌های سوراخ‌دار برای تولید آب کشاورزی را مقایسه کرد. نتایج نشان داد که سرعت چگالش (تولید آب شیرین) در لوله‌های سوراخ‌دار ۵۰ درصد بیشتر از لوله‌های بدون سوراخ است. دلیل آن می‌تواند ناشی از این باشد که لوله‌های سوراخ‌دار به‌دلیل ارتباط دمایی بیشتر با خاک اطراف، دمای کمتری نسبت به لوله‌های بدون سوراخ دارند که باعث افزایش سرعت تقطیر و تولید آب شیرین می‌شوند.

نوردل (۱۹۸۷) روش آبیاری چگالشی را در مقیاس کوچک برای کشت خیار در گلخانهٔ آورتامیا اجرا کرد. دمای متغیر شبانه روز در این منطقه باعث بروز مشکل شد که با تهویهٔ مرطوب در طول روز، این مشکل را برطرف کردند و با انتقال این هوا به داخل لوله زهکش در زمین تحت کشت خیار و چگالش هوا، باعث جریان یافتن آب در لوله‌ها شد. شرکت سوئیسی اینجنیربرو (به نقل از هاشر و روئس، ۱۹۹۳) سیستمی را بررسی کرد که در آن آب دریا با لوله‌های پلاستیکی به وسیله انرژی خورشید تبخیر و هوای جو در اثر گذر از این بخار مرطوب می‌شد. آب تولیدی در این سیستم برای پرورش گوجه‌فرنگی استفاده شد.

1- Distillation Irrigation
2- Condensation Irrigation

گوستافسون و لیندبلوم (۲۰۰۱) با اجرای سیستم چگالشی در ترکیه نشان دادند که این روش پتانسیل رقابت با روش آبیاری سنتی را دارد. نمونه‌ای از سیستم ترکیب دستگاه تقطیر با گلخانه را چایبی و جیلار (۲۰۰۴) ساختند که تحلیل داده‌های آن نشان داد اگر ۵۰ درصد از سقف گلخانه‌ها به عنوان دستگاه تقطیر خورشیدی مورد استفاده قرار گیرد، برای تأمین نیاز آبی محصولات کم مصرف مناسب خواهد بود. لیندبلوم (۲۰۰۶) در طرحی آزمایشی روی آبیاری چگالشی با استفاده از لوله، نشان داد که در هر روز ۱/۸ لیتر آب آشامیدنی در هر متر لوله، تولید می‌شود. همچنین لیندبلوم و نوردل (۲۰۰۷) با اجرای سیستم آبیاری چگالشی دریافتند که آب تولیدی این سیستم، زمانی‌که برای آبیاری استفاده می‌شود در مقایسه با زمانی‌که در تولید آب آشامیدنی استفاده می‌شود، حدود ۷۰ درصد بیشتر است. چواپ و چایبی (۲۰۱۴) نیز این روش را برای کشت گوجه فرنگی در گلخانه و برای شرایط خشک تونس انجام دادند و نشان دادند که آب به‌دست آمده از این روش حدود ۱۵ درصد از حداکثر نیاز مصرف آب گوجه فرنگی را که حساس به کمبود آب است، تأمین می‌کند.

در ایران نیز مطالعاتی دربارهٔ این روش انجام شده است؛ برای نمونه یوسفی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش دادند که در آبیاری چگالشی اگر از لوله‌های زهکشی استفاده شده باشد، آب چگالش می‌یابد، هوای مرطوب از درزهای لوله‌ها به درون خاک نفوذ می‌کند، عمل آبیاری و هوادهی خاک را انجام می‌دهد و زمانی که از لوله‌های PVC معمولی بدون سوراخ استفاده شود می‌توان آب آشامیدنی را در انتهای لوله‌ها جمع‌آوری کرد. یوسفی و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی رطوبت خاک در سیستم زیر سطحی آبیاری چگالشی نشان دادند، در انتهای لوله از رطوبت جذب خاک شده کاسته می‌شود و بیشترین جذب رطوبت در اوایل لوله رخ می‌دهد. همچنین یوسفی و برومندنسب (۱۳۹۴) با اجرای این سیستم در لوله‌های معمولی نشان دادند که مقدار تولید آب آشامیدنی از نظر تئوری و عملی بعد از سه روز با یکدیگر همگرا می‌شوند.

در پژوهش‌های انجام شده در ایران که به چند مورد، محدود می‌شوند از آبیاری چگالشی و همچنین بدون انجام کشت استفاده شده است. در پژوهش حاضر ضمن انجام کشت از روش آبیاری تقطیری به کمک انرژی خورشید استفاده شده است. هدف از انجام این پژوهش مقایسه تأثیر استفاده از آب با شوری‌های مختلف و همچنین استفاده از ظروف تقطیر مختلف بر کارایی روش آبیاری تقطیری برای کشت فلفل‌قلمی است. همچنین تعیین این موضوع که آبیاری تقطیری چه مقدار از آب مورد نیاز گیاه را می‌تواند تأمین کند.

مواد و روش‌ها

این مطالعه با هدف بررسی عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه فلفل قلمی رقم نارین در تیمارهای آب شور با شورهای مختلف در آب شیرین‌کن خورشیدی در منطقهٔ شهرکرد انجام شد. این پژوهش در طول یک فصل زراعی و به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایهٔ کاملاً تصادفی با چهار نوع کیفیت آب متفاوت (آب مقطر، آب آشامیدنی و آب با شوری‌های ۴ و ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر) و سه نوع ظرف به عنوان سطوح تقطیرکننده شامل ظرف نیم‌کرهٔ پلاستیکی شفاف، نیمکره پلاستیکی رنگی و شیشه‌های هرمی شکل و در سه تکرار انجام شد (شکل ۱- ب). ظرف کوچک‌تری برای قرارگیری آب داخل این ظروف قرار گرفت (شکل ۱- ج). سطح خارجی ظرف‌های تقطیر برای هر سه ظرف یکسان بود.

مکانیزم روش مورد استفاده به این صورت است که انرژی حاصل از طول موج‌های مختلف خورشید، باعث افزایش دمای درون ظروف تقطیر و منجر به تبخیر آب می‌شود. علاوه بر این، ایجاد پدیدهٔ گلخانه‌ای درون ظرف تقطیر نیز به افزایش دمای داخل ظروف و تبخیر کمک می‌کند. به‌دلیل بسته بودن محیط تقطیر افت گرمایی از طریق جابجایی به مقدار زیادی کاهش می‌یابد. آب تقطیر یافته در امتداد دیواره‌های داخلی به سمت پایین حرکت می‌کند، وارد خاک می‌شود و عمل آبیاری صورت انجام می‌شود (آبیاری تقطیری) (شکل ۱- الف). نحوه قرارگیری ظروف به گونه‌ای تعیین شد تا هر بوتهٔ فلفل از سه ظرف، آب شیرین دریافت کند (شکل ۱- د).

شکل۱- ظرف‌های مورد استفاده در تحقیق به عنوان سطوح تقطیر کننده

دو نوع آب شور مورد استفاده در این پژوهش از دو منطقهٔ کوهپایه از شهرستان نایین اصفهان تهیه شد. این شهرستان یک منطقهٔ بیابانی است که در حاشیهٔ مناطق کویری ایران واقع شده است و آب‌های زیرزمینی آن، عموما شور یا لب شور هستند. جدول ۱ تیمارهای طرح و حروف اختصاری مربوط به هر تیمار را نشان می‌دهد.

قبل از اجرای طرح، عملیات شخم و کود دهی (کود حیوانی و شیمیایی) بر اساس آزمون خاک برای همهٔ مزرعه به‌صورت یکسان انجام و سپس نشاهای فلفل به مزرعه منتقل شد. بعد از دو هفته که ریشهٔ نشاها به پایداری نسبی و سازگاری با محیط رسیدند، اقدام به اعمال تیمارها شد (شکل ۲).

جدول ۱- علامت اختصاری و شرح تیمارهای مورد بررسی در پژوهش

ردیف	توضیحات تیمار	علامت تیمار
۱	ظرف نیمکره شفاف همراه با آب مقطر	F_1S_1
۲	ظرف نیمکره شفاف همراه با آب آشامیدنی (شوری ۰/۳۵ دسی‌زیمنس بر متر)	F_1S_2
۳	ظرف نیمکره شفاف همراه با آب شور ۴ دسی‌زیمنس بر متر	F_1S_3
۴	ظرف نیم‌کرهٔ شفاف همراه آب شور ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر	F_1S_4
۵	ظرف نیم‌کرهٔ رنگی همراه آب مقطر	F_2S_1
۶	ظرف نیم‌کرهٔ رنگی همراه آب آشامیدنی (شوری ۰/۳۵ دسی‌زیمنس بر متر)	F_2S_2
۷	ظرف نیم‌کرهٔ رنگی همراه آب شور ۴ دسی‌زیمنس بر متر	F_2S_3
۸	ظرف نیم‌کرهٔ رنگی همراه آب شور ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر	F_2S_4
۹	ظرف هرمی شکل همراه آب مقطر	F_3S_1
۱۰	ظرف هرمی شکل همراه آب آشامیدنی (شوری ۰/۳۵ دسی‌زیمنس بر متر)	F_3S_2
۱۱	ظرف هرمی شکل همراه آب شور ۴ دسی‌زیمنس بر متر	F_3S_3
۱۲	ظرف هرمی شکل همراه آب شور ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر	F_3S_4

شکل ۲- نمایی از مزرعه به همراه تیمارهای اعمال شده

ویژگی‌های مورد آزمایش

میزان آب شیرین تولید شده: برای تعیین حجم آب تولید شده در هر تیمار، میزان آب مورد نیاز برای پر کردن ظروف در طی دوره آزمایش اندازه‌گیری شد.

کارایی مصرف آب: کارایی مصرف آب به عنوان شاخصی از واکنش گیاه به آب، یعنی نسبت عملکرد اقتصادی گیاه به حجم آب مصرفی رادبررسی می‌کند (پرویزی و نباتی، ۱۳۸۳). برای تعیین کارایی مصرف آب از معادلهٔ زیر استفاده می‌شود:

$$WUE = \frac{D}{W} \qquad (۱)$$

که در آن، WUE کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، D وزن میوهٔ خشک (کیلوگرم) و W حجم آبی که در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (مترمکعب)، هستند.

علاوه بر موارد بالا شاخص‌های دیگری برای گیاه شامل وزن‌تر و خشک میوه و همچنین شاخساره، محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی، مقدار کلروفیل و میزان کاروتنوئید نیز اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری کاروتینوئید برگ

برای تعیین میزان کارتینوئید از روش Non Maceration استفاده شد. بدین ترتیب که میزان ۵۰ میلی‌گرم نمونه برگی تازه از هر تیمار آزمایشی را در ۵ میلی‌لیتر دی متیل سولفوکسید به مدت ۴ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس در آون قرار داده و سپس جذب نوری عصاره‌های برگی در طول موج‌های ۴۸۰، ۶۴۹، ۶۶۵ (A665، A649 و A480) نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر اندازه‌گیری شد. اعداد به دست آمده در فرمول‌های مربوطه جای‌گذاری و میزان کاروتینوئید بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر محاسبه شد (هیسکاکس و اسرایلستام، ۱۹۷۹).

$$Chl\ a = (12.47 \times A665) - (3.62 \times A649) \qquad (۲)$$

$$Chl\ b = (25.06 \times A649) - (6.5 \times A665) \qquad (۳)$$

$$C = \frac{(1000 \times A480) - (1.29 Chl\ a - 53.78 Chl\ b)}{220} \qquad (۴)$$

که در آن‌ها Chl a، Chl b و C به‌ترتیب کلروفیل a و b و میزان کاروتنوئید است.

نشت یونی

برای این منظور نمونه‌های برگ تازه، درون آب مقطر به حجم ۲۰ میلی‌لیتر منتقل و به مدت ۲۰ دقیقه داخل شیکر قرارداده شد، سپس میزان هدایت الکتریکی آب مقطر همراه نمونه به عنوان نشت اولیه اندازه‌گیری شد. نشت ثانویه نیز از طریق اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها پس از حرارت دادن آنها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۷۰ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد. نشت یونی از طریق تقسیم نشت اولیه به نشت ثانویه به دست می‌آید (مؤمن‌پور و همکاران، ۱۳۹۴).

در نهایت داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه واریانس قرار گرفت و به وسیلهٔ روش LSD مقایسه میانگین‌ها انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیهٔ واریانس مربوط به برخی از پارامترهای اندازه‌گیری شده در این پژوهش در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس برخی ویژگی‌های رشدی گیاه فلفل قلمی تحت آبیاری تقطیری

منبع تغییرات	درجه آزادی	حجم آب تولید شده	وزن‌تر شاخساره	وزن خشک شاخساره	مجموع وزن خشک میوه	مجموع وزن‌تر میوه
ظرف تقطیر	۲	۸/۸۰**	۳۷۹۸۶/۸۰**	۱۱۶۵۶/۰۵**	۲۳۷۴/۰۵**	۶۴۲۲۵/۷۲**
نوع آب	۳	۲/۲۸**	۱۵۸۹/۱۸*	۱۲۱۰/۳۴*	۲۷۱۶/۱۹**	۵۹۲۲۳/۰۵**
نوع آب × ظرف تقطیر	۶	۰/۱۶**	۱۱۰۸/۶۰ns	۵۴۳۷/۰۷**	۶۵۵/۸۰**	۱۳۳۷۲/۸۷**
خطا	۲۴	۰/۰۱	۷۰۵/۵۹	۴۷۵/۱۱	۳۸/۹۵	۷۶۸/۳۱
ضریب تغییرات		۱/۴۰	۸/۳۸	۱۴/۳۵	۱۷/۷۱	۱۶/۷۹

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی‌دار

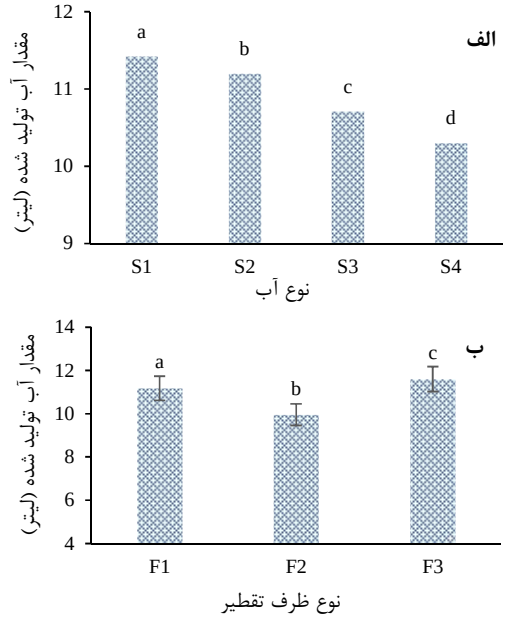
حجم آب تولید شده

در این پژوهش و در طول انجام آزمایش برای جلوگیری از آسیب به گیاهان و حفظ شادابی مزرعه، در چهار نوبت اقدام به انجام آبیاری تکمیلی با آب شیرین شد. این چهار نوبت آبیاری در ماه‌های گرم سال (تیر و مرداد) و در مجموع به میزان ۷ لیتر برای هر بوته انجام شد که در حجم آب تولید شده نیز لحاظ شد؛ بنابراین در این پژوهش، منظور از حجم آب تولید شده مقدار آبی که در طول انجام آزمایش در اختیار گیاه قرار گرفته است که شامل مجموع آب شیرین تولید شده توسط روش آبیاری تقطیری و آبیاری تکمیلی می‌باشد.

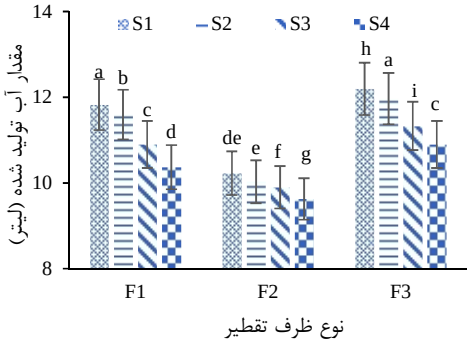
بر اساس نتایج تجزیهٔ واریانس، اثر نوع ظرف تقطیر، نوع آب و تأثیر توام این دو فاکتور بر مقدار آب تولید شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین برای چهار نوع آب مورد استفاده نشان می‌دهد که با شورتر شدن آب درون ظروف تقطیر، مقدار آب تولید شده، کاهش یافته است (شکل ۳- الف). با شور شدن آب درون ظرف تقطیر به‌دلیل افزایش املاح آب، نقطهٔ جوش آب بالا رفته که باعث کاهش سرعت تبخیر آب می‌شود؛ بنابراین مقدار آب شیرین تولید شده در روش آبیاری تقطیری در این تیمارها کاهش می‌یابد. بیشترین حجم آب تولید شده در تیمار آب مقطر و کمترین مقدار در آب شور ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (شکل ۳- الف). همچنین حجم آب تولید شده در تیمار آب شور ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر (S4)، ۶ درصد و در تیمار آب شور ۴ دسی‌زیمنس بر متر (S3) ۱۰ درصد نسبت به آب مقطر کاهش نشان می‌دهد.

از بین سه نوع ظرف تقطیر مورد استفاده نیز بیشترین مقدار آبی که در اختیار گیاه قرار گرفته است به‌ترتیب مربوط به ظرف هرمی شکل شیشه‌ای (F3)، ظرف نیم‌کرهٔ شفاف (F1) و در نهایت ظرف نیم‌کرهٔ رنگی (F1) است (شکل ۳- ب). با توجه به مقدار یکسان آبیاری تکمیلی برای تمام تیمارها، تفاوت بین این سه ظرف به توانایی آن‌ها برای تولید آب شیرین بستگی دارد. جنس شیشه‌ای ظرف تقطیر هرمی شکل به‌دلیل شفافیت بیشتر نسبت به سایر ظروف تقطیر، اجازه عبور نور بیشتری به داخل ظرف را می‌دهد، که این مسأله موجب تشدید پدیدهٔ گلخانه‌ای و به دام افتادن گرما در داخل ظروف و در نتیجه تبخیر بیشتر آب در این ظرف نسبت به سایر ظروف تقطیر می‌شود. این امر باعث توانایی بیشتر این ظرف برای تولید آب شیرین می‌شود. در ارتباط با ظرف تقطیر پلاستیکی رنگی که کمترین مقدار را نشان می‌دهد نیز می‌توان این چنین استدلال کرد که به‌دلیل کدر بودن، مقدار نور عبور یافته به درون ظرف تقطیر کاهش یافته که این امر تأثیر مستقیمی بر مقدار تبخیر آب و در نتیجه تولید آب شیرین گذاشته است.

نتایج اثر متقابل نوع ظرف تقطیر و نوع آب (شکل ۴) نیز نشان می‌دهد که تیمارهای مربوط به ظرف هرمی شکل (F3) نسبت به دیگر تیمارها، آب بیشتری تولید کرده‌اند و بعد از آن تیمارهای مربوط به ظرف نیمکرهٔ پلاستیکی شفاف و در نهایت تیمارهای همراه با ظرف نیمکره پلاستیکی رنگی قرار دارند. بیشترین مقدار تولید آب نیز در تیمار ظرف هرمی شکل شیشه‌ای همراه آب مقطر و کمترین مقدار در تیمار ظرف نیم‌کرهٔ پلاستیکی رنگی همراه آب با شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهد شد.



شکل ۳- مقایسهٔ میانگین: الف) اثر نوع آب بر حجم آب تولید شده و ب) اثر نوع ظرف تقطیر بر حجم آب تولید شده

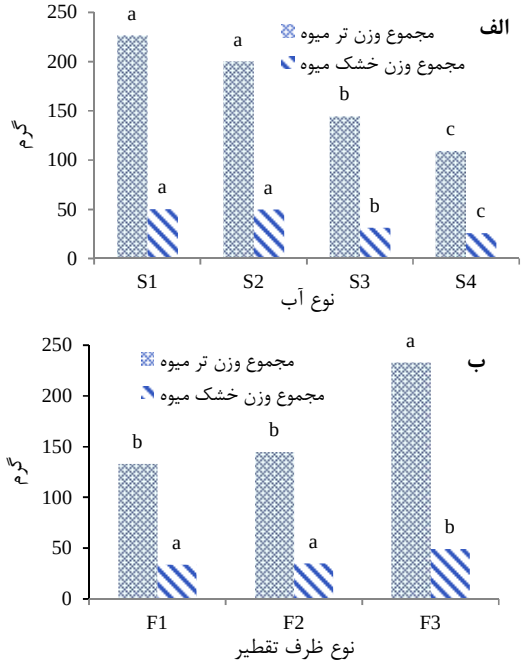


شکل ۴- اثر متقابل نوع ظرف تقطیر و نوع آب بر حجم آب تولید شده

وزن‌تر و خشک میوه

نتایج تجزیهٔ واریانس مجموع وزن‌تر و خشک میوه، نشان می‌دهد اثر نوع ظرف تقطیر، نوع آب و اثر متقابل آن‌ها در سطح یک درصد بر مجموع وزن‌تر و خشک میوه معنی‌دار است (جدول ۲). مقایسه میانگین مجموع وزن‌تر میوه برای فاکتور نوع آب، نشان می‌دهد آب آشامیدنی (S2) و آب مقطر (S1) با میانگین مجموع وزن‌تر به مقدار ۲۳۳ گرم دارای بیشترین مقدار و آب شور ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر (S4) با مقدار ۷۵ گرم دارای کمترین مجموع وزن‌تر میوه هستند (شکل ۵- الف)؛ به‌عبارت دیگر روش آبیاری تقطیری با استفاده از آب شور ۶/۵ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب ۶۷ و ۴۸ درصد وزن‌تر میوه فلفل قلمی را نسبت به آب آشامیدنی کاهش داده است. کاهش تولید آب شیرین در تیمارهای آب شور می‌تواند تأثیر مستقیم بر وزن‌تر و خشک میوه داشته باشد. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که کمبود آب می‌تواند تأثیر مستقیم بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاهان داشته باشد (چنگ و همکاران، ۲۰۱۷ و سالاریان و همکاران، ۲۰۱۷).

در مورد تأثیر نوع ظرف تقطیر بر مجموع وزن‌تر و خشک میوه نیز نتایج نشان داد که ظرف تقطیر هرمی شکل شیشه‌ای (F3) بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است (شکل ۵- ب).

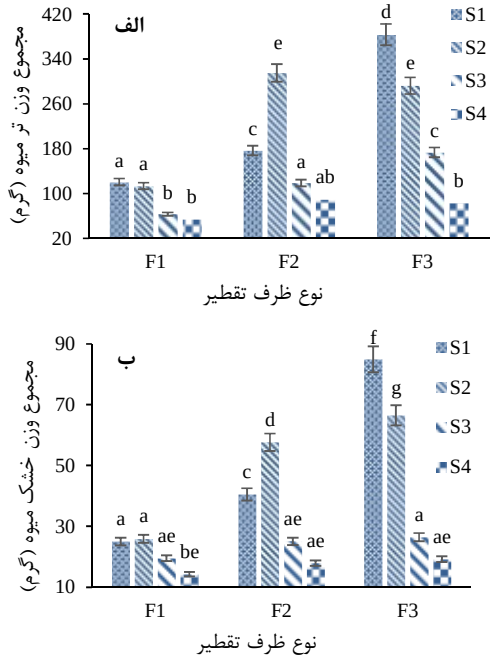


شکل ۵- مقایسهٔ میانگین: الف) اثر نوع آب بر مجموع وزن تر و خشک میوه و ب) اثر نوع ظرف تقطیر بر مجموع وزن تر و خشک میوه

این ظرف بیشترین مقدار تولید آب را نیز به خود داده بود (شکل ۳- ب). مقدار وزن‌تر میوه در ظرف تقطیر نیم‌کرهٔ پلاستیکی رنگی ۳۸ درصد و در ظرف تقطیر نیم‌کرهٔ پلاستیکی شفاف ۴۳ درصد نسبت به ظرف هرمی شکل کاهش نشان می‌دهد. این مقادیر کاهش برای وزن خشک میوه به‌ترتیب حدود ۲۸ و ۳۱ درصد به‌دست آمد.

تأثیر متقابل نوع ظرف تقطیر و نوع آب بر مجموع وزن‌تر و خشک میوه نیز نشان می‌دهد تیمار F3S1 (ظرف تقطیر هرمی شکل همراه آب مقطر) بیشترین و تیمار F1S4 (ظرف تقطیر نیمکره شفاف همراه آب شور ۶/۵

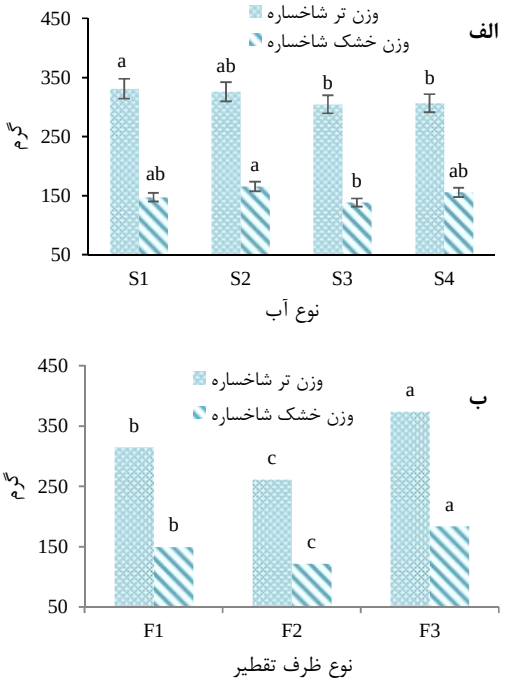
دسی‌زیمنس بر متر) کمترین مقدار وزن‌تر و خشک میوه را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۶- الف و ب).



شکل ۶- اثر متقابل نوع ظرف تقطیر و نوع آب بر الف) مجموع وزن‌تر میوه و ب) مجموع وزن خشک میوه

وزن تر و خشک شاخساره

تحلیل نتایج وزن‌تر و خشک شاخساره برای فاکتور نوع آب، نشان می‌دهد با شور شدن آب درون ظروف تقطیر مقدار این دو کاهش یافته است؛ هرچند این کاهش در برخی موارد معنی‌دار نیست (شکل ۷- الف). در بین ظروف تقطیر مورد بررسی نیز مانند وزن‌تر و خشک میوه، ظرف هرمی شکل (F3) بیشترین وزن‌تر و خشک شاخساره را به خود اختصاص داده است که از نظر آماری با دو نوع ظرف تقطیر دیگر تفاوت معنی‌دار نشان می‌دهد (شکل ۷- ب). از مهم‌ترین عواملی که می‌تواند ساختار و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد مقدار آب قابل دسترس گیاه است (موسوی و همکاران، ۲۰۱۵)؛ بنابراین روش آبیاری تقطیری مورد استفاده در این پژوهش به‌دلیل استفاده از ظرف‌های تقطیر متفاوت و آب‌های با شوری متفاوت، به‌دلیل ایجاد اختلاف در سرعت و مقدار تقطیر آب، باعث ایجاد تفاوت در رطوبت قابل دسترس ریشه و گیاه شد و در نتیجه موجب ایجاد اختلاف در وزن‌تر و خشک شاخساره در تیمارهای مختلف شده است. فرناندز و همکاران (۲۰۰۵) نیز در پژوهشی نشان دادند که کاهش آب در دسترس گیاه تاثیر معنی‌داری بر وزن‌تر و خشک شاخساره می‌گذارد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع آب و نوع ظرف تقطیر بر وزن خشک شاخساره نیز نشان می‌دهد در بین تیمارهای مورد بررسی تیمار F3S2 (ظرف هرمی شکل همراه آب آشامیدنی با شوری ۰/۳۵ دسی‌زیمنس بر متر) دارای بیشترین وزن خشک است (شکل ۸).



شکل ۷- مقایسهٔ میانگین: الف) اثر نوع آب بر وزن‌تر و خشک شاخساره و ب) اثر نوع ظرف تقطیر بر وزن تر و خشک شاخساره

نشت یونی، کلروفیل کل، محتوای نسبی آب برگ و میزان کاروتنوئید

نتایج تجزیه واریانس برای چهار شاخص نشت یونی، مقدار کلروفیل کل، محتوای نسبی آب برگ و میزان کاروتنوئید در جدول ۳ ارائه شده است. نشت یونی نشانگر عدم توانایی غشا در حفظ ترکیبات درون سلولی به علت خسارت به غشای سلولی است، در نتیجه هر چه میزان نشت بیشتر باشد خسارت وارده به غشای سلول هم بیشتر است (شاهرخی و همکاران، ۲۰۱۱).

مقایسهٔ میانگین نوع آب، نشان می‌دهد بیشترین مقدار نشت یونی متعلق به دو آب با شوری ۶/۵ و ۴

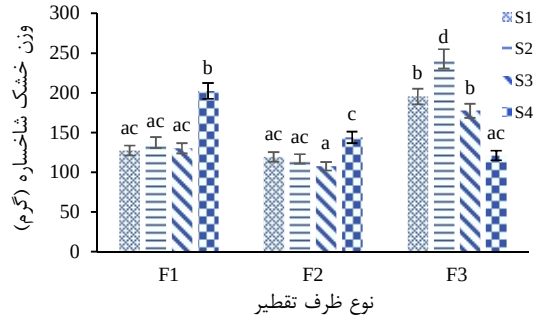
دسی‌زیمنس بر متر (S4 و S3) و کمترین مقدار متعلق به S1 (آب مقطر) و S2 (آب آشامیدنی) است. همچنین تفاوت معنی‌داری بین دو نوع آب شور با دو نوع آب شیرین وجود دارد (جدول ۴).

افزایش معنی‌دار نشت یونی در دو نوع آب شور به‌دلیل تولید کمتر آب شیرین در این دو تیمار است که منجر به خسارت به دیواره سلول‌های گیاه شده است. کاهش پارامترهای دیگر گیاهی مانند وزن‌تر و خشک میوه و شاخساره در تیمارهای آب شور نیز می‌تواند ناشی از این خسارت باشد. اثر متقابل نوع ظرف تقطیر و نوع آب بر نشت یونی (شکل ۹) نیز نشان می‌دهد که بیشترین مقدار نشت یونی در تیمار F2F4، یعنی ظرف پلاستیکی رنگی همراه آب شور ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده می‌شود. ظرف پلاستیکی رنگی دارای کمترین مقدار آب تولیدی در بین سطوح تقطیر مورد بررسی بود (شکل ۳- ب) همچنین آب با شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر نیز کمترین مقدار آب تولیدی را در بین سه نمونهٔ آب مورد بررسی نشان داد (شکل ۳- الف)؛ بنابراین ترکیب این دو می‌تواند تأثیر کاهشی معنی‌داری بر میزان تولید آب و در نتیجه افزایش نشت یونی داشته باشد.

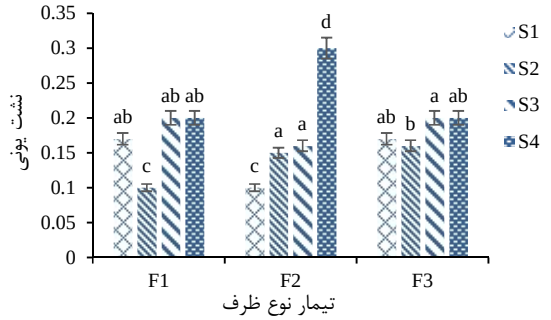
بر همین اساس همان‌گونه که در جدول ۴ ملاحظه می‌شود با افزایش مقدار شوری آب، محتوای نسبی آب برگ نیز کاهش یافته است. محتوای نسبی آب برگ بهترین معیار اندازه‌گیری وضعیت آب گیاه است (بلام، ۱۹۹۹). افزایش رطوبت در خاک و در نتیجه جذب مناسب‌تر آب خاک توسط گیاه، محتوای نسبی آب برگ را افزایش خواهد داد (اسکندری و همکاران، ۲۰۱۱). بطور کلی در وضعیت کمبود آب، محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد (حامد و همکاران، ۲۰۱۵).

با کمتر شدن مقدار آب در دسترس گیاه (شورتر شدن آب درون ظروف تقطیر)، مقدار کلروفیل کل نیز افزایش یافته است (جدول ۴). دلیل افزایش میزان کلروفیل در تیمارهای همراه آب شور را می‌توان به افزایش وزن مخصوص برگ نسبت داد. با کاهش میزان آب در دسترس گیاه، سطح برگ کاهش می‌یابد که این امر کاهش ناشی از کاهش اندازهٔ سلول است؛ بنابراین تراکم سلول‌ها در واحد وزن برگ افزایش می‌یابد که باعث افزایش میزان کلروفیل می‌شود (اصغری و همکاران، ۲۰۱۴).

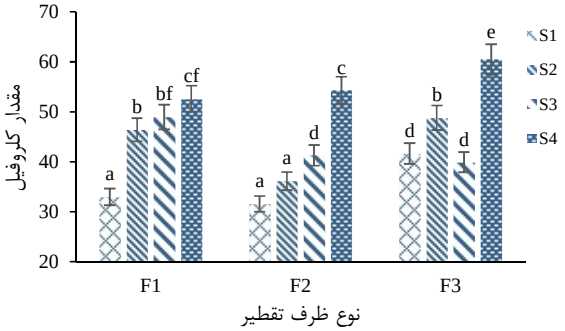
نتایج مقایسهٔ میانگین اثر متقابل نوع آب و نوع ظرف تقطیر بر مقدار کلروفیل (شکل ۱۰) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار کلروفیل در تمامی ظرف‌های مورد بررسی در آب با شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده می‌شود. مقدار آب تولید شده در این تیمارها کمتر از دیگر تیمارها بود (شکل ۴). همان‌گونه که در بالا عنوان شد، با کاهش میزان آب در دسترس گیاه، میزان کلروفیل افزایش می‌یابد. در مقابل میزان، کلروفیل در تیمارهای آب شیرین در تمام ظروف کمترین مقدار را دارد.



شکل ۸- اثر متقابل نوع ظرف تقطیر و نوع آب بر وزن خشک شاخساره



شکل ۹- اثر متقابل نوع ظرف تقطیر و نوع آب بر نشت یونی



شکل ۱۰- اثر متقابل نوع ظرف تقطیر و نوع آب بر مقدار کلروفیل

جدول ۳- نتایج تجزیهٔ واریانس برخی صفت‌های مورد بررسی گیاه فلفل قلمی در آبیاری تقطیری

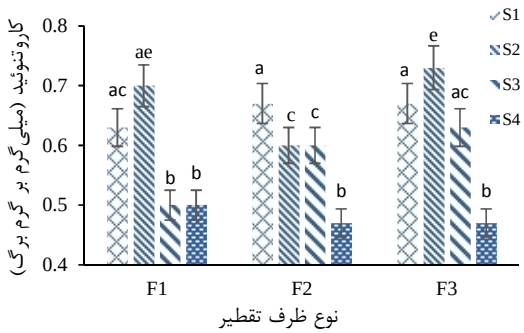
منبع تغییرات	نشت یونی	محتوای نسبی آب برگ (٪)	میزان کاروتنوئید	مقدار کلروفیل	درجهٔ آزادی
ظرف تقطیر	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۳۶^{ns}	۰/۰۱*	۱۴۶/۶۳^{ns}	۲
نوع آب	۰/۰۰۶۷**	۰/۰۳۲**	۰/۰۷**	۶۳۷/۴۰**	۳
نوع آب × ظرف تقطیر	۰/۰۱۶**	۰/۰۰۴۳^{ns}	۰/۰۱*	۶۷/۷۵**	۶
خطا	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۱	۶/۹۹	۲۴
ضریب تغییرات	۱۸/۸	۶/۷	۸/۸	۵/۹	

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی‌دار

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر نوع آب بر ویژگی‌های گیاه فلفل قلمی در آبیاری تقطیری

تیمار آب	نشت یونی (٪)	محتوای نسبی آب برگ (٪)	مقدار کلروفیل	مقدار کاروتنوئید (mg/g)
S_1	^{b}۱۶	^{a}۰/۸۹	^{a}۳۵/۴	^{a}۰/۶۵
S_2	^{b}۱۴	^{b}۰/۸۱	^{b}۴۳/۴	^{a}۰/۶۷
S_3	^{a}۲۰	^{b}۰/۸۱	^{b}۴۳/۸	^{b}۰/۵۷
S_4	^{a}۲۰	^{c}۰/۷۵	^{c}۵۵/۸	^{c}۰/۴۷

گزارش‌های زیادی نشان داده‌اند که کمبود آب توانایی کاهش غلظت کاروتنوئیدهای بافت گیاه را دارد (محمدی و همکاران، ۲۰۰۹)؛ بنابراین در تیمارهایی که تولید آب شیرین کمتر است، می‌توان انتظار کاهش مقدار کارتنوئیدها را داشت (شکل ۱۱). کاهش میزان کارئنوئید با شورتر شدن آب درون ظرف‌های تقطیر در جدول نیز ۴ قابل مشاهده است. کاروتنوئیدها می‌توانند تابش خورشید را جذب کنند، همچنین به عنوان رنگدانه کمکی برای عملکرد فتوسنتز ضروری هستند (بلکبرن، ۲۰۰۷)؛ بنابراین کاهش در مقدار آن‌ها، می‌تواند بر عملکرد گیاه تاثیرگذار باشد. در بین ظروف تقطیر نیز بیشترین مقدار کاروتنوئید در ظرف هرمی شیشه‌ای مشاهده شد (جدول ۵)، همان‌گونه که در ابتدای بخش نتایج بیان شد، این ظرف بیشترین مقدار تولید آب را به خود اختصاص داده است.



شکل ۱۱- اثر متقابل نوع ظرف تقطیر و نوع آب بر مقدار کاروتنوئید

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر نوع ظرف تقطیر بر مقدار کاروتنوئید گیاه فلفل قلمی در آبیاری تقطیری

تیمارهای ظرف	مقدار کاروتنوئید (mg/g)
F_1	^{a}۰/۵۸
F_2	^{a}۰/۵۸
F_3	^{b}۰/۶۲

کارایی مصرف آب

در این بخش به مقایسهٔ کارایی مصرف آب در بین سه ظرف تقطیر و همچنین چهار نوع آب مورد استفاده پرداخته می‌شود. کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) از تقسیم وزن خشک میوه (کیلوگرم) بر حجم آب در اختیار گیاه (مجموع آب شیرین تولید شده و آبیاری تکمیلی) محاسبه شد.

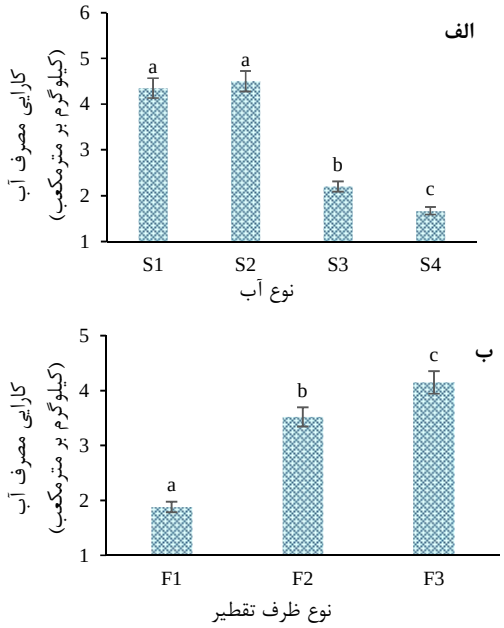
نتایج تحلیل کارایی مصرف آب (جدول ۶ و شکل ۱۲) نشان می‌دهد بالاترین مقدار کارایی مصرف آب گیاه فلفل قلمی با ۴/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب، به ظرف هرمی شیشه‌ای و کمترین مقدار نیز به میزان ۱/۹ کیلوگرم بر مترمکعب به ظرف نیمکره پلاستیکی شفاف تعلق دارد. از بین چهار نوع آب مورد بررسی نیز بالاترین کارایی مصرف آب در دو نوع آب شیرین مورد استفاده (S1 و S2) و به مقدار متوسط ۴/۴ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهد شد. آب با شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر (S4) نیز پایین‌ترین مقدار کارایی مصرف آب (۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب) را برای فلفل قلمی نشان داد. اثرات متقابل شوری آب و نوع ظرف تقطیر نیز به وضوع نشان می‌دهد که تیمارهای

حاوی آب شورتر، دارای کارایی مصرف آب کمتری هستند (شکل ۱۳).

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس مقدار آب تولید شده و کارایی مصرف آب گیاه فلفل قلمی تحت آبیاری تقطیری

منبع تغییرات	درجه آزادی	کارایی مصرف آب
ظرف تقطیر	۲	۱۶/۵۸**
نوع آب	۳	۱۹/۰۸**
نوع آب × ظرف تقطیر	۶	۴/۵۸**
خطا	۲۴	۰/۳۲
ضریب تغییرات		۱۷/۶۷

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد

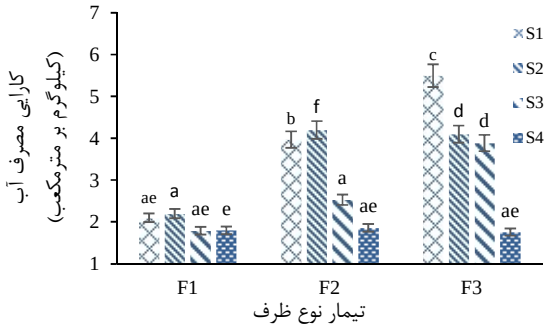


شکل ۱۲- مقایسه میانگین: الف) اثر نوع آب بر کارایی مصرف آب و ب) اثر نوع ظرف تقطیر بر کارایی مصرف آب

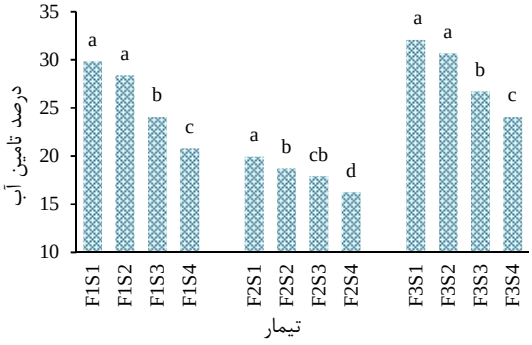
درصد تامین آب گیاه با روش آبیاری تقطیری

در این بخش به این موضوع پرداخته می‌شود که چند درصد از آبی که در اختیار گیاه قرار گرفته، با روش آبیاری تقطیر تامین شده است. مقدار آب تولید شده در هر تیمار نسبت به نیاز آبی محاسبه شده با روش هارگریوز- سامانی مقایسه و درصد تأمین آب تعیین شد. نوروزی (۱۳۹۵) در یک مطالعه لایسی‌متری نشان داد که روش هارگریوز- سامانی نتایج دقیق و قابل قبولی در منطقهٔ شهرکرد ارائه می‌دهد. در شکل ۱۴، درصد آبی که با آبیاری تقطیری در هر تیمار تولید شده، نشان داده شده است.

همان‌گونه که در شکل قابل مشاهده است، بیشترین درصد تأمین آب مربوط به تیمار F3S1 (ظرف هرمی شکل شیشه‌ای همراه با آب مقطر) و به میزان ۳۲ درصد است. تیمار ظرف نیم‌کرهٔ رنگی همراه آب شور ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر (F2S4) نیز کمترین درصد تأمین آب (۱۶ درصد) را به خود اختصاص داده است؛ به‌عبارت دیگر فارغ از نوع ظرف، با شور شدن آب درصد تامین آب کاهش یافته است. در صورتی که در روش آبیاری تقطیری از آب شور ۴ و ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر و ظرف تقطیر هرمی شیشه‌ای برای آبیاری گیاه فلفل قلمی استفاده شود، این روش آبیاری به‌ترتیب ۲۷ و ۲۴ درصد آب مورد نیاز این گیاه را می‌تواند تامین کند. مقدار متوسط درصد تأمین آب در تیمارهای مربوط به ظرف هرمی شکل شیشه‌ای حدود ۲۸/۵ درصد، ظرف نیمکرهٔ شفاف ۲۶ درصد و ظرف نیمکرهٔ رنگی ۱۸/۲ درصد است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت استفاده از ظروف تقطیر شیشه‌ای نسبت به ظرف‌های تقطیر پلاستیکی می‌تواند کارایی بهتری در تولید آب شیرین در روش آبیاری تقطیری با نور خورشید داشته باشد.



شکل ۱۳- اثر متقابل نوع ظرف تقطیر و نوع آب بر کارایی مصرف آب



شکل ۱۴- درصد تأمین آب توسط آبیاری تقطیری در هر تیمار

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تفاوت استفاده از آب‌های با شوری متفاوت و همچنین نوع ظرف تقطیر متفاوت بر کارایی روش آبیاری تقطیری برای گیاه فلفل قلمی در منطقه شهرکرد بررسی شد. نتایج نشان داد که با شور شدن آب داخل ظروف تقطیر، شاخص‌های رشدی گیاه مانند وزن‌تر و خشک میوه و شاخساره نسبت به تیمارهای آب مقطر و آب آشامیدنی دچار کاهش معنی‌دار شده‌اند. در تمامی این پارامترها، آب با شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر (S_4) کمترین مقدار را داشت. نتایج این پژوهش نشان داد در حالتی که در آبیاری تقطیری از آب با شوری ۶/۵ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر استفاده شود، وزن‌تر میوه فلفل قلمی به‌ترتیب ۶۷ و ۴۸ درصد نسبت به آب آشامیدنی کاهش می‌یابد. نتایج بررسی سه نوع ظرف تقطیر مورد استفاده نیز نشان داد که ظرف هرمی شکل شیشه‌ای باعث افزایش و بهبود خصوصیات کمی گیاه فلفل می‌شود؛ به‌گونه‌ای که بیشترین وزن تر و خشک میوه و شاخساره متعلق به این ظرف تقطیر بود.

مقدار نشت یونی که نشان‌دهندهٔ آسیب احتمالی به سلول‌ها است نیز در دو آب شور مورد بررسی مقدار بیشتری نشان داد. مقدار کاروتنوئید و محتوای نسبی آب برگ گیاه نیز در تیمارهای آب شور کمتر بود که نشان می‌دهد مقدار آب شیرین تولید شده در این تیمارها کمتر از تیمارهای آب شیرین است. نتایج تحلیل کارایی مصرف آب نشان داد بالاترین مقدار کارایی مصرف آب گیاه فلفل قلمی با ۴/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب، به ظرف هرمی شیشه‌ای و کمترین مقدار نیز به میزان ۱/۹ کیلوگرم بر مترمکعب به ظرف نیمکره پلاستیکی شفاف تعلق دارد. از بین چهار نوع آب مورد بررسی نیز بالاترین کارایی مصرف آب در دو نوع آب شیرین مورد استفاده (مقدار متوسط ۴/۴ کیلوگرم بر مترمکعب) مشاهد شد. آب با شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر نیز پایین‌ترین مقدار کارایی مصرف آب (۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب) را برای فلفل قلمی نشان داد. در نهایت نتایج بررسی مقدار تأمین آب گیاه فلفل قلمی به‌وسیلهٔ روش آبیاری تقطیری نشان داد، در صورتی که از روش آبیاری تقطیری با آب شور ۴ و ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر و ظرف تقطیر هرمی شیشه‌ای برای آبیاری گیاه فلفل قلمی استفاده شود، این روش آبیاری به‌ترتیب ۲۷ و ۲۴ درصد آب مورد نیاز این گیاه را تأمین خواهد کرد و بقیه آب مورد نیاز باید به‌صورت آبیاری تکمیلی در اختیار گیاه قرار گیرد.

در پایان ذکر چند نکته قابل توجه است. هدف از این پژوهش بررسی یک روش تقطیر درجا بود که بتوان آن را با حداقل امکانات در مناطق کوچک و برای کمک به معیشت خانوارهای ساکن در روستاهای مناطق خشک که آب شیرین بسیار محدود در اختیار دارند، استفاده کرد. این روش به‌دلیل اینکه سرمایه‌گذاری اولیه بسیار اندک نیاز دارد، نسبت به روش‌های دیگر مانند استفاده از صفحات خورشیدی و ... مقرون به صرفه است؛ ولی اصولا استفاده از این روش‌ها برای مساحت‌های زیاد از لحاظ اقتصادی بودن، همواره محل بحث است. در مجموع می‌توان استفاده از این روش آبیاری را در مناطقی خشک که بخش عمده‌ای از آب‌های سطحی و زیرزمین آن‌ها شور است توصیه کرد که چنین مناطقی در نواحی حاشیه کویرهای کشور فروان می‌هستند. از این روش برای تأمین آب برای گیاهان مناطق بیابانی و یا ایجاد کمربند سبز در اطراف روستاهای مناطق خشک و بیابانی نیز می‌توان استفاده کرد. همچنین روش مدیریت این سامانه آبیاری را می‌توان با روش آبیاری کوزه‌ای مقایسه کرد.

منابع

۱. اسماعیلی ع و اکبری ر. ۱۳۹۶. بررسی بهره‌وری آب و آسیب‌شناسی مدیریت آن در بخش کشاورزی کشور. گزارش دفتر تحقیقات و سیاست‌های بخش‌های تولیدی وزارت امور اقتصادی و دارایی. ۲۶ ص.

۲. پرویزی ی. و نباتی ع. ا. ۱۳۸۳. تأثیر دور آبیاری و کود دامی بر کارایی مصرف آب و عملکرد کمی و کیفی ذرت دانه‌ای. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی. ۱۷(۲): ۲۱-۲۹.

۳. مومن‌پور ع. بخشی د. ایمانی ع و رضایی ح. ۱۳۹۴. اثر تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک در برخی از ژنوتیپ‌های انتخابی بادام پیوند شده روی پایه GF67. فناوری تولیدات گیاهی. ۱۵(۲): ۱۳۷-۱۵۲.

۴. نوروزی ژ. ۱۳۹۵. تعیین ضرایب گیاهی یگانه، دوگانه و نیاز آبی کتان روغنی در اقلیم معتدل و سرد شهرکرد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه

شهرکرد. ۱۱۴ ص.

۵. یوسفی ب. برومندنسب س. بهزاد م. و چایبی ت. ۱۳۹۱. کاربرد آبیاری چگالشی در نمک زدایی از آب‌های شور و استفاده مجدد از آن‌ها در آبیاری و آب شرب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مهندسی علوم آب .دانشگاه شهید چمران. ایران. ۱۳۰ ص.

۶. یوسفی ب. بهزاد م. برومندنسب س. و رحمان‌شاهی زهابی م. ۱۳۹۰. آبیاری چگالشی روشی نوین برای استفاده از آب‌های شور و نامتعارف. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. ۱۳-۱۴ اردیبهشت. دانشگاه صنعتی امیرکبیر. تهران. ۱-۷.

۷. یوسفی ب. و برومندنسب س. ۱۳۹۴. شورزدایی با استفاده از سیستم آبیاری چگالشی. نشریه آب و فاضلاب. ۲۶(۳): ۱۲۷-۱۳۳.

8. Asghari A. Darghahi Y. Rasoulzadeh A. and Ahmadian M. 2014. Evaluation of morphological traits of sesame cultivars in underwater stress conditions using factor analysis. Journal Iranian Crop Research. 11(4): 593-607.
9. Blackburn A. G. 2007. Hyperspetral remote Sensing of plant pigments. Journal of Experimental Botany. 58(4): 855-867.
10. Blaylok A. D. 1994. Soil salinity, Salt tolerance and growth potential of horticultural and landscape plants, Department of plant, Soil and Sciences College of Agriculture, University of Wyoming. 988 p.
11. Blum A. 1999. Towards standard assay of drought resistance in crop plants. In J.M. Ribaut and D. Poland (Eds). M. A strategic planning workshop, 21-25 June 1999. CIMMYT Press, El Batan, Mexico. 29-35.
12. Calzadilla A. Rehdanz K. and Tol R. 2010. The economic impact of more sustainable water use in agriculture: A computable general equilibrium analysis. Journal of Hydrology. 384(3): 292-305.
13. Chaibi M. T. and Jilar T. 2004. System design, operation and performance of roof integrated desalination in greenhouses. Solar Energy. 76(5): 545-561.
14. Cheng L. I. Sun B. C. Tang H. J. Wang T. Y. Yu L. I. Zhang D. F. Xie X. Q. Shi Y. S. Song Y. C. Yang X. H. and Li J. S. 2017. Simple nonlinear model for the relationship between maize yield and cumulative water amount. Journal of Integrative Agriculture. 30(16): 66-858.
15. Chouaib W. and Chaibi T. 2014. Performance evaluation of condensation irrigation solar system under arid climate conditions. Int. J. Energy Technology and Policy. 10(2): 145-160.
16. Elhammeii A. A. Muntasser M. A. Lindblom J. and Nordell B. 2017. Producing water by condensation of humid air in buried pipe. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Rabat. 11-13 April. Morocco. 2270-2281.
17. Eskandari A. Khazaie H. R. Nezami A. and Kafi M. 2011. Study the effects of irrigation regimes on yield and some qualitative characteristics of three cultivars of potato (Solanum tuberosum L.). Journal of Water and Soil. 25(2): 240-247.
18. Fernandez M. D. GallardoM M. Bonachwla S. Orgaz F. Thompson R. B. and Fereres F. 2005. Water Use and Production of a Greenhouse Pepper Crop under Optimum and Limited Water Supply. Journal Horticultural Science. 80(1): 87-96.
19. Gindel I. 1965. Irrigation of Plants with Atmospheric Water within the Desert. 207: 1173-1175.
20. Gohlman A. 1987. Heating of frozen ground, Master's thesis. Lulea University of Technology. 180 p.
21. Gustafsson A. M. and Lindblom J. 2001. Underground condensation of humid air-a solar driven system for irrigation and drinking-water production. MSc Thesis, Lulea University of Technology, Sweden. 140 p.
22. Hamed A. Akbari Gh. A. Khosh kholgh sima N. A. Shirani Rad A. H. Jabbari H. and Tabatabaei S. E. 2015. Evaluating the agronomic traits and some physiological traits in rape seed cultivars under drought conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences. 7(2): 155-177.
23. Hausherr B. and Ruess K. 1993. Seawater desalination and irrigation with moist air, Technical report, Ingenieurbüro Ruess und Hausherr. 164 p.
24. Hiscox J. D. and Israelstam G. F. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Canadian. Journal of Botany. 57: 1332-1334.
25. Lindblom J. 2006. Condensation irrigation: Simulations of heat and mass transfer. Doctoral Thesis, Lulea University of Technology, Sweden. 120 p.
26. Lindblom J. and Nordell B. 2007. Underground condensation of humid air for drinking water production and subsurface irrigation, Desalination. 203(1-3): 417-434.

27. Mohammadi M. Karimizadeh R. A. and Naghavi M. R. 2009. Selection of bread wheat varieties against heat and drought tolerance based on chlorophyll content and stems reserves. Journal of Agriculture & Social science. 5(4): 119-122.
28. Mousavi M. Myrlatifi S. M. and Tabatabaei S. H. 2015. Effect of installation depth and distance of subsurface irrigation pipes on grass growth under municipal wastewater use. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Soil and Water Sciences. 19(71): 129-138.
29. Nordell B. 1987. Design of climate system for Greenhouse in the north of Sweden. Lulea University of Technology, Sweden. 170 p.
30. Ouda O. K. Shawesh A. Al-Olabi T. Younes F. and Al-Waked R. 2013. Review of domestic water conservation practices in Saudi Arabia. Applied Water Science. 3(4): 689-699.
31. Salarian M. Alizadeh A. Davary K. and Ansari H. 2017. The impact of Deficit Irrigation and Salinity Stress on Physiological Parameters and Yield of Bell Pepper in Greenhouse by Smart Drip Irrigation system. Journal Irrigation and Drainage of Iran. 11(3): 322-334.
32. Shahrokhi M. Tehranifar A. Hadizadeh H. and selahvarzi Y. 2011. Effect of drought stress and Paclobutrazol-Treated seeds on physiological Response of Festuca arundinacea L. Master and Lolium perenne L. Barrage. Journal of Biological and Environmental Sciences. 5(14): 77-85.
33. Sharon H. and Reddy K. S. 2015. A review of solar energy driven desalination technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 41(C): 1080-1118.
34. Shatat M. Worall M. and Riffat S. 2013. Opportunities for solar water desalination worldwide. Sustainable Cities and Society. 9: 67-80.
35. Widegren M. 1986. Condensation irrigation, a desalination-irrigation system. M. Sc. Thesis, Lulea University of Technology, Sweden. 186 p.