ارزیابی دقت نرم افزار CropWat در تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع در منطقه اصفهان

Evaluation of FAO Penman-Monteith Method Accuracy to Estimating Evapotranspiration in Isfahan Region

پیام نجفی [۱] ، مصطفی ستار [۲]

۱ – استادیار دانشکده کشاورزی،دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان، صندوق پستی ۱۵۸–۸۱۵۹۵ ،

پست الکترونیک: p_najafi@khuisf.ac.ir

۲– عضو هیات علمی (بازنشسته) مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان

Archive of SID

چکیده

تبخیر و تعرق یکی از فاکتورهای اساسی در بهبود کارآیی مصرف است. غالب مدل‌ها، تبخیر و تعرق را به وسیله تبخیر و تعرق پتاسیل ارزیابی می‌کنند. به منظور ارزیابی تبخیر و تعرق پتاسیل (ET_0) طی ۵۰ سال گذشته معادلات مختلفی ارائه شده است. در این شرایط ضروری بوده است که یک روش استاندارد با قابلیت جهانی ارائه شود. به این منظور فائو(FAO) شماره ۵۶ روش فائو پنمن مانتیث را به عنوان روش استاندارد معرفی کرده است. هدف از این تحقیق ارزیابی دقت نرم‌افزار CropWat در منطقه اصفهان است. برای این منظور از داده‌های لایسی متری گیاه مرجع چمن منطقه کبوتر آباد اصفهان مربوط به سال‌های ۱۳۷۲ لغایت ۱۳۷۷ استفاده شده است. برای مقایسه داده‌های لایسیمتری با داده‌های حاصل از نرم‌افزار، سه پارامتر آماری متوسط قدر مطلق خطای نسبی (MARE)، مجذور میانگین اختلاف مربعات (RMSD) و ضریب همبستگی (R^2) مبنا قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در مقادیر متوسط MARE، RMSD و R^2 به ترتیب ۲۱درصد، ۱/۴ و ۸۱ درصد برآورد شده است. آنالیز حساسیت مدل نیز نشان می‌دهد که به جز در حالتی که سرعت باد بیشتر از ۱ متر بر ثانیه و ET_0 کمتر از ۶ میلی‌متر بر روز باشد، در بقیه حالت‌ها میزان خطای برآورد کاهش نیافت. لذا بر اساس داده‌های لایسیمتری منطقه نتایج CropWat اصلاح گردد.

کلمات کلیدی: تبخیر و تعرق پتاسیل، CropWat، روش پنمن مانتیث، قدر مطلق خطای نسبی، مجذور اختلاف مربعات، ضریب همبستگی

www.SID.ir

مقدمه

بررسی میزان تبخیر و تعرق یکی از اساسی‌ترین نیازهای طراحی سیستم آبیاری و ساختمانهای ذخیره و انتقال آب می‌باشد. تخمین دقیق تبخیر و تعرق گیاهان از جمله مهمترین پارامترهای مؤثر در ارتقاء سطح بهره‌برداری از منابع آب در کشاورزی است. از سویی غالباً تبخیر و تعرق گیاهان به تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل وابسته است . لذا در طی نیم قرن گذشته دهها روش ارزیابی تبخیر و تعرق پتانسیل در مناطق مختلف ارائه شده است (Burman and Pochop, 1992). بررسی میزان تبخیر و تعرق یکی از اساسی‌ترین نیازهای طراحی سیستم آبیاری و ساختمان‌ها ذخیره و انتقال آب می‌باشد. خطا در ارزیابی پارامتر مذکور، می تواند در عملکرد محصولات یا راندمان آبیاری تأثیر منفی داشته باشد. خصوصاً در کشور ما که از لحاظ منابع آب دچار کمبود است و ارزیابی دقیق نیاز آبی، یک ضرورت اجتناب ناپذیر است.

محاسبه این معیار، از طریق تبخیر و تعرق گیاه مرجع انجام می‌شود و چون عوامل بسیاری روی تبخیر و تعرق مؤثر است از این رو روش‌های مختلفی برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع پیشنهاد شده است. از جمله معروف‌ترین این روش‌ها، روش پنمن – مانتیث است.

در سال ۱۹۴۹، پنمن[1] اولین رابطه ترکیبی خود را ارائه داد. این روش از ترکیب تئوری تراز انرژی با توابع آئرودینامیکی به دست آمده است (Kotsopoulos *et al.*, 1997). مانتیث[2] (۱۹۶۵) در روش پنمن پارامترهای مربوط به مقاومت روزنه‌های تاج گیاه و مقاومت آئرودینامیکی را وارد نمود. معادله اولیه پنمن – مانتیث با ترکیب روابط مربوط به مقاومت روزنه های تاج گیاه و مقاومت آئرودینامیکی تحت عنوان معادله پنمن – مانتیث -فائو ارائه گردید (Allen *et al.*, 1998) آلن و همکاران (۱۹۹۸) در نشریه ۵۶ فائو روش مذکور را به عنوان یک روش استاندارد جهانی معرفی می کند که به شکل زیر ارائه شده است:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \qquad (1)$$

که در آن

ET_o تبخیر و تعرق گیاه مرجع $[mm\ day^{-1}]$

[1] Penman
[2] Monteith

Archive of SID

www.SID.ir

R_n تشعشع خالص در سطح محصول $[MJ\ m^{-2}\ day^{-1}]$

G شدت جریان گرمایی خاک $[MJ\ m^{-2}\ day^{-1}]$

T متوسط روزانه درجه حرارت هوا در ارتفاع ۲ متری $U[C]$

U_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری $[ms^{-1}]$

es فشار بخار اشباع $[KPa]$

e_a فشار بخار حقیقی $[KPa]$

$e_s - e_a$ کمبود فشار بخار اشباع $[KPa]$

γ ثابت سایکرومتری $[KPa^0C^{-1}]$

Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع بر حسب $kPaK^{-1}$

CropWat توسط بخش توسعه آب و زمین (AGLW) سازمان خوار و بارو کشاورزی جهانی، FAO، طراحی شده است (Smith, 1993). این نرم افزار، برنامه‌ای است که از طریق روش پنمن – مانتیث- فائو تبخیر و تعرق گیاه مرجع را به صورت ماهیانه محاسبه می‌کند و نتایج آن را در محاسبه نیاز آبی گیاهان و برنامه ریزی آبیاری به کار می‌برد. آخرین نسخهٔ CropWat قادر است نیاز آبی بالغ بر ۳۰ محصول مختلف را به صورت ترکیبی ارزیابی و برای هر یک از محصولات، برنامهٔ آبیاری ارائه نماید. همچنین در صورت ورود داده‌های رطوبتی خاک، ابزار مفیدی جهت مدیریت نقصان رطوبتی خواهد بود (Allen *et al.*, 1998).

هدف از این تحقیق، ارزیابی دقت نرم افزار CropWat یا روش پنمن مانتیث فائو در ارزیابی تبخیر و تعرق پتاسیل در برخی نقاط خشک و نیمه خشک ایران با کمک داده‌های لایسیمتری چمن است. نتایج این تحقیق با توجه به اینکه در حال حاضر بسیاری محاسبات نیاز آبی در پروژه‌های عمرانی و مطالعاتی کشور، این نرم افزار می‌تواند در برنامه‌ریزی دقیق‌تر رهگشا باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه اصفهان دارای اقلیم خشک با دوره خشکی نسبتاً طولانی است و غالباً در تابستان فاقد بارندگی‌است. متوسط بارندگی منطقه ۱۲۰ میلی‌متردر سال و متوسط درجه حرارت حداکثر و حداقل سالیانه به ترتیب ۲۳/۱ و ۹/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (ستار،۱۳۷۷).

Archive of SID

www.SID.ir

به منظور اجرای این تحقیق از داده‌های لایسیمتری ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد اصفهان از سال ۱۳۷۲ لغایت ۱۳۷۷ استفاده شده است. ایستگاه تحقیقات کشاورزی و هواشناسی کبوترآباد با موقعیت ´۳۱ ، °۳۳ شمالی و ´۵۱ ، °۵۱ شرقی و با ارتفاع ۱۵٤۵ متر از سطح دریا قرار دارد. لایسیمترهای مورد استفاده از نوع زهکش‌دار با ابعاد ۱/۲×۲×۱ متر بوده و در محوطه چمن کاری شده نصب گردیده بودند. بافت خاک از جنس رسی سیلتی و مکش رطوبتی خاک همواره توسط تانسیومترهای نصب شده در عمق‌های ۳۰ و ٦۰ سانتی‌متر کنترل گردیده است. هر وقت قرائت تانسیومتر نصب شده در عمق ۳۰ سانتی‌متر از ٤۰ سانتی‌بار بیشتر می‌شد، آبیاری صورت می‌گرفت. بعد از هر آبیاری، آب داده شده به داخل لایسیمتری اندازه‌گیری شده و همچنین در فاصله بین هر دو آبیاری، مقدار زه‌آب با ظروف مدرج بر حسب میلی‌لیتر اندازه‌گیری و سپس به مقادیر عمق معادل زه‌آب تبدیل شده است. اختلاف رطوبت خاک بین دو آبیاری صفر فرض شده است.

همچنین پارامترهای هواشناسی مورد نیاز و میزان بارش، از ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد که در فاصله ۲۰۰ متری محل تحقیق قرار دارد، جمع‌آوری گردید.

در ایستگاه مورد مطالعه در طول فصل زراعی با اندازه‌گیری میزان بارندگی و آب آبیاری و زه‌آب خروجی، میزان تبخیر و تعرق پتانسیل چمن از رابطه زیر محاسبه شده است:

$$ET_0 = P + I - D + \Delta S \qquad (2)$$

که در آن ET_0 تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (چمن) به میلی‌متر، P میزان بارندگی بر حسب میلی‌متر، I میزان ارتفاع آب آبیاری بر حسب میلی‌متر، D میزان عمق آب زهکشی خارج شده از لایسیمتر بر حسب میلی‌متر و نهایتاً ΔS تغییرات رطوبت خاک در ابتدا و انتهای دوره اندازه‌گیری بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

به منظوریافتن دقت نرم‌افزار مذکور نتایج هر یک از مناطق با داده‌های لایسیمتری هر منطقه مورد مقایسه قرار گرفت. مقایسه نتایج بر مبنای داده‌های لایسیمتری از پارامترهای متوسط قدر مطلق خطای نسبی (MARE)[1]، مجذور متوسط اختلاف مربعات (RMSD)[2] و ضریب همبستگی (R^2)[3] استفاده شده است که به ترتیب از روابط زیر بدست می‌آیند (Jacovides and Kontoyiannis, 1995; Kotsopoulos and Babajimopoulos, 1997) :

[1] Mean Absolute Relative Error
[2] Root of Mean Square Difference
[3] Correlation Coefficient

Archive of SID

www.SID.ir

$$MARE = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{ABS(L_i - C_i)}{L_i}}{N} \times 100 \quad (3)$$

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(L_i - C_i)^2}{N}} \quad (4)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{N} L_i C_i - nLC}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^{N} L_i^2 - NL^2\right)\left(\sum_{i=1}^{N} C_i^2 - NC^2\right)}} \quad (5)$$

که در آنها L_i تبخیر و تعرق پتانسیل حاصل از لایسیمتری در ماه مورد نظر (i)

C_i تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده در یک روش در ماه مورد نظر (i)

N تعداد کل ماه‌های مورد مطالعه

L میانگین داده‌های لایسیمتری

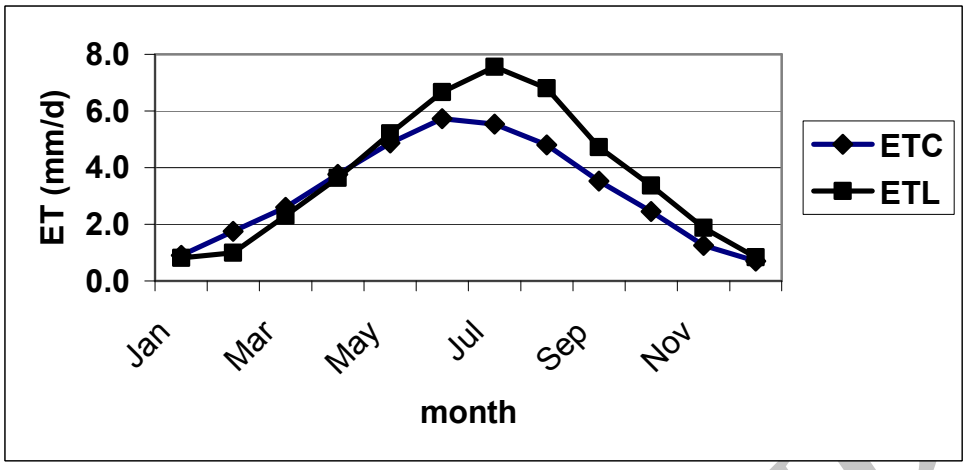
C میانگین داده‌های محاسباتی در نرم‌افزار

نتایج و بحث

شکل ۱ میانگین تبخیر وتعرق گیاه مرجع چمن در طی ماه‌های مختلف سال‌های مورد مطالعه را برای منطقه کبوترآباد اصفهان نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، نمودارهای میانگین داده‌های محاسبه شده در لایسیمتر و CropWat در ماه‌های گرم سال از یکدیگر فاصله بیشتری گرفته‌اند. همچنین در ماه‌های زمستان مقدار تبخیر و تعرق محاسبه شده در نرم‌افزار بیشتر از نتایج لایسیمتری محاسبه شده است، در حالی که در سایر ماه‌های سال این وضعیت بر عکس می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱ - مقایسه مقادیر متوسط تبخیر و تعرق پتاسیل محاسبه شده در لایسیمتر (ET_L) و نرم‌افزار CropWat (ET_C) در طی ماه‌های سال در منطقه کبوترآباد، اصفهان

Figure 1. Comparison Between Average of ET_0 Estimated by lysimeter (ET_L) and ET_0 Calculated by CropWat Software (ET_C) in Different Months at Kaboutarabad, Isfahan

جدول ۱ میانگین تبخیر و تعرق پتاسیل حاصل از لایسیمتری و نرم‌افزار CropWat و دامنه نوسانات هر یک را نشان می‌دهد. همچنین مقادیر پارامترهای آماری استفاده شده به منظور مقایسه مقادیر به تفکیک ارائه شده است. بر اساس این جدول به طور متوسط تبخیر و تعرق در لایسیمتر و CropWat به ترتیب ۵/۲ و ۴/۱ میلی‌متر در روز برآورد شده است. به علاوه با وجود آن که حداقل برآورد این دو روش تفاوت چندانی با یکدیگر نداشته‌اند، حداکثر برآورد، تفاوت قابل توجهی نشان می‌دهد، به طوری که در شرایطی که حداکثر برآورد تبخیر و تعرق پتاسیل در لایسیمتر ۹/۱ میلی‌متر در روز بوده، این مقدار در روش CropWat ۵/۹ میلی‌متر در روز محاسبه شده است. این مطلب نشان می‌دهد دقت نرم‌افزار مذکور با افزایش تبخیر و تعرق به شدت کاهش می‌یابد و از حساسیت لازم در این شرایط برخوردار نیست. بر این مبنا، میزان خطای برآورد CropWat بین ۳/۷ تا ۳۶/۸ درصد متغیر بوده است و به طور متوسط ۲۱ درصد خطا نشان داده است. همچنین این جدول نشان می‌دهد مجذور میانگین اختلاف مربعات به طور متوسط معادل ۱/۴ را نشان می‌دهد. این مقادیر نشان می‌دهد نرم‌افزار مذکور دقت کافی در تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن را ندارد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- مقایسه نتایج حاصل از CropWat با داده های لایسیمتری در منطقه کبوترآباد اصفهان

Table 1. Comparison of CropWat Results with Lysimeter data in Kaboutarabad, Isfahan

Factors	ET (mm/d)		MARE (%)	RMSD	R^2 (%)
	L^1	C^2			
Average	5.2	4.1	21	1.42	82
Rang	0.7-5.9	0.8-9.1	3.7-36.8		

1-ET_L estimated by lysimeter
2-ET_C calculated by CropWat software

شکل ۲ ضریب همبستگی و معادله رگرسیون خطی بین داده‌های حاصل از نرم‌افزار CropWat و داده‌های لایسیمتری را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل ضریب همبستگی بین این دو سری داده ۸۲ درصد بوده است. در این حالت به منظور اصلاح نتایج CropWat در منطقه مورد مطالعه بر مبنای داده‌های لایسیمتری از رابطه استفاده می‌شود:

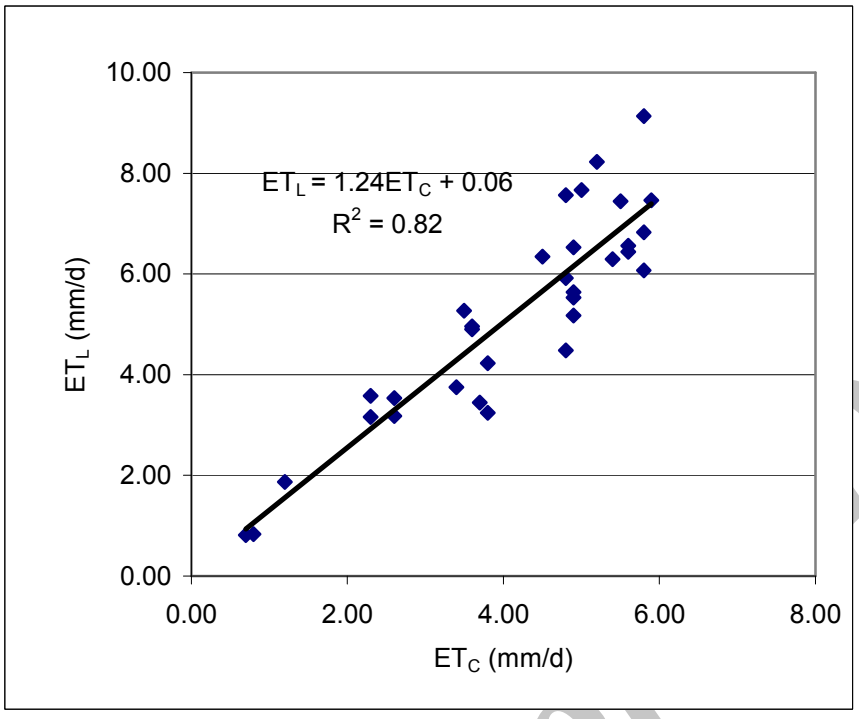
$$ET_0 = 1.24ET_C + 0.06; R^2 = 0.82 \qquad (6)$$

که در آن ET_0 تبخیر و تعرق پتاسیل اصلاح شده در منطقه بر اساس داده‌های لایسیمتری بر حسب میلی‌متر بر روز

ET_C تبخیر و تعرق پتاسیل محاسبه شده در نرم‌افزار CropWat بر حسب میلی‌متر بر روز

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲- رگرسیون خطی بین داده‌های تبخیر و تعرق محاسبه شده در CropWat (ET_C) داده‌های لایسیمتری (ET_L)

Figure 2.TheL iner Regression Between ET_0 Calculated by CropWat Software (ET_C) and ET_0 Estimated by Lysimeter (ET_L)

به منظور یافتن علت خطای برآورد روش مذکور نسبت به داده‌های لایسیمتری، آنالیز حساسیت عوامل مختلف هواشناسی صورت گرفت و نتایج بررسی نشان داد که عامل سرعت باد در تبخیر و تعرق کمتر و بیشتر از ۶ میلی‌متر در روز روی میزان خطای برآورد تاثیر دارد. جدول ۲ اثر سرعت باد را در دو سطح تبخیر و تعرق کمتر و بیشتر از ۶ میلی‌متر در روز نشان می‌دهد. بر اساس این جدول کمترین خطای برآورد زمانی رخ داده است که سرعت باد بیشتر از ۱ متر بر ثانیه و تبخیر و تعرق کمتر از ۶ میلی‌متر بوده، به طوری که خطای برآورد ۹ درصد و مجذور میانگین اختلاف مربعات کمتر ۰/۵ شده است. در واقع این جدول بیانگر آن است که در مواقعی که با سرعت باد کم و در مناطقی که سرعت باد متوسط تا زیاد است و شدت تبخیر و تعرق نیز زیاد (بیشتر از ۶) باشد، دقت نرم‌افزار CropWat کاهش می‌یابد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- اثر سرعت باد در دو سطح تبخیر و تعرق کمتر و بیشتر از ۶ میلی‌متر در روز بر روی میزان دقت نرم‌افزار CropWat

Table 2. Effects of Wind Speed in ET_L<6 mm/d and ET_L>6 mm/d on CropWat Accuracy

Wind speed m/s	ET_L mm/d	MARE (%)	RMSD
<1	<6	20	0.91
<1	>6	24	2
>1	<6	9.5	0.5
>1	>6	21	1.6

به منظور اصلاح معادله بر اساس داده‌های لایسیمتری در چهار حالت فوق از رگرسیون خطی استفاده شد. اگر سرعت باد کمتر از ۱ متر در ثانیه و تبخیر و تعرق کمتر ۶ میلی‌متر در روز باشد، آنگاه معادله رگرسیون خطی به شکل زیر در می‌آید:

$$ET_0 = 1.07ET_C + 0.23; R^2 = 0.84 \qquad (7)$$

در حالتی که سرعت باد کمتر از ۱ متر در ثانیه و تبخیر و تعرق پتانسیل بیشتر از ۶ میلی‌متر در روز باشد، رگرسیون خطی با ضریب همبستگی ۰/۶ به شکل زیر اصلاح گردید:

$$ET_0 = 0.15ET_C + 6.3; R^2 = 0.6 \qquad (8)$$

برای حالتی که سرعت باد بیشتر از ۱ متر در ثانیه و تبخیر و تعرق پتانسیل کمتر از ۶ میلی‌متر بر روز است، رگرسیون خطی معادله پنمن-مانتیث-فائو برمبنای داده‌های لایسیمتری مناطق مورد مطالعه، به شکل زیر و با ضریب همبستگی ۰/۶۷ در می‌آید:

$$ET_0 = 0.8ET_C + 1.13; R^2 = 0.67 \qquad (9)$$

در حالتی که سرعت باد بیشتر از ۱ متر در ثانیه و ۶ میلی‌متر در روز است، رابطه اصلی روش مورد مطالعه با ضریب همبستگی ۰/۴ به صورت زیر اصلاح می‌گردد:

$$ET_0 = 0.44ET_C + 2.16; R^2 = 0.4 \qquad (10)$$

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، منطقه کبوترآباد اصفهان انتخاب شد و با کمک نرم‌افزار CropWat دقت روش پنمن مانتیث بر مبنای داده‌های لایسیمتری گیاه مرجع چمن طی ۵ سال حد فاصل ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۷ ارزیابی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که روش دقت نرم‌افزار CropWat در محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع دارای خطای برآورد است، به طوری که میانگین درصد خطای نسبی آن به ۲۱ درصد می‌رسد. آنالیز حساسیت روی پارامترهای مختلف نشان می‌دهد که از میان عوامل مختلف، دو عامل سرعت باد و شدت تبخیر و تعرق در لایسیمتر در روی خطای برآورد عکس‌العمل نشان می‌دهند. بر این اساس بررسی‌های این تحقیق نشان داد که خطای برآورد نرم‌افزار مذکور در منطقه مورد مطالعه، در سرعت باد کم (کمتر از ۱ متر در ثانیه) زیاد است. همچنین در سرعت باد بیشتر از ۱ متر در ثانیه و تبخیر و تعرق پتاسیل بیشتر از ٦ میلی‌متر در روز نیز خطای برآورد بالایی نشان داده است. تنها در صورتی که سرعت باد بیشتر از ۱ متر در ثانیه و تبخیر و تعرق پتانسیل کمتر از ٦ میلی‌متر در روز باشد، می‌تواند برآورد قابل قبولی در منطقه داشته باشد.

منابع

ستار، م. ۱۳۷۷. تعیین میزان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع. گزارش نهایی، بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی استان اصفهان.

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RASE D. and SMITH, M. 1998. Crop evapotranspiration. **FAO Irrigation and Drainage paper**, No 56.

BURMAN, R.and POCHOP,L.O.1994.Evaporation,Evapotranspiration and climatic data. **Elsevier Science B.V.** 278 p.

JACOVIDES C. P. and KONTOYIANNIS, H. 1995 Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration computing models. **Agric. Water Manage.** 27, 365–371.

KOTSOPOULOS, S. and BABALIMOPOULOS, C. 1997. Analytical estimation of modeled penman equation parameters. **J. Irrig. and Drain. Eng.,** ASCE, Vol. 123, No 4, 253-256.

MONTEITH, J. L. 1965 Evaporation and the environment, In: The state and movement of water in living organisms, **XIXth**

Archive of SID

www.SID.ir

Symposiom. Soc. For Exp. Biol., Swansea, Cambridge Uni., Press, 205-234.

SMITH, M. 1993. CLIMWAT for CROPWAT, climatic database for irrigation planning and management. **FAO Irrigation and Drainage Paper 49,** Rome. 113 p.

Archive of SID

www.SID.ir