

## اصول و روش های برآورد نیاز آبی در گلخانه

جهانگیر عابدی کویابی<sup>۱</sup>، سید سعید اسلامیان<sup>۲</sup> و محمد جواد امیری<sup>۳</sup>

### چکیده

ایران با متوسط ریزش های آسمانی 252 میلیمتر در سال در زمره مناطق خشک جهان طبقه بندی می شود. محدودیت منابع آب مناسب، مشکلات ناشی از آبیاری بیش از نیاز گیاه و آلودگی آبهای زیرزمینی از عمده ترین تنگناها و مشکلات کشاورزی در این کشور می باشد. از طرف دیگر افزایش روز افزون جمعیت نیاز به تولید مواد غذایی بیشتر را ایجاد می کند. بنابراین یافتن راهکارهایی جهت غلبه بر کمبود آب در این مناطق همواره از اولویت های مطالعاتی و پژوهشی بوده است تا بتوان محصولات کشاورزی را برای این جمعیت رو به ازدیاد تولید نمود. امروزه با توجه به نیاز به بهره برداری بهینه از آب، خاک، نهاده ها و نیروی انسانی کشور در جهت رشد درآمد ناخالص ملی و تأمین مواد غذایی جمعیت رو به رشد کشور، برنامه های احداث شهرک های گلخانه ای در دست اقدام است. با توجه به روند رو به رشد محصولات گلخانه ای در کشور، تخمین دقیق نیاز آبی این محصولات تا حدودی جوابگوی برخی مشکلات بیان شده خواهد بود. در شرایط کنترل شده گلخانه، تخمین دقیق تبخیر و تعرق برای تعیین میزان آب مورد نیاز گیاهان بسیار ضروری است. منظور از تبخیر- تعرق، مقدار آبی است که باید به گیاه داده شود تا در طول دوره رویش صرف تبخیر و تعرق نماید، رشد خود را تکمیل

---

<sup>1</sup> - دانشیار بخش مهندسی آب

<sup>2</sup> - دانشیار بخش مهندسی آب

<sup>3</sup> - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری وزهکشی، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

نموده و حداکثر مقدار محصول را تولید کند بدون آنکه با تنش آبی مواجه شود. چهار فاکتور مهم محیطی گلخانه یعنی شدت تابش نور، میزان CO<sub>2</sub>، دما و درصد رطوبت نسبی روی تبخیر- تعرق گیاهان گلخانه‌ای تأثیر بسزایی دارد و با توجه به متغیر بودن این چهار فاکتور تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع توسط روش‌های محاسباتی کاری مشکل می‌باشد. در مقاله حاضر انواع روش‌های برآورد نیاز آبی در گلخانه‌ها (تعیین و تخمین) و مزایا و معایب هر کدام بیان می‌شود.

**کلمات کلیدی:** برآورد نیاز آبی، گلخانه، محدودیت منابع آبی، تبخیر و تعرق

## مقدمه

در زنجیره آب، خاک-گیاه- اتمسفر آب مستقیماً از سطح خاک و یا توسط گیاه به داخل اتمسفر وارد می‌شود. انتقال آب از سطح خاک به هوا را تبخیر (evaporation) و خارج شدن آن از گیاه را تعرق (transpiration) گویند. این دو پدیده هر دو ماهیت تبخیری داشته و چون تفکیک آنها از یکدیگر امکان پذیر نمی‌باشد مجموعاً به نام تبخیر-تعرق (evapotranspiration) در نظر گرفته شده و با علامت ET نشان داده می‌شود. در شرایط کنترل شده گلخانه تخمین دقیق تبخیر- تعرق برای تعیین میزان آب مورد نیاز گیاهان بسیار ضروری است. حال قبل از بیان روشهای تعیین و تخمین تبخیر- تعرق در گلخانه ابتدا به بررسی چرخه و یا سیکل آب در گلخانه می‌پردازیم.

## چرخه آب در گلخانه

در گلخانه‌ها معادله بیلان آبی به صورت زیر نوشته می‌شود:

(1)

$$D_S = W - (D_R + E_S + T_R)$$

در این معادله:

$D_s$  = مقدار آب ذخیره شده در لایه زیرین خاک (ناحیه ریشه)

$W$  = نیاز آبیاری

$D_R$  = مقدار آب زهکشی

$E_s$  = مقدار تبخیر از خاک

$T_R$  = مقدار تفرق واقعی گیاه

تذکر: جدا کردن مقدار  $E_s$  و  $T_R$  از یکدیگر مشکل می باشد به همین دلیل به صورت  $ET = E_s + T_R$  به کار برده می شود.

برای تعیین مقدار آب مورد نیاز در گلخانه ( $W$ ) در بیلان آبی معادله (1) می بایست به طور دقیق سایر پارامترهای معادله را تعیین نماییم. در یک دوره طولانی تغییر در میزان و مقدار آب ناحیه ریشه ناچیز می باشد ( $D_s = 0$ ) و همچنین تبخیر از خاک اگر آبیاری در محیط بدون خاک انجام شود و یا خاک از مالچ و پلاستیک پوشیده شده باشد قابل صرفه نظر کردن است بنابراین معادله 1 به صورت زیر تبدیل می شود:

$$(2) \quad W = T_R + D_R = A - DW_p + D_R$$

در این معادله:

$W$  = نیاز آبیاری

$A$  = مقدار آب جذب شده توسط گیاه (شدت جذب آب)

$DW_p$  = مقدار آب ذخیره شده در ساختمان داخلی گیاه

$T_R =$  مقدار آب از دست داده شده توسط گیاه (تعرق)

$D_R =$  مقدار آب زهکشی

### جنبه های مهم در بررسی معادله بیلان آبی

1) آبیاری ( $W$ ) می تواند متوقف شود در حالی که تعرق ادامه می یابد و حتی در طول شب نیز تعرق می تواند نقش مهمی را در میزان گرمای گلخانه ایفا کند.

2) سرعت تعرق واقعی گیاه ( $T_R$ ) برابر است با ماکزیمم مقدار تعرق هنگامی که روزنه برگ کاملاً باز باشد. در شرایط گلخانه اگر کمبود آب رخ دهد روزنه های برگ بسته می شود و نتیجه آن کم شدن میزان فتوسنتز و تعرق می باشد.

3) سرعت جذب آب توسط گیاه ( $A$ ) به فاکتورهای بسیاری از جمله طول و سن ریشه های گیاه، پتانسیل آب خاک، مقدار تماس ریشه با خاک و سابقه استرسی که به گیاه در گذشته وارد شده است بستگی دارد به همین دلیل تعیین دقیق  $A$  بسیار مشکل است.

### برآورد تبخیر و تعرق در گلخانه

روش های برآورد تبخیر و تعرق در گلخانه به دو دسته روش های مستقیم و روش های محاسباتی تقسیم می شود که در روش های مستقیم با اندازه گیری تبخیر تعرق در گلخانه میزان آن تعیین می گردد، در حالی که در روش های محاسباتی سعی بر تخمین آن از طریق فرمول می باشد.

الف) روش های مستقیم

1) استفاده از 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 می شود، در آن وجود دارد.

$$(3) ET = I + P + SFI + LI + GW - RO - LO - L - DP - Drz (\theta_f - \theta_i)$$

$ET$ : تبخیر و تعرق (سانتی متر)

I: آبیاری (سانتی متر)

P: بارندگی (سانتی متر)

SFI: جریان سطحی ورودی به سطح خاک (سانتی متر)

LI: جریان زیر سطحی ورودی به حجم خاک (سانتی متر)

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

RO: رواناب سطحی که از زمین خارج می شود (سانتی متر)

LO: جریان آب زیر سطحی که از زمین خارج می شود (سانتی متر)

L: نیاز آبخوبی که عبارتست از مقدار آبی که باید از زمین خارج شود تا شوری خاک از درصد مورد نظر

افزایش پیدا نکند (سانتی متر)

DP: نفوذ عمقی (سانتی متر)

Drz: عمق توسعه ریشه

$\theta_f$ : رطوبت حجمی خاک در شروع دوره مورد نظر (اعشار)

$\theta_i$ : رطوبت حجمی خاک در انتهای دوره مورد نظر (اعشار)

لایسیمتر از نظر هیدرولوژی بخش مجزا و کنترل شده ای از خاک است که پارامترهای LO و LI، SFI در آن حذف شده و DP و L، GW، RO یا قابل اندازه گیری بوده یا حذف می شوند. بنابراین با اندازه گیری  $\theta_i$ ، P، D، ET میتوان ET را با دقت خیلی بالا بدست آورد. تعیین  $\Delta S$  (تغییر در ذخیره رطوبتی خاک) در لایسی مترها متفاوت است. برخی لایسی مترها وزنی بوده و می توان  $\Delta S$  را از روی وزن کردن تانک بدست آورد اما در لایسی مترهای غیر وزنی تعیین  $\Delta S$  با اندازه گیری رطوبت از طریق تانسیومتر یا TDR و یا در صورت امکان از طریق نمونه گیری نمونه از خاک صورت می گیرد اما به طور کل مشکلات احداث و هزینه نسبتاً زیاد لایسی مترها مانع از کاربرد عمومی آنها می شود و لذا این وسایل بیشتر در کارهای تحقیقاتی و یا واسنجی دیگر روشهای تخمین ET استفاده می شود.

## 2) استفاده از میکرو لایسیمتر

یک روش برای کاهش هزینه و فراهم کردن امکان ساخت لایسی مترهای متعدد استفاده از لایسی مترهای کوچک است. با توجه به فضای زیاد اشغال شده توسط لایسی متر در درون گلخانه Boast و همکاران (1986) با ارائه نوعی از لایسیمتر با نام micro lysimeter این مشکل را حل کرد. این لایسیمترها که مخصوص گلخانه است به ارتفاع 30 سانتیمتر و قطر 30 سانتیمتر است و دارای شیر تخلیه زه آب و صفحه مکش برای تخلیه کامل آب است. همچنین در این نوع لایسی متر از روش وزنی برای تعیین تغییرات رطوبت استفاده شد. تعادل آب ورودی و خروجی در میکرو لایسی متر با فرمول زیر نشان داده می شود.

$$P + I \pm RO = ET + D_p \pm \Delta S \quad (4)$$

P: بارندگی که مقدار آن در گلخانه صفر در نظر گرفته می شود.

ا : میزان آب آبیاری

ET : تبخیر تعرق

$D_p$  : نفوذ عمقی

RO : رواناب سطحی خارج شده از زمین که مقدار آن نیز صفر در نظر گرفته می‌شود.

$\Delta s$  : تغییر ذخیره رطوبتی خاک

ب) روش های محاسباتی

اندازه‌گیری مستقیم تبخیر تعرق بوسیله لایسیمتر معمولاً برای اکثر پروژه‌ها پرهزینه است. علاوه بر این زمان مورد نیاز برای یک پروژه تحقیقاتی کامل اغلب بیش از زمان موجود جهت طرح می‌باشد. به همین دلیل استفاده از معادلاتی که توانایی بر آورد تبخیر تعرق را دارا می‌باشد بسیار رایج است.

1) روش تشت تبخیر کلاس A

تشت تبخیر ساده ترین وسیله ای است که با آن می توان مقدار تبخیر را از یک سطح آزاد بدست آورد. در ایستگاههای هواشناسی معمولاً از تشت استاندارد کلاس A که ظرفی استوانه ای از جنس آهن گالوانیزه با قطر 121 سانتی متر و ارتفاع 25/4 سانتی متر می باشد استفاده می شود. در صورتی که مقدار تبخیر از تشت در یک دوره زمانی مشخص (ماه یا روز) برابر EP باشد تبخیر-تعرق سطح مرجع (ETO) در همان دوره برابر خواهد بود با:

$$(5) \quad ET_0 = K_p (E_p)$$

$ET_0$  = تبخیر و تعرق مرجع

$Kp =$  ضریب تشت

$Ep =$  تبخیر از تشت

روش تشت تبخیر کلاس A یکی از روشهای بسیار رایج در تخمین تبخیر و تعرق در گلخانه می باشد که به دلیل سادگی، هزینه نسبتاً پایین و توانایی تخمین تبخیر و تعرق روزانه به طور گسترده در جهان استفاده می شود. بیشترین دقت آن هر چند در دوره های کمتر از 5 روز می باشد. نتایج تحقیقات در مورد اینکه چه مقدار ضریب تشت ( $Kp$ ) می تواند درون گلخانه استفاده شود هنوز قطعی نمی باشد، به علاوه بعضی از تولید کنندگان اعتقاد دارند که اشغال کردن مساحت 10 متر مربع در گلخانه توسط تشت تبخیر کلاس A که به عنوان فضای از دست رفته شمرده می شود مناسب رشد نیست.  $Kp$  بر اساس سرعت باد، رطوبت نسبی، اندازه حاشیه گیاهان مجاور تعیین می گردد. برای انتخاب  $Kp$  این متغیرها می توانند در درون گلخانه بسادگی اندازه گیری شود. به هر حال Pradas (1986) در حالی که روی گیاه گوجه فرنگی درون گلخانه ای که با پلی اتیلن سبک پوشیده شده بود کار می کرد شباهتی را بین ضریب تشت ( $Kp$ ) و ضریب گیاهی ( $KC$ ) به دست آمده مشاهده کرد، مقدار ضریب گیاهی ( $KC$ ) را از روش های تجربی تعیین کرد و به این نتیجه رسید که ضریب تشت ( $Kp$ ) باید به یک خیلی نزدیک باشد. همچنین Martinez- Raya (1989) و Castilla (1990) مقدار ( $Kp$ ) را یک پیشنهاد کردند.

## 2) روش تشت کاهش یافته (reduced pan)

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 (1998) ارائه شد، استفاده می شود. این نوع تشت تبخیر ظرفی استوانه ای از جنس آهن



گالوانیزه با قطر 60 سانتیمتر و ارتفاع 20 سانتی متر می باشد. روش محاسبه تبخیر و تعرق مرجع در این تشت همانند تشت کلاس A می باشد که هر دو تشت بر روی یک تخته چوبی و با ارتفاع 0/15 متر بالاتر از سطح خاک قرار می گیرند. باید توجه شود که قرائت داده ها از هر دو تشت به صورت روزانه و در رأس ساعت 7 تا 8 صبح صورت می گیرد. Medeiros و همکاران (1997) نشان دادند که تبخیر از تشت کاهش یافته به طور میانگین 15٪ بیشتر از تشت کلاس A می باشد زمانی که هر دو درون گلخانه نصب شود.

### 3) تشت کلرادو

تشت فرورفته کلرادو به صورت یک مربع به اضلاع 92 سانتی متر و عمق 46 سانتی متر است که از ورق آهنی به ضخامت 3 میلیمتر ساخته می شود. این تشت در داخل زمین طوری نصب می شود که لبه آن 5 سانتی متر بالاتر از سطح خاک قرار گیرد. سطح آب برای اندازه گیری مشابه تشت کلاس A است. این تشت میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع را بهتر از تشت کلاس A برآورد می کند ولی به خاطر مشکلاتی از قبیل نصب و نگهداری و همچنین عدم رویت تشت از آن کاربرد آن کمتر است. به علت مشکلات مذکور از این تشت در گلخانه استفاده نمی شود

### معایب استفاده از تشت در گلخانه

- 1) نتایج حاصل از این روش فقط برای استفاده در همان محل آزمایش مناسب است.
- 2) به دلیل توزیع متغیر تابش ورودی در مکان های مختلف گلخانه و سایه اندازی گیاهان به علت عدم رعایت فاصله استاندارد تشت با گیاهان داخل گلخانه، استفاده از این روش ریسک بالایی را به همراه دارد.

- 3) محل قرارگیری تشت داخل گلخانه روی تخمین ETO تأثیر می گذارد.

در هر صورت استفاده از روش تشتت به خصوص تشتت کاهش یافته در شرایطی که هیچ نوع وسیله اندازه گیری دیگری در دسترس نباشد، به عنوان یک روش ساده و ارزان توصیه می گردد.

#### 4) اتمومتر (atmometer)

برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع در درون گلخانه از دو نوع اتمومتر یا بخارسنج استفاده می شود که شامل : Pich atmometer و modified atmometer می باشد. بخارسنج ها نسبتاً ارزان بوده که برای تخمین  $ET_0$  به کار می روند و دارای سطح متخلخل سرامیکی در modified atmometer و یا کاغذ تبخیر در Pich atmometer می باشند که به طور مداوم بوسیله آب تأمین می شود. بخارسنج اصلاح شده تشکیل شده از یک سطح متخلخل سرامیکی پوشیده شده با یک پارچه سبز رنگ کرباس که در بالای یک تانک استوانه ای آب نصب شده است. آب تقطیر شده بر روی سطح متخلخل سرامیکی که در زیر تانک استوانه ای قرار دارد بوسیله لوله مکندۀ فراهم می شود. فشار اتمسفر در درون تانک بوسیله یک سوراخ تهویه کوچک نگهداشته می شود. یک لوله شفاف پلاستیکی نیز در پهلو برای نشان دادن سطح آب در درون تانک نصب می شود. با پوشاندن کاشی بوسیله پارچه سبز رنگ کرباس بخارسنج شباهت پیدا می کند به میزان آب از دست رفته بوسیله آبیاری و میزان تبخیر و تعرق مرجع زمین چمن یونجه و همچنین این بخار سنج در ارتفاع 1/5 متری سطح خاک نصب می شود. Pich atmometer یک سیلندر شیشه ای با لوله درجه بندی 0 تا 300 میلی متر برای مخزن آب و قابلیت اندازه گیری تا 1 میلی متر تبخیر را دارد، در این نوع بخارسنج کاغذ تبخیر به ضخامت 32 میلی متر استفاده می گردد و همچنین این بخار سنج در ارتفاع 1/6 متری سطح خاک نصب می شود. Ferreira (1972)، نشان داد که تخمین  $ET_0$  بوسیله معادله پنمن مانیتث همبستگی خوبی با تخمین زده شده  $ET_0$  بوسیله بخارسنج Pich دارد.

## 5) روش تابش خورشیدی

انرژی ناشی از تابش خورشیدی در گلخانه موجب گرم شدن هوا و همچنین تبخیر تعرق می‌شود. در این زمان سهم انرژی که صرف تبخیر تعرق می‌شود، بسیار زیاد می‌باشد. این روش Solarimeter نامیده می‌شود که در این حالت تبخیر تعرق گیاه مرجع به صورت زیر برآورد می‌گردد.

$$ET_o = \frac{K * T * RG_o}{2.5} \quad (6)$$

K : ضریب تجربی معمولاً 0/6 تا 0/7 است

T : قابلیت عبور نور که با توجه به نوع پوشش گلخانه از جدول 1 تعیین می‌گردد.

RG<sub>o</sub> : تابش کلی بیرون از گلخانه ( MJm<sup>-2</sup>day<sup>-1</sup> )

ET<sub>o</sub> : تبخیر تعرق گیاه مرجع ( mm.day<sup>-1</sup> )

## جدول 1. قابلیت عبور نور با توجه به نوع پوشش گلخانه

Wavelength of radiation(nanometers) 380-2000	
Materials	T
Window glass	0.85
Fiberglass	0.88
Acrylic	0.92
Polycarbonate	0.85
Polyethylen	0.92
Acrylic,double layer extrusion	0.83
Polycarbonate,double layer extrusion	0.77
Wavelength of radiation(nanometers) 4000-10000	
Materials	T
Window glass	0.02
Fiberglass	0.02
Acrylic	0.02
Polycarbonate	0.01
Polyethylen	0.81
Acrylic,double layer extrusion	<0.02
Polycarbonate,double layer extrusion	<0.01

بسیاری از روش‌های اتوماتیک آبیاری درون گلخانه بر اساس این الگوریتم ساده پایه‌گذاری شده اند. این روش تنها نیاز به اندازه‌گیری پارامتر تابش خورشیدی بوسیله سنسورها و گیرنده‌های ساده و ارزان قیمت دارد. اندازه‌گیری تابش خورشیدی معمولاً یک مرحله عادی و لازم الاجرا در طرح و برنامه ریزی آبیاری گلخانه ای می باشد و در حالتی که دستگاه های اندازه گیری تابش خورشیدی در دسترس

نباشد از تخمین تابش خورشیدی استفاده می کنند. این روش معمولاً در هنگامی که دور آبیاری روزانه یا هفتگی باشد نتایج خوبی می دهد. اگر چه برای گیاهان بدون خاک دور آبیاری دارای تناوب بالا می باشد

## 6) روش پنمن - مانتیث

این روش یکی از روش‌های دقیق تخمین نیاز آبی بوده و در مطالعه‌ای که در آن نتایج حاصل از 20 روش مختلف محاسباتی با نتایج لایسیمتری در 13 منطقه مختلف آب و هوایی در سطح دنیا مورد مقایسه قرار گرفته با 1 درصد اختلاف ردیف اول را کسب نمود. در این روش فرض می‌شود کل سطح پوشش گیاهی، یک برگ بزرگ با روزه‌های موجود در آن است. استنگلینی سال (1987) فرمول پنمن مانتیث را جهت تخمین تبخیر تعرق در محیط گلخانه باز نگری کرد که به فرم زیر می باشد :

$$ET_0 = 2LAI \cdot \frac{1}{\lambda} \frac{\Delta(R_n - G) + K_t \cdot \frac{VPD \cdot \rho \cdot C_p}{r_a(T)}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)}$$

$$ET_0 = \left(\frac{mm}{day}\right) \text{ تبخیر تعرق گیاه مرجع}$$

$$R_n = \text{تابش خالص در سطح پوشش گیاه} (MJm^{-2}d^{-1})$$

$$LAI = \text{شاخص سطح برگ} (m^2m^{-2})$$

$$K_t = \text{فاکتور تبدیل واحد زمان} (86400 s \text{ day}^{-1} \text{ برای } ET_0 \text{ بر حسب } mm \text{ day}^{-1})$$

$$r_c = \text{مقاومت پوشش گیاهی} (sm^{-1}) \text{ که مقدار آن } 70 \text{ ثانیه بر متر در نظر گرفته می شود.}$$

$r_a$  = مقاومت آئرو دینامیک که مقدار آن 430 ثانیه بر متر در نظر گرفته می شود.

$C_p$  = گرمای ویژه هوا ( $MJkg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$ )

$\rho$  = چگالی هوا ( $\frac{kg}{m^3}$ )

$\lambda$  = گرمای نهان تبخیر ( $MJkg^{-1}$ )

$\Delta$  = شیب نمودار فشار بخار اشباع نسبت به دما ( $kPa^{\circ}C^{-1}$ )

$VPD$  = کمبود فشار بخار ( $kPa$ )

$G$  = شار گرما به داخل خاک که صفر در نظر گرفته می شود.

$\gamma$  = ضریب ثابت سایکرومتری ( $\frac{kPa}{^{\circ}C}$ )

## 7 مدل Kirda در تعیین تبخیر تعرق درون گلخانه

یک مدل تجربی است که در سال 1994 توسط Kirda و همکاران بسط داده شده و از سال 1998 به شکل کاملتری مورد استفاده قرار گرفته است. Kirda (1998) مدل معروف به نام خود را در مورد گوجه فرنگی، خیار و خربزه مورد استفاده قرار داد. این مدل تبخیر تعرق را با استفاده از دمای روزانه (T)، تبخیر از تشت (EP) و تشعشع درون گلخانه (R) تخمین می زند. وی درون گلخانه طرح آزمایش بلوکهای کامل تصادفی شامل دو برنامه ریزی آبیاری و چهار تکرار، در نظر گرفت. در این آزمایش 32 کرت وجود داشت و در هر کدام 16 بوته کاشته شد. داده های اقلیمی مانند دما، رطوبت و تشعشع به صورت میانگین ساعتی به طور اتوماتیک ثبت می شد. با توجه به معادله شماره 8 برای هر گیاه یک نمودار رسم شد و نتایج بدست آمده به مقادیر واقعی بسیار نزدیک بود ( $R^2=0.92$ ). در این مدل اگر

تبخیر از تشت ( $E_p$ ) تابعی از میانگین دمای روزانه ( $T$ ) و تشعشع ( $R$ ) در داخل گلخانه در نظر گرفته شود می توان رابطه ای به صورت معادله زیر برای آن فرض کرد.

$$(8) E_p = a_1 + a_2 T + a_3 R$$

$a_1, a_2, a_3$  ضرائب رگرسیون هستند که از رابطه رگرسیون دو متغیره بین  $E_p, T, R$  بدست می آیند. بخشی از تشعشع که صرف تبخیر تعرق می شود تحت عنوان معادل تشعشع تبخیر-تعرق خوانده شده و به صورت رابطه زیر قابل ذکر است:

$$(9) f = \frac{58.5 * ET_a}{R}$$

که در آن  $ET_a$  عبارت است از تبخیر تعرق واقعی گیاه بر حسب میلی متر.

با جایگذاری  $R$  از رابطه (9) در رابطه (8) و پس از مرتب سازی رابطه زیر حاصل می شود.

$$(10) ET_a = \frac{f(E_p - a_1 - a_2 T)}{58.5 a_3}$$

## نتیجه گیری

برنامه ریزی دقیق آبیاری گیاهان گلخانه ای بر پایه دانستن تبخیر و تعرق مرجع استوار است. همانطور که در روش های فوق بیان شد مشکلات احداث و هزینه نسبتاً زیاد لایسی مترها مانع از کاربرد عمومی آنها می شود و لذا این وسایل بیشتر در کارهای تحقیقاتی و یا واسنجی دیگر روشهای تخمین  $ET$  استفاده می شود. از طرفی روش دقیق پنمن مانیتث نیز نیاز به دانستن اطلاعات هواشناسی و وسایل اندازه گیری است. بنابراین سعی می شود که از تشت ها یا اتمومترها استفاده گردد. Flavio و همکاران (2003) با مقایسه روش های  $modified atmometer, Pich atmometer$ ، تشت

کاهش یافته و تشت کلاس A با معادله پنمن مانیتث در گلخانه نشان دادند که بخارسنج اصلاح شده، بخارسنج پیچ، تشت کاهش یافته و تشت کلاس A به ترتیب دارای بیشترین دقت در اندازه گیری تبخیر و تعرق هستند. روش تابش خورشیدی یک روش رایج در محاسبه تبخیر و تعرق در گلخانه می باشد که در صورت داشتن سنسور خورشیدی به راحتی می توان از ان روش استفاده کرد.



- [1] شاهین رخسار، پ. سلامتیان، ا. 1380. "تخمین تبخیر- تعرق در گلخانه". سومین همایش سراسری دانشجویان و دانش آموختگان مهندسی آبیاری، دانشگاه مازندران، لوح فشرده.
- [ 2 ] علیزاده. ا. 1383. *رابطه آب و خاک و گیاه*. انتشارات آستان قدس رضوی. 470 صفحه
- [3] Baille, A., 2000. "Principle and methods for predicting crop water requirement in greenhouse environments". *CIHEAM options mediterraneennes*, 31(1): 177-187.
- [4] Doorenbos, J. and Pruitt, W. O., 1977. "Crop Water Requirements". *FAO Irrigation and Drainage Paper, Bull. FAO. No . 24*,144 p.
- [5] Flavio F, Blanco, Marcos V, Folegatti, 2004. Evaluation of evaporation-measuring equipments for estimating evapotranspiration within a greenhouse. *Soil and Water Management*.vol 8 no.2-3.
- [6] Kirda, C. et al. 1998. Evapotranspiration Measurements of Greenhouse Grown Tomato, Melon and Cucumber. *International Symposiom on Arid Region Soils*. 21-24sep, Izmir-Turkey
- [7] Mpusia, P. T., 2006. "Comparison of water consumption between greenhouse and outdoor cultivation". *International Institute For Geo-Information Science*,The Netherland.