Archive of SID

مقایسه چهار روش تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع مبتنی بر درجه حرارت هوا در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

امید بابامیری[1*] و یعقوب دین پژوه[2]

۱*- نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد رشته منابع آب دانشگاه تبریز pir_cris@yahoo.com
۲- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت:۹۱/۷/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۲

چکیده

هدف این مطالعه مقایسه و واسنجی چهار روش مختلف تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع مبتنی بر درجه حرارت هوا در مقیاس ماهانه در حوضه دریاچه ارومیه می‌باشد. روش‌های انتخاب شده شامل هارگریوز ، تورنت وایت ، بلانی کریدل و لیناکر بودند. برای این منظور از اطلاعات پارامترهای هواشناسی ده ایستگاه در دوره آماری ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ استفاده شد. نتایج روش‌های مذکور با خروجی روش فائو پنمن-مانتیث مقایسه شدند. واسنجی روش‌ها در دو حالت متمایز انجام شد. در حالت اول تنها یک ضریب واسنجی برای ایستگاه‌ها تخمین زده شد. در حالت دوم ضریب واسنجی هر ایستگاه برای یکایک ماه‌های سال محاسبه شد. ارزیابی روش‌های مورد مطالعه با آماره‌های R^2، RMSE، MBE وMAE انجام شد. میزان اثر بخشی عمل واسنجی روش‌ها با آماره $R_a RMSE$ ارزیابی شد. نتایج نشان داد که قبل از واسنجی نتایج روش‌های مختلف اختلاف زیادی با روش فائو پنمن- مانتیث داشت و واسنجی روش‌ها در عملکرد آنها بهبود قابل ملاحظه‌ای ایجاد کرد، همچنین نتایج نشان داد که واسنجی روش‌ها در حالت دوم بسیار مناسب تر از حالت اول است. برای حوضه مورد مطالعه قبل و بعد از واسنجی (درحالت اول) روش هارگریوز به عنوان بهترین روش شناخته شد. پس از هارگریوز روش‌های لیناکر و بلانی‌کریدل به ترتیب به عنوان روش‌های مناسب تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع (پس از واسنجی در حالت اول) تشخیص داده شدند. روش تورنت وایت خطای زیادی داشته و برای تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع در منطقه مورد مطالعه مناسب تشخیص داده نشد. بعد از واسنجی (در حالت دوم) روش لیناکر به عنوان بهترین روش برای تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع در حوضه دریاچه ارومیه شناخته شد. روش‌های هارگریوز، بلانی‌کریدل و تورنت‌وایت به ترتیب در رده‌های دوم تا چهارم قرار گرفتند.

کلید واژه‌ها: تبخیر وتعرق، حوضه آبریز دریاچه ارومیه، پنمن- مانتیث، هارگریوز، لیناکر، بلانی کریدل، تورنت‌وایت

Comparison of Four Temperature Based Reference Crop Evapotranspiration Estimation Method at Urmia Lake Basin

O. Babamiri[1] and Y. Dinpashoh[2]

1- Msc student, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultur, University of Tabriz.
2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultur, University of Tabriz.

Received: 8 Oct. 2012 Accepted: 12 Mar. 2013

Abstract

The aim of this study is to compare and calibrate of four different temperature based ETo estimation methods in monthly time scale at Urmia Lake basin. The selected methods were Hargreaves (HG), Thornthwaite (TW), Blaney- Criddle (BC) and Linacre (Lin). For this purpose the information of weather parameters in the period 1986-2010 were used. Results of mentioned methods compared with the output of the FAO Penman- Monteith (PM56). Methods calibrated using the two distinct approaches. At first state only one calibration coefficient estimated along every year. At second state calibration coefficients estimated for each station and every month in a year. Performance of methods evaluated using the R^2,

www.SID.ir

Archive of SID

RMSE, MBE and MAE statistics. The effectiveness of method's calibration evaluated using the R_a $RMSE$. Results showed that before calibration larger biases existed for selected methods comparing PM56. Calibration of methods considerably improved their performances. Results indicated that calibration of methods in the case of second state was very effective comparing the first state. The HG method was recognized as a best method either before or after calibration (in the first state) at the Urmia lake watershed. Linacre and Blaney- Criddle methods selected as the best methods following the Linacre method (after calibration at first state). Thornthwaite method had large error and therefore was not suitable method for estimation of ETo at the study area. The Linacre method was known as the best method of ETo estimation at Urmia Lake basin after calibration (at second state). HG, BC and TW were in the second to fourth rank orders, respectively.

Key words: Evapotranspiration, Urmia Lake basin, Penman- Monteith, Hargreaves, Linacre, Blaney-Criddle, Thornthwaite.

مقدمه

تخمین دقیق مقدار تبخیر- تعرق گیاه مرجع (ETo) اولین قدم در برآورد نیاز آبی گیاه است. تبخیر- تعرق تابعی از عوامل مختلف نظیر دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشیدی است. برای اندازه گیری دقیق تبخیر- تعرق از لایسیمتر استفاده می‌شود. با این حال اندازه گیری ETo پر هزینه بود، و نیازمند صرف وقت زیاد است که همیشه امکان پذیر نیست. برای این کار معمولا، از روش های غیر مستقیم که با استفاده از داده های اقلیمی مقدار تبخیر- تعرق گیاه مرجع را تخمین می‌زنند، استفاده می‌شود. مطالعات پیشین نشان می‌دهد، که مقدار تخمینی ETo با استفاده از روش فائو پنمن-مانتیث (PM56) در اقلیم های مختلف به مقادیر اندازه گیری شده نزدیک‌تر است (۷). با توجه به اینکه مقادیر ETo حاصل از لایسیمتر در اکثر موارد قابل دسترس نیست بنابراین، واسنجی مدل‌های تجربی تبخیر-تعرق با نتایج حاصل از روش فائو پنمن-مانتیث واسنجی یا مورد مقایسه قرار می‌گیرد (۶ و ۱۲). در اکثر مطالعات مدل فائو پنمن- مانتیث جهت مقایسه و واسنجی مدل‌های دیگر در مطالعات مختلف به کار می‌رود (۹ و ۱۱ و ۱۷). صالح و سندیل[1] با مقایسه کارایی پنج روش در بخش‌های مرکزی عربستان (صعودی) نشان داد که روش جنسن هیز پس از واسنجی بهترین روش برای تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع است (۲۰). سینگ و خو[2] با بررسی سیزده نوع مدل‌های مختلف تبخیر از سطح آزاد آب (بر مبنای انتقال جرم) مدلی که با داده های لایسیمتری برای منطقه در شمال غرب کانادا سازگاری داشت انتخاب و آن را واسنجی کردند (۱۶). خو و سینگ[3] با بررسی کارایی هفت روش تخمین ETo بر مبنای درجه حرارت هوا در ایستگاه دریاچه راوسون و آتیکوکان واقع در شمال غرب اونتاریوی کانادا نشان دادند که روش بلانی-کریدل اصلاح شده و هارگریوز به ترتیب به عنوان بهترین روش در منطقه می‌باشد (۲۱). خو و سینک پنج روش تخمین تبخیر-تعرق را از بین سه روش کلی شامل: بر مبنای انتقال جرم، بر مبنای تابش و بر مبنای درجه حرارت هوا انتخاب و واسنجی کردند (۲۲). رزنبری و همکاران[4] دوازده مدل مختلف تخمین تبخیر-تعرق را در منطقه داکاتای شمالی آمریکا با روش‌های مختلف مورد مقایسه قرار دادند که از بین سیزده روش مختلف تخمین ETo روش پرستلی تیلور نتایج دقیق تری را در ناحیه جنوب داکوتا به‌دست می‌دهد(۱۴). ترج کویک و کولاکویچ[5] روش‌های مختلف تبخیر -تعرق شامل روش‌های هارگریوز (HG)، ترنت وایت (TW)، تورک (T)، جنسن-هیز و PT را بر اساس داده‌های هفت ایستگاه با آب و هوای مرطوب ارزیابی کردند و نشان دادند که روش هارگریوز در تخمین ETo نواحی مرطوب صربستان و کرواسی مناسب نبوده و روش تورک (مبتنی بر تابش) برای این ناحیه مناسب است. آنها پس از روش تورک روش پرستلی تیلور را مناسب برای تخمین ETo ایستگاه‌های منطقه پیشنهاد کردند (۱۹). سنتلهاس و همکاران[6] با استفاده از اطلاعات دوازده ایستگاه هواشناسی واقع در جنوب کانادا مدل‌های هارگریوز، تورنت وایت و پرستلی تیلور را بر اساس نتایج مدل PM56 واسنجی کردند (۱۵). ژای و همکاران[7] نتایج تخمین تبخیر و تعرق حاصل از یازده مدل تجربی را با داده‌های تبخیر از تشتک، در ده ایستگاه هواشناسی واقع در استان گانسو در شمال چین، مقایسه کردند و روش دورنبوس و پروت را از بین یازده روش تخمین ETo به عنوان مدل مناسب در شمالغرب چین انتخاب کردند (۲۳). در ایران نیز مطالعات پراکنده‌ای در زمینه تخمین ETo با روش‌های مختلف و مقایسه یا واسنجی آنها انجام شده است. به عنوان مثال جهانبخش اصل و همکاران

1- Salih and Sandil
2- Singh and Xu
3- Xu and Singh
4- Rosenberry et al
5- Trajkovic and Kolakovic
6- Sentelhas et al
7- Zhai et al

www.SID.ir

Archive of SID

(۱۳۸۰) روش‌های ترکیبی، دمایی، تابشی، همبستگی چندگانه و رطوبتی را برای ایستگاه تبریز با آمار بیست ساله تحلیل و خروجی آنها را با روش تشتک تبخیر مقایسه کردند (۱). شریفیان و همکاران ETo منطقه گرگان را در مقیاس روزانه برآورد کردند. ایشان از مدل‌های مختلف شامل گروه مدل‌های ترکیبی (مدل‌های پنمن و پنمن اصلاح شده فائو) و دمایی (هارگریوز- سامانی و بلانی- کریدل- فائو) استفاده و نتایج را با مقادیر حاصل از PM56 در سه وضعیت متفاوت (شامل استفاده از داده‌های اصلاح نشده و داده‌های اصلاح شده در شرایط توصیه شده برای ایران و جهان) مورد مقایسه و ارزیابی قرار دادند (۳).رحیمی خوب و همکاران روش‌های تخمین ETo با استفاده ازحداقل داده‌های هواشناسی در منطقه خوزستان را با استفاده از معادله PM56 مورد مقایسه قرار دادند (۴). دهقانی و همکاران با استفاده از داده‌های روزانه تنها ایستگاه گرگان مقادیر ETo را با روش‌های PM56، HG ، T، PT و مک‌کینگ تخمین زدند. نامبردگان مدل‌ها را بر اساس روش استاندارد PM56 واسنجی کردند (۲). با توجه به پیشینه پژوهش به نظر می‌رسد، مطالعه وسیعی در زمینه واسنجی مدل‌های مختلف تبخیر- تعرق در شمال غرب ایران بر مبنای مدل فائو پنمن-مانتیث انجام نشده است. بنابراین، هدف این مطالعه مقایسه روش‌های تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع بسط داده شده بر مبنای درجه حرارت هوا و واسنجی آنها با توجه به نتایج روش فائو پنمن- مانتیث در حوضه آبریز دریاچه ارومیه است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه حوضه آبریز دریاچه ارومیه است. این حوضه بین ۴۴ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. مساحت آن حدود ۵۲۷۰۰ کیلومتر مربع است که حدود ۳/۲ درصد مساحت کل کشور را در بر می‌گیرد. میانگین بارش سالانه این حوضه حدود ۳۹۸ میلی‌متر است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل میانگین، حداقل و حداکثر درجه حرارت هوا، میانگین رطوبت نسبی، تعداد ساعات آفتابی و سرعت باد در مقیاس ماهانه می‌باشد. داده‌ها از اداره کل سازمان هواشناسی استان‌های آذربایجان‌شرقی و آذربایجان غربی اخذ شدند. شکل (۱) منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های منتخب را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که اشاره شد، روش PM56 به عنوان یک روش مبنا برای مقایسه و واسنجی سایر مدل‌های بر مبنای درجه حرارت هوا انتخاب گردید. علت این تصمیم این است که آلن و همکاران[1]، مدل مذکور را به عنوان یک روش استاندارد جهانی برای تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع پیشنهاد کردند (۶). فرم توصیه شده این مدل به شرح زیر است:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (۱)$$

که در آن:

ETo: تبخیر تعرق گیاه مرجع (mm/day^{-1})، Rn: تابش خالص درسطح پوشش گیاهی ($MJ\ m^{-2}day^{-1}$)، G: جریان حرارتی خاک ($MJ\ m^{-2}day^{-1}$) ،T: میانگین دمای هوا در ارتفاع دو متری از سطح زمین ($^{\circ}C$)، u_2: سرعت باد درارتفاع دو متری از سطح زمین (m/s)، $(e_s - e_a)$: کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (kPa)، Δ: شیب منحنی فشار بخار ($\mathrm{Kpa^{o}C^{-1}}$) و γ: ثابت سایکرومتر ($Kpa^{o}C^{-1}$) می‌باشد.

برای تخمین پارامترهای روش PM56 از فرمول‌های ارائه شده توسط آلن و همکاران استفاده شد (۶). برای تبدیل سرعت باد در ارتفاع Z متری(u_z) به سرعت باد در ارتفاع دو متری (u_2) از رابطه زیر استفاده شد (۲۳).

$$u_z = \frac{4.87u_2}{\ln(67.8z - 5.42)} \quad (۲)$$

شکل کلی اکثر روش‌های تخمین ETo بر مبنای درجه حرارت به شرح زیر است:

$$ETo = C(T)^{n^*} \quad (۳)$$

$$ETo = C_1 d_1 T(C_2 - C_3) \quad (۴)$$

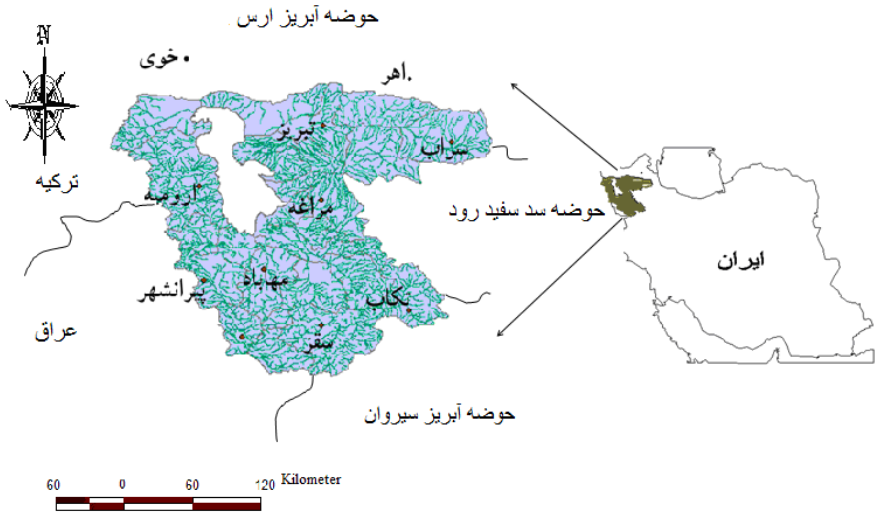
C وn^*: ضرایب ثابت تجربی هستند که مقادیر آنها را برای هر ایستگاه با توجه به اطلاعات داده‌های مربوطه به تبخیر- تعرق و درجه حرارت هوا می‌توان تخمین زد. d_1: پارامتر مربوط به طول روز و C_1، C_2، C_3: ثابت‌های مدل هستند.

در این مطالعه چهار روش بر مبنای درجه حرارت هوا شامل هارگریوز، بلانی کریدل، تورنت وایت و لیناکر جهت واسنجی با روش PM56 انتخاب شدند. تنها ورودی مدل در این روش‌ها درجه حرارت هوا می‌باشد. مدل هارگریوز و بلانی‌کریدل در متون مختلف از جمله ژای و همکاران شرح داده شده است (۲۳). خواننده می‌تواند شرح مدل تورنت‌وایت را در تورنت وایت و مدل لیناکر را در لیناکر مطالعه نماید (۱۸و۱۲). این مدل‌ها در شرایط غیر از ایران بسط داده شده‌اند و بنابراین، لازم است واسنجی شوند. در این مطالعه برای واسنجی هر روش ابتدا مقدار تبخیر- تعرق گیاه مرجع با روش مذکور تخمین زده شد.

1- Allen et al

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های انتخاب شده در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	کد ایستگاه	طول جغرافیایی		عرض جغرافیایی		ارتفاع از سطح دریا(m)	دوره آماری
		دقیقه	درجه	دقیقه	درجه		
اهر	A	۰۴	۴۷	۲۶	۳۸	۱۳۹۰/۵	۱۹۸۶-۲۰۱۰
خوی	B	۵۸	۴۴	۳۳	۳۸	۱۱۰۳	۱۹۸۶-۲۰۰۸
مهاباد	C	۴۳	۴۵	۴۶	۳۶	۱۳۸۵	۱۹۸۶-۲۰۰۸
مراغه	D	۱۶	۴۶	۲۴	۳۷	۱۴۷۷/۷	۱۹۸۶-۲۰۱۰
ارومیه	E	۰۵	۴۵	۳۲	۳۷	۱۳۱۵/۹	۱۹۸۶-۲۰۰۸
پیرانشهر	F	۰۸	۴۵	۴۰	۳۶	۱۴۵۵	۱۹۸۶-۲۰۰۸
سراب	G	۳۲	۴۷	۵۶	۳۷	۱۶۸۲	۱۹۸۶-۲۰۱۰
سقز	H	۱۶	۴۶	۱۵	۳۶	۱۵۲۲/۸	۱۹۸۶-۲۰۰۸
تکاب	I	۰۷	۴۷	۲۳	۳۶	۱۷۶۵	۱۹۸۶-۲۰۰۸
تبریز	J	۱۷	۴۶	۲۳	۳۶	۱۳۶۱	۱۹۸۶-۲۰۱۰

سپس مقدار نظیر با روش فائو پنمن-مانتیث برآورد گردید. نمودار پراکنش داده‌ها در محورهای عمود بر هم رسم و خط رگرسیون از مبدا برازش داده شد. شیب خط به عنوان ضریب واسنجی روش در نظر گرفته شد. برای ارزیابی عملکرد مدل-های مورد استفاده از آماره‌های زیر استفاده شد:

۱- معیار ضریب تبیین (R^2) (۸):

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=0}^{n}(ET_{om,i}-\overline{ET_{o,m}}).(ET_{o,FAO,i}-\overline{ET_{o,FAO}})\right]^2}{\sum_{i=0}^{n}(ET_{om,i}-\overline{ET_{o,m}})^2.\sum_{i=0}^{n}(ET_{o,FAO,i}-\overline{ET_{o,FAO}})^2} \quad (۵)$$

۲- معیار جذر میانگین مربعات خطا(RMSE) (۱۵):

$$RMSE=\sqrt{1/n\sum_{i=0}^{n}(ET_{o,m,i}-ET_{o,FAO,i})^2} \quad (۶)$$

۳- معیار میانگین خطا (MBE) (۱۵):

$$MBE=1/n\sum_{i=0}^{n}(ET_{om,i}-ET_{o,FAO,i}) \quad (۷)$$

۴- معیار میانگین خطای مطلق(MAE)(۱۹):

$$MAE=1/n\sum_{i=0}^{n}\left|ET_{om,i}-ET_{o,FAO,i}\right| \quad (۸)$$

$ET_{om,i}$: مقدار تبخیر- تعرق تخمین زده شده با یکی از روش‌های دمایی ($mm.day^{-1}$) در ماه معین برای سال i

www.SID.ir

Archive of SID

ام، $ET_{o,FAO,i}$: مقدار تبخیر-تعرق محاسبه شده با روش PM56 ($mm.day^{-1}$) در ماه معیین برای سال i ام، $\overline{ET_{o,m}}$: میانگین تبخیر-تعرق تخمین زده شده با یکی از روش‌های منتخب، $\overline{ET_{o,FAO}}$: میانگین تبخیر-تعرق تخمین زده شده با روش فائو پنمن-مانتیث و n: تعداد سال‌های آماری می‌باشد.

آزمون معنی‌داری R^2 در سطح پنج درصد انجام شد. همچنین برای درک میزان تاثیر عملی واسنجی با محاسبه مقادیر میانگین مربعات خطا برای معادله‌های تبخیر- تعرق گیاه مرجع با عمل واسنجی ($RMSE_{ET_O-Calibrated}$) و میانگین نظیر بدون عمل واسنجی ($RMSE_{ET_O-NonCalibrated}$) در دوره آماری مورد مطالعه از رابطه زیر استفاده شد (۱۰):

$$R_a RMSE = 1 - \frac{RMSE_{ET_O-Calibrated}}{RMSE_{ET_O-NonCalibrated}} \qquad (۹)$$

مقادیر مثبت $R_a RMSE$ نشان دهنده بهبود عملکرد و افزایش کارایی معادله‌های تبخیر- تعرق گیاه مرجع در اثر عمل واسنجی بوده و مقادیر منفی نشان دهنده آن است که عمل واسنجی سبب کاهش کارایی و افزایش خطا شده است.

نتایج و بحث

شکل (۲) نقاط پراکنش مقادیر تبخیر- تعرق گیاه مرجع مدل هارگریوز را در مقابل مدل فائو پنمن-مانتیث نشان می‌دهد. بطوریکه از این شکل می‌توان استنباط کرد مدل هارگریوز قبل از واسنجی تا حدودی توانسته است مقدار تبخیر- تعرق گیاه مرجع با دقت قابل قبول در منطقه مورد مطالعه تخمین بزند. با این حال روش مذکور در همه ایستگاه‌ها (به جز دو ایستگاه مراغه و تبریز) مقدار تبخیر- تعرق گیاه مرجع را بیشتر از روش فائو پنمن-مانتیث تخمین زده است. در حالت کلی ایستگاه‌های مراغه و تبریز مقدار تبخیر- تعرق گیاه مرجع با روش فائو پنمن-مانتیث به ترتیب ۱/۲۰۴ و ۱/۲۰۵ برابر مقدار نظیر با روش هارگریوز بدست آمد. با این حال، در دیگر ایستگاه‌ها مقدار تبخیر- تعرق گیاه مرجع با روش فائو پنمن- مانتیث بین ۰/۸۱۵ برابر (در ایستگاه خوی) تا ۰/۹۸۸ برابر (در ایستگاه پیرانشهر) روش هارگریوز تغییر می‌کند.

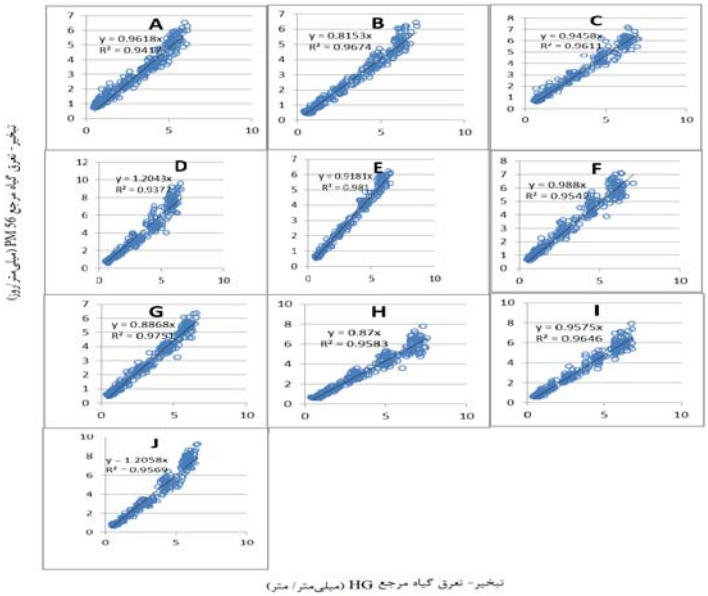
جدول (۲) معیارهای ارزیابی محاسبه شده برای تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع با روش هارگریوز را قبل واسنجی نشان می‌دهد. جداول مشابهی برای دیگر روش‌های منتخب تهیه شد. بطوریکه از جدول (۲) می‌توان نتیجه گرفت، مقادیر جذر میانگین مربعات خطا از حداقل ۰/۳۹۶ در ایستگاه ارومیه تا حداکثر ۱/۰۰۱ در ایستگاه مراغه تغییر می‌کند. مقادیر میانگین خطا ایستگاه‌های مراغه، تبریز و پیرانشهر منفی و بقیه ایستگاه‌ها مثبت است. مقادیر میانگین خطای مطلق نیز از حداقل ۰/۳۰۵ در ایستگاه تکاب تا حداکثر ۰/۶۴۲ در ایستگاه مراغه تغییر می‌کند. این نشان می‌دهد که در ایستگاه مراغه میانگین قدر مطلق انحراف مقادیر تبخیر- تعرق گیاه مرجع بدست آمده با روش هارگریوز از روش فائو پنمن-مانتیث بیشتر از سایر ایستگاه‌ها می‌باشد. حداقل مقدار R^2 متعلق به ایستگاه مراغه (معادل ۰/۹۳۷۷) و حداکثر مقدار آن متعلق به ایستگاه ارومیه (معادل ۰/۹۸۱) می‌باشد. بررسی معنی داری مقادیر R^2 نشان داد که همه مقادیر محاسبه شده برای R^2 ایستگاه‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار هستند.

در این مطالعه واسنجی روش‌های تبخیر-تعرق مبنی بر درجه حرارت هوا در دو حالت متمایز به شرح زیر بررسی شد. در حالت اول همه مقادیر تبخیر- تعرق گیاه مرجع تخمین زده شده با روش مشخص (مثل هارگریوز) برای تمام ماه‌های سال در طول دوره آماری مورد مطالعه در نظر گرفته شدند. با رسم نمودار پراکنش نقاط محاسبه شده با مدل مشخص تابعی از مقادیر نظیر مدل فائو پنمن-مانتیث خط رگرسیون از مبدا برازش داده شد. شیب خط مذکور به عنوان ضریب واسنجی در نظر گرفته شد. جدول (۳) ضرایب واسنجی را در حالت اول برای روش‌های منتخب در یکایک ایستگاه‌های مختلف حوضه دریاچه ارومیه نشان می‌دهد. به طوری که از این جدول می‌توان استنباط کرد ثابت واسنجی در همه ایستگاه‌ها (بجز مراغه و تبریز) کمتر از واحد است. نتایج در حالت اول نشان داد که مقدار K از حداقل ۰/۸۱۵ (در خوی) تا حداکثر ۱/۲۰۶ (در تبریز) تغییر می‌کند. شکل (۲) نمودار پراکنش نقاط را در محورهای عمود برهم (برای حالت اول) نشان می‌دهد. بطوریکه از این شکل میتوان استنباط کرد شیب خط رگرسیونی در غالب ایستگاه‌ها کمتر از واحد است.

شکل (۳) نقاط پراکنش مقادیر تبخیر- تعرق گیاه مرجع محاسبه شده با روش هارگریوز و روش فائو پنمن-مانتیث را در ایستگاه‌های مورد مطالعه بعد از واسنجی در حالت اول نشان می‌دهد. شکل‌های مشابهی برای دیگر روش‌های منتخب تهیه شد. بطوریکه از شکل (۳) می‌توان استنباط کرد، پس از واسنجی در حالت اول، مقادیر برآورد شده با روش هارگریوز تا حدودی به مقادیر نظیر روش فائو پنمن-مانتیث نزدیکتر شده است. بطوری که شیب خط برازش شده برای همه ایستگاه‌ها معادل واحد است. ضرایب تبیین (R^2) بعد از واسنجی همان مقادیر نظیر قبل از واسنجی است. علت آن این است که همه مقادیر تبخیر- تعرق گیاه مرجع نظیر روش هارگریوز به ضریب ثابت K (ضریب واسنجی) ضرب شده‌اند. که این عمل تاثیری در مقدار همبستگی دو سری هارگریوز و روش فائو پنمن- مانتیث

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۲- مقایسه مقادیر ETo محاسبه شده با روش‌های هارگریوز(HG) و فائو پنمن مانتیث(PM56) در ایستگاه‌های هواشناسی حوضه آبریز دریاچه ارومیه (قبل از واسنجی در حالت اول)

جدول ۲- معیارهای ارزیابی محاسبه شده برای تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع با روش هارگریوز در ایستگاه‌های حوضه آبریز ارومیه (قبل از واسنجی)

نام ایستگاه	کد ایستگاه	R^2	RMSE	MBE	MAE
اهر	A	۰/۹۴۱۷	۰/۴۰۷۲	۰/۰۳۰۷	۰/۳۳۰۰
خوی	B	۰/۹۶۷۴	۰/۷۸۸۲	۰/۶۲۵۶	۰/۶۳۳۹
مهاباد	C	۰/۹۶۱۱	۰/۴۳۸۲	۰/۱۳۲۲	۰/۳۱۸۴
مراغه	D	۰/۹۳۷۷	۱/۰۰۱۱	-۰/۵۵۵۹	۰/۶۴۲۲
ارومیه	E	۰/۹۸۱۰	۰/۳۹۶۲	۰/۲۸۱۸	۰/۳۱۲۱
پیرانشهر	F	۰/۹۵۴۲	۰/۴۲۵۳	-۰/۰۰۹۹	۰/۳۱۳۹
سراب	G	۰/۹۷۵۱	۰/۵۰۱۷	۰/۳۴۴۷	۰/۳۸۳۴
سقز	H	۰/۹۵۸۳	۰/۶۹۲۰	۰/۴۵۶۱	۰/۴۹۸۴
تکاب	I	۰/۹۶۴۶	۰/۴۱۵۵	۰/۱۱۶۲	۰/۳۰۴۷
تبریز	J	۰/۹۵۶۹	۰/۹۳۵۷	-۰/۵۷۶۰	۰/۶۲۲۴
میانه(Median)	-	۰/۹۵۹۷	۰/۴۶۹۹	۰/۱۲۴۲	۰/۳۵۶۷

جدول ۳- ضرایب واسنجی روش‌های منتخب در حالت اول برای تمام ماه‌های سال در دوره آماری مورد مطالعه در ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه

ایستگاه / روش	اهر	خوی	مهاباد	مراغه	ارومیه	پیرانشهر	سراب	سقز	تکاب	تبریز
هارگریوز	۰/۹۶۱۸	۰/۸۱۵۳	۰/۹۴۵۸	۱/۲۰۴۳	۰/۹۱۸۱	۰/۹۸۸۰	۰/۸۸۶۸	۰/۸۷۰۰	۰/۹۵۷۵	۱/۲۰۵۸
تورنت‌وایت	۱/۳۲۲۶	۱/۱۳۷۰	۱/۳۲۱۶	۱/۵۲۱۷	۱/۲۹۸۸	۱/۳۵۶۴	۱/۴۴۳۰	۱/۴۶۲۰	۱/۵۱۷۷	۱/۴۹۲۸
بلانی کریدل	۱/۸۰۵۶	۱/۶۴۴۰	۱/۱۹۲۱	۲/۲۴۷۵	۱/۸۲۶۱	۱/۹۶۶۵	۱/۹۰۴۳	۲/۰۳۵۸	۲/۰۷۴۸	۲/۲۴۲۲
لیناکر	۰/۵۸۵۸	۰/۴۹۸۱	۰/۵۱۲۸	۰/۶۱۰۵	۰/۵۶۴۶	۰/۵۲۲۹	۰/۵۲۸۲	۰/۴۷۵۵	۰/۵۰۶۹	۰/۶۳۲۱

www.SID.ir

Archive of SID

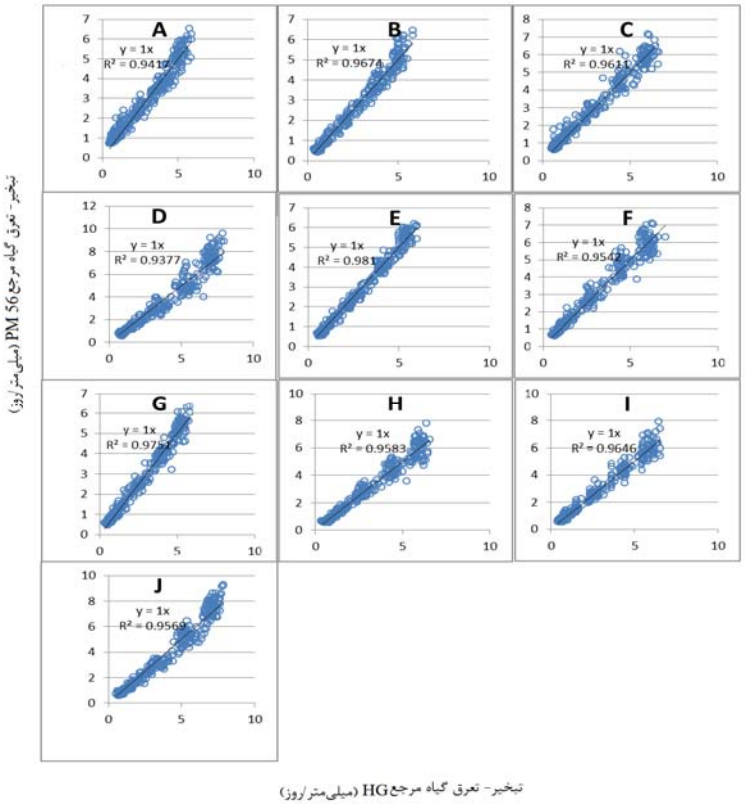
ندارد. جدول (۴) معیارهای ارزیابی را در خصوص روش هارگریوز پس از واسنجی در حالت اول نشان می‌دهد. برای دیگر روش‌های منتخب نیز جداول مشابهی تهیه شد. با ملاحظه این جداول می‌توان استنباط کرد مقادیر جذر میانگین مربعات خطا پس از واسنجی در تمام ایستگاه‌ها بطور محسوسی کاهش یافته است. به عنوان مثال مقدار جذر میانگین مربعات خطا ایستگاه مراغه از رقم ۱/۰۰۱ (قبل از واسنجی) به رقم ۰/۶۴۸ (پس از واسنجی) کاهش یافته است. همچنین قدر مطلق مقادیر میانگین خطا در یکایک ایستگاه‌ها بعد از واسنجی در مقایسه با مقادیر نظیر قبل از واسنجی بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است. به عنوان مثال مقدار میانگین خطای مطلق ایستگاه تبریز از ۰/۵۷۶- (قبل از واسنجی) به ۰/۰۷۹ (بعد از واسنجی) تغییر یافته است. افزون بر این، مقادیر آماره میانگین خطای مطلق نیز در همه ایستگاه‌ها کاهش پیدا کرده است. به عنوان مثال، مقدار میانگین خطای مطلق در ایستگاه مراغه قبل از واسنجی بیشترین مقدار (۰/۶۴۲) را به خود اختصاص داده بود (جدول ۲) که این رقم پس از واسنجی به ۰/۴۷۹ (جدول ۴) کاهش یافت. نتایج نشان داد که مقادیر آماره R_aRMSE برای تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه مثبت بود (جدول ۴). این نتیجه نشان می‌دهد که عمل واسنجی روش هارگریوز باعث افزایش کارایی آن شده است. بیشترین مقدار R_aRMSE مربوط به ایستگاه خوی (۰/۶۰۳۴) و کمترین مقدار آن مربوط به ایستگاه اهر (۰/۰۵۸۲) می‌باشد (جدول۴).

در حالت دوم واسنجی روش مورد نظر برای تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع برای هر ماه بطور جداگانه انجام شد. بنحوی که در یک ماه مشخص مثل (مرداد) مقادیر تبخیر- تعرق گیاه مرجع با روش هارگریوز در همه سال‌های دوره آماری تخمین زده شد. در هر ماه با رسم نقاط پراکنش مقادیر هارگریوز تابعی از مقادیر روش فائو پنمن-مانتیث واسنجی انجام شد. جدول ۵ ثابت‌های واسنجی (K) را در مقیاس ماهانه برای یکایک ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. بطوریکه از این جداول می‌توان استنباط کرد دامنه تغییرات K در حالت دوم نسبت به حالت اول زیادتر شده است. ثابت‌های واسنجی ایستگاه‌های خوی، ارومیه، سراب و سقز در تمام ماه‌های سال کمتر از واحد است. این نشان می‌دهدکه در ایستگاه‌های مذکور در تمام ماه‌های سال مقادیر تبخیر- تعرق گیاه مرجع تخمین زده شده با روش هارگریوز بیشتر از مقادیر نظیر روش فائو پنمن-مانتیث است. همچنین در ایستگاه تبریز ثابت K برای تمام ماه‌های سال بیش یک می‌باشد. این نشان می‌دهد که در تبریز در تمام ماه-های سال مقادیر تبخیر- تعرق گیاه مرجع تخمین زده شده با روش هارگریوز کمتر از مقدار نظیر روش روش فائو پنمن-مانتیث می‌باشد. بنابراین، جهت اصلاح روش هارگریوز در تبریز لازم است ارقام بدست آمده با روش هارگریوز به عددی بیش از واحد ضرب شوند. در ایستگاه مراغه در تمام ماه‌های سال (بجز فروردین) مقدار ثابت K بیش از واحد می‌باشد، در دیگر ایستگاه‌های مورد مطالعه، ثابت واسنجی روش هارگریوز در برخی ماه‌ها کمتر از یک و در برخی ماه‌ها بیشتر از یک بود.

نقاط پراکنش مقادیر تبخیر- تعرق گیاه مرجع با روش‌های هارگریوز و روش فائو پنمن- مانتیث پس از واسنجی (در حالت دوم) مشابه شکل (۳) (مربوط به حالت اول) رسم شد. شکل-های مشابهی برای دیگر روش‌های منتخب تهیه شد. نتایج نشان داد که در حالت دوم (واسنجی در مقیاس ماهانه) نقاط هرچه بیشتر به خط ۱:۱ نزدیک‌تر شده‌اند. معیارهای ارزیابی در حالت دوم نیز محاسبه شد. نتایج نشان داد که در تمام ایستگاه-ها مقادیر جذر میانگین مربعات خطا ، قدرمطلق مقادیر میانگین خطا و میانگین خطای مطلق پس از واسنجی (در مقیاس ماهانه) بطور قابل ملاحظه‌ای نسبت به حالت اول یعنی حالتی که واسنجی در حالت کلی انجام شده باشد کاهش یافته است، مثلا در ایستگاه اهر مقدار جذر میانگین مربعات خطا در حالت اول معادل ۰/۳۸۵۷۲ بوده که در حالت دوم به رقم ۰/۲۳۵۷۳ کاهش یافته است، همچنین مقدار قدرمطلق میانگین خطا این ایستگاه در حالت اول معادل ۰/۰۸۱۱۸ که در حالت دوم معادل ۰/۰۰۳۴۴ می‌باشد. افزون بر این، مقدار میانگین خطای مطلق ایستگاه اهر در حالت اول معادل ۰/۳۱۶۲۷ بوده که در حالت دوم به رقم ۰/۱۸۳۴۴ کاهش یافته است. همچنین مقادیر R_aRMSE نیز در همه ایستگاه‌ها (در مقیاس ماهانه) به طور قابل ملاحظه ای نسبت به حالت اول یعنی حالتی که واسنجی در حالت کلی انجام شده باشد افزایش پیدا کرده است. برای مثال در ایستگاه اهر مقدار R_aRMSE در حالت اول معادل ۰/۰۵۲۸۶ و در حالت دوم به رقم ۰/۴۲۱۱ افزایش پیدا کرده است. این نشان می‌دهد که واسنجی روش هارگریوز در هر ماه به طور جداگانه (حالت دوم) کارایی آن در مقایسه با حالت اول که در آن واسنجی در کل دوره آماری و به طور مسلسل انجام شده باشد افزایش داده است. دو روش هارگریوز و تورنت‌وایت (پس از واسنجی) نشان داد که مقدار R^2 در تمام ایستگاه‌ها با روش هارگریوز بیشتر از تورنت‌وایت می‌باشد. به عنوان نمونه، جدول (۵) معیارهای ارزیابی را برای روش هارگریوز در مورد تمام ایستگاه‌ها پس از واسنجی در حالت دوم نشان می‌دهد. بنابراین، در کل حوضه دریاچه ارومیه روش هارگریوز هم قبل از واسنجی و هم بعد از واسنجی مناسب تر از روش تورنت‌وایت می‌باشد. مقایسه روش‌های هارگریوز و بلانی‌کریدل پس از واسنجی نشان می‌دهد که مقدار R^2 با روش هارگریوز در تمام ایستگاه‌ها (به جز پیرانشهر و تکاب) بیشتر از روش بلانی‌کریدل است. از طرفی مقایسه روش‌های تورنت‌وایت و بلانی‌کریدل نشان داد که مقدار R^2 با روش بلانی‌کریدل در تمام ایستگاه‌ها بیشتر از مقدار نظیر روش تورنت‌وایت (پس از واسنجی در حالت دوم) می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با اعمال ضرایب واسنجی در حالت دوم، از بین سه روش هارگریوز ، بلانی‌کریدل ، و تورنت‌وایت

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۳- مقایسه مقادیر ETo محاسبه شده با روش‌های هارگریوز(HG) و فائو پنمن مانتیث(PM56) در ایستگاه‌های هواشناسی حوضه آبریز دریاچه ارومیه (بعد از واسنجی در حالت اول)

جدول٤- معیارهای ارزیابی محاسبه شده برای تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع با روش هارگریوز در ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه (پس از واسنجی حالت اول)

نام ایستگاه	کد ایستگاه	R^2	RMSE	MBE	MAE	$R_a RMSE$
اهر	A	۰/۹۴۱۷	۰/۳۸۵۷	-۰/۰۸۱۲	۰/۳۱۶۳	۰/۰۵۲۸
خوی	B	۰/۹۶۷۴	۰/۳۱۲۶	۰/۰۱۱۰	۰/۲۳۷۴	۰/۶۰۳۴
مهاباد	C	۰/۹۶۱۱	۰/۳۸۱۶	-۰/۰۵۰۸	۰/۲۷۶۷	۰/۱۲۹۲
مراغه	D	۰/۹۳۷۷	۰/۶۴۸۲	۰/۰۹۲۶	۰/۴۷۶۹	۰/۳۵۲۵
ارومیه	E	۰/۹۸۱	۰/۲۵۲۴	۰/۰۲۱۱	۰/۱۹۰۸	۰/۳۶۲۸
پیرانشهر	F	۰/۹۵۴۲	۰/۴۲۲۹	-۰/۰۴۸۵	۰/۳۱۰۴	۰/۰۰۵۷
سراب	G	۰/۹۷۵۱	۰/۲۷۵۷	-۰/۰۱۰۶	۰/۱۹۶۵	۰/۴۵۰۵
سقز	H	۰/۹۵۸۳	۰/۴۱۲۴	۰/۰۱۲۷	۰/۲۹۰۰	۰/۴۰۴۰
تکاب	I	۰/۹۶۴۶	۰/۳۸۲۷	-۰/۰۱۸۵	۰/۲۶۸۸	۰/۰۷۹۰
تبریز	J	۰/۹۵۶۹	۰/۵۳۰۴	۰/۰۷۹۴	۰/۴۰۰۳	۰/۴۳۳۱
میانه(Median)	-	۰/۹۵۹۷	۰/۳۳۴۲	۰/۰۰۰۲	۰/۲۸۳۳	۰/۳۵۷۶

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- معیارهای ارزیابی محاسبه شده برای تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع با روش HG در ایستگاه‌های مورد مطالعه (پس از واسنجی در حالت دوم)

نام ایستگاه	کد ایستگاه	R^2	RMSE	MBE	MAE	R_sRMSE
اهر	A	۰/۹۷۸۲	۰/۲۳۵۷	۰/۰۰۳	۰/۱۸۳۳	۰/۴۲۱۱
خوی	B	۰/۹۶۹۰	۰/۳۰۵۲	-۰/۰۰۰۹	۰/۲۳۳۹	۰/۶۱۲۸
مهاباد	C	۰/۹۶۴۱	۰/۳۶۶۷	-۰/۰۰۴۳	۰/۲۵۷۵	۰/۱۶۳۳
مراغه	D	۰/۹۷۳۳	۰/۴۲۵۰	-۰/۰۲۴۶	۰/۲۹۴۵	۰/۵۷۵۴
ارومیه	E	۰/۹۸۴۱	۰/۲۳۰۷	۰/۰۰۲۴	۰/۱۷۳۶	۰/۴۱۷۶
پیرانشهر	F	۰/۹۶۱۷	۰/۳۸۶۶	-۰/۰۰۲۱	۰/۲۷۵۱	۰/۵۹۰۹
سراب	G	۰/۹۸۱۴	۰/۲۳۸۲	-۰/۰۰۳۶	۰/۱۶۹۹	۰/۵۲۵۲
سقز	H	۰/۹۶۶۰	۰/۳۷۲۵	-۰/۰۰۳۷	۰/۲۵۸۲	۰/۴۶۱۷
تکاب	I	۰/۹۷۰۶	۰/۳۴۹۲	-۰/۰۱۱۳	۰/۲۵۰۹	۰/۱۵۹۸
تبریز	J	۰/۹۸۳۰	۰/۳۳۳۳	۰/۰۰۱۶	۰/۲۴۸۲	۰/۶۴۳۷

استفاده از روش هارگریوز در حوضه دریاچه ارومیه بهتر از روش بلانی‌کریدل است پس از روش بلانی‌کریدل روش تورنت‌وایت در اولویت چهارم قرار گرفت. جدول ۶ ضرایب واسنجی (K) را برای روش هارگریوز در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. از این جدول میتوان با در دست داشتن پارامترهای روش هارگریوز مقدار تبخیر- تعرق گیاه مرجع را بطور دقیق در هر ایستگاه تخمین زد. مقایسه جهانبخش اصل و همکاران نشان دادند که بر اساس آن در ایستگاه تبریز روش کریستسن هارگریوز در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، مرداد، آبان و آذر به عنوان بهترین روش تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع است که این نتیجه با نتایج مطالعه حاضر برای ماه‌های مذکور همخوانی دارد. باید توجه داشت که نامبردگان معیار مقایسه را روش تشتک تبخیر قرار داده‌اند (۱). احمدی و فولادمند روش تورنت وایت را در استان فارس با توجه به خروجی روش فائو پنمن- مانتیث واسنجی نمودند آنها نشان دادند که میانه مقادیر جذر میانگین مربعات خطا در ۱۴ ایستگاه هواشناسی واقع در استان مذکور بین ۰/۴۳ در شهرضا تا ۰/۹۱ در بوشهر تغییر می‌کند، نتایج به‌دست آمده از مطالعه حاضر نشان می‌دهد که مقدار جذر میانگین مربعات خطا بدست آمده برای ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه کمتر از مقدار نظیر استان فارس است، زیرا مقدار آماره مذکور از حداقل ۰/۲۵۲۴ برای ایستگاه ارومیه تا حداکثر ۰/۵۳۰۴ در ایستگاه تبریز تغییر می‌کند که حدود ۵۰ درصد کمتر از مقادیر نظیر ایستگاه‌های استان فارس است(۵). مقایسه روش‌های هارگریوز و لیناکر پس از واسنجی در حالت دوم نشان داد که مقدار میانه مقادیر R^2 با روش لیناکر معادل ۰/۹۷۳۲ بوده درحالیکه مقدار میانه نظیر برای روش هارگریوز معادل ۰/۹۷۱۹است. بنابراین، میتوان نتیجه گرفت که پس از واسنجی در حالت دوم روش لیناکر مناسب تر از روش هارگریوز می‌باشد. همچنین مقایسه روش‌های هارگریوز و بلانی‌کریدل نشان داد که مقدار R^2 با روش هارگریوز در تمام ایستگاه‌ها (به جز پیرانشهر و تکاب) بیشتر از روش بلانی‌کریدل است. از طرفی مقایسه روش‌های تورنت‌وایت و بلانی‌کریدل نشان داد که مقدار R^2 با روش بلانی‌کریدل در تمام ایستگاه‌ها بیشتر از مقدار نظیر روش تورنت‌وایت (پس از واسنجی در حالت دوم) می‌باشد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که پس از واسنجی (در حالت دوم) از بین چهار روش لیناکر، هارگریوز ، بلانی‌کریدل ، و تورنت‌وایت روش لیناکر بهتر از روش هارگریوز می‌باشد. همچنین بعد از این مدل هارگریوز بهتر از بلانی‌کریدل بوده و روش بلانی‌کریدل نیز بهتر از روش تورنت‌وایت است.

نتیجه گیری

در این مطالعه با استفاده از داده‌های ده ایستگاه هواشناسی واقع در حوضه دریاچه ارومیه در دوره آماری ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰، مقادیر تبخیر- تعرق گیاه مرجع ماهانه با روش‌های پنمن- مانتیث و ۴ روش مبتنی بر درجه حرارت هوا تخمین زده شد. این ۴ شامل روش‌های هارگریوز، تورنت- وایت، بلانی-کریدل و لیناکر در مقابل روش پنمن- مانتیث که به عنوان یک روش استاندارد برای تخمین تبخیر- تعرق توصیه شده است، مقایسه و برای ده ایستگاه واقع در حوضه دریاچه ارومیه واسنجی شدند. مقایسه و ارزیابی مدل‌ها هم با ثابت‌های اصلی خود مدل‌ها و هم با ثابت‌های به‌دست آمده پس از واسنجی انجام گردید. مهمترین نوآوری در این مطالعه واسنجی روش‌ها در دو حالت مختلف بود. در حالت اول واسنجی داده‌های تبخیر- تعرق گیاه مرجع ماهانه بطور پیاپی در کل دوره آماری انجام گردید. درحالت دوم واسنجی روش‌ها به تفکیک برای هر ماه بطور جداگانه انجام شد. اکثر مطالعات مشابه (۲۳ و ۲۱ و ۱۹ و ۱۴ و ۱) واسنجی را فقط در حالت اول (واسنجی تبخیر- تعرق گیاه مرجع ماهانه بطور پیاپی در کل دوره آماری) انجام داده‌اند. در

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٦- ضرایب واسنجی (K) روش هارگریوز در ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه برای ماه‌های مختلف سال

ماه / ایستگاه	اهر	خوی	مهاباد	مراغه	ارومیه	پیرانشهر	سراب	سقز	تکاب	تبریز
ژانویه	۱/۴۸۳۶	۰/۸۳۸۳	۱/۰۸۲۲	۱/۰۷۷۹	۰/۸۸۹۳	۱/۱۱۶۴	۰/۹۹۸۴	۰/۸۶۸۷	۱/۰۴۵۷	۱/۱۱۰۷
فوریه	۱/۲۲۸۱	۰/۸۴۷۷	۱/۰۵۲۷	۱/۰۲۷۹	۰/۸۹۵۱	۱/۰۴۸۰	۰/۹۴۴۶	۰/۸۶۰۱	۰/۹۹۸۳	۱/۰۵۲۷
مارس	۰/۹۹۹۵	۰/۸۱۳۰	۰/۹۸۹۹	۱/۰۲۱۴	۰/۸۸۹۶	۱/۰۱۰۱	۰/۹۰۱۶	۰/۸۵۰۳	۰/۹۲۳۵	۱/۰۵۱۷
آوریل	۰/۸۷۶۴	۰/۷۸۱۸	۰/۹۳۵۷	۰/۹۶۲۶	۰/۸۶۵۸	۰/۹۸۲۱	۰/۸۳۵۳	۰/۸۴۰۷	۰/۸۹۴۹	۱/۰۰۳۳
می	۰/۸۵۴۰	۰/۷۹۷۱	۰/۹۲۵۵	۱/۰۰۹۷	۰/۸۷۸۳	۰/۹۵۹۷	۰/۸۳۰۷	۰/۸۲۳۴	۰/۹۴۹۹	۱/۰۴۵۶
ژوئن	۰/۸۹۰۸	۰/۸۲۷۷	۰/۹۳۳۹	۱/۱۳۴۰	۰/۰۹۱۹	۰/۹۵۳۶	۰/۸۵۱۵	۰/۸۱۹۵	۰/۸۹۹۷	۱/۱۶۲۱
ژوئیه	۱/۰۱۸۷	۰/۸۲۸۰	۰/۹۴۱۰	۱/۲۹۷۶	۰/۹۳۷۳	۰/۹۵۴۱	۰/۹۱۸۳	۰/۸۷۲۶	۰/۹۶۲۹	۱/۲۹۶۴
اوت	۱/۰۲۶۶	۰/۸۲۲۳	۰/۹۳۴۳	۱/۳۴۳۸	۰/۹۴۵۸	۰/۹۹۸۶	۰/۹۲۴۴	۰/۹۰۵۱	۱/۰۱۲۶	۱/۳۲۸۴
سپتامبر	۰/۹۷۲۲	۰/۸۱۴۸	۰/۹۶۹۸	۱/۲۶۸۱	۰/۹۳۷۲	۱/۰۷۶۱	۰/۹۰۱۱	۰/۹۳۰۰	۰/۹۷۴۴	۱/۲۶۰۲
اکتبر	۰/۹۸۹۸	۰/۷۶۹۳	۰/۹۹۳۸	۱/۱۹۵۴	۰/۸۸۰۰	۱/۰۶۷۰	۰/۸۹۴۴	۰/۹۴۲۷	۰/۹۸۸۳	۱/۱۸۴۰
نوامبر	۱/۲۱۵۹	۰/۷۸۰۰	۱/۰۶۷۷	۱/۰۸۲۴	۰/۸۹۱۰	۱/۰۸۶۵	۰/۹۱۰۷	۰/۹۰۲۵	۱/۰۴۰۳	۱/۱۴۲۵
دسامبر	۱/۴۱۰۷	۰/۸۰۲۲	۱/۰۹۷۵	۱/۰۵۵۹	۰/۸۶۸۷	۱/۴۴۴۰	۰/۹۳۲۷	۰/۸۸۵۸	۰/۹۷۳۶	۱/۱۲۳۱

بین منابع تنها یک مطالعه (۲۲) پیدا شد که در آن روش بلانی-کریدل برای سه دوره زمانی (مه تا اوت، اکتبر تا فوریه و مارس، آوریل تا سپتامبر) واسنجی شده بود. ایشان سایر روش‌ها را نیز تنها با حالت اول واسنجی کردند (۲۲). در مطالعه حاضر، حالت دوم ضرایب واسنجی در هر ماه برای یکایک ایستگاه‌ها بدست آمد. کارایی این روش‌ها با استفاده از معیارهای R^2، جذر میانگین مربعات خطا ، میانگین خطا و میانگین خطای مطلق مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که قبل از واسنجی با توجه به معیار ضریب تبیین روش هارگریوز (R^2=۰/۹۵۹۷) مناسب ترین روش تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه شناخته شد. پس از آن روش لیناکر (R^2=۰/۸۸۸۲) به عنوان دومین روش مناسب در حوضه مورد مطالعه شناخته شد. روش‌های بلانی‌کریدل و تورنت‌وایت نیز به ترتیب در رده‌های سوم و چهارم قرار گرفتند. نتایج این تحقیق با نتایج ژای و همکاران نیز روش هارگریوز را قبل از واسنجی به عنوان مناسبترین روش برای استان گانسو واقع در شمال غرب چین مطابقت دارد (۲۳). نتایج نشان داد که با استفاده از ضرایب واسنجی برای مدل‌های مورد استفاده کارایی تمام روش‌ها بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. زیرا معیارهای ارزیابی برای تمام روش‌ها پس از واسنجی بهبود یافته‌اند. به عبارت دیگر مقادیر R^2 پس از واسنجی افزایش و مقادیر آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا، میانگین خطا و میانگین خطای مطلق کاهش یافته‌اند. از طرفی واسنجی روش‌ها با استفاده از مقادیر ماهانه تبخیر- تعرق گیاه مرجع به طور پیاپی (حالت اول) نشان داد که روش هارگریوز (R^2=۰/۹۵۹۷) مناسب ترین روش تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه بوده و متعاقب آن روش لیناکر (R^2=۰/۸۸۸۲) نتایج دقیق تری ارائه کرد. روش‌های بلانی-کریدل و تورنت‌وایت به ترتیب در رده‌های سوم و چهارم قرار گرفتند. نتایج نشان داد که عمل واسنجی روش ها در حالت اول موجب بهبود کارایی روش‌ها شده است به طوری که مقدار آماره R_aRMSE از حداقل ۰/۳۶ برای روش هارگریوز تا حداکثر ۰/۷۹ برای روش لیناکر به‌دست آمد. نتایج واسنجی روش‌ها به تفکیک ماهانه (حالت دوم) نشان داد که روش لیناکر (R^2=۰/۹۷۳۲) مناسب ترین روش برای تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع در حوضه دریاچه ارومیه بوده و متعاقب آن روش هارگریوز (R^2=۰/۹۷۱۹) در رده دوم قرار گرفت. روش‌های بلانی‌کریدل و تورنت‌وایت به ترتیب در رده‌های سوم و چهارم قرار گرفتند. نتایج حاکی از آن بود که روش تورنت وایت مناسب برای منطقه حوضه آبریز دریاچه ارومیه نیست. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که کارایی مدل‌ها پس از واسنجی در حالت دوم بیشتر از حالت اول بود زیرا مقدار آماره R_aRMSE در حالت دوم از حداقل ۰/۴۹ برای روش هارگریوز تا حداکثر ۰/۹۱ برای روش لیناکر تغییر می‌کرد. توصیه می‌شود برای تخمین دقیق تبخیر- تعرق گیاه مرجع در حوضه دریاچه ارومیه زمانی که تنها داده‌های درجه حرارت هوا در دسترس است، از روش هارگریوز با اعمال ضرایب واسنجی برای هر ماه بطور جداگانه جدول (۵) استفاده شود.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

۱- جهان بخش اصل، س.، موحد دانش، ع. و ا، مولوی. ۱۳۸۰. تحلیل مدل‌های برآورد تبخیر-تعرق برای ایستگاه هواشناسی تبریز. دانش کشاورزی، جلد ۱۱(۲): ۶۵-۵۱.

۲- دهقانی، ا.، قبائی سوق، م.، شریفیان، ح.، و دهقانی، ن. ۱۳۹۰. واسنجی معادلات تجربی تبخیر-تعرق روزانه و مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی در شرایط مختلف کمبود داده‌های هواشناسی. مجله مدیریت آب و آبیاری، ۱(۱): ۵۴-۴۱.

۳- شریفان، ح.، قهرمان، ب.، علیزاده، ا.، و میرلطیفی، م. ۱۳۸۵. مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق مرجع (ترکیبی و دمایی) با روش استاندارد و بررسی اثرات خشکی هوا بر آن. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳(۱): ۱۲-۱.

۴- رحیمی خوب، ع.، بهبهانی، م.، و م. نظری فر. ۱۳۸۵. بررسی استفاده از حداقل دادهای هواشناسی در معادله پنمن-مانتیث- مطالعه موردی استان خوزستان. مجله علوم کشاورزی، ۱۲(۳): ۵۹۹-۵۹۱.

5- Ahmadi, S. H., and H. R, Fooladmand. 2007 Spatially distributed monthly reference evapotranspiration derived from of calibration of Thornthwaite equation: A case study: south of Iran. Irrigation Science, doi: 10.1007/S00271-007-0094-8.

6- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and M, Smith. 1998. Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainge Paper 56, FAO, 1998, ISBN 92-5-104219-5.

7- Allen, R. G., Jensen, J. L., Wright, J. l., and R. D. Burman. 1989. Operational estimate of evapotranspiration. Agronomy Journal, 81:650-662.

8- Dai, X., Shi, H., Li, Y., Ouyang, Z., and Z, Huo. 2009. Artificial neural network models for estimating regional reference evapotranspiration based on climate factors. Hydrological Processes, 23: 442-450.

9- DehghaniSanij, H., Yamamoto, T., V, Rasiah. 2004. Assessment of evapotranspiration estimation models for use in semi-arid environments. Agriculture Water Management. 64(2): 91-106.

10- Hirsch, R. M., Helsel, D. R., Cohn, T. A., and E. J, Gilroy. 1998. "Statistical analysis of hydrologic data: in D. Maidment, ed., Handbook of Hydrology McGRAW-HILL, INC., PP. 17.1-17.53.

11- Itenfiso, D., Elliott, R. L., Allen, R.G., and I. A., Walter. 2003. Comparison of some reference evapotranspiration calculations as part of the ASCE standardization effort. Journal of Drainage. Irrigation. Draining. Engineering, 129(6): 440-448.

12- Landeras, G., Ortiz-Barredo, A., and I.J, Lopez. 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, 95:553-565.

13- Linacre, E.T. 1977. A simple formula for estimating evapotranspiration rate in various climates using temperature data alone. Agricultural Meteorology, 18: 409-424.

14- Rosenberry, D. O., Stannard, D. O., Winter, T.C., and M. L., Martinez. 2004. Comparison of 13 equations for determining evapotranspiration from a praire wetland, cottonwood lake area North Dakota, USA. Wetlands, 24 (3) : 483-497.

15- Sentelhas, P., Gillespie, T., and E.A. Santos. 2010. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. Agricultural Water Management, 97: 635-644.

16- Singh, V. P., and C. Y. Xu. 1997. Evaluation and generalization of 13 mass transfer equations for determining free water evaporation. Hydrological Processes, 11: 311-323.

17- Temesgen, B., Eching, S., Davidoff, B., and K. Frame. 2005. Comparison of some reference evapotranspiration equations for California, Journal of Drainage. Engineering,131(1): 73-84.

www.SID.ir

Archive of SID

18- Thorntwaite, G. W. 1948. An approach toward rational classification of climate. Georgraphical Review, 38: 55-94.

19- Trajkovic, S., and S. Kolakovic. 2009. Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions. Water Resource Management. 23:3057-3067.

20- Salih, A. M. A., and U. Sendi. 1983. Evapotranspiration under extremely arid environment. Journal of Drainage. Engineering. 110(3) 298-303.

21- Xu, C. Y., and V. P. Singh. 2001. Evaluation and generalization of temperature based methods for calculating evaporation. Hydrological Processes, 15: 305-319.

22- Xu, C. Y., and V. P. Singh. 2002. Cross comparison of empirical equations for calculating potential evapotranspiration with data from Switzerland. Water Resources Management, 16: 197-219.

23- Zhai, L., Feng, Q., Li, Q., and C. Xu. 2010. Comparison and modification of equations for calculating evapotranspiration (ET) with data from Gansu province, Northwest China. Irrigation and Drainage Irrigation, 59: 477-490.

www.SID.ir