



ارزیابی مدل‌های تبخیر- تعرق گیاه مرجع برای اقلیم گرم و خشک (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک زاهدان)

پریسا کهخا مقدم*

عضو هیأت علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۹

چکیده

سابقه و هدف: تبخیر- تعرق (ET) مهم‌ترین پارامتر در مطالعات اقلیمی و هیدرولوژیکی و همچنین در مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری می‌باشد. برآورد تبخیر- تعرق مرجع (ET_0) به روشی ساده، مورد توجه زیادی، به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه، که در آن اطلاعات هواشناسی مورد نیاز برای روش استاندارد پنمن- مونتیت فائو (PMF-56) ناقص و یا در دسترس نمی‌باشد، قرار گرفته است. بنابراین هدف این پژوهش، ارزیابی و مقایسه ۳۰ روش مختلف برآورد تبخیر- تعرق مرجع با توجه به روش استاندارد پنمن- مونتیت فائو و تعیین بهترین معادله برآورد تبخیر- تعرق مرجع از میان روش‌های ساده تجربی، به‌عنوان جایگزین مناسب برای روش پنمن- مونتیت فائو، در اقلیم گرم و خشک شهرستان زاهدان می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش ۳۰ روش معمول برای برآورد تبخیر- تعرق شامل چهار گروه ۱- روش‌های بر پایه ضریب تشت، ۲- روش‌های بر پایه دما، ۳- روش‌های بر پایه تشعشع، و ۴- روش‌های بر پایه انتقال جرم، در مقایسه با روش PMF-56، برای برآورد ET_0 مورد بررسی قرار گرفتند و سپس بهترین و ضعیف‌ترین روش در هر گروه برای ایستگاه زاهدان با اقلیم گرم و خشک، انتخاب شدند.

یافته‌ها: در ابتدا، مقادیر میانگین ماهانه ET_0 (با استفاده از ۳۰ مدل ارائه شده) تعیین و سپس کارایی آن‌ها در مقایسه با ET_0 محاسبه شده با روش PMF-56، در هر گروه مورد ارزیابی قرار گرفت. ET_0 محاسبه شده از معادله اشنایدر (تورک) ($PE=6.52, NRMSE=0.03, R^2=0.96$) و دالتون ($PE=12.87, NRMSE=0.18, R^2=0.81$)، هارگریوز-۴ ($PE=8.31, NRMSE=0.06, R^2=0.86$)، هارگریوز-۴ ($PE=8.33, NRMSE=0.04, R^2=0.94$) به ترتیب از روش‌های بر پایه ضریب تشت، بر پایه دما، بر پایه تشعشع و بر پایه انتقال جرم، با کم‌ترین درصد خطا از هر گروه، بهترین برآورد را نسبت به روش PMF-56 نشان دادند.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، نتایج این پژوهش بیانگر این می‌باشد که روش‌های بر پایه انتقال جرم از نظر آماری ضعیف‌ترین عملکرد را نسبت به سایر روش‌ها در مقایسه با روش استاندارد نشان دادند؛ اما مدل‌های دمایی و تشعشعی مانند مدل تورک، جنسن- هیز، هارگریوز-۴ و بلانی- کریدل می‌توانند جایگزین مناسبی برای روش ترکیبی

* مسئول مکاتبه: keykhamoghadam.parisa@gmail.com

نسبتاً پیچیده پنمن- مونثیت فائو، برای اقلیم گرم و خشک شهرستان زاهدان باشند. با توجه به در دسترس نبودن اطلاعات کامل هواشناسی برای برآورد ET_0 با استفاده از مدل ترکیبی PMF-56 در بسیاری از مناطق جهان به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه و همچنین نقاط مختلف کشور ایران، نتایج این پژوهش می‌تواند برای انتخاب روش ساده محاسبه ET_0 به‌عنوان جایگزینی برای روش استاندارد در شرایط اقلیمی گرم و خشک مناسب باشد.

واژه‌های کلیدی: پنمن- مونثیت فائو، تورک، زاهدان، هارگریوز- سامانی

مقدمه

گرم و خشک در کشور ایران صورت نگرفته است. بنابراین هدف این پژوهش ارزیابی و مقایسه ۳۰ روش مختلف برآورد تبخیر- تعرق مرجع با توجه به روش استاندارد پنمن- مونثیت فائو و تعیین بهترین معادله برآورد تبخیر- تعرق مرجع از میان روش‌های ساده تجربی، به‌عنوان جایگزین مناسب برای روش پنمن- مونثیت فائو، در اقلیم گرم و خشک شهرستان زاهدان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: در این پژوهش شهرستان زاهدان (شکل ۱)، به‌ترتیب با طول و عرض جغرافیایی ۶۰ و ۲۹ درجه و ارتفاع ۱۳۷۰ متر از سطح دریا می‌باشد که با توجه به اقلیم‌نمای کوپن، در اقلیم گرم و خشک قرار می‌گیرد (۱۱). اطلاعات هواشناسی مورد استفاده شامل درجه حرارت‌های حداقل و حداکثر و میانگین، رطوبت‌های حداقل و حداکثر و میانگین، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، تبخیر از تشت، تعداد ساعات آفتابی و مقدار بارندگی در مقیاس روزانه برای دوره آماری ۵۵ ساله (۲۰۱۵-۱۹۶۱) می‌باشند. در این پژوهش به‌علت عدم وجود داده‌های دقیق لایسیمیتری در دوره درازمدت، از روش پنمن- مونثیت فائو به‌عنوان روش استاندارد جهت ارزیابی سایر روش‌ها استفاده شد (۲).

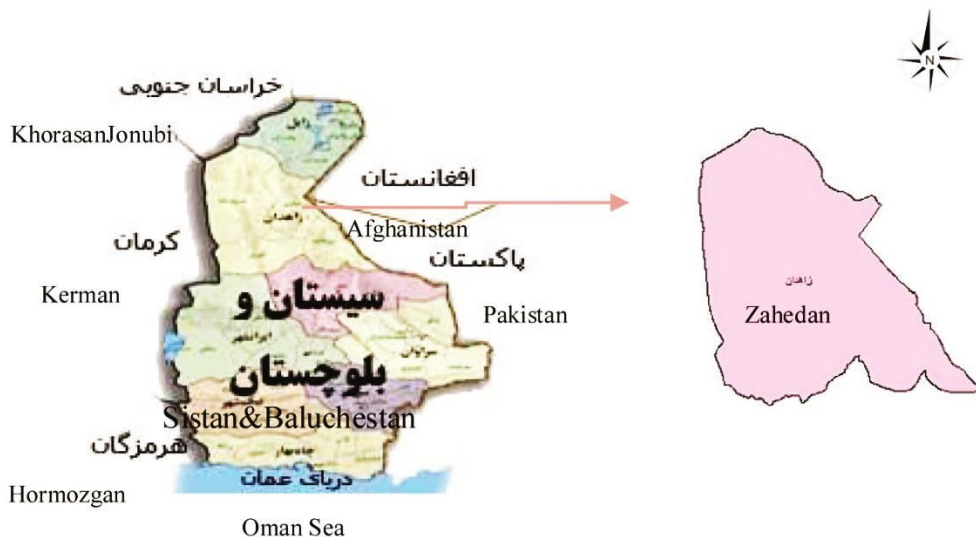
$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma[900/(T+273)]U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

برآورد دقیق تبخیر- تعرق (ET_0)، در تامین نیاز آبی گیاهان، برنامه‌ریزی آبیاری و مطالعه بیلان آب مخازن ضرورت دارد. معمولاً برای اندازه‌گیری تبخیر- تعرق از لایسومتر استفاده می‌شود. با این‌حال اندازه‌گیری تبخیر- تعرق با این روش پرهزینه بوده و نیازمند صرف وقت زیاد است. از این‌رو در غالب موارد، برای این کار از روش‌های غیرمستقیم که شامل طیف وسیعی از مدل‌های ساده تجربی (مانند روش‌های تشعشعی، دمایی، رطوبتی و تشت تبخیر) تا روش‌های پیچیده ترکیبی (مانند پنمن- مونثیت) است، استفاده می‌شود. مطالعات پیشین نشان می‌دهد که مقدار تخمینی ET_0 از روش پنمن- مونثیت فائو (PMF-56) در اقلیم‌های مختلف به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک‌تر است (۳). طبری و همکاران، روش‌های مختلف تبخیر- تعرق گیاه مرجع را برای ایستگاه رشت مورد مقایسه قرار دادند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که از بین پنج روش برگزیده دو معادله تشعشعی و دو معادله دمایی و یک معادله بر پایه ضریب تشت به‌ترتیب بیش‌ترین تطابق را با روش استاندارد PMF-56 دارند (۱۴). نتایج بیش‌تر پژوهش‌های پیشین بیانگر برتری روش‌های دمایی و تشعشعی در برآورد ET_0 می‌باشد (۶، ۷، ۱۳ و ۱۶). به‌نظر می‌رسد تا کنون مطالعه جامعی برای بررسی روش‌های ساده محاسبه ET_0 در شرایط آب‌وهوایی

دروگرس و آلن سه نوع جدید از مدل هارگریوز را پیشنهاد نمودند، که به ترتیب با هارگریوز ۱، هارگریوز ۲ و هارگریوز ۳ نشان داده می‌شوند (۴ و ۵). تراژکوویک معادله هارگریوز را واسنجی نمود که در این مطالعه با هارگریوز ۴ معرفی می‌شود (۱۵). در ادامه، مقادیر ET_0 روزانه محاسبه شده از روش‌های مختلف نسبت به مقادیر ET_0 روزانه روش استاندارد، با توجه به پارامترهای آماری ریشه مربع میانگین خطا نرمال شده (NRMSE)، درصد خطا (PE)، میزان متوسط انحراف از استاندارد (MBE) و ضریب تعیین (R^2) مورد ارزیابی قرار گرفت که هر کدام از پارامترهای آماری ذکر شده در زیر تعریف شده‌اند:

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n}}{\bar{O}} \quad (2)$$

که در آن، ET_0 تبخیر- تعرق گیاه مرجع R_n تابش خالص ورودی به سطح گیاه (mm/day) ، G شار گرمای خاک $(MJ m^{-2} d^{-1})$ ، T میانگین روزانه دمای هوا در ارتفاع دو متری (C°) ، U_2 میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری (m/s) ، $e_s - e_a$ کمبود فشار بخار اشباع (KPa) ، Δ شیب منحنی فشار بخار (KPa/C°) و γ ضریب ثابت سایکرومتری (KPa/C°) می‌باشد. در شرایط غیرمرجع باید داده‌های دما و رطوبت اصلاح گردیده و به شرایط مرجع (اطراف ایستگاه پوشیده از گیاه و خوب آبیاری شده باشد) نزدیک‌تر شوند، در این پژوهش برای تبدیل داده‌ها به شرایط مرجع از روش آلن و همکاران استفاده شد (۱). همچنین جهت برآورد ET_0 از مدل‌های بر پایه ضریب تشت، دما، تشعشع و انتقال جرم از روابط ارائه شده در جدول ۱ استفاده گردید.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه مورد بررسی.
Figure 1. The location of the station review.

جدول ۱- معادلات مورد استفاده برای محاسبه ET_0 .

Table 1. The equations used to calculated ET_0 .

شماره No.	روش‌های مبتنی بر ضریب تشعشع (Pan evaporation- based methods)	روش‌های مبتنی بر دما (Temperature-based methods)	روش‌های مبتنی بر تشعشع Radiation-based methods	روش‌های مبتنی بر انتقال جرم (Mass transfer-based methods)
1	کونینکا (Cuenca)	اس کندل (Schendel)	مک‌کینک (Makking)	دالتون (Dalton)
2	آلن و پرویت (Allen & Pruitt)	هارگریوز- ۱ (Hargreaves-1)	تورک (Turk)	ترابرت (Trabert)
3	اشنایدر (Snyder)	هارگریوز- ۲ (Hargreaves-2)	جنسن- هیز (Jensen-Haise)	مایر (Meyer)
4	اشنایدر اصلاح شده (M. Snyder)	هارگریوز- ۳ (Hargreaves-3)	پریستلی- تیلور (Priestley-Taylor)	راور (Rohwer)
5	پیرا (Pereira)	هارگریوز- ۴ (Hargreaves-4)	تابشی - فائو (FAO-24)	پنمن (Penman)
6	اورنگ (Orang)	بلانی- کریدل (Blaney-Criddle)		آلبرت (Albrecht)
7	راگوانشی و والندر (Raghuwanshi&Wallender)			روماننکو (Romanenko)
8	فائو ۵۶، آلن و همکاران (FAO- 56 pan)			بروکامپ و وئر (Brockamp&Wenner)
9				WMO
10				ماهرینگر (Mahringer)
	منبع (Reference)			
	(10)، (14)	(14)	(9)، (17)، (14)	(14)

که در آن، P_i و O_i به ترتیب مقادیر پیش‌بینی و مشاهده شده، \bar{P} و \bar{O} مقادیر میانگین P_i ، O_i و n تعداد کل داده‌ها می‌باشد.

$$PE = \left| \frac{\bar{P} - \bar{O}}{\bar{O}} \right| \times 100\% \quad (3)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (4)$$

نتایج و بحث

مقایسه روش‌های مبتنی بر ضریب تشعشع، دما، تشعشع و انتقال جرم با روش استاندارد، برای ایستگاه

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})]^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (5)$$

برآوردی از روش‌های دمایی و تشعشعی دارای خطای کم‌تری می‌باشند (۶). مطلوبیت روش‌های دمایی و تشعشعی این مناطق در مطالعات دیگر نیز اشاره شده است؛ که با نتایج پژوهش حاضر مبنی بر توصیه روش‌های دمایی و تشعشعی هم‌خوانی دارد (۸ و ۱۵). علت برتری روش‌های دمایی و تشعشعی در ایستگاه زاهدان را می‌توان تأثیر زیاد دما و تابش آفتاب در این ایستگاه دانست. سبزی‌پرور و همکاران نیز بیان نمودند که روش مناسب برآورد ET_0 در هر منطقه بستگی به اقلیم حاکم بر منطقه دارد (۱۲). با توجه به تجزیه و تحلیل آماری، به نظر می‌رسد که از میان مدل‌های مورد بررسی در این پژوهش، مدل‌های تشعشعی و دمایی، (با کم‌ترین مقدار درصد خطا و بالاترین مقادیر ضریب تعیین) روش مناسبی برای محاسبه تبخیر-تعرق در ایستگاه زاهدان و اقلیم‌های مشابه می‌باشند. برای این منظور، معادلات تورک، جنسن-هیز (روش تشعشعی) و هارگریوز-۴، بلانی-کریدل (روش دمایی) (با کم‌ترین مقدار $NRMSE$) برای ایستگاه یزد که دارای اقلیمی مشابه با اقلیم زاهدان (اقلیم گرم و خشک) می‌باشد، مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که برای ۴ روش ذکر شده، ضرایب تعیین بالاتر از ۰/۹۳ و درصد خطا کم‌تر از ۱۰/۱۸ و مقادیر ریشه مربع میانگین خطا نرمال شده کم‌تر از ۰/۰۸ می‌باشد.

زاهدان در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج آماری جدول ۲، از میان روش‌های مبتنی بر ضریب تشت، ET_0 محاسبه شده از معادله اشنایدر، با کم‌ترین درصد خطا ($NRMSE=0.06$ ، $PE=8.31$ ، $R^2=86$) بهترین برآورد را نسبت به روش استاندارد دارد. از میان روش‌های مبتنی بر دما، روش هارگریوز-۴ با بیش‌ترین ضریب تعیین و کم‌ترین درصد خطا ($R^2 = 0.94$ ، $NRMSE = 0.04$ ، $PE = 8.33$) بیش‌ترین تطابق را با روش استاندارد نشان می‌دهد. نتایج بیانگر این است که برای ایستگاه زاهدان، نسخه جدید معادله هارگریوز که توسط تراجکوویک مورد واسنجی قرار گرفت (هارگریوز-۴)، برآورد دقیق‌تری را نسبت به نسخه‌های قدیمی‌تر آن که توسط دروگرس و آلن (هارگریوز-۱، هارگریوز ۲ و هارگریوز ۳) صورت گرفت، را دارد. روش‌های تشعشعی، در مقایسه با روش‌های مبتنی بر ضریب تشت و مبتنی بر دما برآوردی نزدیک‌تر را با روش استاندارد نشان می‌دهند. در تمامی روش‌های تشعشعی ضریب تعیین بالاتر از ۰/۹۲ می‌باشد. همچنین، معادله تورک ($NRMSE=0.03$ ، $PE=6.52$) دارای بیش‌ترین تطابق با روش استاندارد می‌باشند. از میان روش‌های بر پایه انتقال جرم نیز، معادله دالتون ($R^2=0.81$ ، $NRMSE=0.18$ ، $PE=12.87$) دارای بالاترین تطابق با روش استاندارد می‌باشد. خوشحال و همکاران نشان دادند که در مناطق با اقلیم خشک، تبخیر-تعرق

جدول ۲- تجزیه تحلیل آماری مقادیر ماهانه ET_0 برآورد شده از روش‌های مورد استفاده در پژوهش در مقایسه با روش PMF-56 برای ایستگاه زاهدان (۱۹۶۱-۲۰۱۵).

Table 2. Statistical analysis monthly values ET_0 estimated by the methods used in this study in compared with PMF-56 model for Zahedan station (1961-2015).

میزان متوسط انحراف از استاندارد MBE (mm/d)	درصد خطا PE (%)	ریشه مربع میانگین خطا نرمال شده NRMSE (mm/d)	ضریب تعیین R^2	روش (Method)	
8.31	0.40	0.06	0.86	اشنایدر (Snyder)	
11.66	0.43	0.09	0.84	اورنگ (Orang)	
13.15	0.55	0.18	0.83	راگوانشی و والندر (Raghuwanshi & Wallender)	
15.12	0.85	0.25	0.82	اشنایدر اصلاح شده (M. Snyder)	روش‌های مبتنی بر ضریب تشت
15.94	1.28	0.34	0.81	پیرا (Pereira)	(Pan evaporation- based methods)
18.45	1.30	0.36	0.80	کونکا (Cuenca)	
14.32	1.31	0.33	0.81	فانو ۵۶، آلن و همکاران (FAO-56 pan)	
31.21	1.62	0.44	0.77	آلن و پرویت (Allen & Pruitt)	
43.11	-0.61	0.44	0.83	اس کندل (Schendel)	
34.67	-0.52	0.23	0.88	هارگریوز-۱ (Hargreaves-1)	روش‌های مبتنی بر دما (Temperature- based methods)
31.87	-0.31	0.25	0.87	هارگریوز-۲ (Hargreaves-2)	
27.11	-0.28	0.32	0.87	هارگریوز-۳ (Hargreaves-3)	
8.33	-0.15	0.04	0.94	هارگریوز-۴ (Hargreaves-4)	
9.11	-0.19	0.05	0.91	بلانی-کریدل (Blaney-Criddle)	
43.18	-0.83	0.20	0.93	مک‌کینک (Makking)	
6.52	0.04	0.03	0.96	تورک (Turk)	روش‌های مبتنی
11.16	-0.12	0.06	0.94	جنسن-هیز (Jensen-Haise)	بر تشعشع
18.20	-0.52	0.17	0.93	پریستلی-تیلور (Priestley-Taylor)	(Radiation- based methods)
32.41	-0.73	0.22	0.92	تابشی-فانو (FAO-24)	
12.87	0.35	0.18	0.81	دالتون (Dalton)	
52.60	0.51	0.62	0.67	ترابرت (Trabert)	
18.30	0.56	0.33	0.80	مایر (Meyer)	
29.32	-0.59	0.43	0.77	راور (Rohwer)	
14.18	0.47	0.18	0.81	پنمن (Penman)	روش‌های مبتنی
69.88	-0.65	0.60	0.64	آلبرت (Albrecht)	بر انتقال جرم
21.23	-0.51	0.39	0.75	روماننکو (Romanenko)	(Mass transfer- based methods)
44.56	-0.72	0.59	0.70	بروکمپ و ونر (Brockamp & Wenner)	
77.67	1.14	0.68	0.60	WMO	
53.72	1.02	0.64	0.69	ماهرینگر (Mahringer)	

جدول ۳- ارزیابی عملکرد ۴ مدل برگزیده محاسبه تبخیر- تعرق مرجع، برای ایستگاه یزد.

Table 3. Performance evaluation 4 best models for calculation ET_o, at Yazd station.

درصد خطا PE (%)	میزان متوسط انحراف از استاندارد MBE (mm/d)	مربع میانگین خطا نرمال شده NRMSE (mm/d)	ضریب تعیین R ²	روش (Methods)
9.32	-0.18	0.08	0.94	تورک (Turk)
6.34	-0.12	0.05	0.95	هارگریوز- ۴ (Hargreaves- 4)
5.12	0.09	0.03	0.97	بلانی- کریدل (Blaney-Criddle)
10.18	-0.19	0.07	0.93	جنسن- هیز (Jensen-Haise)

نتیجه گیری

تورک، جنسن- هیز، هارگریوز- ۴ و بلانی- کریدل می‌توانند جایگزین مناسبی برای روش ترکیبی نسبتاً پیچیده پنمن- مونتیت فائو، برای اقلیم گرم و خشک شهرستان زاهدان باشند. با توجه به در دسترس نبودن اطلاعات کامل هواشناسی برای برآورد ET_o با استفاده از مدل ترکیبی PMF-56 در بسیاری از مناطق جهان به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، نتایج این پژوهش می‌تواند برای انتخاب روش ساده محاسبه ET_o به‌عنوان جایگزینی برای روش استاندارد در شرایط اقلیمی گرم و خشک مناسب باشد.

در این مطالعه روابط مختلف برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع شامل ۸ روش بر پایه ضریب از تشت، ۶ روش بر پایه دما، ۵ روش بر پایه تشعشع و ۱۰ روش بر پایه انتقال جرم، در مقایسه با روش استاندارد PMF-56، برای ایستگاه گرم و خشک زاهدان بررسی شدند. با توجه به تجزیه و تحلیل آماری، نتایج این پژوهش بیانگر این می‌باشد که روش‌های بر پایه انتقال جرم از نظر آماری ضعیف‌ترین عملکرد را نسبت به سایر روش‌ها در مقایسه با روش استاندارد نشان دادند؛ اما مدل‌های دمایی و تشعشعی مانند

منابع

- Allen, R.G. 1996. Assessing integrity of weather data for use in reference. *Evapotranspiration estimation*. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE. 122: 2. 97-106.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. *Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements*, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, 1998, ISBN 92-5-104219-5.
- Allen, R.G., Jensen, J.L., Wright, J.L., and Burman, R.D. 1989. Operational estimate of evapotranspiration. *Agron. J.* 81: 650-662.
- Droogers, P., and Allen, R.G. 2002. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. *Irrig. Drain. Syst.* 16: 33-45.
- Hargreaves, G.L., and Samani, Z.A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Appl. Eng. Agric.* 1: 2. 96-99.
- Khoshhal, J., Zare Abyaneh, H., and Joshani, A.R. 2015. Evaluation of different methods to estimate the reference evapotranspiration by pan evaporation FAO in the catchment area of the East and South East. *Physical Geography Research*. 28p. (In Persian)
- Landeras, G., Ortiz-Barredo, A., and Lopez, J. 2008. Comparison of artificial neural network models and empirical and semi-empirical equations for daily reference evapotranspiration estimation in the Basque Country (Northern Spain). *Agricultural Water Management*. 95: 5. 553-565.

8. Nasajizavareh, M., and Sadeghifar, R. 2007. Estimating reference evapotranspiration using different methods (Case study: Karaj station). 2007. Iranian's 9th - national Seminar on Irrigation & Evaporation Kerman, Iran, 2007. (In Persian)
9. Priestley, C.H.B., and Taylor, R.J. 1972. On the assessment of surface heat flux and evapotranspiration using large scale parameters. *Mon Weather Rev.* 100: 81-92.
10. Raghuwanshi, N.S., and Wallender, W.W. 1998. Converting from pan evaporation to evapotranspiration. *J. Irrig. Drain. Eng.* 118: 6. 977-980.
11. Sabziparvar, A.A., Tabari, H., Aeni, A., and Ghafouri, M. 2010. Evaluation of class A pan coefficient models for estimation of reference crop evapotranspiration in cold-semi arid and warm arid climates. *Water Resour. Manage.* 24: 909-920.
12. Sabziparvar, A., Tafazoli, F., Zare Abyaneh, H., Mosavi Byegi, M., Ghafouri, M., Mohseni Movahed, A.A., and Maryanji, Z. 2008. Comparison of some crop reference evapotranspiration models in a cold semiarid climate to optimize the use of radiation models. *J. Water Soil.* 22: 2. 328-340. (In Persian)
13. Sentelhas, P.C., Gillespie, T.J., and Santos, E.A. 2010. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. *Agricultural Water Management.* 97: 5. 635-644.
14. Tabari, H., Grismer, M.E., and Trajkovic, S. 2013. Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. *Irrig. Sci.* 31: 107-117.
15. Trajkovic, S. 2007. Hargreaves versus Penman-Monteith under Humid Condition. *J. Irrig. Drain. Eng. ASCE.* 133: 38-42.
16. Trajkovic, S., and Kolakovic, S. 2009. Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions. *Water Resources Management.* 23: 14. 3057-3067.
17. Turc, L. 1961. Evaluation des besoins en eau irrigation, l'évapotranspiration potentielle. *Ann. Agron.* 12: 13-49.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(1), 2018

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

Short Technical Report

Evaluation of reference evapotranspiration models for warm arid climate (Case study: Zahedan station)

***P. Kahkhamoghadam**

Faculty of Member, Dept. of Water Engineering, University of Zabol

Received: 07/28/2016; Accepted: 12/30/2017

Abstract

Background and Objectives: Evapotranspiration (ET) is an important parameter for climatological and hydrological studies, as well as for irrigation planning and management. Evaluation of simple reference evapotranspiration (ET_0) methods has received considerable attention in developing countries where the weather data needed to estimate ET_0 by the Penman–Monteith FAO 56 (PMF-56) model are often incomplete and/or not available. So, The purpose of this study was evaluation and comparison 30 different methods according to PMF-56 method and determination the best equation as a replacement to PMF-56 in the warm arid climate of Zahedan city.

Materials and Methods: In this study, 30 commonly used ET_0 equations that belonged to four groups: (1) pan evaporation-based methods, (2) temperature-based methods (3) radiation-based methods, and (4) mass transfer-based methods were evaluated against the PMF-56 standard model; and the best and worst equations of each category were determined from the Zahedan station located in a warm arid climate.

Results: Initially, in each group the monthly mean values ET_0 (using 30 model) were determined and compared their relative performance with respect to PMF-56 ET_0 estimates in the study. The ET_0 calculated by the Snyder equation ($R^2=0.85$, $NRMSE=0.08$, $PE=8.30$), Hargreaves-4 ($R^2=0.93$, $NRMSE=0.04$, $PE=8.33$), Turk 24 ($R^2=0.96$, $NRMSE=0.03$, $PE=6.52$) and Dalton ($R^2=0.81$, $NRMSE=0.18$, $PE=12.89$), pan evaporation-based, temperature-based, radiation-based and mass transfer-based respectively best matched the ET_0 estimates by the PMF-56 equation with the lowest error rates.

Conclusion: In general, the comparative results showed that the mass transfer-based equations had the worst performances, while the radiation-based and temperature-based models (as Turk, Jensen-Haise, Hargreaves-4 and Blaney-Criddle) were the best-suited equations for estimating ET_0 in this warm arid climate (Zahedan). Considering the unavailability of full weather data for applying the PMF-56 model for estimation of ET_0 in many regions of the world and in different parts of Iran, especially in developing countries, the results will be useful for choosing the simpler ET_0 methods in warm arid climates.

Keywords: Hargreaves-Samani, Penman-Monteith FAO, Turk, Zahedan

* Corresponding Author; Email: keykhamoghadam.parisa@gmail.com

