

جمهوری اسلامی ایران

وزارت نیرو

شرکت آب منطقه‌ای اردبیل

کمیته تحقیقات

(طرح تحقیقات کاربردی)

گزارش نهایی:

بررسی نیاز آبی واقعی انواع کشت گلخانه‌ای به منظور اولویت‌بندی تخصیص آب

سازمان مجری: دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل

پژوهشگران: علیرضا پیل‌پایه، مجید رئوف، علی رسول‌زاده، آرش امیرزاده

۱۴۰۴

بررسی نیاز آبی واقعی انواع کشت گلخانه‌ای به منظور اولویت‌بندی تخصیص آب

چکیده

تخصیص دقیق آب به محصولات کشاورزی نه تنها تأثیر زیادی بر بهره‌وری و کیفیت محصولات دارد، بلکه در صرفه‌جویی و مدیریت منابع آبی نیز نقشی کلیدی ایفا می‌کند. در این تحقیق اقدام به بررسی میزان آب مصرفی سه گیاه گوجه فرنگی، فلفل شیرین و بادمجان در شرایط گلخانه‌ای، در شهرک گلخانه‌ای شرکت کشت و صنعت مغان گردید. بدین منظور برای هر یک از گیاهان ۵ لایسیمتر و در کل تعداد ۱۵ لایسیمتر در نظر گرفته شد و در نیمه دوم آذر سال ۱۴۰۳ کشت گردیدند. جهت اندازه‌گیری رطوبت و پایش آن در طول فصل زراعی، در هر یک از لایسیمترها تعداد ۴ سنسور مدل Capacitive 1.2 (به ترتیب در اعماق ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ سانتیمتر) نصب و دقیقاً مطابق با برنامه موجود در گلخانه (محل انجام تحقیق) آبیاری، کوددهی، تهویه و... گردیدند. جهت استخراج مقدار نیاز آبی گیاهان مورد نظر، معادله بیلان آب در لایسیمتر به کار گرفته شد. علاوه بر کشت و پایش گلخانه‌ای، داده‌های هواشناسی از ایستگاه سینوپتیک پارس آباد اخذ و با استفاده از معادله FAO56، مقادیر تبخیر-تعرق گیاهان گوجه فرنگی، فلفل شیرین و بادمجان با استفاده از نرم افزار Cropwat8.0 استخراج شد. نتایج نشان داد که کل مقدار آب خالص مصرف شده در کل طول فصل رشد گیاهان گوجه فرنگی، فلفل شیرین و بادمجان در شرایط گلخانه‌ای به ترتیب ۲۶۵/۸۶، ۲۴۵ و ۲۳۱/۱ میلی‌متر و در شرایط مزرعه‌ای به ترتیب ۴۷۲/۷، ۴۱۱/۶ و ۴۲۸/۵ میلی‌متر برآورد شد. مقدار عمق خالص آب آبیاری با احتساب آب آبخوبی، برای گیاهان گوجه فرنگی، فلفل شیرین و بادمجان، برای شرایط گلخانه‌ای به ترتیب ۴۳۸۳، ۴۰۳۸ و ۳۸۰۹ و برای شرایط مزرعه‌ای به ترتیب ۷۷۹۲، ۶۷۸۵ و ۷۰۶۴ متر مکعب بر هکتار برآورد گردید که نشان می‌دهد آب مصرفی در شرایط گلخانه‌ای معادل ۴۳/۷۵، ۴۰/۴۸ و ۴۶/۰۷ درصد کمتر از شرایط مزرعه‌ای می‌باشد. مقدار EC آب آبیاری ۱/۱۶ dS/m و مقدار EC عصاره اشباع خاک در عمق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتیمتر به ترتیب ۴/۱ dS/m و ۲/۵ dS/m (قبل از شروع تحقیق) بود. در انتهای دوره مقدار EC آب زهکش شده از زیر لایسیمترهای گوجه فرنگی، فلفل شیرین و بادمجان به ترتیب ۱۲/۸۲، ۱۵/۵۶ و ۱۵/۹۵ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد که نشان از تجمع شدید املاح در ناحیه ریشه و شور شدگی خاک دارد. در نهایت می‌توان گفت چنانچه بتوان شوری خاک را کنترل نمود، کشت گلخانه‌ای گیاهان زراعی توصیه می‌گردد.

کلمات کلیدی: تبخیر و تعرق، بیلان آب خاک، سنسور رطوبتی خاک، شوری خاک، آبخوبی

مقدمه

میزان تخصیص آب در کشت‌های گلخانه‌ای و مزارع کشاورزی، به ویژه برای گیاهان مختلف، از اهمیت زیادی برخوردار است. تخصیص دقیق آب نه تنها تأثیر زیادی بر بهره‌وری و کیفیت محصولات دارد، بلکه در صرفه‌جویی و مدیریت منابع آبی نیز نقشی کلیدی ایفا می‌کند (آلن و همکاران، ۲۰۰۶). در این راستا، تخمین میزان آب مورد نیاز گیاهان زراعی به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم انجام می‌شود که هر کدام دارای مزایا و معایب خاص خود هستند. روش‌های غیرمستقیم معمولاً از داده‌های مربوط به شرایط محیطی و اقلیمی استفاده می‌کنند، اما این روش‌ها در کشت‌های گلخانه‌ای که شرایط محیطی به‌طور کامل تحت کنترل است، قابل استفاده نیستند. در این محیط‌ها، پارامترهایی مانند سرعت باد و میزان تابش که نقش مهمی در تبخیر-تعرق ایفا می‌کنند، به‌طور طبیعی کنترل شده و به صفر می‌رسند. از این‌رو، استفاده از روش‌های غیرمستقیم در این نوع کشت‌ها با محدودیت‌های زیادی روبرو است (استنگلینی، ۱۹۸۷).

در گلخانه‌ها، تنها روش‌هایی معتبر و مؤثر برای اندازه‌گیری نیاز آبی گیاهان، استفاده از روش‌های مستقیم مانند لایسی‌متری هستند. این روش‌ها به‌ویژه در گلخانه‌هایی که کنترل دقیقی بر شرایط محیطی دارند، مناسب‌تر هستند. یکی از مزایای روش لایسی‌متری این است که به دلیل استفاده از بیلان آب، می‌توان به‌طور دقیق‌تری میزان تبخیر-تعرق گیاهان را برآورد کرد. در این روش، تغییرات حجم آب در یک حجم کنترل‌شده از خاک که در ارتباط با گیاه قرار دارد، مورد بررسی قرار می‌گیرد. این تغییرات به‌طور مستقیم به میزان تبخیر-تعرق گیاه مرتبط هستند و می‌توانند دقت بالایی را در تخمین نیاز آبی گیاهان فراهم کنند (وانگ و همکاران، ۲۰۲۵؛ یان و همکاران، ۲۰۲۱).

در مزارع با هوای آزاد، به دلیل هزینه‌بر و زمان‌بر بودن روش‌های مستقیم مانند لایسی متری، استفاده از روش‌های غیرمستقیم بیشتر رایج است. در این گونه مزارع، تبخیر تعرق گیاهان معمولاً با استفاده از معادلات مختلفی تخمین زده می‌شود. مهم‌ترین معادله‌ای که در این زمینه به‌طور گسترده استفاده می‌شود، معادله پنمن-مونیت فائو است. این معادله برای تعیین تبخیر تعرق گیاه مرجع چمن طراحی شده و به‌طور مستقیم برای تخمین تبخیر تعرق سایر گیاهان زراعی قابل استفاده است. این معادله به دلیل انعطاف‌پذیری و دقت بالایی که دارد، در سطح جهانی به‌عنوان یک استاندارد در بسیاری از کشورهای دنیا شناخته شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در شهرک گلخانه‌ای واقع در اراضی کشاورزی مجموعه کشت و صنعت و دامپروری مغان شهرستان پارس آباد استان اردبیل صورت گرفت. مختصات مرکز شهر حدود $39/64^{\circ}$ شمالی و $47/91^{\circ}$ شرقی است و در ارتفاع تقریبی ۳۲ متر از سطح دریاست. این موقعیت کم‌ارتفاع در حاشیه جلگه آبرفتی ارس، آن را به یکی از دروازه‌های کشاورزی کشور در نوار مرزی شمال غرب بدل کرده است. از نظر اقلیمی، محدوده پارس آباد در رده نیمه‌خشک نسبتاً خنک قرار می‌گیرد.

در اجرای این پژوهش و برای ایجاد لایسیمتر وزنی، در ابتدا تعداد ۱۵ لایسیمتر پلاستیکی استوانه‌ای با ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر انتخاب گردید. دلیل انتخاب لایسیمترهایی با این ارتفاع، فراهم نمودن فضای کافی برای رشد ریشه گیاهان در طول دوره آزمایش و نیز امکان اعمال تیمارهای مختلف از طریق آبیاری و توزین دقیق لایسیمترها بود. لایسیمترهای مذکور به گونه‌ای طراحی و تفکیک شدند تا بتوان نیاز آبی سه محصول رایج و مهم گلخانه‌ای (گوجه‌فرنگی، بادمجان و فلفل دلمه‌ای) را در شرایط کنترل‌شده ارزیابی کرد. تعداد ۵ لایسی متر برای هر یک از گیاهان مورد نظر طرح اختصاص داده شد. لایسمترها به صورت ستونهای تقریباً استوانه‌ای، با قطر بالایی ۳۸ سانتیمتر، قطر پایینی ۳۱ سانتیمتر و ارتفاع ۴۵ سانتیمتر بودند. خاک با جرم مخصوص ظاهری $1/3$ گرم بر سانتیمتر مکعب، ۵۲ کیلوگرم خاک در هر لایسیمتر ریخته شد. برای یکسان‌سازی موقعیت لایسیمترها و سهولت در توزین و ارزیابی تغییرات وزنی، تمام ۱۵ لایسیمتر روی یک سکوی ۲۰ سانتی متری قرار گرفتند. این سکو نقش مهمی در موارد زیر ایفا می‌نمود:

دسترسی و جابه‌جایی آسان لایسیمترها برای توزین دوره‌ای

جلوگیری از تداخل با آفات یا جوندگان احتمالی سطح زمین

ایجاد شرایط تهویه مناسب در اطراف لایسیمترها

پس از آماده‌سازی بستر کشت، نشاهای سالم و استاندارد (گوجه‌فرنگی، بادمجان و فلفل دلمه‌ای) با دقت در هر لایسیمتر مستقر شدند. زمان کشت نشاها اواسط ماه آذر سال ۱۴۰۳ بود. در هر لایسیمتر، یک بردبرد (Breadboard) مجزا تعبیه شد تا اتصالات سنسورها منظم و تفکیک‌پذیر باشد. در هر لایسیمتر، ۴ سنسور خازنی چینی قرار گرفت. این سنسورها در عمق‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی متری نصب شدند تا تغییرات رطوبتی خاک در لایه‌های مختلف قابل پایش باشد. سنسورها از طریق سیم‌کشی مناسب به بردبرد هر لایسیمتر وصل شدند و در نهایت با آردوینو به برد اصلی متصل شدند. برای هر محصول (نه الزاماً برای هر لایسیمتر)، یک سنسور آمریکایی نیز نصب شد. این سنسورها دارای سیستم جمع‌آوری داده مستقل هستند و می‌توانند داده‌ها را در فواصل زمانی مشخص ذخیره کنند. سپس با اتصال به لپ‌تاپ، داده‌ها به‌صورت فایل Excel استخراج می‌شود.

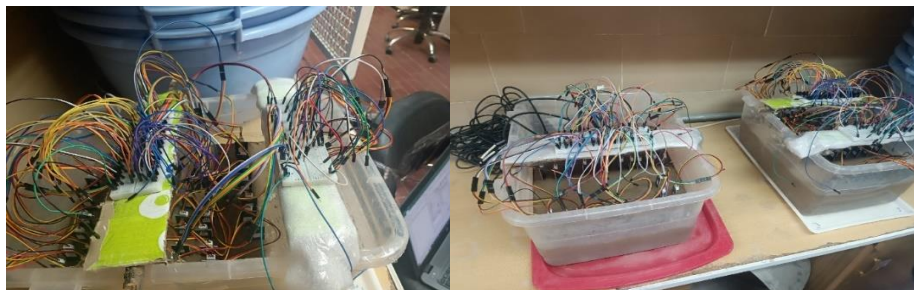
جهت کالیبره کردن سنسورها مراحل زیر انجام شدند:

قرار دادن خاک در آون: مقداری خاک انتخاب‌شده درون آون قرار گرفت. مدت زمان خشک کردن خاک حدود ۲۴ ساعت بود.

انتقال و توزین خاک: خاک پس از خارج شدن از آون، درون یک ظرف مناسب تخلیه شد. ظرف حاوی خاک با استفاده از ترازوی دیجیتال، وزن‌کشی گردید تا وزن اولیه خاک کاملاً مشخص باشد. وزن خاک خشک، مبنایی برای محاسبات درصد رطوبت در مراحل بعدی و هم‌چنین مقایسه تغییرات وزنی در طول آزمایش بود.

اشباع کردن خاک: به خاک خشک‌شده، مقدار معینی آب اضافه شد تا به حالت اشباع برسد. اشباع خاک بدین معناست که منافذ خاک کاملاً از آب پر شوند و شرایط رطوبتی حداکثری شبیه‌سازی گردد. ایجاد شرایط اشباع برای بررسی و ثبت رفتار سنسورها در رطوبت بسیار بالا ضروری است و به تعیین بازه عملکردی آن‌ها (از خشک‌ترین حالت تا اشباع) کمک می‌کند.

نصب سنسورها: ۷۰ سنسور خازنی چینی (نسخه ۲) و ۴ سنسور آمریکایی در خاک اشباع قرار گرفتند. سنسورها با فواصل مناسب از همدیگر نصب شدند تا داده‌های دریافتی، نمایانگر شرایط مختلف در کل بستر خاک باشد. این سنسورها به یک برد برد (Breadboard) برای سامان‌دهی خطوط اتصال متصل گردیدند (شکل ۱). سنسورها دارای سه سیم که یکی از آن‌ها در آردوینو به زمین متصل می‌شود، یکی برای اتصال به برق متصل می‌شود یکی دیگر برای دادن دیتا متصل می‌شود. برای مدیریت بهتر و قرائت سریع‌تر داده‌ها از طریق آردوینو، سنسورهای چینی به صورت سری‌های ۱۴ تایی دسته‌بندی شدند. به‌منظور مانیتورینگ درون‌پروفیلی رطوبت، در هر لایسیمتر چهار حسگر رطوبت خازنی مدل Capacitive 1.2 در اعماق ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ سانتی‌متر نصب شد (شکل ۲). حسگرها از طریق بردبورد و آردوینو به رایانه وصل بودند و برداشت داده به‌صورت یک‌روز در میان انجام شد. وزن گلدان‌ها هم‌زمان ثبت شد تا تغییرات ذخیره آبی (ΔS) در بیلان لحاظ گردد. برنامه آبیاری، تغذیه، تهویه و مدیریت اقلیم دقیقاً مطابق روال عملی گلخانه اجرا شد.



شکل ۱- نمونه‌های مربوط به کالیبراسیون سنسورها



شکل ۲- نحوه نصب سنسورها در عمق‌های متفاوت در لایسمترها

پس از حدود پنج ماه برداشت پیوسته داده، تبخیر-تعرق واقعی هر گیاه با اعمال بیلان آب (رسول زاده و رئوف ۱۳۹۲) محاسبه شد. در کنار آن، با داده هواشناسی ایستگاه پارس‌آباد، ETo با استفاده از معادله FAO-56 در CropWat استخراج و به ETc مزرعه ای محصولات مورد نظر تبدیل گردید.

نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج کلی میزان آب مصرفی اندازه گیری شده در شرایط گلخانه ای و محاسبه شده در شرایط مزرعه ای را برای سه گیاه گوجه فرنگی، فلفل شیرین و بادمجان نشان می دهد.

جدول ۱- نتایج کلی میزان آب مصرفی شرایط گلخانه ای و مزرعه ای

شرایط گلخانه ای			شرایط مزرعه ای			واحد	پارامتر
گوجه فرنگی	فلفل شیرین	بادمجان	گوجه فرنگی	فلفل شیرین	بادمجان		
۰/۵۸	۰/۳۵	۰/۶	۰/۸	۰/۷	۱	$\frac{mm}{day}$	حداقل تبخیر تعرق روزانه
۳/۴۸	۳/۳۳	۲/۶۶	۵/۶	۵/۱	۵/۱	$\frac{mm}{day}$	حداکثر تبخیر تعرق روزانه
۲	۲	۱/۷۸	۳/۵۲	۳/۲۹	۳/۲۹	$\frac{mm}{day}$	متوسط تبخیر تعرق روزانه
۲۶۵/۹	۲۴۵	۲۳۱/۱	۴۷۲/۷	۴۱۱/۶	۴۲۸/۵	mm	تبخیر تعرق کل فصل زراعی
۲۶۵۹	۲۴۵۰	۲۳۱۱	۴۷۲۷	۴۱۱۶	۴۲۸۵	$\frac{m^3}{ha}$	حجم خالص آب آبیاری

مطابق جدول ۱، مقادیر آب مورد نیاز گیاهان گوجه فرنگی، فلفل شیرین و بادمجان در شرایط گلخانه‌ای نسبت به شرایط مزرعه‌ای متفاوت می‌باشد. حداقل، حداکثر و متوسط تبخیر تعرق گیاه گوجه فرنگی در شرایط گلخانه‌ای به ترتیب ۰/۵۸، ۳/۴۸ و ۲ میلی‌متر بر روز و در شرایط مزرعه‌ای به ترتیب ۰/۸، ۵/۶ و ۳/۵۲ میلی‌متر بر روز به دست آمد. مقادیر ذکر شده برای گیاه فلفل شیرین به ترتیب برابر ۰/۳۵، ۳/۳۳ و ۲ میلی‌متر بر روز در شرایط گلخانه‌ای و ۰/۷، ۵/۱ و ۳/۲۹ میلی‌متر بر روز در شرایط مزرعه‌ای محاسبه شد. برای گیاه بادمجان نیز حداقل، حداکثر و متوسط تبخیر تعرق، برای شرایط گلخانه‌ای به ترتیب ۰/۶، ۲/۶۶ و ۱/۷۸ میلی‌متر بر روز و برای شرایط مزرعه‌ای به ترتیب ۱، ۵/۱ و ۳/۲۹ میلی‌متر بر روز استخراج گردید. کل مقدار آب مصرف شده در کل طول فصل رشد گیاه گوجه فرنگی، در شرایط گلخانه‌ای برابر ۲۶۵/۸۶ میلی‌متر و در شرایط مزرعه‌ای برابر ۴۷۲/۷ میلی‌متر، گیاه فلفل شیرین، در شرایط گلخانه‌ای برابر ۲۴۵ میلی‌متر و در شرایط مزرعه‌ای برابر ۴۱۱/۶ میلی‌متر و گیاه بادمجان، در شرایط گلخانه‌ای برابر ۲۳۱/۱ میلی‌متر و در شرایط مزرعه‌ای برابر ۴۲۸/۵ میلی‌متر برآورد شده است. اعداد ذکر شده نشان دهند اختلاف معنادار میزان آب مصرفی در شرایط گلخانه نسبت به مزرعه می‌باشد. مقدار عمق خالص آب آبیاری با احتساب آب آبخویی، برای گیاهان گوجه فرنگی، فلفل شیرین و بادمجان، برای شرایط گلخانه‌ای به ترتیب ۴۳۸/۳، ۴۰۳/۸ و ۳۸۰/۹ میلی‌متر که معادل با ۴۳۸۳، ۴۰۳۸ و ۳۸۰۹ متر مکعب بر هکتار برآورد شده است. همچنین مقدار عمق خالص آب آبیاری با احتساب آب آبخویی، برای گیاهان گوجه فرنگی، فلفل شیرین و بادمجان، برای شرایط مزرعه‌ای به ترتیب ۷۷۹/۲، ۶۷۸/۵ و ۷۰۶/۴ میلی‌متر که معادل با ۷۷۹۲، ۶۷۸۵ و ۷۰۶۴ متر مکعب بر هکتار برآورد شده است (جدول ۲). میزان اختلاف حجم آب مصرفی خالص با احتساب آب آبخویی برای گیاهان گوجه فرنگی، فلفل شیرین و بادمجان، در دو حالت مزرعه‌ای و گلخانه‌ای به ترتیب ۳۴۱۰، ۲۷۴۷ و ۳۲۵۴ متر مکعب بر هکتار می‌باشد که نشان می‌دهد آب مصرفی در شرایط گلخانه‌ای معادل ۴۳/۷۵، ۴۰/۴۸ و ۴۶/۰۷ درصد کمتر از شرایط مزرعه‌ای می‌باشد (جدول ۳). با توجه به اینکه در شرایط گلخانه‌ای مدیریت مصرف آب بهتر بوده و راندمان آبیاری در گلخانه‌ها بالاتر از مزارع می‌باشد، به نظر می‌رسد از این لحاظ، احداث و استفاده از گلخانه، در شرایط محدودیت منابع آب توصیه گردد.

جدول ۲- مقایسه آب آبخویی و حجم آب مصرفی با احتساب آب آبخویی برای گیاهان مختلف طرح

پارامتر	واحد	شرایط گلخانه‌ای			شرایط مزرعه‌ای		
		گوجه فرنگی	فلفل شیرین	بادمجان	گوجه فرنگی	فلفل شیرین	بادمجان
نسبت نیاز آبخویی	—	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵
تبخیر تعرق کل فصل زراعی	mm	۲۶۵۹	۲۴۵۰	۲۳۱۱	۴۷۲۷	۴۱۱۶	۴۲۸۵
عمق آب آبخویی مورد نیاز برای کنترل نمک‌ها	mm	۱۷۲/۴	۱۵۸/۹	۱۴۹/۹	۳۰۶/۵	۲۶۶/۹	۲۷۷/۹
حجم آب آبخویی مورد نیاز برای کنترل نمک‌ها	$\frac{m^3}{ha}$	۱۷۲۴	۱۵۸۹	۱۴۹۹	۳۰۶۵	۲۶۶۹	۲۷۷۹
عمق خالص آب آبیاری با احتساب آب آبخویی	mm	۴۳۸/۳	۴۰۳/۸	۳۸۰/۹	۷۷۹/۲	۶۷۸/۵	۷۰۶/۴
حجم خالص آب آبیاری با احتساب آب آبخویی	$\frac{m^3}{ha}$	۴۳۸۳	۴۰۳۸	۳۸۰۹	۷۷۹۲	۶۷۸۵	۷۰۶۴

جدول ۳ اختلاف میزان حجم خالص آب مصرفی شرایط گلخانه ای و مزرعه ای و درصد اختلاف آنها

گیاه	اختلاف حجم آب مصرفی (m^3)	درصد اختلاف نسبت به مزرعه (%)
گوجه فرنگی	۲۰۶۸	۴۳/۷۵
فلفل شیرین	۱۶۶۶	۴۰/۴۸
بادمجان	۱۹۷۴	۴۶/۰۷

در طول فصل زراعی، لایسمترهای تحت کشت گیاهان گوجه فرنگی، فلفل شیرین و بادمجان مطابق با برنامه آبیاری موجود در گلخانه، آبیاری گردیدند. این روند موجب گردید تا در طول فصل زراعی آب زهکش از زیر لایسمترها خارج نگردد. خروج آب از طریق تبخیر از سطح خاک و تعرق از سطح سبز گیاه موجب شده بود تا تجمع املاح در بدنه خاک لایسمترها صورت گیرد. جهت بررسی کیفیت خاک تحت کشت در فصل زراعی ۱۴۰۳-۰۴ (پاییز ۱۴۰۳ تا ابتدای بهار ۱۴۰۴)، مقدار آب آبیاری در آخرین آبیاری بیشتر از آبیاری‌های قبلی در نظر گرفته شد تا از زیر لایسمترها آب زهکش شده خارج گردد. از آنجا که تجمع املاح در طول فصل زراعی در داخل خاک لایسمترها صورت گرفته بود، آب زهکشی شده دارای کیفیت پایین بود.

پارامترهای اندازه گیری شده مربوط به کیفیت آب زهکش شده، در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه محقق اردبیلی انجام یافته است. مقادیر هدایت الکتریکی آب زهکش شده از لایسمترهای گیاهان گوجه فرنگی، فلفل شیرین و بادمجان نسبت به آب آبیاری در دور آخر، بسیار بالاتر بوده و این نکته بیانگر آن است که تجمع املاح در منطقه ریشه دوانی هر سه گیاه در طول فصل کشت صورت گرفته است. شوری آب زهکش شده از زیر لایسمترهای کشت شده با فلفل شیرین و بادمجان بسیار نزدیک به هم بوده (به ترتیب ۱۵/۵۶ و ۱۵/۹۵ دسی زیمنس بر متر)، اما این دو عدد با شوری آب زهکش شده از زیر لایسمتر گوجه فرنگی (۱۲/۸۲ دسی زیمنس بر متر) مقداری متفاوت می باشد. اختلاف هدایت الکتریکی آب زهکشی گیاهان فلفل شیرین و بادمجان نسبت به گوجه فرنگی می تواند به عوامل مختلف، از جمله به میزان جذب املاح توسط ریشه گیاهان مربوط باشد. بررسی اعداد مربوط به غلظت کلسیم، سدیم و منیزیم در نمونه های آب زهکش شده نسبت به آب آبیاری نیز نشان می دهد که بعد از یک فصل کشت تجمع این عناصر در خاک لایسمترها صورت گرفته و باعث بالا رفتن غلظت این عناصر گردیده است. بر اساس روش آیرز و ستکات (۱۹۸۵)، جهت کنترل میزان املاح موجود در خاک بایستی همواره و در طول فصل کشت، مقداری آب آبخویی به آب آبیاری اضافه نمود.

نتیجه گیری نهایی و پیشنهادات

۱- با احتساب دوره رشد برابر برای شرایط گلخانه ای و مزرعه ای برای گیاهان گوجه فرنگی، فلفل شیرین و بادمجان، متوسط میزان آب مصرفی سه گیاه، در شرایط گلخانه حدوداً ۴۳/۴۳ درصد کمتر از مزرعه (آب مصرفی گلخانه حدوداً ۵۶/۵۷ درصد مزرعه) می باشد.

۲- از آنجا که طول دوره رشد گیاهان گوجه فرنگی، فلفل شیرین و بادمجان در منطقه مغان، در گلخانه حدوداً ۲ برابر مزرعه می باشد، لذا می توان نتیجه گیری نمود که متوسط کل آب مصرفی گیاهان گوجه فرنگی، فلفل شیرین و بادمجان در کل دوره رشد در شرایط گلخانه ای، حدوداً ۱/۱۳ برابر $(۰/۵۶۵۷ \times ۲)$ مزرعه خواهد بود.

۳- بر اساس نظرات جمع آوری شده از کشاورزان محترم در منطقه مغان، متوسط میزان عملکرد گیاهان گوجه فرنگی، فلفل شیرین و بادمجان در شرایط گلخانه ای حدوداً ۲ برابر شرایط مزرعه ای می باشد. با این حساب می توان ادعا نمود که با مصرف حدوداً ۱۳ درصد آب بیشتر در گلخانه (نسبت به مزرعه) می توان محصول دهی در گلخانه را تا ۲ برابر نسبت به مزرعه افزایش داد.

۴- با توجه به ۳ بند بالا، می توان نتیجه گیری نمود که راندمان مصرف آب خالص (WUE^1) می تواند در شرایط گلخانه حدوداً ۱/۷۷ برابر $(\frac{2}{1.13})$ مزرعه باشد. این بدین معناست که میزان کیلو گرم محصول تولیدی به ازای مترمکعب آب مصرفی، در شرایط گلخانه ای حدوداً ۱/۷۷ برابر بیشتر از شرایط مزرعه ای خواهد بود.

۵- اکثریت خاکهای منطقه مغان دارای بافت سنگین بوده و همچنین گلخانه های احداث شده در منطقه مغان فاقد زهکش، اعم از طبیعی یا مصنوعی می باشند. در شرایط حاضر هیچ گونه تمهیداتی برای حفظ کیفیت خاک (ساختمان و شوری خاک) در گلخانه ها صورت نمی گیرد. افزایش شوری خاک تحت کشت گیاهان گوجه فرنگی، فلفل شیرین و بادمجان در این تحقیق (و رسیدن متوسط شوری آب زهکش شده در پایان فصل به $14/78 \frac{dS}{m}$) نیز موید این نکته است که به مرور زمان خاکهای مورد استفاده در گلخانه ها شورتر شده و در آینده نیاز به اصلاح و یا حتی تعویض خاک خواهند داشت که هر دو مورد دارای هزینه های هنگفت خواهد بود.

۶- جهت جلوگیری از لم یزرع شدن خاک های موجود در گلخانه ها و عدم ایجاد مشکل بزرگ تر (که در حال حاضر نیز منطقه با این مشکل مواجه است)، می توان پیشنهاداتی به شرح زیر ارائه نمود:

الف) در گلخانه های دارای سیستم کشت خاکی باید تمهیداتی برای امکان سنجی احداث سیستم های زهکشی (به صورت افقی یا عمودی) اندیشیده شود. با این کار می توان تعیین نمود که آیا آب مورد نیاز برای آبیاری املاح از خاک قادر است تا کیفیت خاک را تقریباً در حد ثابتی حفظ نماید؟ برای پاسخگویی به این سوال نیاز است یک تحقیق مدون در این زمینه صورت گیرد، تا علاوه بر تعیین راه حلی برای جلوگیری از کاهش کیفیت خاک، مشکلات احتمالی آبی نیز بررسی گردد.

ب) می توان به جای کشت های خاکی در گلخانه های موجود در منطقه مغان، از کشت های جایگزین از قبیل هیدروپونیک یا ایرپونیک استفاده نمود. البته یادآور می گردد که کشت های هیدروپونیک و ایرپونیک نیز خود دارای مشکلات خاص خود است و باید طی یک طرح جامع تحقیقاتی، برای منطقه مورد نظر مورد ارزیابی قرار گیرد تا امکان سنجی گردد که آیا این نوع کشت ها در منطقه مورد مطالعه دارای بهره وری لازم خواهند بود؟

منابع

- ۱- رسول زاده، علی. و رئوف، مجید. ۱۳۹۲. مبانی و روش های آبیاری. چاپ دوم. انتشارات عمیدی. ۲۸۵ ص.
- 2- Allen, R. G., Pruitt, W. O., Wright, J. L., Howell, T. A., Ventura, F., Snyder, R., ... & Elliott, R. (2006). A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 Penman-Monteith method. *Agricultural water management*, 81(1-2), 1-22.
- 3- Ayers, R. S. & Westcot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture*. Irrigation and Drainage Paper No. 29, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- 4- Stanghellini, C. (1987). *Transpiration of greenhouse crops: an aid to climate management*. Wageningen University and Research.
- 5- Wang, B., Bao, R., Yan, H., Zheng, H., Wu, J., Zhang, C., & Wang, G. (2025). Study of evapotranspiration and crop coefficients for eggplant in a Venlo- type greenhouse in South China. *Irrigation and Drainage*, 74(2), 556-568.
- 6- Yan, H., Acquah, S. J., Zhang, J., Wang, G., Zhang, C., & Darko, R. O. (2021). Overview of modelling techniques for greenhouse microclimate environment and evapotranspiration. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 14(6), 1-8.

¹ Water Use Efficiency

Assessment of Actual Water Requirements in Greenhouse Cultivation for Water Allocation Prioritization

Abstract

Accurate allocation of water to agricultural crops not only has a significant impact on crop productivity and quality but also plays a key role in water conservation and resource management. In this research, the water consumption of three greenhouse crops tomato, sweet pepper, and eggplant was investigated under greenhouse conditions in the agricultural-industrial complex of Mogan. For each crop, five lysimeters were used, making a total of fifteen, and the cultivation began in mid-December 2024. To measure and monitor soil moisture throughout the growing season, four Capacitive 1.2 sensors (installed at depths of 5, 15, 25, and 35 cm) were placed in each lysimeter, and irrigation, fertilization, ventilation, and other management practices were carried out exactly according to the existing greenhouse schedule. The water balance equation within the lysimeters was employed to determine the actual water requirements of the crops. In addition to greenhouse cultivation and monitoring, meteorological data were obtained from the Pars Abad synoptic station, and crop evapotranspiration values for tomato, sweet pepper, and eggplant were computed using the FAO56 method in Cropwat 8.0 software. The results indicated that the total amount of net water consumed during the plant growth period under greenhouse conditions was 265.86, 245, and 231.1 mm for tomato, sweet pepper, and eggplant, respectively, while under field conditions, these values were estimated at 472.7, 411.6, and 428.5 mm. The net irrigation water depth including leaching water for tomato, sweet pepper, and eggplant under greenhouse conditions was calculated as 4383, 4038, and 3809 m³/ha, and under field conditions as 7792, 6785, and 7064 m³/ha, respectively. This shows that water consumption under greenhouse conditions was 43.75%, 40.48%, and 46.07% lower than in field conditions. The EC of the irrigation water was 1.16 dS/m, and the EC of saturated soil extract in the 0–20 cm and 20–40 cm depths before the experiment was 1.4 and 2.5 dS/m, respectively. At the end of the experiment, the EC of the drainage water beneath the tomato, sweet pepper, and eggplant lysimeters was measured at 12.82, 15.56, and 15.95 dS/m, indicating significant salt accumulation in the root zone and soil salinization. It can therefore be concluded that greenhouse cultivation of these crops is recommended, provided that soil salinity is effectively managed.

Keywords: Evapotranspiration, Soil water balance, Soil moisture sensor, Soil salinity, Leaching