نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره6، جلد9، بهمن - اسفند 1394، ص. 904-893

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 9, Feb.-Mar. 2016, p. 893-904

ارزیابی معادله‌های تجربی برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل برای اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک استان فارس

مصطفی گرجی[1] و محمود رائینی سرجاز[2*]

تاریخ دریافت: 1394/8/3 تاریخ پذیرش: 1394/11/14

چکیده

برآورد درست تبخیر-تعرق پتانسیل برای برنامه‌ریزی نیاز آبی گیاهان در بوم سامانه‌های طبیعی و کشاورزی و گزینش یک روش مناسب از اهمیت فراوانی برخوردار است. بنابراین هدف این پژوهش به‌گزینی روش برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک استان فارس است. برای این منظور از معادله فائو پنمن-مانتیث به عنوان روش معیار استفاده و سپس کارایی و توان برآورد روش‌های تجربی (هارگریوز-سامانی، جنسن-هیز، مک‌کینگ، تورنت وایت، تورک و بلانی-کریدل) نسبت به آن در دو ایستگاه شیراز و لار بررسی شد. پس از گزینش بهترین روش تجربی برای برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل، مقدار تبخیر-تعرق ماهانه همه ایستگاه‌هایِ برگزیده برآورد شد. سرانجام پراکنش مکانی تبخیر-تعرق برآورد شده استان تعیین شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که در میان روش‌های تجربی، روش هارگریوز-سامانی، با هم‌بستگی ($r \geq 0/96$) و هم‌خوانی بالا با داده‌های برآوردی معادله فائو پنمن-مانتیث، در هر دو اقلیم خشک و نیمه‌خشک، به‌عنوان روشِ تجربی مناسب شناخته شد. نقشه پراکنش مکانی تبخیر-تعرق پتانسیل نمایش‌گر آن است که توان تبخیرکنندگی هوا از جنوب و جنوب شرقی استان به‌سوی شمالی و شمال شرقی کاهش می‌یابد، و این توان در فصل‌های گرم بسیار بیش‌تر از فصل‌های خنک است.

واژه‌های کلیدی: استان فارس، پهنه‌بندی مکانی ET_o، فائو پنمن-مانتیث، هارگریوز-سامانی

مقدمه

برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل به عنوان جزئی از چرخه هیدرولوژی در علوم آب از اهمیت زیادی برخوردار است (Allen et al., 1998). برآورد تبخیر-تعرق در مطالعاتی نظیر تغییر اقلیم جهانی، برآورد نیاز آبی گیاهان و طراحی سیستم‌های آبیاری نقش مهمی ایفا می‌کند (Liu et al., 2010). طی بررسی‌های صورت گرفته کمیته فنی نیاز-های آبی بخش آبیاری و زهکشی در انجمن مهندسان راه و ساختمان آمریکا[3] (ASCE)، در مقایسه 20 روش برآورد ET_o ماهانه در مناطق خشک و مرطوب بر اساس نتایج لایسیمتری، روش فائو پنمن-مانتیث در اولویت قرار گرفت (Jensen et al., 1990). از بین روش‌های تجربی ارائه شده برای برآورد ET_o توسط کمیسیون بین المللی آبیاری و زهکشی[4] (ICID) و سازمان خوار و بار جهانی (FAO)، روش فائو پنمن-مانتیث به عنوان تنها روش معیار برای محاسبه ET_o و نیز ارزیابی سایر روش‌ها پیشنهاد شد (Hargreaves., 1994). تبخیر-تعرق فرآیندی پیچیده است که به چندین فاکتور آب و هوایی هم‌چون دما، تابش، رطوبت، سرعت باد، نوع و مرحله رشد گیاه وابسته است. معادله‌های بسیاری برپایه دما، تابش، تشت تبخیر و ترکیبی از آن‌ها رده‌بندی شده است که برای برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل (ET_o) توسعه یافته‌اند. سازمان غذا و کشاورزی[5] برای تخمین تبخیر-تعرق پتانسیل (ET_o) معادله فائو پنمن-مانتیث را پیشنهاد کرده است (Allen et al., 1998, 2006). روش فائو پنمن-مانتیث با استفاده از داده‌های دقیق تابش، دما، رطوبت و سرعت باد برآورد درستی از تبخیر-تعرق پتانسیل برای دامنه گسترده‌ای از مناطق و اقلیم‌ها فراهم می‌کند (Allen et al., 1998). آلن و پروت و نامداریان و همکاران (1392) برای ارزیابی برآورد تبخیر تعرق پتانسیل، یافته‌های معادله

1- دانشجوی کارشناسی ارشد ، گروه مهندسی آب، دانشگاه کشاورزی ومنابع طبیعی ساری، ساری
2- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
(*-نویسنده مسئول: Email: m.raeini@sanru.ac.ir)

3-American Society of Civil Engineers

4- International Committee on Irrigation and Drainage

5- Food and Agriculture Organization

فائو پنمن-مانتیت را با داده‌های لایسیمتری مقایسه کردند، حاکی از هم‌خوانی خوب بین یافته‌های این دو روش است (Allen and Pruitt., 1988).

برای برآورد تبخیر تعرق پتانسیل با استفاده از مدل‌های تجربی باید صحت‌سنجی، با استفاده از داده‌های لایسیمتر و یا تشتک تبخیر تایید شود. در مناطقی که چنین مطالعاتی صورت نگرفته باشد معیار صحت‌سنجی روش فائو پنمن-مانتیت است (Hargreaves., 1994). شریفان و قهرمان (1385) هم‌بستگی بالایی میان داده‌های تشتک تبخیر ایستگاه هواشناسی گرگان و داده‌های برآوردی روش فائو پنمن-مانتیت به دست آوردند. نتایج نشان داد که برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل توسط تشتک تبخیر با استفاده از ضریب‌های بدست آمده از روش‌های اشنایدر اصلاح شده و کونیکا با برآوردهای روش فائو پنمن-مانتیث در مناطق خشک و نیمه خشک هم‌بستگی خوبی دارند. پاندی و همکاران در پژوهشی برای انتخاب بهترین روش، برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل از روش‌های آماری در ایستگاه ژارخاند هند استفاده کردند. نتایج پژوهش نشان داد که روش هرگریوز-سامانی بیش‌ترین هم‌بستگی با روش مرجع دارد(Pandey et al., 2014). شاهدی و زارعی (1390) برای برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل استان مازندران، با اقلیم‌هایی بسیار مرطوب تا نیمه‌خشک، از روش‌های تجربی بلانی-کریدل، هارگریوز-سامانی، پنمن و تورنت‌وایت استفاده کردند. آنان این روش‌ها را با معادله فائو پنمن-مانتیت مقایسه کردند و روش بلانی-کریدل را به عنوان بهترین روش برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل پیشنهاد نمودند. بنابراین، در بسیاری از پژوهش‌های جهانی روش فائو پنمن-مانتیت به‌عنوان روشی معیار برای برآورد دقیق ET_o در آب و هواهای مختلف پذیرفته شده است (De Bruin and Stricker., 2000)، (Hussein and Al-Ghobari., 2000)، (Walter et al., 2000).

در بسیاری از ایستگاه‌های اندازه‌گیری هواشناسی همه‌ی متغییرهای اقلیمی هم‌چون تابش و رطوبت را نمی‌سنجند، بنابراین باید از روش‌های دیگری که نیاز به پارامترهای در دسترس هم‌چون دما دارند و یافته‌های آن‌ها هم‌خوانی خوبی با روش معیار پنمن-مانتیت دارد استفاده کرد. برای چنین موردهایی مدل‌های ساده و دقیقی، در بسیاری از اقلیم‌ها، وضع شده است (Kouchakzadeh and Nikbakht., 2004)، (سالاریان و همکاران، 1392). احسانی و همکاران (1391) با استفاده از از نرم افزار Crop Wat 8 تبخیر-تعرق پتانسیل ایستگاه رودشور را محاسبه کردند، که مقدار آن 6/16 برابر تبخیر-تعرق واقعی بود. بنابراین، هدف این پژوهش تعیین بهترین روش برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در استان فارس از طریق ارزیابی کارایی مدل‌های تجربی برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در مقایسه با روش معیار فائو پنمن-مانتیث، و سرانجام پهنه‌بندی مکانی تبخیر-تعرق پتانسیل است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان فارس در جنوب منطقه مرکزی ایران بین مدارهای '2 °27 و '42 °31 عرض شمالی و '42 °50 و '38 °55 طول شرقی قرار دارد. این استان از شمال با استان‌های اصفهان و یزد، از غرب با استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و بوشهر، از جنوب با استان هرمزگان و از شرق با استان کرمان هم‌جوار است. استان فارس در منطقه کوهستانی زاگرس واقع شده است. استان فارس دارای 2 اقلیم خشک و نیمه خشک است. اقلیم ایستگاه‌ها توسط روش دومارتن بدست آمده است. در این پژوهش از داده‌های 18 ایستگاه هواشناسی (جدول 1) استفاده می‌شود، که موقعیت آن‌ها در شکل 1 نشان داده شده است.

روش پژوهش

از آن‌جا که روش‌های تجربی برآورد تبخیر -تعرق پتانسیل در اقلیم‌های ویژه‌ای وضع شده‌اند، بنابراین برای گزینش بهترین روش در آغاز، داده‌های 2 ایستگاه شیراز و لار، به ترتیب به عنوان نماینده-ای از اقلیم‌های نیمه‌خشک و خشک برای ارزیابی استفاده شدند. به دلیل نبود سنجش‌های لایسیمتری در استان، و برای اطمینان از برآورد درست روش معیار از داده‌های برآوردی تبخیر-تعرق پتانسیل از تشتک تبخیر استفاده شد و سپس با استفاده از روش‌های هارگریوز-سامانی (Hargreaves and Samani., 1985)، جنسن-هیز (Jensen and Haise., 1963)، مک‌کینگ (Makkink., 1957)، تورنت‌وایت (Thornthwaite., 1948)، تورک (Turc., 1961) و بلانی-کریدل (Blaney and Criddle., 1950) (روابط جدول 2) تبخیر-تعرق پتانسیل محاسبه شد. از نرم افزار Cropwat 8 نیز برای برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل به روش فائو پنمن-مانتیت استفاده شد. برای ارزیابی یافته‌ها از آماره‌های بیشینه خطای مطلق (MAE)، میانگین انحراف خطا (MBE)، شاخص سازگاری (Willmott., 1981) و بازده مدل (Zacharias et al., 1996) استفاده شد. برای به‌گزینی مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل از آماره‌های ضریب هم‌بستگی و آزمون t test استفاده شد و برای داده‌پردازی و تجزیه داده‌ها از نرم افزارهای Excel و SAS استفاده شد. پس از گزینش روش مناسب و برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل پهنه‌بندی مکانی تبخیر-تعرق توسط نرم‌افزار ArcGIS انجام شد.

$$MAE = \max(|O_i - E_i|)_{i=1}^{N} \quad (7)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{N}(O_i - E_i)}{N} \quad (8)$$

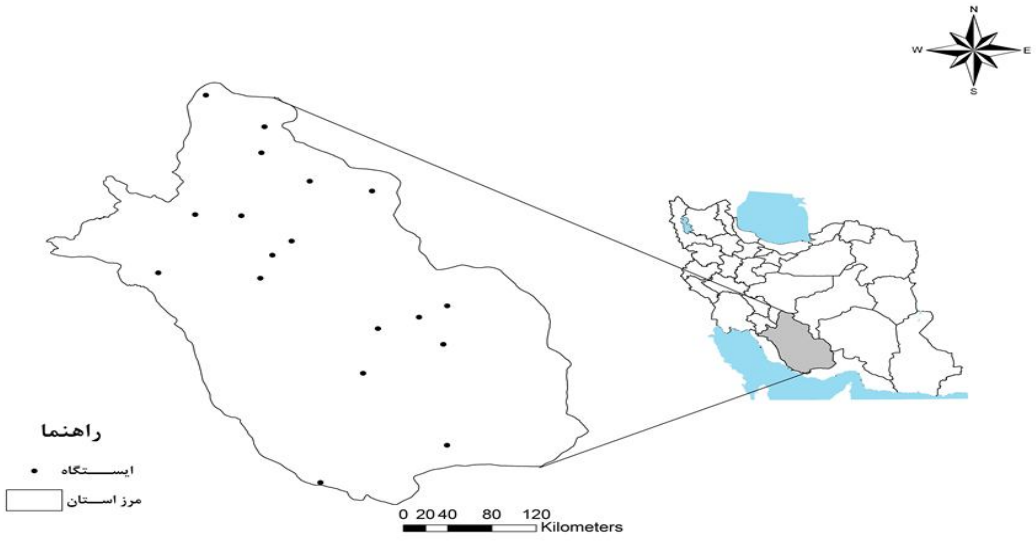
$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (9)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(O_i - \bar{O})^2} \quad (10)$$

که در این رابطه‌ها O مقدار ET_o بدست آمده از روش فائو پنمن-مانتیت و E مقدار ET_o بدست آمده توسط روش‌های مورد استفاده است. به طور کامل EF و d به سمت 1، MAE و MBE به سمت صفر میل می‌کند.

جدول 1- جایگاه جغرافیایی و اقلیم ایستگاه‌های برگزیده استان فارس

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	اقلیم (دومارتن)
شیراز	52 36	29 32	1484	نیمه خشک
آباده	52 40	31 11	2030	خشک
درودزن	52 26	30 13	1620	نیمه خشک
فسا	53 41	28 58	1288	نیمه خشک
اقلید	52 38	30 54	2300	نیمه خشک
ایزدخواست	52 07	31 32	2188	خشک
لامرد	53 07	27 18	411	خشک
لار	54 17	27 41	792	خشک
تخت‌جمشید	52 54	29 56	1605	نیمه خشک
زرقان	52 43	29 43	1596	نیمه خشک
داراب	54 17	28 47	1098	خشک
نی‌ریز	54 20	29 12	1632	خشک
بوانات	53 40	30 28	2231	نیمه خشک
استهبان	54 04	29 05	1690	نیمه خشک
جهرم	53 32	28 29	1082	خشک
صفاشهر	53 05	30 35	2251	نیمه خشک
سپیدان	52 00	30 14	2201	نیمه خشک
کازرون	51 39	29 36	840	نیمه خشک



شکل 1- جایگاه ایستگاه‌های برگزیده در استان فارس در کشور

جدول 2 - روش‌ها و روابط برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل مورد استفاده در پژوهش

ردیف	روش	رابطه
1	بلانی-کریدل (BC)	$ET_o = a + b[p(0.47T + 8.13)]$
2	تورک (TC)	$ET_o = [((0.0239001 \times R_s) + 50)(T_a/(T_a + 15))(0.4/30)]$
3	تورنت وایت (TW)	$ET_o = 16\, N_m(10T_m/I)^a$
4	جنسن-هیز (JH)	$ET_o = 0.025(T_m R_a/2.45) + 0.08$
5	تابش مک‌کینگ (MR)	$ET_o = 0.61(\Delta/(\Delta + \gamma))(R_s/2.45) - 0.012$
6	هارگریوز-سامانی (HS)	$ET_o = 0.0023(T_m + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5} R_a$

رابطه 1. T: متوسط دمای هوا (°C) a و b: ضرایب اقلیمی

رابطه 2. T_a: متوسط دمای هوا (°C) R_s: تابش خورشیدی ($MJ.m^{-2}.day^{-1}$)

رابطه 3. T_m: دمای متوسط هوا (°C) I:نمایه حرارتی سالانه، a: ضریب N_m: ضرایب اصلاحی برای هر ماه

رابطه 4. T_m: دمای متوسط هوا (°C) R_a: تابش رسیده به بالای جو ($MJ.m^{-2}.day^{-1}$)

رابطه 5. γ: ضریب سایکرومتری ($KPa.°C^{-1}$) R_s: تابش خورشیدی ($MJ.m^{-2}.day^{-1}$) Δ: شیب منحنی فشار بخار ($KPa.°C^{-1}$)

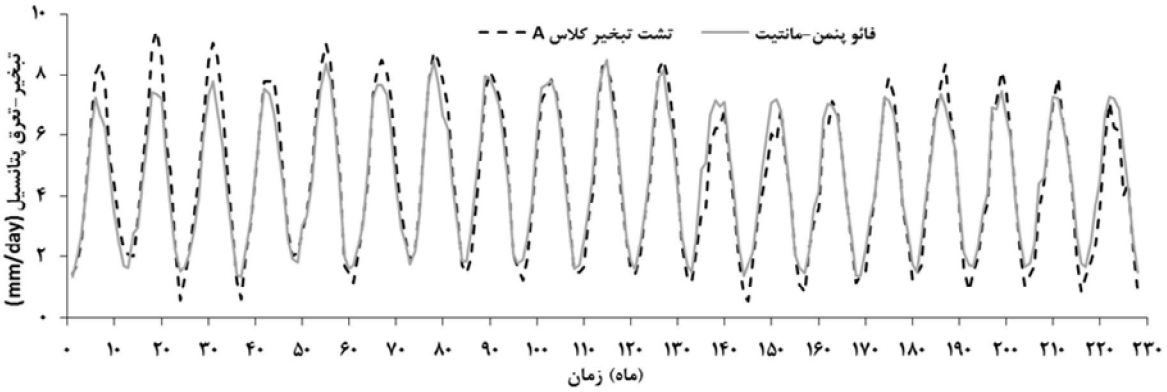
رابطه 6. T_{min}، T_{max} و T_m به‌ترتیب: دمای حداقل، دمای حداکثر و متوسط دمای هوا (°C) R_a: تابش رسیده به بالای جو ($MJ.m^{-2}.day^{-1}$)

یافته‌ها و بحث:

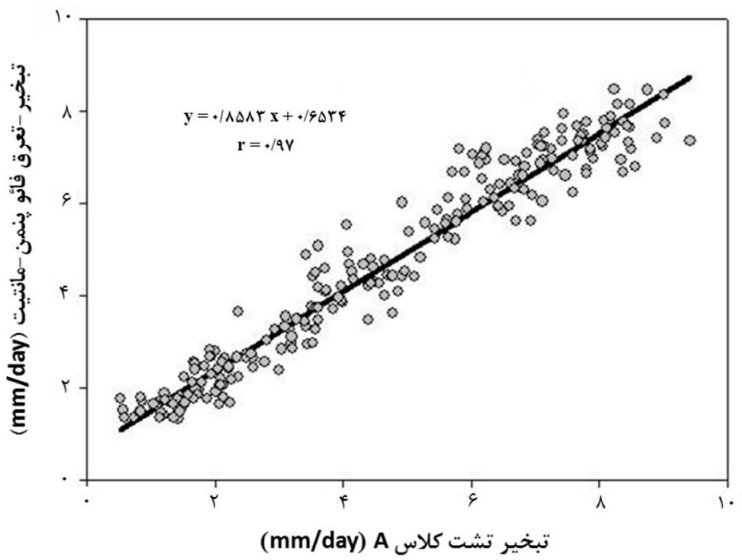
در آغاز برای صحت‌سنجی داده‌های برآوردی از روش معیار فائو پنمن-مانتیث، در نبود داده‌های لایسیمتری در منطقه، از داده‌های تشتک تبخیر با استفاده از ضریب کونیکا (شریفان و قهرمان، 1385) استفاده شد. هم‌بستگی بسیار معنی‌داری (r = 0/97) میان این دو برای ایستگاه شیراز دیده شد (شکل‌های 2 و 3)، هم‌چنین مقایسه میانگین داده‌های این دو روش نشان داد که تفاوت معنی‌داری میان آن‌ها وجود ندارد (P = 0/217). بنابراین می‌توان از روش معیار فائو پنمن-مانتیث به عنوان معیاری برای ارزیابی روش‌های تجربی دیگر استفاده کرد. این یافته‌ها با گزارش شریفان و قهرمان (1385) برای ایستگاه گرگان هم‌خوانی داشت.

تبخیر-تعرق پتانسیل در دو ایستگاه همدیدی شیراز و لار برای هر یک از ماه‌ها با استفاده از داده‌های آب و هوایی مورد نیاز توسط معادله‌های جدول 2 محاسبه شد. آنگاه مقادیر آماره‌های ارزیابی و هم‌بستگی میان یافته‌های این مدل‌ها با داده‌های برآوردی از معادله معیار فائو پنمن-مانتیث محاسبه شد (جدول 3 و 4).

بررسی میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه بلندمدت ماه‌های سال در شیراز (شکل 4) نمایانگر برآورد میانگین روزانه توسط معادله‌های تجربی است، گرچه همبستگی‌های بالایی (جدول 4) با برآوردهای معادله معیار فائو پنمن- مانتیث دارند، ولی تفاوت‌های معنی‌داری میان میانگین برآوردی بیش‌تر این مدل‌ها با مدل معیار دیده می‌شود (جدول 4). در میان مدل‌ها تن‌ها مدل هارگریوز-سامانی است که افزون بر هم‌بستگی بالا با مدل معیار تفاوت معنی‌داری با آن نداشت (جدول 4) و هم‌خوانی خوبی میان داده آن‌ها دیده می‌شد، به‌گونه‌ای که هم‌بستگی بالا و خطا اندک است (شکل 5).



شکل 2- تغییرات ماهانه تبخیر-تعرق پتانسیل برآوردی توسط روش تشتک تبخیر و روش معیار فائو پنمن-مانتیث در ایستگاه شیراز (2013-1994)



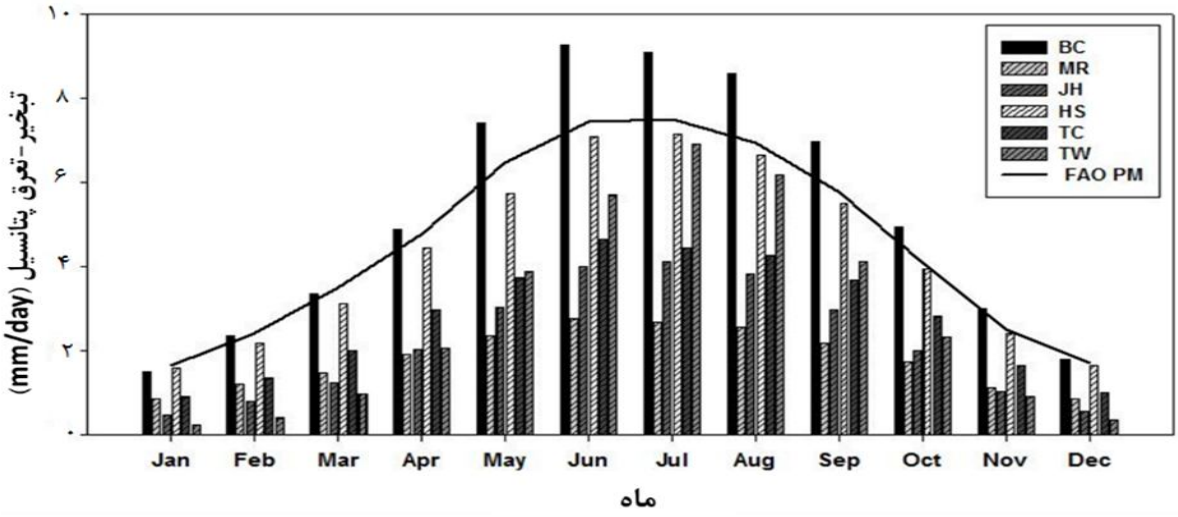
شکل 3- رابطه میان تبخیر-تعرق پتانسیل برآوردی روش تشتک تبخیر با روش معیار فائو پنمن-مانتیث در ایستگاه شیراز (2013-1994)

جدول 3- آماره‌های ارزیابی روش‌های تجربی برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل با روش فائو پنمن-مانتیث برای ایستگاه‌های شیراز و لار

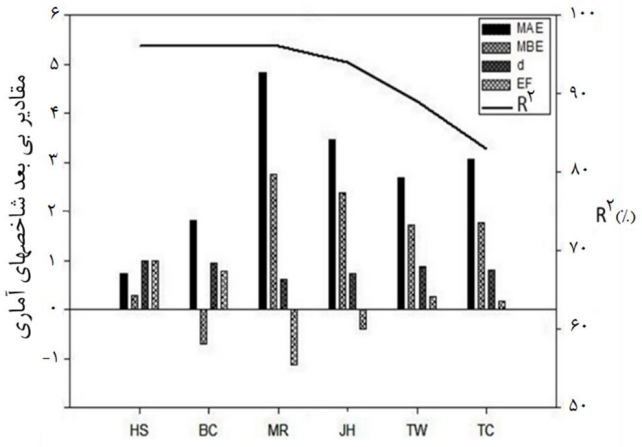
ایستگاه	معیار ارزیابی	روش‌های تجربی					
		TW	HS	TC	MR	BC	JH
شیراز	MAE	2/69	0/74	3/059	4/817	1/825	3/458
	MBE	1/725	0/287	1/779	2/758	-0/697	2/393
	d	0/867	0/994	0/797	0/627	0/959	0/731
	EF	0/267	0/977	0/162	-1/111	0/785	-0/398
لار	MAE	4/389	1/121	1/273	5/961	2/389	4/512
	MBE	0/205	-0/151	0/262	3/565	-1/193	2/867
	d	0/869	0/993	0/972	0/520	0/932	0/629
	EF	-0/112	0/972	0/913	-2/112	0/635	-0/927

جدول 4- آماره‌های ضریب همبستگی، t- test و احتمال معنی‌دار بودن (p) بین روش فائو پنمن-مانتیث و روش‌های تجربی در ایستگاه شیراز و لار

روش	شیراز			لار		
	R^2	t test	p-value	R^2	t test	p-value
بلانی-کریدل	0/96	3/67	0/0002	0/94	5/47	0/0001
تورک	0/83	13/15	0/0001	0/93	1/38	0/1682
تورنت وایت	0/89	10/5	0/0001	0/82	1/212	0/226
جنسن-هیز	0/94	18/31	0/0001	0/82	18/33	0/0001
تابش مک‌کینگ	0/96	23/65	0/0001	0/93	24/83	0/0001
هارگریوز-سامانی	0/96	1/78	0/0747	0/92	0/91	0/3649



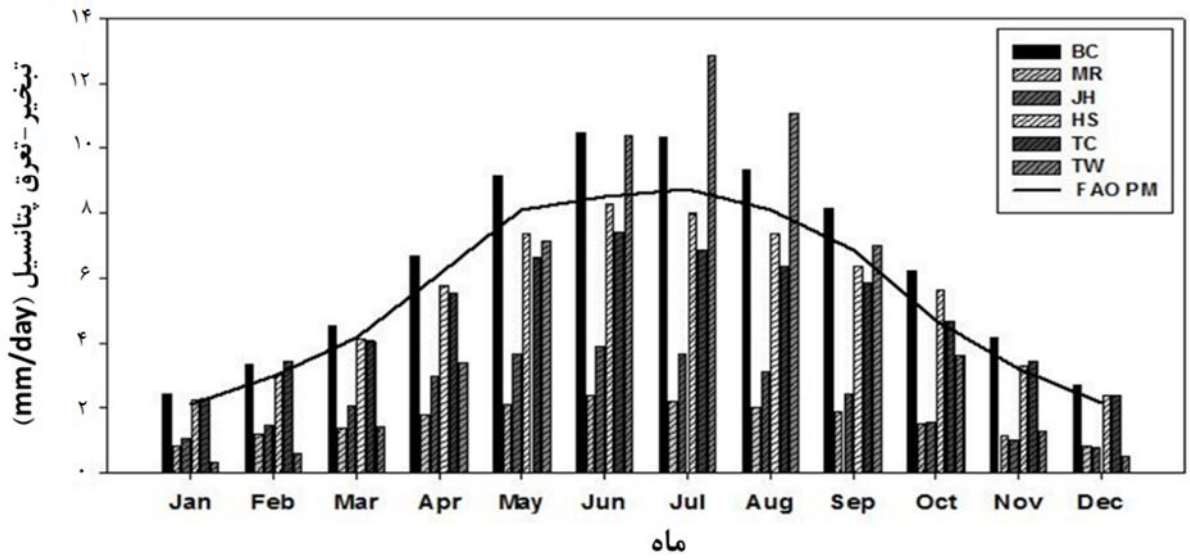
شکل 4- میانگین بلندمدت ماهانه تبخیر-تعرق پتانسیل (mm/day) برآوردی توسط روش‌های تجربی (میله‌ها) و معادله فائو پنمن-مانتیت (خط پیوسته) برای ایستگاه شیراز



شکل 5- آماره‌های ارزیابی و ضریب همبستگی در روش‌های تجربی در مقایسه با روش معیار فائو پنمن-مانتیت (ایستگاه شیراز)

یافته‌های این پژوهش با یافته‌های شیخ و محمودی (Sheikh and Mohammadi., 2013) در مناطق نیمه‌خشک استان گلستان و پاندی و همکاران (Pandey et al., 2014) در منطقه نیمه‌خشک ایستگاه ژارخاند هند هم‌خوانی دارد و بیان‌گر نقش غالب تابش خورشید و دامنه تغییرات دمای شبانه روزی در تبخیر-تعرق در مناطق خشک و نیمه خشک است، که در روش هارگریوز-سامانی گنجانده شده است.

بررسی میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه بلندمدت ماه‌های سال در ایستگاه لار (شکل 6) نمایش‌گر هم‌بستگی بالایِ میان داده-های مدل‌های تجربی با برآوردهای معادله معیار فائو پنمن- مانتیت است (جدول 4). گرچه هم‌بستگی‌ها بالا بود ولی تفاوت‌های معنی-داری میان میانگین برآوردی برای بیش‌تر این مدل‌ها با مدل معیار دیده شد. از 6 مدل تجربی به کاررفته، برآوردهای سه مدل تورک، تورنت وایت و هارگریوز-سامانی با داده‌های برآوردی مدل معیار تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول 4)، در میان این سه روش مدل هارگروز-سامانی به‌دلیل خطای کم‌تر برگزیده شد. بنابراین، در ایستگاه لار با اقلیمی خشک، روش هارگریوز-سامانی هم‌چون ایستگاه شیراز، با اقلیمی نیمه‌خشک، بر دیگر مدل‌های تجربی برتری دارد.



شکل 6- میانگین روزانه بلندمدت ماهانه (mm/day) تبخیر-تعرق پتانسیل توسط روش‌های تجربی (میله‌ها) و معادله فائو پنمن-مانتیت (خط پیوسته) در ایستگاه لار

پاسخ مدل‌های برآورد تبخیر-تعرق مرجع در شرایط اقلیمی گوناگون به پارامترهای هواشناسی یکسان نیست (تفضلی، 1385)، این امر می‌تواند منجر به خطاهایی با دامنه‌های متفاوت در برآورد این مدل‌ها شود. در استفاده از مدلی مناسب باید در دسترس بودن پارامترها یا استفاده از مدلی که نیاز به کم‌ترین پارامتر است، لحاظ شود و می‌بایست حساسیت برخی از روش‌ها به پارامترها و عناصر آب‌وهوایی در اقلیم‌ها و فصل‌های مختلف سال در نظر داشت (سبزی پرور، 1379). مدل هارگریوز-سامانی در هر دو ایستگاه شیراز و لار برآورد درستی از تبخیر تعرق ماهانه به دست می‌دهد، گرچه در برخی از ماه‌های گرم سال در لار اندکی بیش‌برآورد و دیگر ماه‌ها اندکی کم‌برآورد نسبت به روش مرجع دیده شد. با افزایش دمای کمینه شبانه‌روزی، به شرط ثابت ماندن میانگین دمای شبانه‌روزی، مدل هارگریوز-سامانی سبب کم‌برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل می‌شود، این پیش‌آمد بیش‌تر در ماه‌های گرم سال رخ می‌دهد. این تفاوت در پاسخ مدل به دو اقلیم خشک و نیمه‌خشک، ایستگاه لار و شیراز، می‌تواند ناشی از حساسیت زیاد این روش به افزایش دمای کمینه در اقلیم خشک لار بوده باشد. هم‌چنین حساسیت زیاد روش هارگریوز-سامانی به دمای بیشینه، به‌خصوص در ماه‌های سرد سال در مناطق خشک سبب بیش‌برآورد تبخیر-تعرق می‌شود (سبزی پرور و همکاران، 1387).

روش بلانی-کریدل در ایستگاه شیراز به جز در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس در بقیه ماه‌های سال دارای برآوردی بیش‌تر از روش مرجع فائو پنمن-مانتیت است. در صورتی که در ایستگاه لار این روش دارای برآوردی بیش‌تر از روش مرجع است. این افزایش برآورد توسط روش بلانی-کریدل می‌تواند ناشی از حساسیت این مدل به دمای متوسط روزانه باشد که با افزایش دمای متوسط روزانه میزان تبخیر-تعرق نیز بیش‌تر خواهد شد. این افزایش دمای متوسط روزانه می‌تواند خود ناشی از افزایش دمای بیشینه و هم‌چنین افزایش دمای کمینه باشد. روش بلانی-کریدل در مناطق خشک و نیمه‌خشک نیز دارای حساسیت زیادی به تغییرات رطوبت نسبی است به طوری‌که با افزایش و کاهش رطوبت نسبی، مقدار ET_o برآوردی از مدل به تناسب کم‌تر و بیش‌تر می‌شود (سبزی پرور و همکاران، 1387). بنابراین افزایش تبخیر-تعرق در ماه‌های گرم ناشی از کاهش رطوبت نسبی و به دلیل افزایش دمای هوا است.

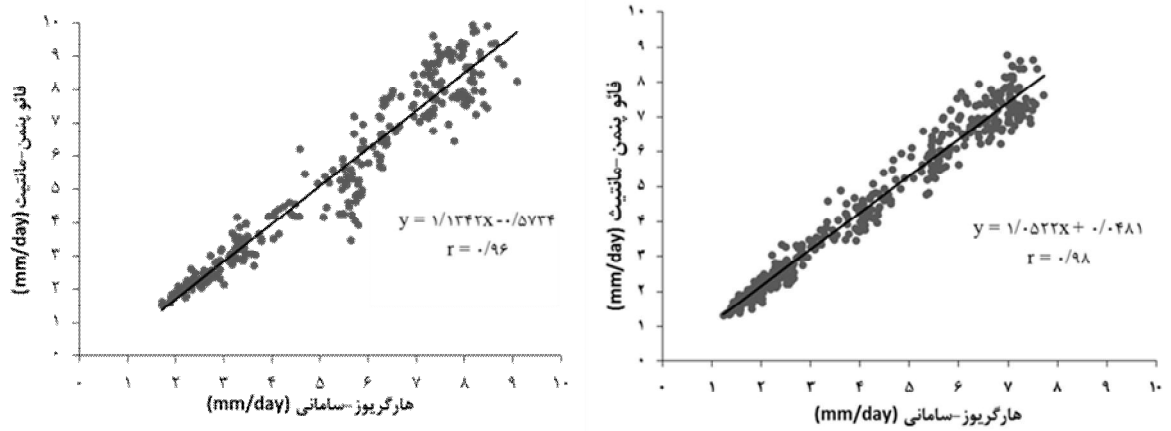
روش‌های جنسن-هیز، تورک و مک‌کینگ در همه ماه‌های سال، در ایستگاه شیراز، دارای برآورد بسیار کمتری نسبت به روش مرجع داشت، اما این روش‌ها در ایستگاه لار، به جز روش تورک، در برخی از ماه‌ها دارای تخمین کم‌تری نسبت به روش مرجع بود. این افزایش برآورد تبخیر-تعرق توسط روش تورک در منطقه خشک لار به خصوص در ماه‌های سرد سال می‌تواند ناشی از کاهش رطوبت نسبی باشد. این یافته با نتایج سبزی پرور و همکاران (1387) در مناطق خشک استان همدان هم‌خوانی دارد. هم‌چنین مشاهده شد که روش تورک در منطقه خشک لار دارای برآوردی نزدیک‌تر به روش مرجع فائو پنمن-مانتیت در مقایسه با منطقه نیمه‌خشک دارد که با نتایج تورک (Turc., 1970) در برآورد تبخیر-تعرق در مناطق خشک هم‌خوانی دارد.

همان‌طور که بیان شد روش مک‌کینگ در دو ایستگاه شیراز دارای کم‌ترین ارزش از معیارهای ارزیابی برآورد تبخیر-تعرق را

داشت. این روش نسبت به روش‌های دیگر دارای کم‌ترین حساسیت نسبت به افزایش دما در برآورد تبخیر-تعرق در ماه‌های گرم است به طوری که نسبت افزایش تبخیر-تعرق برآوردی توسط این روش نسبت به روش‌های دیگری چون جنسن-هیز و تورک در ماه‌های گرم سال با افزایش دما، کم‌تر بوده که می‌تواند حساسیت کم این روش به افزایش دما را تایید کند. یافته‌ها نشان داد که روش مک-کینگ دارای برآورد خوبی از تبخیر و تعرق در مناطق خشک و نیمه-خشک نیست و منطبق با نتایج شیخ و محمودی (Sheikh and Mohammadi., 2013) در مناطق خشک و نیمه‌خشک استان گلستان است.

روش تورنت وایت در هر دو ایستگاه شیراز و لار در ماه‌های سرد سال دارای کم‌ترین برآورد نسبت به روش‌های دیگر بود. این روش در ماه‌های گرم سال در ایستگاه شیراز دارای برآوردی نزدیک به روش مرجع بود، در صورتی که در ایستگاه لار این روش در ماه‌های گرم سال دارای برآوردی بیش‌تر از روش فائو پنمن-مانتیت دارد. بنابراین روش تورنت وایت برآوردی متفاوت نسبت به دو ایستگاه را بدست آورد که بیان‌گر دقت کم این روش در برآورد تبخیر-تعرق است، که یافته‌های این روش با نتایج شاهدی و زارعی (1390) در ارزیابی روش‌های تبخیر-تعرق پتانسیل در استان مازندران هم‌خوانی دارد.

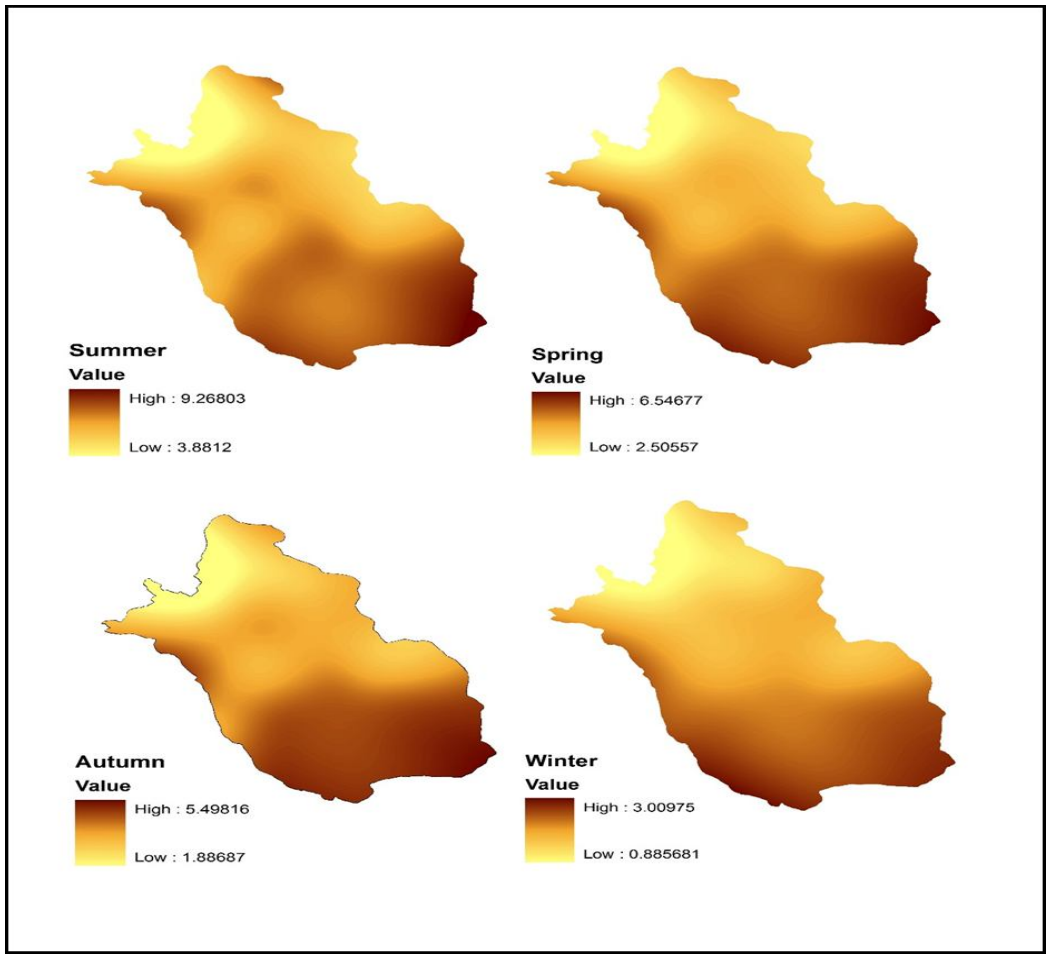
یافته‌های این پژوهش نشان داد که از روش هارگریوز-سامانی می‌توان به‌خوبی به‌عنوان مدلی برای برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک جنوب ایران استفاده کرد. در واقع روش هارگریوز-سامانی دارای کم‌ترین انحراف و بیش‌ترین هم-بستگی در برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در ماه‌های مختلف سال نسبت به روش مرجع فائو پنمن-مانتیت است. نتایج روش مک‌کینگ در دو ایستگاه شیراز و لار نشان دهنده کم‌ترین ارزش از معیارهای ارزیابی در بین روش‌های برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل نسبت به روش فائو پنمن-مانتیت است و نمی‌توان از این روش در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک استفاده کرد. به هر حال برای اطمینان از معرفی یک روش به عنوان بهترین روش برای برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل از طرح‌های پراکنده مقادیر برآورد شده در مقابل روش مرجع استفاده شد. از بین روش‌های تجربی، طرح پراکنده بهترین برآورد تجربی (هارگریوز-سامانی) در مقابل مقادیر تخمین زده شده توسط روش معیار فائو پنمن-مانتیت برای دو ایستگاه شیراز و لار استفاده شد و سپس خطاهای توزیع بین آن‌ها افزوده شد که نشان دهنده برآورد بالا یا پایین از تبخیر-تعرق پتانسیل توسط روش‌های تجربی است (جدول 4 و شکل 7).



شکل 7- رابطه میان تبخیر تعرق پتانسیل برآوردی توسط روش مرجع فائو پنمن-مانتیت با روش هارگریوز-سامانی؛ الف) ایستگاه شیراز، ب) ایستگاه لار

بنابر نتایج حاصل از معیارهای ارزیابی، ضرایب هم‌بستگی و آزمون t test، روش هارگریوز-سامانی نشان داد که دارای اطمینان بیش‌تری در برآورد تبخیر-تعرق مرجع نسبت به روش‌های دیگر در سطح منطقه است، که با نتایج شیخ و محمودی (Sheikh and Mohammadi., 2013) در ارزیابی روش‌های تجربی برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در استان گلستان و در گزینش روش هارگریوز-سامانی به عنوان بهترین روش منطبق است. روش بلانی-کریدل دومین روشی است که در منطقه دارای نتایج بهتری در مقایسه با روش فائو پنمن-مانتیث را به خود اختصاص داده است. روش مک‌کینگ در مجموع بدترین نتایج ارزیابی را از برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل بدست

آورد. در این صورت داده‌های تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه برای تمام ایستگاه‌های منطقه مورد پژوهش توسط بهترین روش تجربی (هارگریوز-سامانی، 1985) محاسبه شد. میانگین ماهانه و سپس فصلی دوره‌های دراز مدت تبخیر-تعرق پتانسیل برای ایستگاه‌های منتخب محاسبه شد و نقشه پراکنش مکانی تبخیر-تعرق پتانسیل فصلی استان فارس توسط Arc GIS رسم شد که در شکل 4 نمایش داده است.



شکل 8- پراکنش مکانی تبخیر-تعرق پتانسیل فصلی در استان فارس برپایه معادله تجربی هارگریوز-سامانی

برآورد ET_o، بوسیله معادله تجربی هارگریوز-سامانی برای هر یک از ماه‌ها در کلیه ایستگاه‌های منتخب محاسبه شد. نتایج نشان داد که برای ماه‌های گرم سال مقادیر ET_o بدست آمده بالا و تغییرات آن کم است. در مقابل، برای ماه‌های سرد مقادیر ET_o اندک و تغییرات آن‌ها بسیار بالا است. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه 8/83 و 1/15 مربوط به ماه‌های ژوئن و ژانویه بود که این مقادیر به ترتیب برای ایستگاه‌های لامرد و سپیدان بدست آمد. نتایج حاصل از پراکنش مکانی تبخیر-تعرق پتانسیل نشان می‌دهد که در تمام فصل‌ها بیش‌ترین تبخیر-تعرق مربوط به نواحی جنوب شرقی استان و یا به طور کلی مربوط به نواحی جنوبی استان است که می‌تواند به علت نزدیکی این نواحی به خلیج فارس و وزش بادهای گرم و خشکی که از عربستان به سمت این مناطق می‌وزد، باشد. کم‌ترین مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل مربوط به نواحی شمالی و شمال شرقی استان است که ناشی از قرار گرفتن این نواحی در آب و هوای سرد و معتدل می‌باشد. بیش‌ترین میزان تبخیر-تعرق پتانسیل فصلی در فصل تابستان و کم‌ترین آن در فصل زمستان می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش استفاده از معادله فائو پنمن-مانتیت به عنوان معادله‌ای معیار برای تخمین تبخیر-تعرق پتانسیل است را تایید کرد. مانع اساسی در استفاده از این معادله عمومی نیاز به پارامترهای مختلف آب و هوایی است که در بسیاری از ایستگاه‌ها این داده‌ها در

دسترس نیستند. بنابراین به روش‌های ساده نیاز است که بتوان با توجه به داده‌های موجود برآوردی صحیح از تبخیر-تعرق تحت شرایط خشک و نیمه‌خشک استان فارس داشت. به‌همین دلیل، از شش معادله جهت ارزیابی با معادل فائو پنمن-مانتیت استفاده شد. نتایج نشان داد که برخی از معادل‌های استفاده شده در این پژوهش با وجود این سطح از پیچیدگی و نیازمندی به داده‌ها، کارایی خوبی دارند. روش هارگریوز-سامانی نشان داد که بیش‌ترین را ارزش از معیارهای ارزیابی در مقایسه با روش فائو پنمن-مانتیت دارا است. معادله بلانی-کریدل دومین روش تجربی است که بهترین نتایج از برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل را نشان داد. روش مک‌کینگ در مجموع ضعیف‌ترین نتیجه را نشان داد. بنابراین روش هارگریوز-سامانی به عنوان روشی مناسب برای برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در استان بوده و این می‌تواند حاکی از سازگاری این روش به شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک در استان فارس باشد. از نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان برای برآورد نیاز آبی پوشش گیاهی و زراعی استان و هم‌چنین بررسی تبخیر-تعرق پتانسیل، منطقه استفاده نمود.

منابع

احسانی،ع.، ارزانی،ح. فرح‌پور،م احمدی،ح جعفری،م و اکبرزاده،م. 1391. برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از اطلاعات آب و هوایی، خصوصیات گیاه (مرتع) و خاک به کمک برنامه نرم افزار Cropwat 8 (مطالعه موردی: منطقه استپی استان مرکزی ایران، ایستگاه رود شور). فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. 19 .1: 16-1.

تفضلی،ف. 1385. ارزیابی حساسیت مدل‌های برآورد تبخیرو تعرق به تابش ورودی روزانه در شرایط اقلیمی همدان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

سالاریان،م.، نجفی،م.، داوری،ک.، اسلامیان،س و حیدری،م. 1392. مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در شرایط کمبود داده هواشناسی در ماه‌های گرم و سرد سال. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. 1. 8: 73-62.

سبزی پرور،ع.ا.، تفضلی،ف.، زارع ابیانه،ح.، بانژاد،ح.، غفوری،م.، موسوی بایگی،م و مریانجی،ز. 1387. ارزیابی حساسیت مدل‌های مختلف تبخیر- تعرق مرجع (ETo) به سیگنال‌های تغییر اقلیم در اقلیم سرد نیمه خشک همدان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی.12 .46: 592-581.

سبزی پرور،ع.ا. 1379 . مطالعه سینوپتیکی خشک‌سالی هواشناسی استان همدان. طرح تحقیقاتی، سازمان هواشناسی کشور، تهران.

شاهدی،ک و زارعی.م 1389. ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر -تعرق پتانسیل در استان مازندران. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب.1. 3: 21-12.

شریفان،ح.، قهرمان،ب. 1385. بررسی و مقایسه تبخیر-تعرق برآورد شده از تشتک تبخیر با مقادیر تبخیر-تعرق روش استاندارد در منطقه گرگان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی.13. 5: 29-18 .

نامداریان،ک.، ناصری،ع.ع.، ایزدپناه،زو ملکی،ع. 1392. مقایسه روش فائو پنمن-مانتیث و تشتک تبخیر کلاس A با داده‌های لایسیمتری در برآورد تبخیر-تعرق گیاه نخود در منطقه خرم آباد، چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. 8

Allen,R.G and Pruitt,W.O. 1988. Closure to rational use of the FAO Blany- Criddle formula. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 114.2: 375-380.

Allen,R.G., Pereira,L.S., Raes,D and Smith,M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirement. FAO irrigation and drainage paper, no 56. FAO, Roma, Italy.

Allen,R.G., Pruitt,W.O., Wright,J.L., Howell,T.A., Ventura,F., Snyder,R., ltenfisu,D., Steduto,P., Berengena,J., Yrisarry,J.B., Smith,M., Pereira,L.S., Raes,D., Perrier,A., Alves,L., Walter,L and Elliott,R., 2006. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO Penmane-Monteith method. Agricultural Water Management. 81: 1-22.

Blaney,H.F and Criddle,W.D. 1950. Determining Water Requirements in irrigated Areas from climatologically and irrigation Data. USDA (SCS) TP 96 48.

Hargreaves,G.H. 1994. Defining and using reference evapotranspiration. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 120.6: 1132-1139.

Hargreaves,G.H and Samani,Z.A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engineering in Agriculture. 1.2:96-99.

Hussein, M and Al-Ghobari, F. 2000. Estimation of reference evapotranspiration for southern region of Saudi Arabia. Journal of Irrigation Science. 19.2: 81-86.

Jensen,M.E., Burman,R.D and Allen,R.G. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. In: ACSE manuals and reports on engineering practice, no 70. ACSE, New York

Jensen,M.E and Haise,H.R. 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 93.3:15-41.

Turc,L. 1961. Evaluation of the basis of potential evapotranspiration in irrigation. Annals of Agronomy. 12.1: 13-49.

Turc,L.J. 1970. Evaporation of brine: a field study of the Bonneville salt-Flats. Water Resources Research, 6: 1209–1215.

Walter,l.A., Allen,R.G., Elliott,R., Jensen,M.E., Itenfisu,D., Mecham,B., Howell,T.A., Snyder,S., Brown,P., Echings,S., Spofford,T., Hattendorf,M., Cuenca,R.H., Wright,J.L and Martin,D. 2000. ASCE'S standardized reference evapotranspiration equation. In: Proceedings of 4th National Irrigation Symposium, ASAE, Phoenix (Arizona, USA), November, 14-16.

Willmott,C.J. 1981. On the validation of models. Physical Geography. 2: 184-194.

Zacharias,S., Heatwole,C.D and Coakley,C.W. 1996. Robust quantitative techniques for validating pesticide transport models. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 39: 47-54.

Kouchakzadeh,M and Nikbakht,J. 2004. Comparison of Different Methods to Estimate Reference evapotranspiration in Iran Different Climate with PM-FAO Standard Method. Agricultural Sciences. 10. 3: 43-57.

Liu,S., Bai,J., Jia,Z., Jia,L., Zhou,H and Lu,L. 2010. Estimation of evapotranspiration in the Mu Us Sandland of China. Hydrology and Earth System Sciences. 14: 573–584.

Pandey,S., Kumar,M., Chakraborty,S and Mahanti,N.C. 2014. A Statistical Comparison of Reference Evapotranspiration Methods: A Case Study from Jharkhand State of India. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 13: 8765-8777.

Sheikh,V and Mohammadi,M. 2013. Evaluation of reference evapotranspiration equations in semi-arid regions of northeast of Iran. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 7: 450-456.

Thornthwaite,C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate, *Geographical Review*, 38.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 9, Feb.-Mar. 2016, p. 893-904

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره6، جلد9، بهمن - اسفند 1394، ص. 904-893

Evaluation of the Empirical potential Evapotranspiration Equations for Arid and semi-arid Climates of Fars Province

M. Gorji[1], M. Raeini-Sarjaz*[2]
Recived: Oct.25, 2015 Accepted: Feb.03, 2016

Abstract

Development of an empirical equation to estimate accurately potential evapotranspiration (ETo) is essential for programming of crops water requirements in natural ecosystems and agriculture sectors. Therefore, the aim of this research is to select the appropriate empirical equation to calculate potential evaporation for arid and semi-arid climates of Fars province. For this purpose the FAO-Penman-Montieth standard equation was employed to evaluate the efficiency and potential of empirical equations (*Hargreaves*-Samani, *Jensen-Haise*, Makkink, Turc, Thornthwaite and Blaney–Criddle) to estimate potential evapotranspiration of Shiraz and Lar stations, as reference stations for arid and semi-arid climates, respectively, in Fars province. After selecting the appropriate equation, the monthly potential evapotranspiration was calculated for all stations. Finally, the province spatial ETo distribution was determined. The results of this research showed that among the selected empirical equations the *Hargreaves-Samani had the highest correlations ($r \geq 0.96$) with FAO-Penman-Montieth calculated data for both arid and semi-arid climates, therefore, selected as the appropriate equation for the province. The spatial ET distribution map showed that the air potential evaporative is reducing northwards.*

Keywords: *Hargreaves-Samani, FAO-Penman-Montieth, Fars province, Spatial mapping- ET*

1- MSc. Agrometeorology student, Department of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2- Associate Prof., Department of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
(*-Corresponding Author Email:m.raeini@sanru.ac.ir)