اولین کارگاه فنی ارتقاء کارایی مصرف آب با کشت محصولات گلخانه‌ای
۲۶ مهرماه ۱۳۸۶

استفاده از تشت تبخیر برای تعیین تبخیر- تعرق سطح مرجع در شرایط گلخانه‌ای

مهدی شهابی‌فر، مصطفی عصاری، مهدی کوچک‌زاده و علی‌اکبر عزیزی زهان[1]

چکیده

یکی از روش‌های تعیین تبخیر ـ تعرق سطح مرجع استفاده از تشت تبخیر کلاس A می‌باشد اما در گلخانه به دلیل سطح زیادی که این تشت اشغال می‌نماید، کاربرد چندانی ندارد. در این تحقیق به منظور تعیین تبخیر ـ تعرق سطح مرجع از یک دستگاه میکرولایسیمتر و یک تشت تبخیر کوچک (قطر ٦٠ سانتی‌متر و ارتفاع ٢٠ سانتی‌متر) در داخل گلخانه و یک تشت تبخیر کلاس A در خارج گلخانه استفاده شد. نتایج نشان داد که میزان تبخیر ـ تعرق سطح مرجع اندازه‌گیری شده توسط میکرولایسیمتر به ترتیب برابر ٦٢/٢ و ٤٥/٦ درصد تبخیر از تشت کلاس A و تشت کاهنده بوده است. ضریب همبستگی بین داده‌های میکرولایسیمتر با تشت تبخیر کلاس A و تشت کاهنده به ترتیب برابر ۰/۷۲ و ۰/۸۳ بود. با توجه به نتایج بدست آمده کاربرد تشت تبخیر کوچک در مطالعات گلخانه‌ای با توجه به محدودیت مکانی توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: تبخیر ـ تعرق، تشت تبخیر کلاس A و گلخانه

مقدمه

اصلی‌ترین پارامتر در برنامه‌ریزی آبیاری تبخیر-تعرق است که یکی از اجزای اصلی گردش آب در طبیعت است و تقریبا در تمام مطالعات هیدرولوژی تا حدی مطرح می‌شود. تبخیر-تعرق در برنامه‌ریزی و توسعه حوضه آبخیز یا منابع ملی آب، اهمیت خاصی دارد. تبخیر-تعرق به عنوان اطلاعات اساسی در گفتگوهای قراردادهای مربوط به آب و احقاق حق در اختلافات مربوط به حقابه به کار می‌رود. در سراسر دنیا وسایل متعددی نیز برای اندازه‌گیری تبخیر-تعرق درون گلخانه مورد استفاده قرار گرفته است که عبارتند از میکرولایسیمتر، تشت تبخیر کلاس A، تشت تبخیرکوچک، اتمومتر و غیره. هر کدام از این وسایل برای شرایط خاص مورد استفاده قرار می‌گیرند و محققان زیادی رابطه بین تبخیر اندازه‌گیری شده از این وسایل و تبخیر-تعرق را بدست آورده‌اند که این روابط را به صورت یک مدل ریاضی بیان کرده‌اند.

---

[1]- به ترتیب عضو هیات علمی مؤسسه تحقیقات خاک و آب، دانشجوی کارشناسی ارشد، عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس و محقق مؤسسه تحقیقات خاک و آب

تبخیر–تعرق سطح مرجع (ETo) به روش‌های مختلفی قابل تخمین است اما تشت کلاس A یکی از مهمترین روش‌های استفاده شده در دنیاست که به دلیل سادگی و ارزان بودن برای تخمین روزانه تبخیر–تعرق مقبول می‌باشد و در دوره‌های زمانی بیشتر از ۵ روز از دقت بالاتری برخوردار است، اما استفاده از تشت درون گلخانه هنوز موضوع بحث می باشد. زیرا اگر چه ضریب تشت(kp) بر اساس سرعت باد، رطوبت نسبی و پارامترهایی محاسبه می‌شود که به راحتی درون گلخانه قابل اندازه‌گیری می باشند، تحقیقات نشان داده است که ضریب تشت قابل استفاده در گلخانه قطعی نیست. به هر حال Pradas (۱۹۸٦) در حالی که روی گیاه گوجه‌فرنگی درون گلخانه‌ای که با پلی اتیلن سبک پوشیده شده بود کار می‌کرد شباهتی را بین ضریب تشت(Kp) و ضریب گیاهی(Kc) به دست آمده مشاهده کرد، مقدار ضریب گیاهی(Kc) را از روش‌های تجربی تعیین کرد و به این نتیجه رسید که ضریب تشت(Kp) باید به یک خیلی نزدیک باشد.

Chartzoulakis و همکاران (۱۹۹۷) میزان آب مصرفی فلفل را در گلخانه با استفاده از تانسیومتر تعیین کردند. گیاهان با استفاده از روش قطره‌ای آبیاری شده و تبخیر–تعرق گیاهی بین دو آبیاری کامل به وسیله فرمول $ET_m=I_W-D_W$ محاسبه شد، که I_W میزان آب آبیاری (برای رساندن رطوبت خاک به حد FC) و Dw میزان آب خارج شده از عمق ٤٠cm خاک بوده است. میزان آب آبیاری مورد نیاز در طول فصل ۳٤۸ میلیمتر گزارش شد. تبخیر–تعرق گیاهی در ماه اکتبر ۲۰ درصد تبخیر از تشت کلاس A (E_{pan}) نصب شده در خارج گلخانه بود، این مقدار تا ماه فوریه ثابت بوده و در ماه‌های آخر آزمایش تا به $۰/۷E_{pan}$ در ماه می افزایش یافت.

Orphanos در سال ۱۹۸٦ سرعت تبخیر–تعرق پتانسیل (ETp) اندازه‌گیری شده توسط لایسمیتر را با تبخیر از تشت یا با سرعت تبخیر–تعرقی که از روش‌های بلانی کریدل و پنمن که در سال ۱۹۷۷ توسط Doorenbos و Pruitt اصلاح شد مقایسه کرد. نتایج نشان داد تبخیر از تشت مشاهده شده در خارج گلخانه تخمینی از مقدار واقعی تبخیر–تعرق گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه‌ای بود و ضریب نسبت آن با تبخیر–تعرق پتانسیل(ETp) نسبت به فصل رشد به صورت خطی از ۰/۲٦ تا ۱ افزایش یافت.

در تحقیقی Harmanto و همکاران (2005)به دلیل سطح زیاد اشغال شده توسط تشت کلاس A، روش‌های جایگزین برای تخمین تبخیر–تعرق سطح مرجع(ETo) در داخل گلخانه را مطالعه نمودند. موضوع این کار مقایسه بین روش‌های مختلف درون و بیرون گلخانه بوده است. یک تشت کلاس A و یک تشت کوچک و یک اتمومتر درون گلخانه و یک تشت کلاس A بیرون گلخانه نصب شد. تبخیر–تعرق سطح مرجع(ETo) تخمین زده شده به وسیله تشت کلاس A نصب شده درون گلخانه و تشت کوچک و اتمومتر به ترتیب ٥٦، ٦۹ و ٦۳ درصد از میزان اندازه‌گیری شده برای تشت کلاس A نصب شده در خارج از گلخانه شده بود. یک رگرسیون ساده خطی، ضریب همبستگی برابر با R= ۰/۹۷ را برای تشت کوچک و تشت کلاس A نصب شده در درون گلخانه و R= ۰/۹۱ برای اتمومتر و تشت نصب شده در داخل گلخانه و R= ۰/۷ بین تشت کلاس A نصب شده در داخل و خارج گلخانه نشان داد. لذا برای تخمین تبخیر–تعرق سطح مرجع(ETo) درون گلخانه می‌توان از تشت کوچک و اتمومتر با توجه به ضرایب بدست آمده استفاده کرد که باعث می‌شود فضای کمتری از گلخانه اشغال شود. در این تحقیق، ابتدا تبخیر–تعرق استاندارد گیاه مرجع چمن درون گلخانه توسط میکرو لایسیمتر اندازه‌گیری شد و تبخیر از تشت

تبخیر کوچک درون گلخانه نیز اندازه‌گیری شد. در ادامه تبخیر از تشت تبخیر کلاس A خارج از گلخانه نیز بدست آمد و در پایان مقادیر اندازه‌گیری شده با استفاده از آنالیز واریانس، آزمون فرض و آزمون دانکن با هم مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ابتدا به مدت ۳ ماه از روز اول اسفند ۱۳۸۵ تا روز ۳۱ اردیبهشت ۱۳۸٦ پارامترهای تبخیر از تشت کاهنده و وزن لایسیمتر چمن درون گلخانه‌ای در موسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، که در منطقه ولنجک تهران واقع شده است، اندازه‌گیری شد و داده‌های تبخیر از تشت تبخیر کلاس A نیز از ایستگاه هواشناسی مهرآباد به عنوان نزدیکترین ایستگاه به محل آزمایش، بدست آمد.

لایسیمتر

لایسیمتر یا جعبه کشت یک تانک با ابعاد مشخص است که در داخل خاک قرار گرفته و لذا امکان اعمال معادله بیلان جرمی آب که به صورت زیر بیان می‌شود، در آن وجود دارد.

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

ET: تبخیر-تعرق (سانتی‌متر)

I: آبیاری (سانتی‌متر)

P: بارندگی (سانتی‌متر)

SFI: جریان سطحی ورودی به سطح خاک (سانتی‌متر)

LI: جریان زیر سطحی که وارد حجم خاک می‌شود (سانتی‌متر)

GW: مقدار آبی که از زیر زمین ممکن است وارد خاک شود (سانتی‌متر)

RO: رواناب سطحی که از زمین خارج می‌شود (سانتی‌متر)

LO: جریان آب زیر سطحی که از زمین خارج می‌شود (سانتی‌متر)

L: نیاز آبشوئی که عبارت است از مقدار آبی که باید از زمین خارج شود تا شوری خاک از درصد مورد نظر افزایش پیدا نکند (سانتی‌متر)

DP: نفوذ عمقی (جریان خروجی آب از خاک که مازاد بر نیاز آبشوئی صورت می‌گیرد (سانتی‌متر)

D_{rz}: عمق توسعه ریشه‌ها

θ_f: رطوبت حجمی خاک در شروع دوره مورد نظر(اعشار)

θi: رطوبت حجمی خاک در انتهای دوره مورد نظر(اعشار)

لایسیمتر از نظر هیدرولوژی بخش مجزا و کنترل شده‌ای از خاک است که پارامترهای SFI، LI و LO در آن حذف شده و GW، RO، L و DP یا قابل اندازه‌گیری بوده یا حذف می‌شوند. بنابراین با اندازه‌گیری I، P، D، θ_f و θi می‌توان ET را با دقت خیلی بالا بدست آورد.

اما درون گلخانه علاوه بر مشکلات گفته شده در بالا فضای زیاد اشغال شده توسط لایسیمتر هم یک مشکل بزرگ است که Boast و همکاران (1986) با ارائه نوعی از لایسیمتر با نام micro lysemeter، این مشکل را حل کرد.

این لایسیمترها که مخصوص گلخانه است به ارتفاع ۳۰ سانتیمتر و قطر ۳۰ سانتیمتر است و دارای شیر تخلیه زه‌آب و صفحه مکش برای تخلیه کامل آب است، که در تحقیق حاضر از این نوع لایسیمتر برای تعیین دقیق تبخیر–تعرق استفاده شده است که ساخت شرکت UMS آلمان می‌باشد. همچنین برای دقت بیشتر از روش وزنی برای تعیین تغییرات رطوبت درون لایسیمتر استفاده شد.

تشت تبخیر

تشت تبخیر ساده‌ترین وسیله‌ای است که با آن می‌توان مقدار تبخیر را از یک سطح آزاد بدست آورد. در ایستگاه‌های هواشناسی معمولاً از تشت استاندارد کلاس A که ظرفی استوانه‌ای از جنس آهن گالوانیزه با قطر ۱۲۱ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵/٤ سانتی‌متر می‌باشد استفاده می‌شود. در صورتی که مقدار تبخیر از تشت در یک دوره زمانی مشخص (روز یا ماه) برابر Ep باشد تبخیر–تعرق سطح مرجع (ET_O) در همان دوره برابر خواهد بود با:

$$ET_O=Kp\ (Ep) \qquad (۲)$$

ضریب Kp بنام ضریب تشت معروف است و بستگی به وضعیت استقرار تشت و محیط اطراف آن داشته و مقدار آن برای فضای بیرون ۰/۵–۰/۸۵ متغیر است. سرعت باد، رطوبت هوا و ارتفاع محل از سطح دریا نیز بر ضریب تشت مؤثرند. به دلیل وجود داده‌های تبخیر در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی و اندازه‌گیری ساده آن، در این تحقیق سعی بر آن شده است که با استفاده از داده‌های تبخیر از تشت یک رابطه ساده برای تخمین تبخیر–تعرق استاندارد سطح مرجع درون گلخانه بدست آوریم.

درون گلخانه، به دلیل فضای زیاد اشغال شده توسط تشت کلاس A و عدم دقت این وسیله برای مقادیر خیلی کم تبخیر، نوع دیگری از تشت تبخیر به نام Reduced Pan که برای اولین بار توسط Jhan و همکاران (۱۹۹۸) ارائه شد، استفاده می‌شود. این نوع تشت تبخیر ظرفی استوانه‌ای از جنس آهن گالوانیزه با قطر ٦۰ سانتیمتر و ارتفاع ۲۰ سانتیمتر می‌باشد، که در این تحقیق از آن برای تعیین تبخیر از تشت استفاده شد.

بحث و نتیجه‌گیری

برای مقایسه بین داده‌های اندازه‌گیری شده توسط تشت تبخیر کوچک در داخل گلخانه، داده‌های اندازه‌گیری شده توسط تشت تبخیر کلاس A در خارج گلخانه و داده‌های لایسیمتری، از آنالیز واریانس در مرحله اول و بررسی وجود همبستگی معنی‌دار بین مقادیر تبخیر در داخل و خارج گلخانه و داده‌های لایسیمتری با استفاده از آزمون فرض، در مرحله بعد استفاده کردیم. برای تعیین وجود همبستگی بین مقادیر تبخیر در داخل و خارج گلخانه و داده‌های لایسیمتری از آزمون فرض صفر و روابط زیر استفاده شد.

$$H_o : r = o$$
$$H_1 : r \neq o \qquad (۳)$$

$$t_0 = \frac{r\sqrt{n-2}}{1-r^2} \qquad (٤)$$

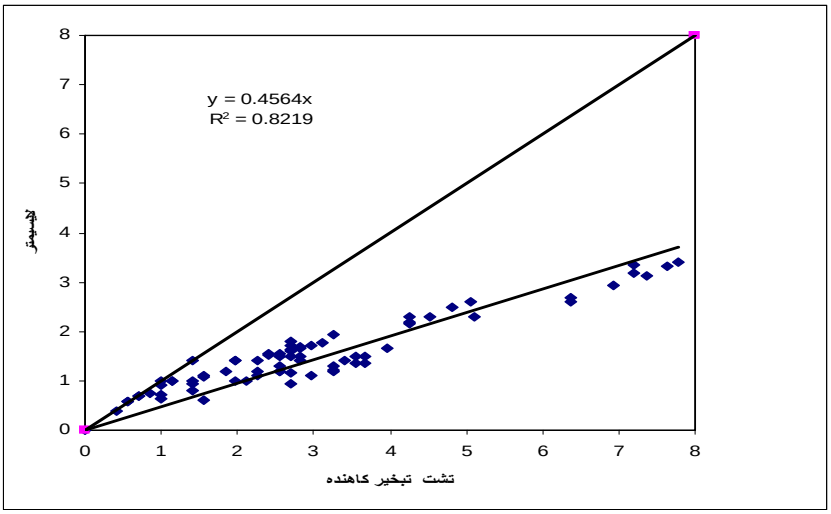
در این روابط H_0 فرض صفر، H_1 ادعا، to آماره آزمون، r ضریب همبستگی خطی است و n تعداد زوج داده‌های مورد بررسی است. این آزمون r را مورد بررسی قرار می‌دهد که قابل تعمیم برای r^2 است.

برای ساده تر شدن محاسبات ابتدا از جدول t_student مقدار بحرانی t استخراج شد. بر اساس این جدول $t_{0/025,72}=1/76$ است. سپس این مقدار به جای t_o و در رابطه فوق قرار گرفت و مقدار بحرانی r در سطح احتمال ۹۵ درصد برابر ۰/۰۳۸ محاسبه شد.

ضریب همبستگی در همه معادلات تبخیر-تعرق در تمام مدل‌ها بزرگتر از مقدار بحرانی بود. بنابراین می‌توان پذیرفت در سطح احتمال ۹۵ درصد بین تمام مقادیر مشاهده ای و مقادیر برآورد شده همبستگی وجود دارد.

مقایسه داده‌های لایسیمتری و داده‌های تشت تبخیر کوچک در داخل گلخانه

برای این تحقیق در طول دوره کشت میزان تبخیر از تشت تبخیر کاهنده اندازه‌گیری شد و در ادامه با استفاده از داده‌های لایسیمتری یک رابطه خطی برای تبخیر-تعرق استاندارد گیاه مرجع چمن درون گلخانه بدست آمد که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: *رابطه بین داده‌های لایسیمتری و تشت تبخیر کوچک (کاهنده)*

با استفاده از یک رگرسیون خطی بین داده‌های لایسیمتری و تشت تبخیر کوچک یک معادله ساده بدست آمد که عبارت است از:

$$ETo = 0.4564 \times Ep \qquad (۵)$$

که در آن

ETo : تبخیر-تعرق استاندارد گیاه مرجع چمن

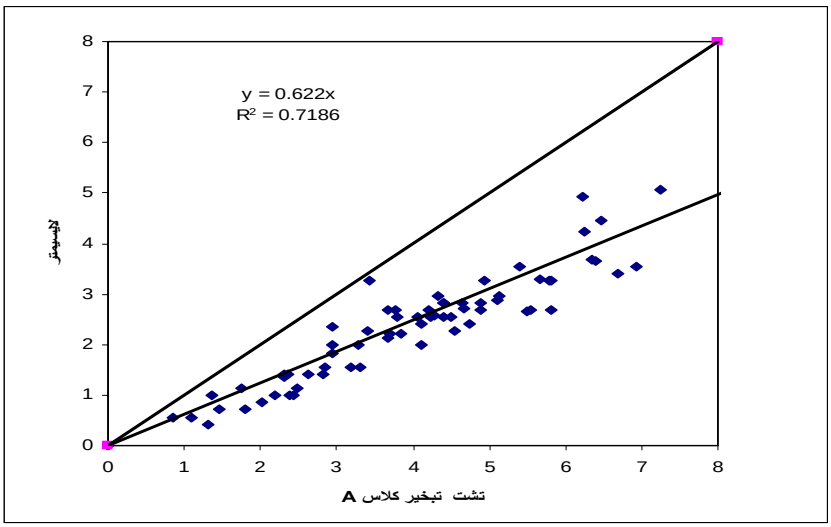
Ep : تبخیر از تشت تبخیر کاهنده

در ادامه تبخیر-تعرق استاندارد گیاه مرجع چمن که از معادله (۱-۵) محاسبه شده بود با داده‌های لایسیمتری مقایسه شد ونتایج مقایسه به شرح زیر بود.

جذر مربع خطاها (RMSE) برابر ۱/۴۰۲، مربع خطاهای سیستماتیک(MSE_s) برابر ۱/۹۸ و ضریب همبستگی(R^2) برابر ۰/۸۲۱۹ شد. علاوه بر این با استفاده از آزمون دانکن هیچ اختلاف معنی‌داری بین میانگین داده‌های محاسباتی از فرمول (۵) و داده‌های لایسیمتری وجود نداشت.

مقایسه داده‌های لایسیمتری و داده‌های تشت تبخیر کلاس A خارج گلخانه

برای این تحقیق در طول دوره کشت میزان تبخیر از تشت تبخیر کلاس A اندازه‌گیری شد و در ادامه با استفاده از داده‌های لایسیمتری یک رابطه خطی برای تبخیر–تعرق استاندارد گیاه مرجع چمن درون گلخانه بدست آمد که در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: *رابطه بین داده‌های لایسیمتری و تشت تبخیر کلاس A*

با استفاده از یک رگرسیون خطی بین داده‌های لایسیمتری و تشت تبخیر کلاس A یک معادله ساده بدست آمد که عبارت است از:

$$ETo = 0.622 \times Ep \qquad (٦)$$

که در آن

ETo : تبخیر–تعرق استاندارد گیاه مرجع چمن

Ep : تبخیر از تشت تبخیر کلاس A

در ادامه تبخیر–تعرق استاندارد گیاه مرجع چمن که از معادله (٦) محاسبه شده بود با داده‌های لایسیمتری مقایسه شد ونتایج مقایسه به شرح زیر بود.

جذر مربع خطاها (RMSE) برابر ۲/۳۸، مربع خطاهای سیستماتیک(MSE_s) برابر ۵/٦۹ و ضریب همبستگی(R^2) برابر ۰/۷۱۸٦ شد. علاوه بر این با استفاده از آزمون دانکن هیچ اختلاف معنی‌داری بین میانگین داده‌های محاسباتی از فرمول (٦) و داده‌های لایسیمتری وجود نداشت.

با توجه به نتایج بالا و معادلات (۵) و (٦) ضریب تشت تبخیر کوچک که در داخل نصب شده بود، برابر ۰/٤۵٦٤ و ضریب تشت تبخیر کلاس A که در بیرون گلخانه نصب شده بود، برابر ۰/٦۲۲، بدست آمد. با توجه به آنالیز آماری و آزمون دانکن روش تشت تبخیر کوچک که در گلخانه نصب شده بود، نتایج بهتری نسبت به تشت تبخیر کلاس A نصب شده در بیرون گلخانه داشت، اما به دلیل وجود داده‌های تبخیر تشت تبخیر کلاس A می‌توان از آن برای تخمین تبخیر–تعرق استاندارد گیاه مرجع با دقت مناسب استفاده کرد.

منابع

۱-ابراهیمی بیرنگ، نادر(۱۳۸٤)، برآورد نیاز آبی گیاهان کلخانه‌ای، کارگاه فنی- آموزشی روش‌های آبیاری میکرو، کمیته ملی آیاری و زهکشی

2- Doorenbos, J. and Pruitt, W. O. (1977). Crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper No. 24, FAO, Rome.

3- Chartzolakis.K, N.Drosos (1997). Water requirement of Greenhouse Grown Pepper under Drip irrigation. Acta Horticulturae 449(1), 175-181

4- Jhan,-L-P; Gil,-J-A; Acosta,-R. (1998). Design and performance of a hydraulic lysimeter for measurement of potential evapotranspiration. Bioagro 10(1): 11-17

5- Orphanos.p.I, Eliades.G (1986). Irrigation of tomatoes Grown in Unheated Greenhouse. J.Hort.Sci. 61(1), 95-101

6- Harmanto, V.M.Solokhe, M.S.Babel, H.J.Tantau (2005) Water requirement of dirip irrigated tomato grown in greenhouse in tropical invironment. Agriculture water management 71.225-242