اولین کارگاه فنی ارتقاء کارایی مصرف آب با کشت محصولات گلخانه‌ای
۲۶ مهرماه ۱۳۸٦

# ارزیابی شش روش محاسباتی تبخیر- تعرق سطح مرجع با داده‌های لایسیمتری در شرایط گلخانه‌ای

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

## چکیده

این تحقیق به منظور ارزیابی شش روش محاسباتی تبخیر ـ تعرق سطح مرجع در گلخانه مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور اجرا شد. تبخیر ـ تعرق سطح مرجع از میکرولایسیمتری که درون آن چمن کشت گردیده بود، اندازه‌گیری شد. بطور همزمان داده‌های هواشناسی (درجه حرارت هوا، تابش خورشیدی، رطوبت هوا و سرعت باد) در داخل گلخانه اندازه‌گیری و با استفاده از آنها تبخیر ـ تعرق سطح مرجع با شش روش محاسبه شد. نتایج نشان داد که روش پنمن–مانتیث–فائو به ترتیب با جذر میانگین مربعات خطا، قدر مطلق خطای نسبی و ضریب همبستگی برابر با ۱/٤۳ میلی‌متر در روز، ۱۵ درصد و ۷۰٪ از دقت بیشتری برخوردار بوده و روش بلانی ـ کریدل اصلاح شده کمترین دقت را دارد.

**کلمات کلیدی:** تبخیر ـ تعرق، گلخانه و لایسیمتر

## مقدمه

آب عامل حیات و نهاده اصلی در کشاورزی است. قسمت اعظم کشور ما بدلیل واقع شدن در منطقه خشک و نیمه خشک، با کمبود جدی این نعمت الهی روبروست. بخش کشاورزی مهمترین مصرف‌کننده آب بوده و مصرف بهینه و افزایش بهره‌وری از آب در این بخش سهم بسزایی در حفظ آن دارد. در این راستا در سالهای اخیر توسعه سیستم‌های کشاورزی پایدار مورد توجه بوده و بین منظور کشت گیاهان گلخانه‌ای توصیه شده است.. تحقیقات متعددی در زمینه کشت‌های گلخانه‌ای صورت گرفته اما تعیین نیاز آبی و برنامه ریزی آبیاری گیاهان گلخانه‌ای کمتر مورد توجه واقع شده است (حسن نژاد ۱۳۸۰). علاوه بر مشخصه‌های گیاهی و خاک، پارامترهای هواشناسی از قبیل دما، رطوبت و تشعشع تاثیر بسزایی در تبخیر–تعرق گیاهی دارند. Maloupa (۱۹۹۳) ادعا کرد که تبخیر–

---

[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

تعرق با تابش برابر است و نتیجه گرفت که تفاوت میان واریته‌ها به پتانسیل ژنتیک مخصوص خودشان بستگی دارد و تبخیر-تعرق گیاهی معمولاً کمتر از تبخیر-تعرق سطح مرجع است. Baile و همکاران (۱۹۹٤) با تحقیق روی رزها در گلخانه، بیان کردند که فرمول پنمن- مانتیث تخمین خوبی از شدت تبخیر-تعرق ساعتی می دهد. Martinez و همکاران (۱۹۹۵) روی gerbera تحقیق کردند و نتیجه گرفتند که گرمای محیط کشت مقدار آب مصرفی گیاه را افزایش می‌دهد. De Graaf و Adams (۱۹۹۵) ادعا کردند تعرق گیاه رز که به صورت روزانه یا در فواصل ده دقیقه‌ای اندازه‌گیری شده رابطه نزدیکی با کاهش رطوبت در اطراف برگها و هوای گلخانه و تشعشع پخش شده دارد. Pariani و همکاران( ۱۹۹۳) نیز تبخیر-تعرق گیاه chrysan themum را در گلخانه برای دوره‌های مختلف بدست آوردند. بر اساس کارهای انجام شده در شرایط گلخانه ای، بهترین روش تخمین تبخیر-تعرق سطح مرجع (ETo) درون گلخانه معادله پنمن-مانتیث اصلاح شده توسط FAO می‌باشد که سازگاری بیشتری با شرایط گلخانه دارد.

در این تحقیق ، با استفاده از شش روش فائو-پنمن-مانتیث[۱]، تورک[۲]، مک کینگ[۳]، پرستلی-تیلور[٤]، FAO 24 Radiation و بلانی-کریدل[٥] اصلاح شده توسط FAO تبخیر-تعرق استاندارد گیاه مرجع چمن، بر اساس داده های اندازه گیری شده محاسبه و با داده‌های لایسیمتری که با استفاده از میکرو لایسیمتر درون گلخانه ثبت گردیده، مقایسه شد.

## مواد وروش‌ها

این تحقیق درون گلخانه‌ای با پوشش پلاستیک در موسسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور از اول اسفند ماه تا اول خرداد به صورت روزانه انجام شد. خصوصیات فیزیکی خاک مورد استفاده در آزمایشگاه و گلخانه اندازه گیری شد. میزان تبخیر- تعرق واقعی چمن تحت شرایط بهینه آبیاری ( رطوبت خاک در حدود ظرفیت مزرعه کنترل می-شد)، با استفاده از میکرولایسیمتر و به روش وزنی اندازه گیری و ثبت شد. داده‌های هواشناسی از قبیل دمای بیشینه و کمینه، رطوبت نسبی هوا، سرعت باد و تشعشع بطور همزمان در داخل گلخانه اندازه گیری گردید. کلیه داده‌ها بطور روزانه ثبت شده اند.

### روش‌های محاسبه تبخیر-تعرق استاندارد گیاه مرجع چمن

۱-معادله پنمن-مانتیث- فائو

این معادله که از اصلاحات انجام شده توسط کارشناسان FAO روی معادله پنمن-مانتیث بدست آمده به عنوان مرجع در شرایط خارج از گلخانه پذیرفته شده است و به صورت زیر بیان می‌شود.

(۱)

$$ET_0 = \frac{0.408\left[\Delta\left(R_n - G\right) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 \left(e_s - e_a\right)\right]}{\Delta + \gamma\left(1 + 0.34\, U_2\right)}$$

[1] - FAO-Penman-Mantith
[2] - Turc
[3]- Mac King
[4] - Prestly-Tylr
[5] -Belany-Kridel

که در آن

$ET_o$ : تبخیر- تعرق استاندارد سطح مرجع من بر حسب میلی متر در روز

$e_a, e_s$: فشار بخار اشباع و فشار واقعی بخار آب در هوا بر حسب میلی بار

$U_2$: سرعت باد در روز در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین m/s

$G,R_n$: برحسب $MJm^{-2}d^{-1}$

$\Delta$: شیب منحنی تغییرات فشار بخار اشباع ($e_s$) نسبت به درجه حرارت (T)

$\gamma$ : ثابت سایکرومتری بر حسب $Kpa\ c^{-1}$

۲- معادله بلانی-کریدل- فائو

در سال ۱۹۷۷ درونباس[1] و همکاران برای اینکه تعریف بهتری از اثر اقلیم را بر روی آب مورد نیاز گیاه با استفاده از رابطه بلانی کریدل ارائه بدهند روش اصلاح شده بلانی کریدل را برای برآورد $ET_o$ توصیه نمودند رابطه اصلاح شده بلانی و کریدل به صورت زیر است

$$ETo = C \times [P(0.46T + 8)] \qquad (۲)$$

در رابطه اصلاح شده (معادله ۱-۲) با استفاده از آمار درجه حرارت اندازه گیری شده و همچنین منظور نمودن میزان رطوبت و تابش و باد برآورد بهتری از اثر اقلیم روی تبخیر- تعرق بدست می آید در این رابطه

ETo : تبخیر- تعرق گیاه مرجع بر حسب میلی متر در روز (میانگین در طول ماه)

T : میانگین حرارت روزانه در ماه مورد نظر بر حسب درجه سانتیگراد

P : درصد متوسط ساعات روشنایی روزانه در طول ماه که تابع عرض جغرافیایی، ماه و سال بوده که ازجداول مربوط بدست می آید.

C : فاکتور تعدیل کننده وابسته به حداقل رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد می باشد.

اعمال ضریب C بر روی ETo به صورت استفاده ازنمودار و با توجه به مقدار (۸+ T ۰/٤٦) P بوسیله دورنباس و همکاران ارائه شده است و در سال ۱۹۸٤ نامبردگان اعمال ضریب C بر روی (۸+ T ۰/٤٦) P و تعیین $ET_o$ را با استفاده از روابط تجربی زیر ارائه کرده ا ند.

$$ETo = a + bF \qquad (۳)$$

$$F = P(0.46T + 8) \qquad (٤)$$

$$a = 0.0043RH_{mean} - \frac{n}{N} - 1.41 \qquad (۵)$$

و در فرمولهای بالا داریم

$RH_{min}$ : حداقل رطوبت نسبی در طول دوره زمانی برآورد ETo

b : فاکتور تعدیل کننده است که در سال ۱۹۷۷ توسط دورنباس و پروئیت و در سال ۱۹۹۱ توسط پروئیت و همکاران زیر ارائه شده است.

---

[1] - Doorenbos

$$b = 0.908 - 0.00483\ RH_{min} + 0.7949 \times \left(\frac{n}{N}\right) + 0.0768\ [LnU_d + 1]^2 - 0.0038 \times RH_{min}\left(\frac{n}{N}\right) - 0.000433 \times RH_{min} \times (Ud) + 0.281\ Ln(U_d + 1) Ln\left(\frac{n}{N} + 1\right) - 0.00975 \times Ln(U_d + 1) \times \left[Ln(RH_{min} + 1)^2 \times Ln\left(\frac{n}{N} + 1\right)\right]$$

**۳-معادله تورک**

تورک[1] در سال ۱۹۶۱معادله زیر را برای محاسبه و تخمین تبخیر-تعرق روزانه پیشنهاد کرد.

$$ETo = a_T \times 0.013 \frac{T_{mean}}{T_{mean} + 15} \frac{23.8856 \times Rs + 50}{\lambda} \quad (۷)$$

که در آن

ETo: تبخیر-تعرق روزانه ($mm.d^{-1}$)

$T_{mean}$: دمای متوسط روزانه(C)

$a_T$: 1 برای $RH_{mean}>50\%$ و $a_T=1+(50-RH_{mean})/70$ برای $RH_{mean}<50\%$

Rs: تشعشع خورشیدی ($Mj.M^{-2}.d^{-1}$)

$\lambda$: گرمای نهان تبخیر($Mj.Kg^{-1}$)

**٤-معادله مک کینگ و FAO-Radiation**

در سال ۱۹۵۷ مک گینگ[2] معادله زیر را جهت محاسبه و تخمین تبخیر-تعرق برای چمن در دوره های ۱۰ روزه بدست آورد که در آن:

$$ET_0 = 0.61 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_s}{58.5} - 0.12 \quad (۸)$$

این روش براساس اندازه گیری تشعشع خورشیدی و درجه حرارت استوار است. وی اعتقاد دارد که هر چه درجه حرارت بیشتر شود مقادیر بیشتری از انرژی خورشید در تبخیر و تعرق مصرف می شود. دورنباس و پروت[3] در سال ۱۹۷۷ معادله مک کینگ را تصحیح کردند و به صورت زیر در آوردند.

$$ETo = a + b\left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}\right]\frac{Rs}{\lambda} \quad (۹)$$

a= -0/3

$$b = 1.0656 - 0.0012795 \times RH + 0.044953 \times Ud - 0.0002033 \times RH \times Ud - 0.00003150\ 8 \times RH2 - 0.0011026 \times Ud2 \quad (۱۰)$$

که در آن ETo و $\frac{Rs}{\lambda}$ بر حسب $mm.d^{-1}$ خواهد بود. به این معادله که توسط کارشناسان FAO اصلاح شده است، معادله FAO 24 Radiation اطلاق می‌شود.

**۵-معادله پرستلی-تیلور**

پریستلی و تیلور[1] در سال ۱۹۷۲ معادله ساده شده ای از روش ترکیبی را برای تعیین تبخیر پتانسیل ارائه دادند. در این فرمول قسمت آئرودینامیکی معادله حذف و قسمت مربوط به انرژی در یک ضریب ثابت (a=1/26) ضریب شده است معادله این دو محقق به شکل زیر می باشد.

---

1 - Turc
2 - Makking
3 - Doorenbos and Pruitt

$$\lambda E_p = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma}\left(Rn - G\right) \quad (۱۱)$$

**روش محاسبه پارامترهای اقلیمی**

تمامی پارامترهای اقلیمی که در این تحقیق برای محاسبه تبخیر–تعرق استاندارد گیاه مرجع چمن به کار برده شد، با استفاده از معادلات ارائه شده در نشریه شماره ۵۶ فائو، بدست آمده است.

## بحث و نتیجه‌گیری

**بهترین روش محاسبه تبخیر–تعرق استاندارد گیاه مرجع چمن**

برای تعیین بهترین روش محاسبه تبخیر–تعرق استاندارد گیاه مرجع چمن از آنالیز واریانس در مرحله اول و بررسی وجود همبستگی معنی‌دار بین مقادیر تبخیر–تعرق مشاهده‌ای و اندازه‌گیری شده در تمامی روش‌ها با استفاده از آزمون فرض، در مرحله بعد استفاده کردیم.

برای تعیین وجود همبستگی بین مقادیر مشاهده‌ای و اندازه‌گیری شده از آزمون فرض صفر و روابط زیر استفاده شد.

$$\begin{cases} H_o : r = o \\ H_1 : r \neq o \end{cases} \quad (۱۲)$$

$$t_0 = \frac{r\sqrt{n-2}}{1-r^2} \quad (۱۳)$$

در این روابط $H_o$ 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.

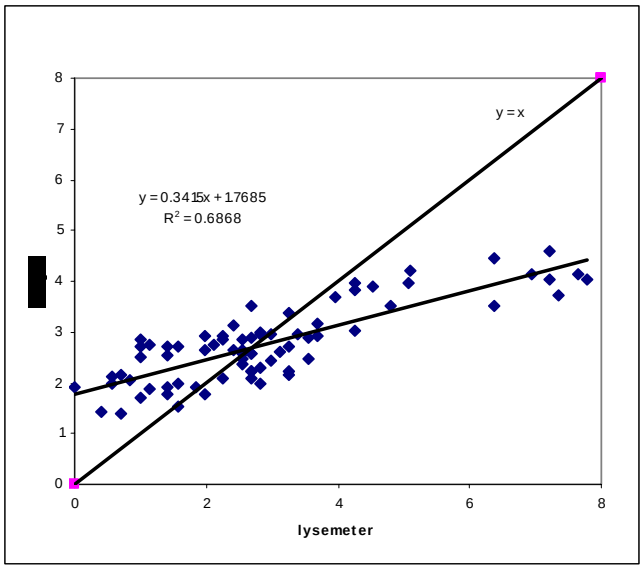
برای ساده تر شدن محاسبات ابتدا از جدول t_student مقدار بحرانی t استخراج شد. بر اساس این جدول $t_{0/025,72}$=1/76 است. سپس این مقدار به جای $t_o$ و در رابطه فوق قرار گرفت و مقدار بحرانی r در سطح احتمال ۹۵ درصد برابر ۰/۰۳۸ محاسبه شد.

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. در جدول ۱ خلاصه نتایج آنالیز واریانس برای روش‌های مختلف محاسبه تبخیر–تعرق استاندارد گیاه مرجع چمن در مقایسه با داده‌های لایسیمتری در محیط SAS نشان داده شده است. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، بهترین معادله در مقایسه با داده‌های لایسیمتری، معادله پنمن– مانتیث– فائو است که رابطه خطی آن با داده‌های لایسیمتری در نمودار ۱ نشان داده شده است.

در جدول ۲ نیز نتایج مقایسه میانگین روش‌های مختلف برآورد تبخیر–تعرق استاندارد گیاه مرجع چمن با استفاده از آزمون دانکن، ارائه شده است که در سطح اعتماد ۱٪ بیان گردیده است. همانطور که مشاهده می‌شود میانگین داده‌های محاسباتی، برای معادله مک کینگ در آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با معادله پنمن–مانتیث– فائو ندارد، در صورتی که برای بقیه معادلات این اختلاف معنی‌دار است.

---

[1] -Priestly- Taylor




**نمودار ۱:** *مقایسه داده‌های لایسیمتری با معادله پنمن-مانتیث- فائو*

**جدول ۱:** *نتایج آنالیز واریانس معادلات تعیین تبخیر-تعرق استاندارد گیاه مرجع چمن*

| | FAO 56-Penman-Montith | FAO24-Radiation | FAO24-Belany-Cridel | Prs-Tylr | Makk | Turc |
|---|---|---|---|---|---|---|
| RMSE | ۱/۴۳۵ | ۱/۶۴۲ | ۱/۶۴۱ | ۱/۵۰۱ | ۱/۴۸۲ | ۱/۵۷٤ |
| $MSE_s$ | ۲/۰۶۱ | ۳/۰۳۴ | ۲/۶۹۴ | ۲/۲۵۴ | ۲/۱۹۶ | ۲/٤۷۹ |
| F | ۰/۴۹ | ۲۱/۳۹ | ۲۰/۶۵ | ۳/۰۳ | ۰/۰۲ | ۷/۹۲ |
| $R^2$ | ۰/۶۸۸۶ | ۰/۵۳۸۴ | ۰/۴۸۹۶ | ۰/۵۸۷ | ۰/۵۲۱۸ | ۰/۵۳٦۹ |
| Pr>F | ۰/۴۸۴ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۸۳ | ۰/۸۷۶۸ | ۰/۰۰۵ |

**جدول ۲:** *نتایج آزمون دانکن برای کلیه روشها در سطح ۱٪*

| Duncan grouping | | | Mean | N | TRT |
|---|---|---|---|---|---|
| | B | | ۴/۲۶۸۱ | ۷۴ | FAO 24Rd |
| | B | | | | |
| | B | | ۴/۱۶۹۹ | ۷۴ | FAO 24BC |
| | C | | ۳/۶۷۲۰ | ۷۴ | turc |
| | C | | | | |
| D | C | | ۳/۳۷۳۴ | ۷۴ | Pres-tylr |
| D | | E | ۲/۹۸۱۴ | ۷۴ | makk |
| | | E | | | |
| | | E | ۲/۷۷۸۰ | ۷۴ | FAO 56 PM |

در جدول ۲ معادلاتی که با حروف یکسان در گروه‌های دانکن ( grouping Duncan) مشخص شده است تفاوت معنی‌داری در سطوح معین ندارند.

## منابع

۱- حسن نژاد عسگری، روشهای پیشرفته آبیاری در گلخانه(۱۳۸۰)، مجله مزرعه، شماره ٤٦، ص۲۸-۳۲

2- Baille M., A. Baille, D. Delmon (1994). Microclimate and Transpiration of Greenhouse Rose Crops Agric. For. Meteor.71(1-2), 83-97

3- De Graaf.R, P.Adams (1995). Influence of Moisture Dificit Leaf-air and Cultural Practices on Transpiration of Glasshouse Roses. Acta Horticulturae 401, 545-552

4- Maloupa.E, A.Papadopoulos, S.Beladenopoulou (1993). Evapotranspiration and Preliminary Crop Coefficiont of Gerbera Soil less Culture Grown In Plastic Greenhouse. Acta Horticulturae 335

5- Martinez.P.E, Y.M.M, Abdol Fattah, E.Maloupa, D.Gerasopoulos (1995). Effect of Substrate Warming in Soil less culture in Gerbera Crop Performance Under Saesonal Variations. Acta Horticulturae 408, 31-40

6- Pariani.S, A.Fraguas, D.Frezza (1993). Concumo de Agau del cultivo De tomato Bajo Invernaculo. Acta de XVI Congreso Argentino de Horticulturea. ASAHO p90