اثر کم‌آبیاری بر تبخیر و تعرق، کارایی مصرف آب، عملکرد و رشد گیاه فلفل همدانی در کشت گلخانه‌ای

حمید زارع ابیانه[1*]، اعظم چشمه قصابانی[1]، حسن باب‌الحوائجی[2] و علی افروزی[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۷)

چکیده

تأثیر کم‌آبیاری بر تبخیر و تعرق، عملکرد، کارایی مصرف آب و برخی مؤلفه‌های رشد گیاه فلفل همدانی (بیور) در یک طرح کاملاً تصادفی با یک تیمار آبیاری کامل (FI) و سه تیمار کم‌آبیاری (۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی؛ DI_{85}، DI_{70} و DI_{55}) در ۵ تکرار بررسی شد. مقدار تبخیر و تعرق در مدت ۶۶ روز اعمال کم‌آبیاری در تیمارهای FI، DI_{85}، DI_{70} و DI_{55} به‌ترتیب ۳۳۷/۸، ۳۰۷/۵، ۲۸۱/۱ و ۲۴۴/۲ میلی‌متر و در کل دوره رشد ۳۹۶/۲، ۳۶۵/۹، ۳۳۹/۵ و ۳۰۲/۶ میلی‌متر به‌دست آمد. با کاهش محتوای رطوبت خاک، صفات مورفولوژیک گیاه کاهش یافتند. لیکن در ۷۹٪ از موارد، تفاوت نتایج تیمارهای FI و DI_{85} معنی‌دار نبود. در حالی که اختلاف بین تیمار DI_{55} و تیمارهای FI و DI_{85} در همه موارد معنی‌دار شد. اعمال کم‌آبیاری منجر به کاهش تعداد میوه‌های جور از ۳۳/۰ عدد در هر بوته تیمار FI به ۱۵/۶ عدد در تیمار DI_{55} و متناظر با آن افزایش میوه‌های ناجور از ۵/۴ به ۱۸/۰ عدد در هر بوته شد. مقدار عملکرد و کارایی مصرف آب در تیمار FI، به‌ترتیب ۱۸/۹۸ تن در هکتار و ۴/۷۹ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آمد که با عملکرد ۱۷/۷۵ تن در هکتار و کارایی مصرف آب ۴/۸۵ کیلوگرم بر متر مکعب تیمار DI_{85} از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت. نبود اختلاف آماری معنی‌دار بین عملکرد تیمارهای FI و DI_{85} بیان کننده حفظ عملکرد گیاه فلفل در حد سطح آبیاری کامل به‌موازات کاهش آب آبیاری است. بدین ترتیب، تیمار DI_{85} جهت کشت فلفل همدانی قابل توصیه است. در شرایط حاد کم‌آبی نیز می‌توان تیمار DI_{70} را با عملکرد محصول ۱۳/۴۸ تن در هکتار به‌کار گرفت که نسبت به تیمار FI افت معنی‌دار ۲۹ درصدی را نشان داد. همچنین، کارایی مصرف آب در تیمار DI_{70} کاهش معنی‌دار ۱۷ درصدی نسبت به تیمار FI را نشان داد. راندمان آبیاری در تیمارهای FI، DI_{85}، DI_{70} و DI_{55} به‌ترتیب ۶۱/۹، ۶۵/۳، ۶۹/۶ و ۷۳/۴ درصد به‌دست آمد.

کلمات کلیدی: تنش آبی، فلفل بیوَر، کارایی مصرف آب آبیاری، راندمان آبیاری

مقدمه

عمده مصرف آب کشور در بخش کشاورزی است که بیش از ۹۰٪ منابع آب حاصل از ریزش‌های کم و نامتوازن (زمانی و مکانی) جوی را مصرف می‌کند. محور اقتصادی روستاها و شهرهای کوچک، فعالیت‌های کشاورزی است و مدیریت منابع آب در این حوزه اهمیت زیادی دارد. به‌کارگیری راه‌کارهای

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: zare@basu.ac.ir

مدیریتی در شرایط کمبود منابع آب نیازی اساسی برای افزایش کارایی مصرف آب است که موجب کاهش مشکلات زیست‌محیطی و آسیب‌های اجتماعی می‌شود. از جمله راه‌کارهای مدیریتی در شرایط کمبود آب می‌توان به کشت گلخانه‌ای و کم‌آبیاری اشاره کرد. در کشت گلخانه‌ای، ضمن رفع برخی محدودیت‌های محیطی رشد، مصرف آب قابل مدیریت است. کم‌آبیاری نیز روشی مدیریتی برای دست‌یابی به تولید اقتصادی محصولات کشاورزی می‌باشد. در کم‌آبیاری، سعی می‌شود با مصرف آب کمتر در برخی دوره‌های رشد، ضمن حفظ عملکرد اقتصادی محصول، آب کمتری نسبت به آبیاری کامل استفاده گردد. برای اکثر گیاهان زراعی، کمبود آب طی دوره گل‌دهی تا گرده‌افشانی و حین تلقیح و تشکیل اندام‌های زایشی بیشترین اثر منفی را بر عملکرد محصول داشته و در دوره گسترش شاخ و برگ تأثیر سوء کمتری بر عملکرد اندام‌های زایشی دارد (۱). کمبود آب، ضمن تحت تأثیر قرار دادن هر یک از شاخص‌های کمی و کیفی گیاه مانند ارتفاع و وزن خشک و تر اندام هوایی، طول ریشه و وزن خشک و تر اندام زیرزمینی، ممکن است سبب تحریک و سرعت بخشیدن رشد زایشی در برخی گیاهان شود (۴). لذا، برنامه‌ریزی و مدیریت آب می‌تواند اثرها و تبعات منفی کم‌آبی در رشد و عملکرد را کاهش دهد.

فلفل، گیاهی حساس به سرما و یخزدگی و منبع خوبی از ویتامین‌های A و C است که به‌صورت تازه‌خوری، خشک، فرآوری شده و به‌عنوان چاشنی غذایی مصرف می‌شود. دمیرتاش و آیاس (۹) اثر کم‌آبیاری را بر عملکرد گیاه فلفل دلمه‌ای در شرایط گلخانه با پنج سطح آبیاری ۱۰۰، ۷۵، ۵۰، ۲۵ و صفر درصد تبخیر از تشت با دور آبیاری دو روز بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که میزان آب مصرفی به‌ترتیب ۶۵ تا ۷۲۴ میلی‌متر و عملکرد ۱/۹ تا ۲۴ تن در هکتار بود. بیشترین کارایی مصرف آب (Water use efficiency, WUE) و کارایی مصرف آب آبیاری (Irrigation water use efficiency, IWUE) در تیمار آبیاری ۷۵٪ نیاز آبی به‌ترتیب ۳/۱۳ و ۳/۳۹ کیلوگرم بر میلی‌متر آب به‌دست آمد. اوُسوسکره و همکاران (۱۷) ضریب گیاهی و عملکرد گیاه فلفل را در یک مزرعه تحقیقاتی از کشور غنا با ۱۳۰۰ میلی‌متر بارندگی سالانه برای چهار سطح ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی مورد آزمون قرار دادند. آنها مقدار تجمعی آب مصرفی متناظر با سطوح نیاز آبی طی فصل رشد را به‌ترتیب ۵۸۷/۵، ۴۹۶/۶، ۴۶۵/۹ و ۴۳۹/۸ میلی‌متر اندازه‌گیری کردند. مقادیر عملکرد دو تیمار ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی ۱۴۵ و ۱۲۸ گرم در هر بوته بود که فاقد تفاوت معنی‌دار آماری بودند. به همین ترتیب، عملکرد در دو تیمار آبیاری ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی نیز بدون تفاوت معنی‌دار آماری معادل ۸۰ و ۳۹ گرم در هر بوته بود. مقادیر ضریب گیاهی برای چهار مرحله رشد اولیه (۱۷ روز)، توسعه (۳۲ روز)، میانی (۵۶ روز) و آخر (۲۴ روز) در تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی ۰/۴۷، ۰/۸۶، ۱/۴۲ و ۰/۹۱، در تیمار آبیاری ۸۰٪ برابر ۰/۴۱، ۰/۶۳، ۱/۲۲ و ۰/۸۴، در تیمار ۶۰٪ برابر ۰/۳۸، ۰/۷۸، ۱/۰۳ و ۰/۸۱ و در تیمار ۴۰٪ برابر ۰/۳۶، ۰/۷۲، ۰/۹۸ و ۰/۷۷ به‌دست آمد. گنج‌اوغلان و همکاران (۱۱) تابع هزینه- عملکرد مقدار آب مصرفی گیاه فلفل قرمز را با داده‌های دوساله در یک تیمار آبیاری کامل و چهار تیمار کم‌آبیاری در یک سیستم آبیاری بارانی در ترکیه بهینه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که آب مورد نیاز ۲۹۶ تا ۹۱۳ میلی‌متر با عملکرد ۲۸۴ تا ۱۳۵۸ کیلوگرم در هکتار بود. توابع میانگین آب مصرفی با عملکرد و آب مصرفی با هزینه نشان دادند که حداکثر آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین ۸۱۵ میلی‌متر با عملکرد ۱۲۲۷ کیلوگرم در هکتار و حداکثر سطح اقتصادی آب در شرایط محدودیت آب معادل ۷۵۲ میلی‌متر با ۱۱۷۶ کیلوگرم در هکتار عملکرد ماده خشک است. گونزالز دوگو و همکاران (۱۲) با اعمال دو تیمار کم‌آبیاری پایدار در طول فصل رشد و کم‌آبیاری در انتهای فصل رشد در گیاه فلفل کشت شده در اسپانیا نشان دادند که رشد رویشی فلفل به‌مقدار زیادی به آب وابسته است. همچنین، در هر دو تیمار کم‌آبیاری، سطح برگ و وزن تر و خشک محصول کاهش یافت؛ لیکن، در زمان برداشت محصول هیچ‌گونه تغییری

ایجاد نشد. از دیگر نتایج اینکه عملکرد تجاری محصول در تیمارهای آبیاری کامل (شاهد)، کم‌آبیاری پایدار و کم‌آبیاری انتهای فصل رشد ۳۴۴۹، ۲۰۱۸ و ۲۸۱۶ کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شد که تفاوت بین عملکردها معنی‌دار نبود. اما از آنجایی که هدف، کاهش آب مصرفی در مقابل کاهش کمتر عملکرد بود، آنان تیمار کم‌آبیاری انتهای فصل را توصیه نمودند. فرارا و همکاران (۱۰) با بررسی اثر کم‌آبیاری طی دوره‌های مختلف رشد گیاه فلفل در تیمارهای آبیاری کامل، کم‌آبیاری طی دوره رشد رویشی و کم‌آبیاری در دوره رشد زایشی، میزان عملکرد را به‌ترتیب ۵۶۴۴، ۲۰۴۰ و ۸۷۵ گرم بر متر مربع گزارش نمودند. آنان همچنین مشاهده کردند که اعمال کم‌آبیاری طی دوره رشد رویشی به‌طور معنی‌داری تعداد گل‌های گیاه را از ۳۰/۹ به ۱۰/۷ عدد کاهش داد. نتایج آصف و همکاران (۶) طی دو سال مطالعات میدانی در ناحیه آبیاری شمال پاکستان در خصوص فلفل شیرین (دلمه‌ای) نشان داد که در روش آبیاری قطره‌ای، مقادیر عملکرد ۶۰٪، راندمان آب مصرفی ۴۷٪، بهره‌وری ۵۹٪ و کارایی مصرف کود ۵۴/۵ درصد بیش از آبیاری جویچه‌ای است. مردانی‌نژاد و همکاران (۱۶) اثر کمبود آب را بر رشد گیاه فلفل قلمی در محیط گلخانه مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان بیان کننده کاهش متوسط سرعت رشد روزانه ریشه در شرایط محدودیت آب بود. سرعت رشد ریشه بین ۰/۳۵ در تیمار آبیاری کامل تا ۰/۲۷ سانتی‌متر در روز در تیمار ۴۰٪ نیاز آبی بود. نتایج آنان بیشترین و کمترین مقادیر عملکرد را به‌ترتیب ۱۶/۷ و ۵/۱ تن در هکتار در تیمارهای آبیاری کامل و آبیاری ۴۰٪ نیاز آبی به‌دست داد. عابدی کوپایی و همکاران (۳) با اندازه‌گیری و مدل‌سازی نیاز آبی و ضریب گیاهی فلفل در شرایط گلخانه‌ای، میانگین مقدار تبخیر و تعرق فلفل طی دوره رشد را ۳/۱۸ میلی‌متر بر روز گزارش کردند. صدرقاین و همکاران (۲) با بررسی اثر سیستم‌های آبیاری شامل قطره‌ای، قطره‌ای با نوار تیپ و قطره‌ای با لوله‌های تراوا و اعمال تیمارهای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد تبخیر از تشت در کشت فلفل گزارش کردند که حداکثر عملکرد با استفاده از نوارهای آبده تیپ در سطح تأمین ۱۰۰٪ تبخیر از تشت ۸/۰ تن در هکتار و بیشترین کارایی مصرف آب در آبیاری تیپ با تیمار ۵۰٪ تبخیر از تشت ۱/۷۴ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش شد. جونیور و همکاران (۱۳) با تأمین ۱۰۰، ۸۰ ، ۶۰، ۴۰ و ۲۰ درصدی نیاز آبی گیاه فلفل به‌ترتیب مقدار تبخیر و تعرق گیاه را در طول دوره کشت ۳۴۶/۸، ۲۷۷/۳، ۲۰۷/۷، ۱۳۹/۴ و ۷۰/۱ میلی‌متر و کارایی مصرف آب را ۰/۷۷، ۲/۱۴، ۱/۷۹، ۲/۵۵ و ۲/۰۶ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش کردند. لودهی و همکاران (۱۵) با کشت گیاه فلفل شیرین و تأمین ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درصد تبخیر از تشت به عنوان آب آبیاری در سیستم قطره‌ای به‌ترتیب مقدار آب آبیاری ۳۸۲/۱، ۴۷۰/۱ و ۵۵۸/۲ میلی‌متر، عملکرد تر محصول را ۲۲/۲، ۲۸/۸ و ۲۷/۷ تن در هکتار و کارایی مصرف آب آبیاری را ۵/۸۲، ۶/۱۲ و ۴/۹۶ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش کردند. آنها نتیجه گرفتند که اعمال ۷۵٪ تبخیر از تشت بیشترین عملکرد و کارایی مصرف آب آبیاری را به‌دست می‌دهد. چوسیچ و همکاران (۸) اثر کاربرد و عدم کاربرد کائولین در کشت فلفل شیرین بر عملکرد و کارایی مصرف آب را تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، شامل تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه در صربستان بررسی کردند. در کلیه تیمارها، مقدار آب آبیاری بدون در نظر گرفتن بارندگی از ۲۵۲ تا ۵۲۲ میلی‌متر، مقدار تبخیر و تعرق واقعی در رژیم‌های مختلف از ۳۸۶/۰ تا ۵۴۵/۳ میلی‌متر، عملکرد محصول ۱۷ تا ۵۳ تن در هکتار و کارایی مصرف آب ۳/۹ تا ۱۲/۹ کیلوگرم بر متر مکعب بود. سزن و همکاران (۲۰) با مطالعه اثر رژیم‌های مختلف آبیاری با تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد تبخیر از تشت در کشت فلفل دلمه‌ای مقدار آب آبیاری ۲۵۹/۵ تا ۵۷۰/۴ میلی‌متر، تبخیر و تعرق ۳۰۹ تا ۵۲۸ میلی‌متر، عملکرد محصول ۲۱/۰ تا ۳۵/۳ تن در هکتار و مقادیر WUE و IWUE را به‌ترتیب ۴/۷ تا ۷/۹ و ۴/۶ تا ۷/۷ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش نمودند. تأثیر رژیم آبیاری بر عملکرد محصول و کارایی مصرف آب معنی‌دار بود و با کاهش مقدار آب آبیاری عملکرد محصول کاهش داشت (۲۰).

فلفل همدانی، یا بیوَر، از گونه‌های فلفل شیرین و خوش‌طعم است که نسبت به فلفل قلمی کوتاه‌تر و مخروطی شکل می‌باشد، تندی ملایمی دارد و به‌صورت خام و فرآوری شده مصرف می‌شود. کمبود آب در گیاه فلفل عموماً در کاهش شاخص‌های رویشی آن مانند ارتفاع اندام هوایی، وزن خشک برگ، ساقه و ریشه اثر دارد (۷ و ۱۴). لیکن پاسخ این نوع فلفل به کمبود آب مانند دیگر گونه‌های فلفل می‌تواند متفاوت باشد که مورد تحقیق و بررسی قرار نگرفته است. با توجه به اهمیت مدیریت بهینه آب مصرفی، در این پژوهش به بررسی اثرهای کم‌آبیاری بر عملکرد و برخی شاخص‌های رشد گیاه فلفل همدانی پرداخته شد. شاخص‌های مورد بررسی شامل وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و میوه، قطر و طول میوه، تعداد میوه جور و ناجور، عملکرد کل، تبخیر و تعرق و کارایی مصرف آب، کارایی مصرف آب آبیاری و راندمان آبیاری بود.

مواد و روش‌ها

تیمارها و محل آزمایش

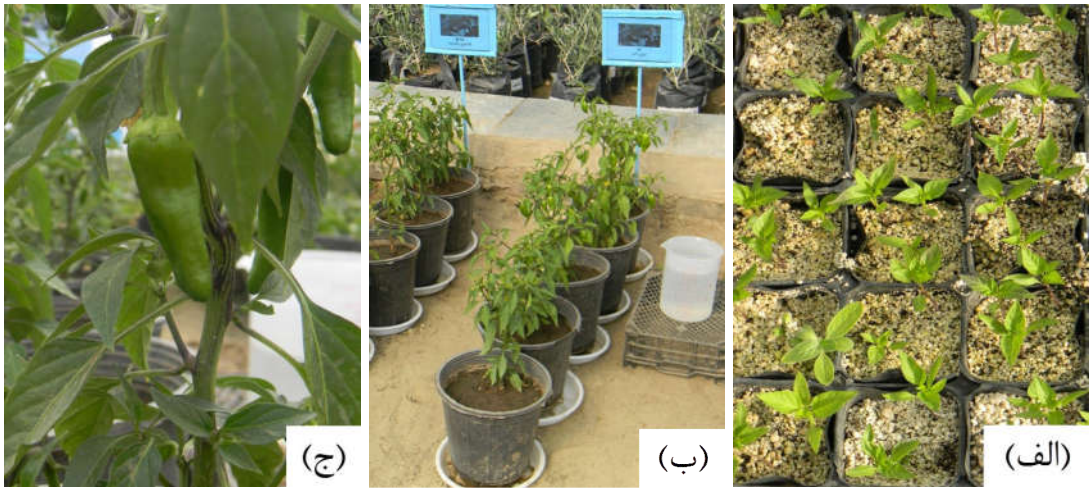
اثر کم‌آبیاری بر شاخص‌های رشد، کارایی مصرف آب (WUE)، کارایی مصرف آب آبیاری (IWUE) و تبخیر و تعرق (ET) گیاه فلفل همدانی، با آزمایشی گلدانی، به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار آبیاری و پنج تکرار در هر تیمار، بررسی شد. تیمارها شامل تأمین ۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی بود که به اختصار FI، DI_{85}، DI_{70} و DI_{55} نامیده شدند. این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا با مختصات جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی، با میانگین ارتفاع ۱۸۲۰ متر از سطح دریا، انجام گرفت. برای پایش شرایط هوای گلخانه، از دستگاه ترموهیگرومتر دیجیتال استفاده گردید. این دستگاه در محلی قرار داده شد که دور از منبع حرارتی و تابش مستقیم آفتاب، نشان‌دهنده دمای متوسط محیط کشت بود. از داده‌های خروجی این دستگاه استفاده و در صورت نیاز با کوره‌های هوای گرم، پوشال و پنکه، دریچه‌های تهویه و سایه دادن، شرایط دما و رطوبت هوای گلخانه کنترل شد.

محیط کشت

عملیات نشا به‌صورت دستی در گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۲۰ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر، با بستری از مخلوط خاک، شن و کود حیوانی به نسبت ۳، ۱ و ۱ انجام شد. فلفل کشت شده در پژوهش حاضر از دسته ارقام فلفل با رشد کم (بیور) است که نسبت به سایر ارقام توسعه ریشه کمتری دارد (۱۸). بنابراین، کشت در گلدان‌ها با عمق ۲۵ سانتی‌متر تأثیر منفی بر رشد و توسعه گیاه نداشت. برای تهویه مناسب ناحیه ریشه، در کف هر گلدان ۴ سوراخ به‌قطر ۵ میلی‌متر تعبیه و لایه‌ای از جنس سنگریزه به‌ضخامت ۵ سانتی‌متر قرار داده شد. یک نمونه یک کیلوگرمی از مخلوط خاک، برای تعیین بافت، منحنی مشخصه و برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک و یک نمونه آب آبیاری برای تعیین ویژگی‌های شیمیایی به آزمایشگاه آب و خاک ارسال گردید. بافت خاک مورد استفاده رسی با ۶۲/۴۴ درصد رس، ۲۵/۵۶ درصد شن و ۱۲ درصد سیلت بود. با ترسیم مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده در مکش‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۴۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر آب در محیط نرم‌افزار RETC مقادیر رطوبت خاک در ظرفیت زراعی (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) به‌دست آمد. بافت، جرم مخصوص، اسیدیته و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به‌ترتیب از روش‌های هیدرومتری، استوانه فلزی، pH متر و هدایت‌سنج الکترونیک اندازه‌گیری شد. کیفیت شیمیایی نمونه‌های خاک و آب آبیاری شامل پارامترهای اسیدیته، هدایت الکتریکی، نسبت جذبی سدیم و مقادیر یون‌های سدیم، کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات، کلر و سولفات اندازه‌گیری شد.

زمان‌بندی و عملیات کشت

بذرهای فلفل در تاریخ ۲۰ دی‌ماه، در شاسی‌هایی با بستر کوکوپیت و پرلیت عاری از آلودگی و بیماری کشت شدند. در



شکل ۱. الف) شاسی و نشاهای فلفل قبل از انتقال به گلدان‌های اصلی، ب) بوته‌های فلفل تیمار شده و ج) میوه فلفل آماده برداشت.

هر شاسی، سه بذر به فاصله ۱۵ میلی‌متر با عمق حدوداً ۵ میلی متر کاشته و روی شاسی تور پلاستیکی قرار داده شدند که در حین آبیاری بذرها جابه‌جا نشوند. تور پلاستیکی را پس از دو هفته برداشته و آبیاری به‌صورت مستقیم انجام گردید. در تاریخ ۹ اسفندماه، پس از هفت هفته که نشاها به اندازه کافی رشد کردند، در هر گلدان سه بوته چهار برگی از بذرهای کشت شده در شاسی نشا گردید (شکل ۱- الف). پس از چهار هفته آبیاری روزانه و یکسان همه گلدان‌ها، نسبت به حذف دو بوته کمتر رشد یافته در ۶ فروردین اقدام گردید. اعمال تیمارهای آبیاری به‌مدت ۶۶ روز و پس از ۱۰ روز از تک‌بوته شدن گلدان‌ها از ۱۶ فروردین آغاز و در ۲۰ خرداد با برداشت محصول خاتمه یافت. برای مبارزه با آفاتی نظیر شته و پشه سفید، سه مرحله سم‌پاشی با محلول آبامکتین ۱/۸ درصد امولسیون شوندگی انجام گرفت. به‌منظور جلوگیری از رشد بیش از حد میوه‌ها و افت بازارپسندی، میوه‌ها طی سه نوبت با فواصل ۱۵ روز در تاریخ‌های ۲۰ اردیبهشت و ۵ و ۲۰ خرداد برداشت شدند.

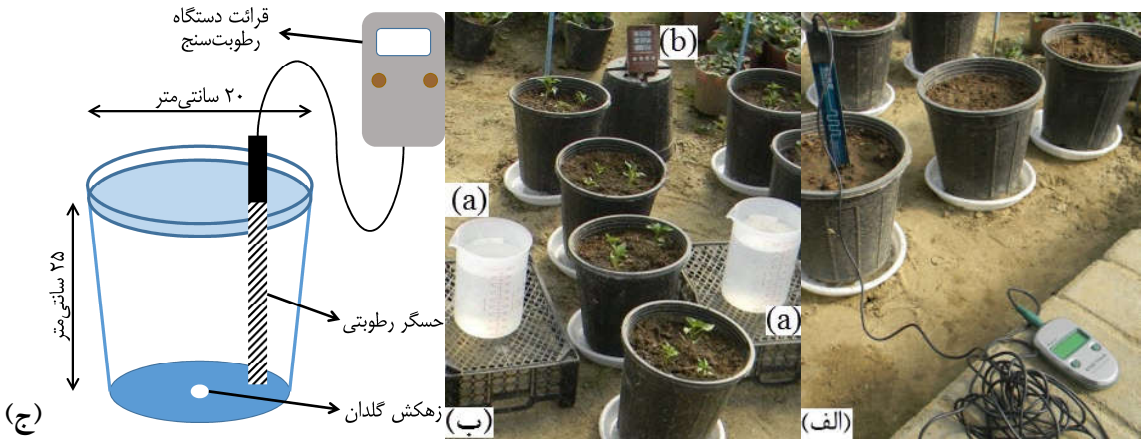
مدیریت آبیاری

ضریب تخلیه مجاز رطوبتی (Management available deficit, MAD) فلفل مطابق پیشنهاد آلن و همکاران (۵) معادل ۰/۳ و مقدار رطوبت سهل‌الوصول از حاصل‌ضرب MAD در کل رطوبت قابل دسترس (Total available water, TAW) برابر ۵/۷ درصد برآورد گردید. عملیات آبیاری در تیمار FI با کاهش رطوبت خاک به ۲۶/۳ درصد (θ_d) شروع و تا رسیدن رطوبت به ظرفیت زراعی ادامه یافت. رطوبت حجمی خاک نیز با دستگاه رطوبت‌سنج ECH2O (شکل ۲- الف) به‌طور روزانه اندازه‌گیری شد. در شکل ۲- ج، شماتیک گلدان و دستگاه رطوبت‌سنج آورده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، حسگر رطوبتی این دستگاه به‌طور عمودی در گلدان کار گذاشته شد که رطوبت را در تمام عمق گلدان به‌دست می‌دهد. نمودار واسنجی و معادله برازش یافته بر نمودار دستگاه اندازه‌گیر رطوبت در شکل ۳ ارائه شده است.

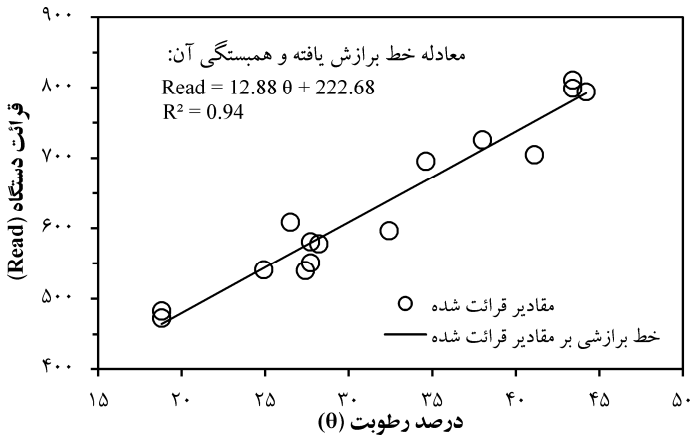
از ۳۵اُمین روز نشا در گلدان‌ها تا پایان برداشت انتهایی، طی یک دوره ۶۶ روزه هم‌زمان با تیمار FI، در تیمارهای DI_{85}، DI_{70} و DI_{55} به‌ترتیب ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد ارتفاع آب آبیاری تیمار FI اعمال شد. میزان تبخیر و تعرق روزانه در هر یک از تیمارها و تکرارها با معادله بیلان جرمی آب محاسبه گردید:

$$ET = I + P + SFI + LI + GW - RO - LO - L - DP - D_{rz}(\theta_f - \theta_i) \quad [۱]$$

که ET تبخیر و تعرق گیاه (L)، I مقدار آبیاری (L)، P مقدار بارندگی (L)، SFI جریان سطحی ورودی به سطح خاک (L)، LI جریان زیرسطحی که وارد حجم خاک می‌شود (L)، GW



شکل ۲. الف) اسباب اندازه‌گیری رطوبت خاک، ب) کاشت سه نشا در هر گلدان و اسباب اندازه‌گیری تبخیر (a) و دما و رطوبت نسبی (b) و ج) شماتیک گلدان، محل اندازه‌گیری رطوبت در گلدان و دستگاه رطوبت‌سنج.



شکل ۳. نمودار واسنجی و معادله برازشی دستگاه رطوبت‌سنج ECH2O.

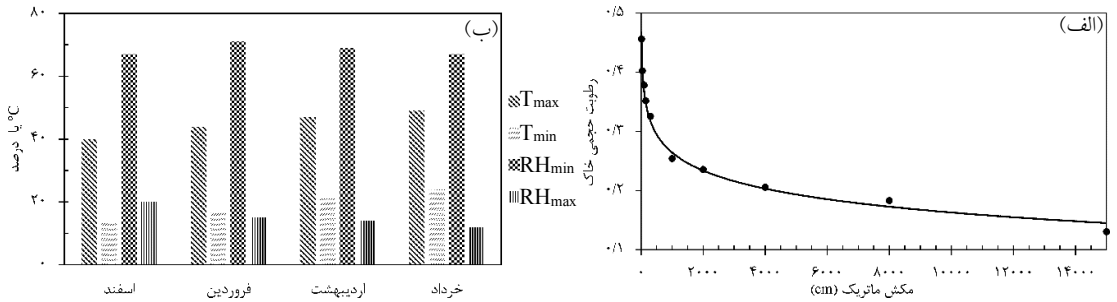
جریان آبی که از زیر زمین ممکن است وارد حجم خاک شود (L)، RO رواناب سطحی که از زمین خارج می‌شود (L)، LO جریان آب زیرسطحی که از زمین خارج می‌شود (L)، L نیاز آبشویی (L)، DP نفوذ عمقی (L)، Drz عمق ریشه گیاه (L)، θ_f رطوبت نهایی (L/L) و θ_i رطوبت اولیه خاک (L/L) است. با توجه به شرایط موجود در گلخانه، پارامترهای P، SFI، LI، GW، RO، LO و L برابر با صفر در نظر گرفته شد. با توجه به رژیم آبیاری یکسان در هر تیمار، مقادیر زه‌آب خروجی از گلدان‌های یک تیمار معین با اختلافی کمتر از ۵٪ تقریباً برابر بودند. میانگین مقادیر زه‌آب خروجی گلدان‌های هر تیمار به‌عنوان مقدار DP در رابطه بیلان در نظر گرفته شد. همچنین مقادیر روزانه پارامترهای حداکثر دما (T_{max})، حداقل دما (T_{min})، حداکثر رطوبت نسبی (RH_{max}) و حداقل رطوبت نسبی (RH_{min}) با دستگاه ترموهیگرومتر دیجیتال طی مدت زمان اعمال تیمارها اندازه‌گیری شد (شکل ۲- ب).

صفات و شاخص‌های مورد بررسی

با برداشت محصول، شاخص‌های وزن تر و خشک میوه‌ها، تعداد میوه‌های جور و ناجور، قطر و طول میوه‌ها اندازه‌گیری شد. شاخص WUE از نسبت عملکرد محصول (ton/ha) به

جدول ۱. ویژگی‌های شیمیایی آب و خاک مورد استفاده.

پارامتر	سدیم	منیزیم	کلسیم	بی‌کربنات	کلر	سولفات	نسبت جذبی سدیم	اسیدیته	هدایت الکتریکی
	(meq/L)						(–)		(dS/m)
خاک	۴/۳	۲/۲	۶/۲	۴/۹	۵/۴	۲/۱	۲/۱	۷/۷	۱/۲۶
آب	۰/۹۳	۱/۹	۴/۵	۴/۳	۱/۸	۱/۲۳	۰/۵۲	۸/۳	۰/۷۳



شکل ۴. الف) منحنی مشخصه رطوبتی خاک و ب) مقادیر میانگین ماهانه دما و رطوبت نسبی حداکثر و حداقل در دوره کشت.

تبخیر و تعرق واقعی (mm) و شاخص IWUE از نسبت عملکرد محصول (ton/ha) به عمق آب آبیاری (mm) محاسبه و به‌منظور مقایسه نتایج با سایر مطالعات واحد آنها از ton/(ha mm) به kg/m^3 تبدیل شد. شاخص WUE بدون در نظر گرفتن تلفات نفوذ عمقی آب و سایر تلفات ناشی از ناکارآمدی سیستم آبیاری، کارایی مصرف آب را نسبت به مقدار تبخیر و تعرق واقعی گیاه به‌دست می‌دهد. لیکن IWUE کارایی مصرف آب را نسبت به کل آب آبیاری سنجیده و تلفات آب سیستم آبیاری را نیز در نظر می‌گیرد. راندمان آبیاری نیز از نسبت مقدار تبخیر و تعرق واقعی به مقدار آب آبیاری به صورت درصد محاسبه شد. در پایان مرحله سوم برداشت، قسمت هوایی هر بوته از محل طوقه جدا، ریشه‌ها با اشباع نمودن گلدان‌ها با دقت از خاک خارج و با آب شسته و در نهایت مؤلفه‌های وزن تر و خشک اندام هوایی و زیرزمینی توزین شد. در اندازه‌گیری وزن خشک، میوه‌ها و اندام‌های گیاهی در پاکت‌های کاغذی قرار داده شدند. پاکت‌ها به مدت ۴۸ ساعت در گرم‌خانه (Oven) با دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار داده شده و سپس با دقت ۰/۱ گرم توزین گردیدند. حجم ریشه‌ها به روش غوطه‌وری در یک ظرف آب مدرج اندازه‌گیری شد.

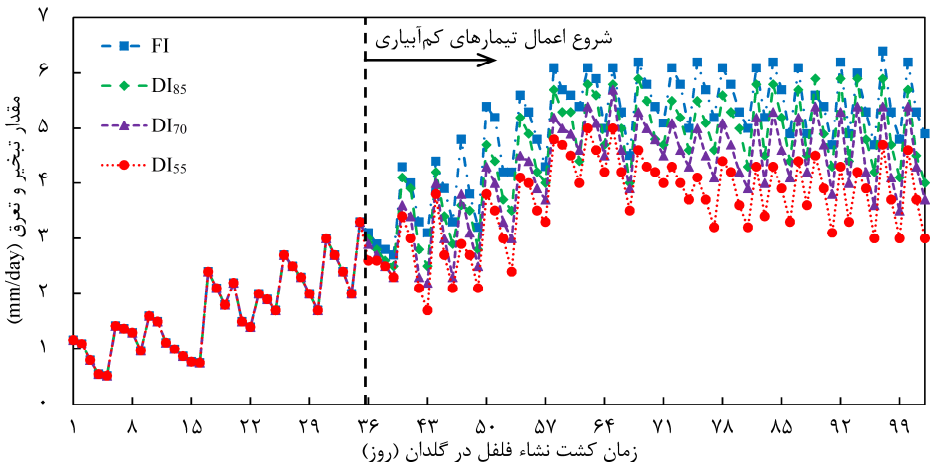
تجزیه و تحلیل آماری

در بررسی‌های آماری و ترسیم شکل‌ها به‌ترتیب از نرم‌افزارهای SAS 9.2 و Excel استفاده گردید. تجزیه واریانس و مقایسه جفتی میانگین خصوصیات اندازه‌گیری شده گیاه فلفل به‌روش آزمون چنددامنه‌ای LSD در سطح معنی‌داری ۱ و ۵ درصد (۰/۰۵ و ۰/۰۱ = α) انجام شد.

نتایج و بحث

خلاصه‌ای از میانگین برخی مشخصات آب و خاک در جدول ۱ آمده که بیان کننده مناسب بودن خاک مورد استفاده برای کشت گیاه فلفل و کیفیت مطلوب آب آبیاری براساس مقادیر هدایت الکتریکی املاح ۰/۷۳ دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) و نسبت سدیم جذبی ۰/۵۲ در کلاس C2S1 نمودار ویلکوکس است.

منحنی رطوبتی خاک در شکل ۴- الف آمده که مقدار رطوبت در ظرفیت زراعی (θ_{FC}) خاک ۳۲٪ و مقدار رطوبت در نقطه پژمردگی (θ_{PWP}) برابر ۱۳٪ است. بدین‌ترتیب می‌توان مقدار کل رطوبت قابل استفاده برای گیاه را از تفاضل θ_{FC} و θ_{PWP} معادل ۱۹٪ محاسبه نمود. در شکل ۴- ب نیز میانگین ماهانه مؤلفه‌های هواشناسی داخل گلخانه ترسیم شده است. با



شکل ۵. مقادیر تبخیر و تعرق فلفل پس از نشا در دو دوره قبل و بعد از اعمال سطوح آبیاری.

جدول ۲. مقادیر تبخیر و تعرق، آب آبیاری و راندمان آبیاری.

تیمار	ET (mm)		ارتفاع آب آبیاری پس از نشا تا انتهای دوره رشد (mm)	راندمان آبیاری (درصد)
	دوره ۶۶ روزه کم‌آبیاری	کل دوره		
FI	۳۳۷/۸	۳۹۶/۲	۶۴۰	۶۱/۹
DI_{85}	۳۰۷/۵	۳۶۵/۹	۵۶۰	۶۵/۳
DI_{70}	۲۸۱/۱	۳۳۹/۵	۴۸۸	۶۹/۶
DI_{55}	۲۴۴/۲	۳۰۲/۶	۴۱۲	۷۳/۴

توجه به شکل ۴- ب، میانگین بیشترین مقدار دمای حداکثر در ماه خرداد ۴۹ درجه سلسیوس و میانگین کمترین مقدار دمای حداقل در ماه اسفند ۱۴ درجه سلسیوس اندازه‌گیری گردید. میانگین بیشترین مقدار رطوبت نسبی حداکثر ۷۱٪ به ماه فروردین و میانگین کمترین مقدار رطوبت نسبی حداقل ۱۲٪ به ماه خرداد تعلق دارد.

در شکل ۵، مقادیر تبخیر و تعرق گیاه فلفل در طول دوره رشد به‌تفکیک تیمار آبیاری کامل (FI) و سه تیمار کم‌آبیاری ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد (DI_{85}، DI_{70} و DI_{55}) آمده است. محور افقی این شکل براساس تعداد روزهای رشد از زمان نشا تا پایان مرحله رسیدگی و برداشت محصول در دو مرحله قبل و بعد از اعمال سطوح آبیاری تنظیم شده است.

مطابق نتایج شکل ۵ و جدول ۲، مجموع تبخیر و تعرق طی مدت ۶۶ روز اعمال کم‌آبیاری در تیمارهای FI، DI_{85}، DI_{70} و DI_{55} به‌ترتیب ۳۳۷/۸، ۳۰۷/۵، ۲۸۱/۱ و ۲۴۴/۲ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. بررسی‌ها نشان داد که حداکثر میزان تبخیر و تعرق طی دوره ۶۶ روز، در سطوح آبیاری FI، DI_{85}، DI_{70} و DI_{55} به‌ترتیب برابر با ۶/۴، ۵/۹، ۵/۷ و ۵/۰ میلی‌متر بر روز و حداقل آن به‌ترتیب ۲/۷، ۲/۵، ۲/۲ و ۱/۷ میلی‌متر در روز ثبت گردید. متوسط روزانه تبخیر و تعرق گیاه فلفل در کل دوره رشد در تیمار FI برابر ۳/۸۸ میلی‌متر بر روز به‌دست آمد که با مقدار ۳/۱۸ میلی‌متر در روز گزارش شده از سوی عابدی کوپایی و همکاران (۳) قابل مقایسه است (شکل ۵). بررسی‌های جزئی‌تر نشان داد که در مدت زمان اعمال کم‌آبیاری، میزان کل تبخیر و تعرق در تیمارهای DI_{85}، DI_{70} و DI_{55} نسبت به تیمار آبیاری کامل (FI)، به‌ترتیب ۸/۸، ۱۶/۷ و ۲۷/۳ درصد کاهش یافته است. کمتر بودن مقدار تبخیر و تعرق در تیمارهای مختلف کم‌آبیاری می‌تواند به دو علت کمتر بودن

شاخص سطح برگ بوته‌های عمل آمده در تیمار کم‌آبیاری به‌واسطه محدودیت آب قابل دسترس برای گیاه و توانمندی گیاه در کنترل و کاهش تعرق با افزایش هورمون آبسیزیک اسید باشد. سپاسخواه و احمدی (۱۹) افزایش هورمون آبسیزیک اسید در شرایط کمبود آب در گیاهان و گونزالز دوگو و همکاران (۱۲) کاهش سطح برگ و به‌تبع کاهش آب مصرفی در گیاه فلفل را گزارش نموده‌اند. از طرفی، نتایج شکل ۵ و جدول ۲ نشان داد که مقدار تبخیر و تعرق در طول کل دوره رشد از زمان نشا تا برداشت به‌مدت ۱۰۲ روز در آبیاری کامل (FI) ۳۹۶/۲ میلی‌متر بوده است. این مقدار در تیمارهای $DI_{۸۵}$، $DI_{۷۰}$ و $DI_{۵۵}$ به‌ترتیب ۳۶۵/۹، ۳۳۹/۵ و ۳۰۲/۶ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. بنابراین، می‌توان گفت که در تیمارهای $DI_{۸۵}$، $DI_{۷۰}$ و $DI_{۵۵}$ به‌ترتیب ۷/۶۵، ۱۴/۳۱ و ۲۳/۶۲ درصد از مصرف آب نسبت به آبیاری کامل (FI) کاسته شده است که متناظر با آن در مقدار عملکرد ۶/۴۸، ۲۸/۹۸ و ۵۲/۱۶ درصد کاهش مشاهده شد. در تأیید نتایج فوق می‌توان به گزارش مردانی‌نژاد و همکاران (۱۶) از ایران اشاره نمود که مقدار تبخیر و تعرق گیاه فلفل قلمی را برای سطوح ۴۰ تا ۱۰۰ درصد آبیاری کامل ۱۹۱/۷ تا ۴۰۱/۱ میلی‌متر، عملکرد ۵/۱ تا ۱۶/۷ تن در هکتار و کارایی مصرف آب را بین ۲/۶۱ تا ۴/۱۶ کیلوگرم بر متر مکعب در شرایط گلخانه گزارش نموده‌اند. در گزارش دمیرتاش و آیاس (۹) از ترکیه نیز مقدار تبخیر و تعرق بین ۶۵ تا ۷۲۴ میلی‌متر، عملکرد ۱/۹ تا ۲۴ تن در هکتار و کارایی مصرف آب۲/۹۲ تا ۳/۳۲ کیلوگرم بر متر مکعب ذکر شده است. با عنایت به کمتر شدن مقدار تبخیر و تعرق در سطوح مختلف کم‌آبیاری، کاهش شاخص‌های رویشی گیاه فلفل قابل انتظار است که در گزارش‌های متعددی به این موضوع پرداخته شده است (۷، ۱۲، ۱۴ و ۱۶). در جدول ۲، راندمان آبیاری طی کل دوره رشد با توجه به مقدار آب آبیاری و مقادیر تبخیر و تعرق کل محاسبه شد که بیشترین و کمترین راندمان آبیاری به‌ترتیب در تیمارهای $DI_{۵۵}$ و FI برابر ۷۳/۴ و ۶۱/۹ درصد بود. با عنایت به جدول ۲، ملاحظه می‌شود که اعمال کم‌آبیاری شدیدتر و مصرف کمتر آب باعث افزایش راندمان آبیاری شد که ناشی از هدررفت و تلفات کمتر آب در کم‌آبیاری‌های شدیدتر است.

نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثر تیمارهای کم‌آبیاری بر صفات مورفولوژیک گیاه فلفل همدانی (بیوَر) شامل وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، شاخص‌های مربوط به میوه و سه مؤلفه اساسی عملکرد، کارایی مصرف آب (WUE) و کارایی مصرف آب آبیاری (IWUE) در جدول ۳ گزارش شده است.

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که دو صفت طول و وزن خشک میوه و کارایی مصرف آب به‌واسطه اعمال کم‌آبیاری در سطح ۵٪ و سایر صفات در سطح ۱٪ معنی‌دار هستند. بیشترین ضریب تغییرات (CV) به صفت تعداد میوه ناجور تعلق دارد که نشان می‌دهد اعمال کم‌آبیاری موجب تغییرشکل میوه‌ها و کاهش میزان بازارپسندی و در نتیجه کاهش فروش و سودآوری محصول می‌گردد.

در جدول ۴، نتایج مربوط به آزمون چنددامنه‌ای LSD در سطح ۵٪ برای بررسی آماری اثر کم‌آبیاری بر صفات مورد مطالعه آمده است. مقایسه میانگین‌های صورت گرفته در جدول ۴ نشان می‌دهد که در ۷۹٪ از موارد بین مقادیر حاصل از کم‌آبیاری ۸۵٪ ($DI_{۸۵}$) با آبیاری کامل ۱۰۰٪ (FI) تفاوت معنی‌داری وجود ندارد و میانگین صفات در یک گروه آماری مشترک با حرف a قرار دارند. با همین وصف، در ۱۰۰ و ۹۳ درصد از موارد بین میانگین مقادیر صفات در تیمارهای $DI_{۵۵}$ و $DI_{۷۰}$ با تیمار FI تفاوت معنی‌دار وجود دارد. این امر نشان می‌دهد که اعمال کم‌آبیاری ملایم ($DI_{۸۵}$) تأثیر کمتر و غیرمعنی‌داری بر صفات مورد بررسی در مقایسه با سطوح کم‌آبیاری متوسط (DI_{70}) و کم‌آبیاری شدید ($DI_{۵۵}$) داشته است. مطابق جدول ۴ و شکل ۷ بیشترین و کمترین وزن‌های تر و خشک ریشه و اندام هوایی به‌ترتیب مربوط به تیمارهای FI و $DI_{۵۵}$ بود. این نتایج نشان داد وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه با کاهش میزان تبخیر و تعرق کاهش

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس برخی خصوصیات اندازه‌گیری شده در گیاه فلفل بیوَر

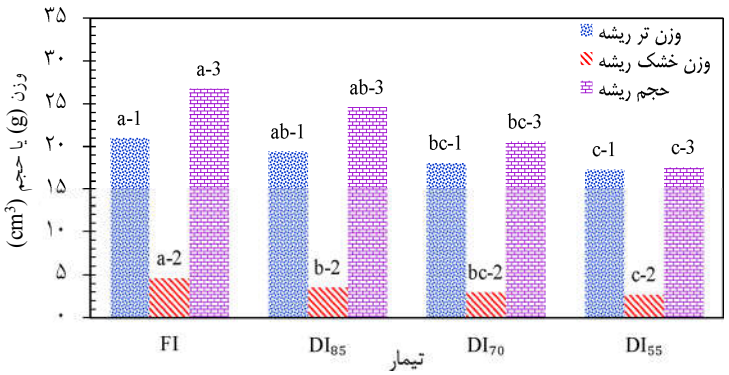
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن اندام هوایی		وزن ریشه		حجم ریشه	وزن میوه		تعداد میوه		میوه		عملکرد	WUE	IWUE
		تر	خشک	تر	خشک		تر	خشک	ناجور	جور	قطر	طول			
تیمار	۳	۱۶۳**	۶/۶۴**	۱۲/۹**	۳/۵۹**	۸۴/۱۳**	۹۹۶**	۱۷/۲*	۱۳**	۳۰۶**	۶۶/۲**	۹۳/۶*	۱۰۱**	۱۲۱**	۱۰۴/۴*
خطا	۱۶	۳/۹۱	۰/۵۷۵	۱/۳۸	۰/۲۱	۹/۴	۹۳/۴	۰/۷۱	۱/۰۷	۲۳/۱	۸/۴	۲۱/۶	۹/۴۷	۳۱/۴	۲۸/۴
CV (٪)	–	۵/۲۲	۹/۵۱	۶/۱۹	۱۳/۳	۱۳/۷	۲۰/۷	۱۵/۴	۲۸	۱۹/۱	۱۸/۷	۱۴/۸	۲۰/۸	۲۴/۷	۲۰/۶
P	–	<۱۰$^{-۴}$	<۱۰$^{-۴}$	۰/۰۰۰۸	<۱۰$^{-۴}$	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۴	<۱۰$^{-۴}$	۰/۰۰۰۲	<۱۰$^{-۴}$	۰/۰۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۳

** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪

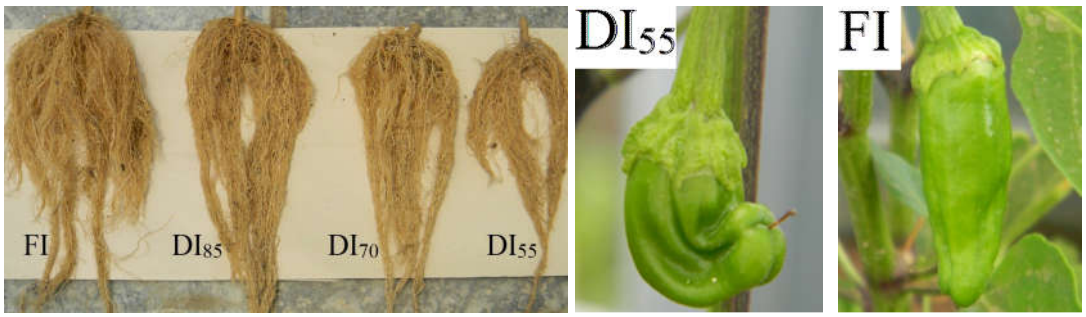
جدول ۴. نتایج مقایسه جفتی میانگین برخی خصوصیات اندازه‌گیری شده در تیمارهای کم‌آبیاری گیاه فلفل همدانی (بیوَر)

تیمار	وزن اندام هوایی (gr)		وزن ریشه (gr)		حجم ریشه	وزن میوه (gr)		تعداد میوه (–)		قطر	طول	عملکرد	WUE	IWUE
	تر	خشک	تر	خشک	(cm^3)	تر	خشک	جور	ناجور	میوه (mm)		(ton/ha)	(kg/m^3)	
FI	۴۴/۲۸a	۹/۳۰a	۲۱/۰۲a	۴/۶۰a	۲۶/۸a	۵۹/۶a	۷/۶۶a	۳۳/۰a	۱/۸a	۱۹/۰a	۳۶/۰a	۱۸/۹۸a	۴/۷۹a	۲/۹۷a
DI_{85}	۴۰/۹۲b	۸/۴۶ab	۱۹/۴۶ab	۳/۵۰b	۲۴/۶ab	۵۵/۷a	۶/۲۲b	۳۰/۰a	۳/۰a	۱۸/۰a	۳۴/۲ab	۱۷/۷۵a	۴/۸۵a	۳/۱۶a
DI_{70}	۳۴/۱۸c	۷/۴۶bc	۱۸/۱۲bc	۲/۹۶bc	۲۰/۶bc	۴۲/۳۴b	۴/۵۴c	۲۲/۴b	۴/۶b	۱۳/۴b	۲۸/۶bc	۱۳/۴۸b	۳/۹۷b	۲/۷۶ab
DI_{55}	۳۲/۰۴c	۶/۶۶c	۱۷/۳۶c	۲/۶۸c	۱۷/۶c	۲۸/۵۲c	۳/۴۴c	۱۵/۶c	۵/۴b	۱۱/۴b	۲۷/۰۶c	۹/۰۸c	۳/۰۰c	۲/۲۰b

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند.



شکل ۶. مقادیر تغییرات پارامترهای ریشه در تیمارهای مورد بررسی.



شکل ۷. فرم ظاهری و بازارپسندی میوه‌ها در تیمارهای FI و $DI_{۵۵}$ (راست) و توسعه ریشه‌ها در تیمارهای آبیاری (چپ).

یافت که با نتایج بیز و همکاران (۷)، خان و همکاران (۱۴) و مردانی‌نژاد و همکاران (۱۶) مطابقت داشت. همچنین، بیشترین و کمترین حجم ریشه در تیمارهای FI و $DI_{۵۵}$ به ترتیب برابر ۲۶/۸ و ۱۷/۶ سانتی‌متر مکعب به دست آمد که نشان‌دهنده کاهش ۳۴ درصدی حجم ریشه گیاه است. نتایج تغییرات در پارامترهای ریشه در شکل‌های ۶ و ۷ آورده شده است.

مطابق نتایج مردانی‌نژاد و همکاران (۱۶) در صورت کاهش محتوای رطوبت خاک در کشت گلخانه‌ای گیاه فلفل قلمی کاهش صفات مورفولوژیک گیاه قابل انتظار است. گیاه فلفل در تیمار $DI_{۸۵}$ با کاهش معنی‌دار وزن محتوای رطوبتی اندام هوایی از ۴۴/۲۸ به ۴۰/۹۲ گرم و کاهش غیرمعنی‌دار وزن تر ریشه موفق شده تا از کاهش معنی‌دار سایر صفات جلوگیری به‌عمل آورد. نتایج جدول ۴ بیان کننده کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه و غیرمعنی‌دار وزن تر ریشه در تیمار $DI_{۸۵}$ نسبت به آبیاری کامل است که نشان‌دهنده نقش ریشه در جذب آب، انتقال به اندام هوایی و عدم حفظ آن در اندام زیرزمینی می‌باشد. از طرفی، کاهش معنی‌دار وزن تر اندام هوایی و غیرمعنی‌دار وزن خشک آن حاکی از توانایی گیاه در به‌کارگیری آب جذبی از ریشه برای تولید محصول می‌باشد. در تأیید این نتیجه می‌توان به عدم معنی‌داری تفاوت میزان عملکرد و کارایی مصرف آب در تیمارهای FI و $DI_{۸۵}$ مطابق نتایج جدول ۴ استناد نمود. جدول ۴ نشان می‌دهد به‌جز WUE و IWUE، تمامی صفات مورد بررسی در گیاه فلفل همدانی در تیمار $DI_{۵۵}$، بیشترین افت را نسبت به FI داشته‌اند. بیشترین WUE و IWUE در تیمار $DI_{۸۵}$ به‌ترتیب ۴/۸۵ و ۳/۱۶ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آمده است. این موضوع ناشی از این است که مقدار تبخیر و تعرق و آب آبیاری در تیمار $DI_{۸۵}$ نسبت به تیمار FI به‌ترتیب ۷/۶۵ و ۱۲/۵ درصد کاهش داشت. در حالی که کاهش عملکرد محصول ۶/۴۸ درصد بود. بدین‌ترتیب، کم‌آبیاری در تیمار $DI_{۸۵}$ نسبت به تیمار FI باعث شد افت عملکرد محصول نسبت به افت آب مصرفی کمتر باشد و

بنابراین مقدار WUE و IWUE که حاصل نسبت عملکرد زراعی به تبخیر و تعرق و آب آبیاری است افزایش یابد. از طرفی، همان‌گونه که انتظار می‌رود، با کمبود بیشتر آب از FI به DI_{55} از تعداد میوه‌های جور به‌طور معنی‌داری کاسته شد و بر تعداد میوه‌های ناجور افزوده گردید (جدول ۴ و شکل ۷). در مطالعه مردانی نژاد و همکاران (۱۶) اکثر صفات مورفولوژیک گیاه فلفل قلمی در تیمار کم‌آبیاری ۸۰٪ کاهش معنی‌داری را نسبت به تیمار آبیاری کامل نشان داد. در حالی که در پژوهش حاضر، اکثر صفات مورفولوژیک گیاه فلفل همدانی در تیمار کم‌آبیاری ۸۵٪ فاقد تفاوت معنی‌دار با تیمار کامل (شاهد) بود. این امر را می‌توان به دو علت اعمال کم‌آبیاری ۸۵٪ در این پژوهش نسبت به کم‌آبیاری ۸۰٪ در مطالعه مردانی‌نژاد و همکاران (۱۶) و توانمندی فلفل همدانی به‌عنوان گیاهی بومی در مقایسه با فلفل قلمی در مقابله با اثرهای منفی کم‌آبیاری نسبت داد. همچنین، بیشترین تعداد میوه ناجور به سطح آبیاری DI_{55} و کمترین آن به آبیاری کامل تعلق دارد که نشان‌دهنده تأثیر منفی مدیریت کم‌آبیاری شدید بر کمیت و بازارپسندی میوه‌های فلفل است (جدول ۴ و شکل ۷). فرارا و همکاران (۱۰) علت کاهش معنی‌دار کمیت محصول در کم‌آبیاری اعمال شده بر گیاه فلفل را ناشی از حذف گل‌های گیاه در دوران گل‌دهی گزارش نمودند که به‌معنای حساسیت بیشتر گیاه به کمبود آب در دوره گل‌دهی است. گونزالز دوگو و همکاران (۱۲) نیز اثر کم‌آبیاری را بیشتر بر رشد رویشی گیاه فلفل مؤثر دانستند.

از دیگر نتایج این پژوهش، عملکرد محصول است که در آبیاری کامل (FI) ۱۸/۹۸ تن در هکتار و در کم‌آبیاری ملایم (DI_{85}) ۱۷/۷۵ تن در هکتار بود. در حالی که مقدار عملکرد در تیمارهای DI_{55} و DI_{70} به‌ترتیب ۱۳/۴۸ و ۹/۰۸ تن در هکتار بود و تفاوت آن در مقایسه با عملکرد تیمارهای FI و DI_{85} معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که اعمال کم‌آبیاری در تیمارهای DI_{85}، DI_{70} و DI_{55} موجب کاهش ۶/۴۸، ۲۹/۰ و ۵۲/۱ درصدی عملکرد محصول نسبت به تیمار FI شد که با نتایج اوُسوسکره و همکاران (۱۷)، فرارا و همکاران (۱۰) و مردانی‌نژاد و همکاران (۱۶) هم‌خوانی دارد. از طرفی، همان‌طور که پیشتر گفته شد، کم‌آبیاری ابتدا سبب افزایش و سپس کاهش کارایی مصرف آب گردید. به‌طوری که بیشترین و کمترین مقدار کارایی مصرف آب به‌ترتیب با مقادیر ۴/۸۵ و ۳/۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب مربوط به دو تیمار DI_{85} و DI_{55} است. مقدار کارایی مصرف آب در تیمارهای FI و DI_{85} فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند. لیکن کاهش کارایی مصرف آب در تیمارهای DI_{70} و DI_{55} نسبت به تیمارهای FI و DI_{85} اختلافی معنی‌دار دارد. بنابراین، در شرایط کم‌آبیاری در تیمار DI_{85} ضمن دست‌یابی به بیشترین کارایی مصرف آب، عملکرد نزدیک به شرایط آبیاری کامل نیز حاصل می‌شود. از آنجا که هدف این پژوهش کاهش آب مصرفی برای استفاده مناسب‌تر از منابع محدود آب از یک سو و کسب عملکرد مطلوب به‌واسطه اهمیت اقتصادی آن برای کشاورزان از سوی دیگر است می‌توان تیمار DI_{85} را نسبت به سایر تیمارهای کم‌آبیاری مناسب دانست. زیرا همان‌گونه که قبلاً بیان شد، در ۷۹٪ از موارد، تفاوت معنی‌داری بین نتایج حاصل از تیمار DI_{85} با تیمار آبیاری کامل وجود ندارد (جدول ۴). این نتایج با مطالعه اوُسوسکره و همکاران (۱۷) روی گیاه فلفل قابل مقایسه است. به‌گونه‌ای که اوُسوسکره و همکاران (۱۷) گزارش نمودند که اعمال کم‌آبیاری کمتر از ۲۰٪ نیاز آبی تأثیر قابل توجهی بر رشد، توسعه و عملکرد گیاه ایجاد نمی‌کند. آنها نتیجه گرفتند که به‌منظور صرفه‌جویی در مقدار و هزینه‌های آب کاربردی، محدودیت آبی روی گیاه فلفل نبایستی بیش از ۲۰٪ نیاز آبی باشد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، اثر کم‌آبیاری بر تبخیر و تعرق، عملکرد، کارایی مصرف آب، کارایی مصرف آب آبیاری، راندمان آبیاری و برخی صفات مورفولوژیک گیاه فلفل همدانی (بیوَر) در کشت گلخانه‌ای بررسی شد. روش کار، کاهش آب مصرفی گیاه از ۱۰۰٪ نیاز آبی به ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد از طریق محدودسازی دسترسی گیاه به آب قابل دسترس طی یک دوره ۶۶ روزه پس

از نشای بوته‌های فلفل بود. نتایج نشان داد که تمامی صفات مورد بررسی، به‌جز کارایی مصرف آب، کارایی مصرف آب آبیاری، راندمان آبیاری و تعداد میوه‌های ناجور، با محدود شدن آب قابل دسترس کاهش یافتند و عکس‌العمل گیاه به سطوح مختلف کم‌آبیاری متفاوت بود. لیکن بین مقادیر صفات مهم گیاه مانند مقدار تبخیر و تعرق، عملکرد، کارایی مصرف آب، بازارپسندی (میوه‌های ناجور) و اکثر صفات مورفولوژیک گیاه در تیمار DI_{85} با تیمار FI تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. ضمن آنکه بیشترین WUE و IWUE در تیمار DI_{85} و بیشترین راندمان آبیاری در تیمار DI_{55} به‌دست آمد. کلیه خصوصیات مورد بررسی بین دو تیمار FI و DI_{55} تفاوت معنی‌دار داشت. از آنجا که هدف مدیریت آب، کاهش آب مصرفی به‌ازای تولید اقتصادی و هدف کشاورزان نیز منافع اقتصادی حاصل از تولیدات کشاورزی است، لذا می‌توان بر مبنای عدم تفاوت معنی‌دار بین عملکرد و کارایی مصرف آب تیمارهای FI و DI_{85}، تأمین ۸۵ درصدی نیاز آبی (تیمار DI_{85}) را در شرایط کم‌آبیاری برای کشت گیاه فلفل همدانی توصیه نمود. همچنین، در شرایط حاد کم‌آبی می‌توان با اعمال تیمار DI_{70} عملکرد محصول برابر ۱۳/۴۸ تن در هکتار را به‌دست آورد که نسبت به تیمار FI افت معنی‌دار ۲۹ درصدی را نشان داد.

منابع مورد استفاده

۱. خیرابی، ج.، ع. ر. توکلی، م. ر. انتصاری و ع. ر. سلامت. ۱۳۷۵. دستورالعمل‌های کم‌آبیاری. نشریه شماره ۲ گروه کار آب مورد نیاز گیاهان و مدیریت محصولات زراعی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران.

۲. صدرقاین، س. ح.، ج. باغانی، س. ا. حقایقی مقدم و م. اکبری. ۱۳۹۰. اثر سه سیستم آبیاری میکرو و سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب فلفل. نشریه آب و خاک ۲۵(۳): ۵۶۳-۵۶۹.

۳. عابدی کوپایی، ج.، س. س. اسلامیان و م. ج. زارعیان. ۱۳۹۰. اندازه‌گیری و مدل‌سازی نیاز آبی و ضریب گیاهی خیار، گوجه-فرنگی و فلفل با استفاده از میکرولایسیمتر در گلخانه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۲(۷): ۵۱-۶۳.

۴. کوچکی، ع. و ا. سلطانی. ۱۳۷۷. اصول و عملیات کشاورزی در مناطق خشک. انتشارات نشر آموزش کشاورزی، کرج.

5. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, D. and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy.
6. Asif, M., M.M. Akram, R.M. Asif and M.A. Rafique. 2016. Impact of drip and furrow irrigation methods on yield, water productivity and fertilizer use efficiency of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) grown under plastic tunnel. Sci. Lett. 4(2): 118-123.
7. Beese, F., R. Horton and P.J. Wierenga. 1982. Growth and yield response of chile pepper to trickle irrigation. Agron. J. 74(3): 556-561.
8. Ćosić, M., N. Djurović, M. Todorović, R. Maletić, B. Zečević and R. Stričević. 2015. Effect of irrigation regime and application of kaolin on yield, quality and water use efficiency of sweet pepper. Agric. Water Manage. 159: 139-147.
9. Demirtaş, Ç. and s. Ayas. 2009. Deficit irrigation effects on pepper (*Capsicum annuum* L. Demre) yield in unheated greenhouse condition. J. Food Agric. Environ. 7(3-4): 989-993.
10. Ferrara, A., S. Lovelli, T. Di Tommaso and M. Perniola. 2011. Flowering, growth and fruit setting in greenhouse bell pepper under water stress. J. Agron. 10(1): 12-19.
11. Gençoğlan, C., S. Gençoğlan, C. Akbay and I. Boz. 2006. Deficit irrigation analysis of red pepper (*Capsicum annum* L.) using the mathematical optimisation method. Turk. J. Agric. For. 30(3): 203-212.
12. Gonzalez-Dugo, V., F. Orgaz and E. Fereres. 2007. Responses of pepper to deficit irrigation for paprika production. Sci. Hort. 114(2): 77-82.
13. Júnior, M.V., A.J.F. Vasconcelos, L.S. de Sousa Lima, K.F. Silva and C.M. Carvalho. 2016. Water use efficiency in pepper kind *Capsicum frutescens* L., variety of tabasco. Appl. Res. Agrotech. 8(3): 53-61.
14. Khan, M.A.I., A.M. Farooque, M.A. Haque, M.A. Rahim and M.A. Hoque. 2008. Effects of water stress at various growth stages on the physio-morphological characters and yield in chilli. Bang. J. Agric. Res. 33(3): 353-362.
15. Lodhi, A.S., A. Kaushal and K.G. Singh. 2014. Impact of irrigation regimes on growth, yield and water use

efficiency of sweet pepper. Indian J. Sci. Technol. 7(6): 790-794.
16. Mardaninejad, S., S.H. Tabatabaei, M. Pessarakli and H. Zareabyaneh. 2017. Physiological responses of pepper plant (*Capsicum annuum* L.) to drought stress. J. Plant Nutr., DOI: 10.1080/01904167.2016.1269342.
17. Owusu-Sekyere, J.D., P. Asante and p. Osei-Bonsu. 2010. Water requirement, deficit irrigation and crop coefficient of hot pepper (*Capsicum frutescens*) using irrigation interval of four (4) days. Int. J. Agric. Biol. Sci. 5(5): 72-78.
18. Russo, V.M. 2012. Peppers: Botany, Production and Uses. CABI Publishing, Wallingford, 280 p.
19. Sepaskhah, A.R. and S. H. Ahmadi. 2012. A review on partial root-zone drying irrigation. Int. J. Plant Prod. 4(4): 241-258.
20. Sezen, S.M., A. Yazar and S. Eker. 2006. Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of field grown bell pepper. Agric. Water Manage. 81(1): 115-131.