برآورد ضریب تشت تبخیر به‌منظور محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع در منطقه اهواز

ساناز شکری[۱*]، عبدالرحیم هوشمند[۲] و مریم قربانی[۳]

۱-دانشجوی دکترا آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲*- نویسنده مسئول،دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده‌ی مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.hooshmand_a@scu.ac.ir

۳- دانشجوی دکترا آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز.

تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۲۷

چکیده

تعیین دقیق مقدار آبی که برای تبخیر و تعرق مصرف می‌شود، از عوامل اساسی در برنامه ریزی برای رسیدن به محصول بیشتر و از مهم‌ترین پارامترهای مدیریت آب در گیاهان می‌باشد. در شرایط عدم دسترسی به داده‌های دقیق لایسیمتری می‌توان از روش فائو پنمن مانتیث به عنوان روش استاندارد، برای ارزیابی نتایج تجربی استفاده کرد. در این تحقیق با استفاده از داده‌های ۱۵ ساله (۹۱-۱۳۷۷) هواشناسی اهواز، ضریب تشت تبخیر با معادله‌های آلن و پروت، اورنگ، اشنایدر و کونیکا و محاسبه و نتایج آن با روش‌های فائو پنمن مانتیث مقایسه گردید. هم‌چنین برای انتخاب بهترین مدل، بین پنج پارامتر ضریب تبیین، مجذور میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق خطا، شیب و عرض از مبداء آزمون رتبه‌بندی انجام شد. نتایج نشان داد برای محاسبه ضریب تشت به‌صورت روزانه و فصلی بهتر است از روش آلن و پروت و در بازه ده روزه از روش اشنایدر در شرایط اقلیمی اهواز استفاده نمود.

کلید واژه‌ها: ضریب تشت، آزمون رتبه‌بندی، تبخیر و تعرق.

The Estimation Evaporation Pan Coefficient For Calculating Reference Evapotranspiration in Ahvaz

S. Shokri[1], A. R. Hooshmand[2*] and M. Ghorbani[3]

1- Phd student., Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water Sciences Engineering Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

2*- Corresponding Author, Associate Professor of Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

3- Phd student., Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water Sciences Engineering Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received:2 July 2014 Accepted:19 October 2015

Abstract

Estimation the exact amount of water that is used for evapotranspiration, is the major factor in planning for achieving higher production and its most important parameter of management of water in plants. In terms of lack of access to accurate data lysimeters may use the FAO- Penman-Monteith method as the standard method to evaluate the experimental results. In this study using 15 years of weather data of Ahvaz (1998-2012) evaporation pan coefficient has been calculated with the equations of Orang, Snyder, Cuenca, Allen and Pruitt and their results were compared with the FAO Penman-Monteith. Also for choosing the best model, between five coefficient of determination parameters, Root mean square error, the mean absolute error, the slope and width of the source rank test was performed and the results showed for daily and seasonal pan coefficient calculation is better to use Allen and Pruitt and in ten-day use Snyder in Ahvaz climate.

Keywords: Pan coefficient, Test rankings, Evapotranspiration.

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

تبخیر و تعرق یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که دانستن آن برای برآورد آب مصرفی گیاه و طراحی سیستم‌های آبیاری ضروری است. در اغلب روش‌هایی که برای تعیین میزان تبخیر و تعرق ارائه شده‌اند، ابتدا مقدار تبخیر وتعرق گیاه مرجع[1] تخمین زده می‌شود و سپس به کمک آن تبخیر و تعرق گیاه محاسبه می‌شود. بر اساس استاندارد فائو، تبخیر و تعرق گیاه مرجع عبارت است از میزان آبی که یک مزرعه پوشیده از گیاه مرجع (نظیر چمن) در یک دوره زمانی مشخص مصرف نماید به طوری که گیاهان این مزرعه در طول دوره رشد با کمبود آب مواجه نشوند (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷). روش‌های متعددی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع وجود دارد که هر کدام با توجه به فرضیه‌ها و داده‌های مختلف هواشناسی مورد استفاده در آن‌ها، اغلب نتایج متفاوتی به‌دست می‌دهند. اغلب این روش‌ها تحت واسنجی‌های محلی به‌دست آمده‌اند که اعتبار جهانی محدود دارند. از بین روش‌های تجربی متعدد ارائه شده برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع، در سال ۱۹۹۰ از سوی کمیسیون بین المللی آبیاری و زهکشی و سازمان خوار و بار جهانی روش فائو پنمن مانتیث به‌عنوان تنها روش استاندارد محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روی داده‌های اقلیمی و هم‌چنین برای ارزیابی سایر روش‌ها پیشنهاد شده است. این روش نیازمند داده‌های تابش، دما، رطوبت و سرعت باد بوده و با درجه اعتماد بالایی در دامنه وسیعی از مناطق و اقلیم‌ها برآورد صحیحی از تبخیر و تعرق گیاه مرجع ارائه می‌کند (موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۸۷). تبخیر و تعرق تابعی از عوامل مختلف نظیر دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشیدی است (بابامیری و دین‌پژوه، ۱۳۹۳). با توجه به تأثیر عوامل مختلف در تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع، برآورد دقیق این پارامتر اگر غیرممکن نباشد کار بسیار مشکلی است. روش‌های اندازه‌گیری تبخیر و تعرق گیاه مرجع به دو گروه مستقیم و غیر مستقیم (محاسباتی) تقسیم می‌شوند (علیزاده، ۱۳۸۹). در روش مستقیم در واقع بخش کوچک و کنترل شده‌ای از مزرعه مجزا شده و میزان تبخیر و تعرق در یک دوره زمانی مستقیماً اندازه‌گیری می‌شود. در روش‌های غیرمستقیم ازعوامل مختلف اقلیمی و گیاهی استفاده شده و از طریق ارتباط آن‌ها با تبخیر و تعرق و معادله‌های که قبلاً با روش‌های مستقیم واسنجی شده‌اند، میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع تخمین زده می‌شود. از نظر علمی روشی مطلوب است که آسان بوده و نتایج حاصله از آن واقع نزدیک‌تر باشند (موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۸۷). شایان ذکر است در حدود ۵۰ روش برآورد تبخیر و تعرق مرجع وجود دارد و باتوجه به فرضیه‌ها و داده‌های هواشناسی مختلف استفاده شده در این روش‌ها، اغلب نتایج متفاوتی به دست می‌آید (گریسمر و همکاران[2]، ۲۰۰۲). تشت‌های تبخیر کلاس A به‌علت سادگی و سهولت تفسیر داده‌های آن در سراسر دنیا برای تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع مورد استفاده قرار می‌گیرند (ایرماک و همکاران[3]، ۲۰۰۲). تبخیر از یک تشت تبخیر نشانگر شاخصی از اثر توأم دمای هوا، تشعشع و باد است. به‌خاطر تفاوت آب آزاد و سطوح گیاهی، باید مقدار تبخیر از تشت تبخیر را در یک ضریب تجربی ضرب کرد تا تبخیر و تعرق به دست آید (موسوی و اخوان، ۱۳۸۶):

$$ET_o = K_{pan}.E_{pan} \qquad (۱)$$

که در آن

ET_o: تبخیر و تعرق پتانسیل،

K_{pan}: ضریب تشت تبخیر و

E_{pan}: میزان تبخیر از تشت تبخیر است.

معمولاً بعضی از معادله‌های تجربی که دارای دقت می‌باشند، نیازمند داده‌های مختلف هواشناسی می‌باشد. علی‌رغم دقت خوب این روش‌ها نمی‌توان از آن‌ها در بعضی از نقاط که دارای ایستگاه هواشناسی کامل نیستند استفاده کرد. از سوی دیگر برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل می‌توان از اطلاعات تشت تبخیر به عنوان یکی از روش‌های قابل قبول استفاده نمود (ایرماک و همکاران، ۲۰۰۲). برای کارایی بیشتر این روش در هر منطقه باید مقادیر تبخیر از تشت آن محل با توجه به مقادیر دقیق تبخیر و تعرق پتانسیل اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر واسنجی و تصحیح نمود. با توجه به نشریه فائو در خصوص تبخیر و تعرق، در صورت نبود اطلاعات لایسیمتری باید معادله فائو پنمن مانتیث را مبنا قرار داد. از آن‌جا که در منطقه مورد مطالعه، آمار تبخیر و تعرق مرجع (چمن) لایسیمتری محدود می‌باشد لذا از روش فائوپنمن مانتیث به‌عنوان روش استاندارد و قابل قبول برای ارزیابی مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل به‌دست آمده از روش‌های تشت استفاده می‌گردد. تحقیقات انجام گرفته شده در نقاط مختلف جهان مبین این نکته است که دقت مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده با استفاده از رابطه فائوپنمن مانتیث در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری لایسیمتری در دیگر روابط تجربی بهتر می‌باشد (آلن و پروت[4]، ۱۹۹۸). جنسن[5] (۱۹۷۴) جزو اولین افرادی بود که موضوع به‌کارگیری تبخیر از تشت را جهت برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل مطرح نمود. در دهه‌های اخیر محققانی نظیر فرورت و همکاران[6] (۱۹۸۳)، کونیکا[7] (۱۹۸۹)، آلن و پروت (۱۹۹۱)، اشنایدر[8] (۱۹۹۲) و اورنگ[9] (۱۹۹۸) برای محاسبه ضریب تشت تبخیر معادله‌های مختلفی را ارائه دادند، که این معادله‌ها توسط دیگر محققان مورد ارزیابی قرار

1- ETo
2- Grismer *et al.*
3- Irmak *et al.*
4- Allen and Pruitt.
5- Jensen
6- Frevert *et al.*
7- Cuenca
8- Snyder
9- Orang

Archive of SID

www.SID.ir

گرفت. اکبری‌نودهی (۱۳۸۹) با انجام تحقیقی در ساری با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک، مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه را با روش استاندارد محاسبه و سپس با استفاده از داده‌های تشت تبخیر مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل را محاسبه کردند و با روش استاندارد مورد مقایسه قرار دادند. در این تحقیق از چهار روش آلن و پروت (۱۹۹۱)، اشنایدر (۱۹۹۲)، کونیکا (۱۹۸۹) و اورنگ (۱۹۹۸) مقادیر ضریب تشت به صورت روزانه و ماهانه محاسبه شد بررسی‌های رگرسیونی و آماری نشان داد که برای محاسبه مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه و ماهانه در ایستگاه ساری روش اورنگ (۱۹۹۸) مناسب‌تر است. شریفیان و قهرمان (۱۳۸۴)، با بررسی‌های رگرسیونی و آماری برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه در منطقه گرگان روش‌های اورنگ (۱۹۹۸) و اشنایدر (۱۹۹۲) را پیشنهاد دادند. یزدانی و همکاران (۱۳۸۹) ضرایب تشت را با استفاده از معادله‌های کونیکا (۱۹۸۹)، آلن و پروت (۱۹۹۱)، اشنایدر (۱۹۹۲) را در منطقه آمل محاسبه و مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل بدست آمده را با نتایج حاصل از معادله فائو پنمن مانتیث[1] مقایسه نمودند. بررسی‌ها نشان داد که برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه از داده‌های تشت تبخیر به‌ترتیب روش‌های کونیکا، اشنایدر (۱۹۹۲)، آلن و پروت (۱۹۹۱) و اورنگ (۱۹۹۸) و دوره‌های ۱۰ روزه و ماهانه به ترتیب روش‌های کونیکا (۱۹۸۹)، اشنایدر (۱۹۹۲) و آلن- پروت مناسب می‌باشند. کابوسی[2] (۲۰۱۲) در یک تحقیقی در گرگان ضریب تشت را با استفاده از معادله‌های تجربی محاسبه نمود و سپس مقادیر به‌دست آمده از روش تشت را با مقادیر به‌دست آمده از روش فائو پنمن مانتیث مقایسه کرد و نتیجه گرفت که مقادیز ضریب تشت به‌دست آمده از روش اشنایدر (۱۹۹۲) نسبت به سایر معادله‌ها از دقت بالاتری برخوردار است. رحیمی خوب[3] (۲۰۰۹) در یک تحقیقی در نوشهر ضریب تشت را با روش‌های مختلفی مورد قیاس قرار داد و رابطه اورنگ (۱۹۹۸) را بهترین روش اعلام نمود. ایرماک[4] و همکارانش (۲۰۰۲) به بررسی دو معادله اشنایدر (۱۹۹۲) و فریورت و همکاران[5] (۱۹۸۳) با استفاده از داده‌های ۲۶ ساله در منطقه فلوریدا پرداختند و نتیجه گرفتند که معادله فریورت و همکاران (۱۹۸۳) برای محاسبه روزانه ضریب تشت تبخیر تخمین دقیق‌تری نسبت به معادله اشنایدر(۱۹۹۲) و فائو ۵۶ دارد. گریسمر[6] و همکاران (۲۰۰۲) در تحقیقی برای منطقه کالیفرنیا مقادیر ضریب تشت را با استفاده از معادله‌های تجربی ارائه شده محاسبه نمودند و سپس مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل به‌دست آمده از روش تشت را با مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل به‌دست آمده از روش فائو پنمن مانتیث مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که مقادیز ضریب تشت به‌دست آمده از روش آلن و پروت (۱۹۹۱) نسبت به سایر معادله‌ها از دقت بالاتری برخوردار است. گندار[7] (۲۰۰۴) در تحقیق که در استان ماهاراشتاور هند نشان داد که مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل به دست آمده با ضریب اشنایدر (۱۹۹۲) در مقایسه با مقادیر به‌دست آمده از روش فائو پنمن بهترین همبستگی را داشته است. با توجه به این‌که برداشت داده‌های لایسیمتری به‌منظور محاسبه تبخیر و تعرق زمان‌بر بوده و در بعضی از مواقع داده‌های اقلیمی و هواشناسی برای استفاده از فرمول‌های تجربی تبخیر و تعرق در دسترس نبوده یا ناقص می‌باشند، در این تحقیق سعی براین شده تا مدل مناسب ضریب تشت تبخیر در منطقه اهواز معرفی گردد تا در شرایط فقدان داده‌های هواشناسی و لایسیمتری با استفاده از تشت تبخیر بتوان تبخیر و تعرق پتانسیل را محاسبه نمود. بنابراین مقایسه و ارزیابی استفاده از داده‌های تشت تبخیر و تصحیح شده آن‌ها به‌منظور برآورد مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل در شهرستان اهواز از اهداف این تحقیق می‌باشد. از طرف دیگر در این تحقیق چند روش محاسبه ضریب تشت تبخیر مورد ارزیابی قرار گرفته تا جهت تبدیل داده‌های تشت به مقادیر تبخیر- تعرق گیاه مرجع مورد استفاده قرار گیرد.

1- FAO-Penman – Monteith
2- Kaboosi
3- Rahimikhob
4- Irmak
5- Frevert *et al.*
6- Grismer
7- Gundekar

مواد و روش‌ها

شهرستان اهواز با حدود ۷۹۲۵ کیلومتر مربع مساحت بین ۴۹ درجه و ۱۱ دقیقه طول شرقی تا ۳۱ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده است و براساس طبقه بندی دومارتن که متکی بر دو متغیر میانگین بارندگی و میانگین دما است، شهرستان اهواز در گروه اقلیم خشک قرار دارد. براساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی اهواز دو ماه تیر و مرداد با متوسط دمای ۳۸/۶ درجه سانتی‌گراد گرمترین ماه‌های سال و ماه‌های دی و بهمن با متوسط ۱۲/۴ درجه سانتی‌گراد، سردترین ماه سال به‌شمار می‌روند. شکل (۱) نقشه شهرستان اهواز را نشان می‌دهد. برای انجام این تحقیق آمار و اطلاعات هواشناسی شامل دما، سرعت باد، رطوبت نسبی، تبخیر روزانه از تشت و تعداد ساعات آفتابی از ایستگاه هواشناسی اهواز به‌صورت ۱۵ ساله (۹۱-۱۳۷۷) تهیه شد. جدول (۱) میانگین ۱۵ ساله این پارامترها را نشان می‌دهد.

تعیین ضریب تشت (Kp)

برای تعیین ضریب تشت از اطلاعات تشت تبخیر نصب شده در ایستگاه هواشناسی اهواز استفاده شد. در این راستا از روش‌های کونیکا (۱۹۸۹)، آلن و پروت (۱۹۹۱)، اشنایدر (۱۹۹۲) و اورنگ (۱۹۹۸) استفاده شد و نتایج آن با روش های فائو پنمن مانتیث مقایسه گردید. روابط این معادله‌ها در زیر بیان می‌شود. به‌منظور سازماندهی، پردازش و اعمال کلیه روش‌های ریاضی از امکانات و توابع موجود در محیط نرم افزار اکسل بهره گرفته شده است. با

Archive of SID

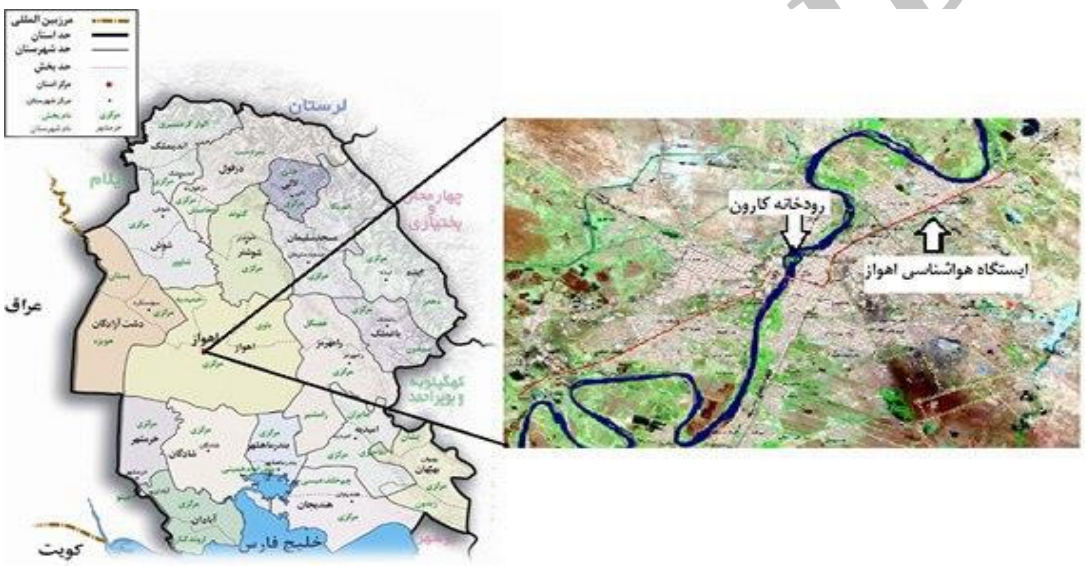
استفاده از معادله فائو پنمن مانتیث که عمومی‌ترین معادله تبخیر و تعرق پتانسیل است مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل برآورد گردید.

فائوپنمن مانتیث

معادله کلی محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع در این روش به صورت رابطه (۱) می‌باشد:

$$ET_O = \frac{0.408 \times \Delta \times (Rn - G) + \gamma \times (\frac{900}{Tm + 273}) \times U_2 \times (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (۱)$$

ET_O: تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع حسب میلی متر در روز، Rn: تشعشع خالص دریافتی در سطح گیاه برحسب مگاژول بر متر مربع در روز، Tm: میانگین روزانه دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین حسب درجه سانتی‌گراد، G: شار گرمایی خاک حسب مگاژول بر متر در روز، e_s: فشار بخار اشباع حسب کیلو پاسکال، e_a: فشار بخار واقعی حسب کیلو پاسکال، U_2: میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین حسب متر بر ثانیه، Δ: شیب منحنی بین فشار بخار اشباع و دما بر حسب کیلو پاسکال بر درجه سانتی‌گراد و γ: ثابت سایکرومتری برحسب کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



شکل ۱- نقشه شهرستان اهواز

جدول ۱- میانگین پارامترهار هواشناسی در منطقه اهواز برای سال‌های ۹۱-۱۳۷۷

پارامتر	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
متوسط دما (سانتی‌گراد)	۲۳/۹۶	۳۰/۴۶	۳۵/۳۵	۳۷/۴۸	۳۸/۲۷	۳۴/۹۶	۳۰/۶	۲۳/۰۵	۱۵/۹۵	۱۳/۱۵	۱۴/۴۶	۱۸/۷۱
باد (متر بر ثانیه)	۵/۹۶	۶/۱	۶/۳۵	۶/۶	۵/۷	۵/۴	۴/۳	۴/۴	۴/۰۱	۴/۲۴	۵	۵/۳۴
درصد رطوبت نسبی	۴۲/۷	۳۱/۰۷	۲۱/۶۷	۲۳/۰۴	۲۷/۳۸	۳۰/۷	۳۵/۳	۴۷/۷	۶۲/۷۱	۶۸/۲۸	۶۳/۴۹	۴۸/۶۱
تعداد ساعات آفتابی	۸/۰۳	۸/۶	۱۱	۱۱/۱۱	۱۰/۹۶	۱۰/۶۹	۹/۵۸	۷/۳۴	۶/۲۵	۶/۱	۶/۵	۷/۵۶
تبخیر از تشت (میلی‌متر بر روز)	۷/۹	۱۱/۵	۱۶/۲	۱۷	۱۵/۵	۱۲/۶	۸/۵۷	۵/۱۷	۲/۸	۲/۱۳	۲/۹۳	۵/۲۲

Archive of SID
www.SID.ir

معادله کونیکا

کونیکا (۱۹۸۹) برای ضریب تشت (K_P) رابطه (۲) را ارائه داد:

$$Kpan = 0.475 - 2.4*10^{-4}U + 5.16*10^{-3}*RH + 1.18*10^{-3}F - 1.6*10^{-5}RH - 1.01*10^{-6}F^2 - 8*10^{-9}RH^2U - 1*10^{-8}RH^2F \quad (۲)$$

معادله آلن و پروت

آلن و پروت (۱۹۹۱) معادله غیر خطی که مانند معادله کونیکا (۱۹۸۹) به عوامل هواشناسی فوق بستگی دارد را مطابق رابطه (۳) ارائه دادند:

$$Kpan = 0.108 - 3.31*10^{-4}U + 0.0422Ln(F) + 0.1434Ln(RH) - 6.31*10^{-4}\left[(Ln(F))^2 . Ln(RH)\right] \quad (۳)$$

معادله اشنایدر

اشنایدر (۱۹۹۲) معادله ساده‌تری نسبت به معادله‌های فوق ارائه نمود. رابطه (۴) این معادله را نشان می‌دهد:

$$Kpan = 0.482 - 3.76*10^{-4}U + 0.024Ln(F) + 0.0045RH \quad (۴)$$

معادله اورنگ

اورنگ (۱۹۹۸) نیز برای محاسبه ضریب تشت رابطه (۵) را ارائه داد:

$$Kpan = 0.51206 - 3.21*10^{-4}U + 0.031886*Ln(F) + 0.00288945RH - 1.07*10^{-4}RH*Ln(F) \quad (۵)$$

در چهار معادله فوق:

Kpan: ضریب تشت، U: سرعت باد (کیلومتر برروز)، RH: رطوبت نسبی (درصد) و F: فاصله سبزینگی که در اطراف تشت قرار دارد (متر) می‌باشد.

مقایسه روش‌های محاسبه ضریب تشت

برای هر یک از روش‌های مورد نظر و هم‌چنین روش‌های استاندارد، مقادیر تبخیر و تعرق مرجع به‌صورت روزانه، ده روزه، ماهانه و فصلی در طی دوره آماری موجود محاسبه شد. سپس مقادیر تبخیر و تعرق مرجع به‌دست آمده از هر روش در مقابل مقادیر محاسبه شده توسط روش فائو پنمن مانتیث رسم گردید. از این نمودارها برای ارزیابی نتایج معادله تجربی استفاده شد. بین مقادیر تبخیر و تعرق مرجع از روش‌های ذکر شده و مقدار محاسبه شده توسط روش فائو پنمن مانتیث همبستگی ایجاد شد. برای ارزیابی و بررسی روش‌های مختلف محاسبه ضریب تشت از روشی به نام اعتبارسنجی استفاده شد. در این روش با محاسبه ضریب تبیین[1] و میانگین مربعات خطا[2] و خطای مطلق[3] عمل اعتبارسنجی صورت گرفت. مقدار ضریب تبیین بین ۰ و ۱ متغیر است و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد بهتر و دقت بیش‌تر است، هم‌چنین مقادیر میانگین مربعات خطا و خطای مطلق هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است.

$$RMSE = \sqrt{\sum (ET_P - ET_O)^2} / (n-1) \quad (۶)$$

$$\mathrm{MAE} = (\sum_{i=1}^{n} (ET_P - ET_O)) / \mathrm{n} \quad (۷)$$

که در این روابط:

ET_O: مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده با استفاده از ضرایب تشت و ET_P : تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده با استفاده از روش فائو پنمن مانتیث می‌باشد (زارع‌ابیانه و همکاران، ۱۳۹۰).

آزمون معنی‌دار بودن

برای بررسی معنی‌دار بودن و درستی رگرسیون و نتایج، از آزمون F و ضریب همبستگی توسط نرم افزار SPSS استفاده شد. هرچه همبستگی قوی‌تر باشد، پیش‌بینی هم دقیق‌تر می‌شود. وقتی همبستگی به ۱/۰۰ برسد پیش‌بینی کامل است. هرچه ضریب همبستگی به سمت صفر میل کند پیش‌بینی Y از طریق X هم ناقص‌تر می‌شود و به سوی میانگین بازگشت می‌کند و اگر قدر مطلق ضریب همبستگی معادل ۱ باشد بر روی خط رگرسیون قرار می‌گیرد.

آزمون رتبه‌بندی

آزمون فریدمن یک آزمون ناپارامتری است که برای مقایسه سه یا بیش از سه گروه داده برای انجام رتبه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. محاسبه آماره فریدمن که آن را با χ_r^2 نشان می‌دهند با استفاده از رابطه زیر امکان پذیر است به دو روش صورت می‌گیرد:

$$\chi_r^2 = \frac{SS_{br}}{\frac{k(k+1)}{12}} \quad (۸)$$

1- R^2
2-RMSE
3- MAE

Archive of SID

www.SID.ir

که در آن:
SS_{br}: مجموع مجذورات رتبه‌ای بین توزیع‌ها و k: تعداد مقوله‌ها یا توزیع‌ها می‌باشد که رتبه‌بندی در مورد آن‌ها صورت می‌گیرد.

$$\chi_r^2 = \frac{12}{Nk(k+1)}\sum(T_g)^2 - 2N(k+1) \quad (۹)$$

که در آن:
N: تعداد آزمودنی‌ها، K: تعداد مقوله‌ها یا توزیع‌ها می‌باشد که رتبه‌بندی در مورد آن‌ها صورت می‌گیرد و T_g: جمع رتبه‌های گروه gام می‌باشد.
مقدار SS_{br} نیز از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$SS_{br} = \frac{\sum(T_g)^2}{N} - \frac{(T_{au})^2}{N_a} \quad (۱۰)$$

در این رابطه:
N_a: تعداد کل رتبه‌های تمام گروه‌ها و T_{au}: جمع کل رتبه‌های اختصاص داده شده به آزمودنی‌ها می‌باشد.
لازم به ذکر است آزمون رتبه‌بندی فریدمن توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۷ انجام گرفت.

نتایج و بحث

محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل

مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه

از آن‌جا که دور آبیاری برای تأمین آب مورد نیاز گیاهان زراعی و در برنامه‌ریزی آبیاری حائز اهمیت است و از طرف دیگر معمولاً دور آبیاری محصولات مختلف و عمده منطقه کمتر از ۱۰ روز است، لذا مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۲) مقادیر تبخیر و تعرق روزانه محاسبه شده توسط روش تشت با ضرایب به‌دست آمده از روش تجربی در مقابل مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه محاسبه شده از روش فائو پنمن مانتیث برای ایستگاه اهواز ترسیم و نسبت به خط ۱:۱ و بهترین خط برازش داده شده مورد ارزیابی قرار گرفت. هم‌چنین نتایج رگرسیونی، محاسبات آماری چهار روش و آزمون رتبه‌بندی به‌صورت روزانه در جدول (۲) و (۳) ارائه شده است. مطابق شکل (۲) و نتایج رگرسیونی و آماری مندرج در جدول (۳) می‌توان گفت که روش اورنگ (۱۹۹۸) و اشنایدر (۱۹۹۲) به‌ترتیب دارای بهترین و بدترین شیب است و روش آلن و پروت (۱۹۹۱) و اورنگ (۱۹۹۸) به‌ترتیب دارای بهترین و بدترین ضریب تبیین است. با توجه به شکل (۲) خط برازش شده در روش اشنایدر (۱۹۹۲) به خط ۱:۱ نزدیکتر از سایر روش‌ها می‌باشد. بدترین مقادیر پارامترهای آماری خطای مطلق و میانگین مربعات خطا مربوط به روش اورنگ (۱۹۹۸) بوده لیکن مقادیر خطای مطلق و میانگین مربعات خطا در روش آلن و پروت (۱۹۹۱) بهتر از سایر روش‌ها می‌باشد. با توجه به جدول (۲) سطح معنی‌داری محاسبه شده برای آماره F برابر ۰/۰۰۰ بوده و نشان از معنی‌دار بودن رگرسیون در سطح ۹۹ درصد دارد هم‌چنین نتایج حاکی از همبستگی بالا می‌باشد بنابراین رگرسیون خطی برآورد شده مورد قبول است. هم‌چنین با توجه به جدول (۳) می‌توان بهترین ضریب تشت در دوره روزانه در منطقه را روش آلن و پروت (۱۹۹۱) بیان کرد زیرا دارای بیش‌ترین مقدار میانگین رتبه می‌باشد. و با توجه به جدول (۴) مقدار ضریب تشت در منطقه اهواز در بازه روزانه برابر با ۰/۷۶ می‌باشد.

جدول۲- نتایج حاصل از مقایسه آماری تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه در سال‌های ۹۱-۱۳۷۷ در ایستگاه اهواز

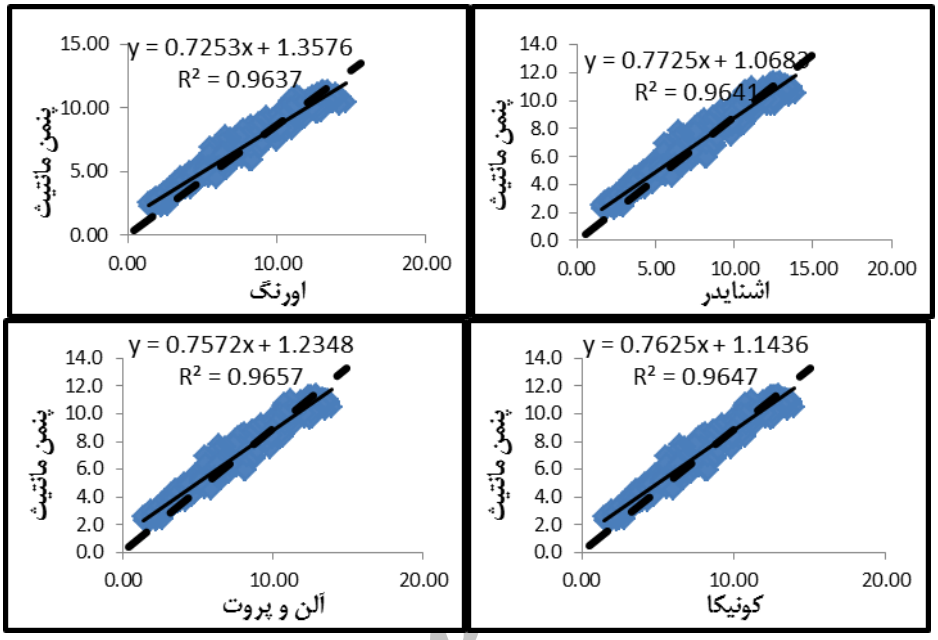
پارامترهای آماری	روش اورنگ (۱۹۹۸)	روش اشنایدر (۱۹۹۲)	روش کونیکا (۱۹۸۹)	روش آلن و پروت (۱۹۹۱)
ضریب تبیین	۰/۹۶	۰/۹۶۲	۰/۹۶۵	۰/۹۶۹
میانگین مربعات خطا	۱/۴۲	۱/۲۲۷	۱/۲۱	۱/۱۹۳
خطای مطلق	۰/۶۴	۰/۵۷	۰/۵۶۶	۰/۵
شیب	۰/۷۲۵	۰/۷۷۳	۰/۷۶۲	۰/۷۵۷
عرض از مبدا	۱/۳۸۵	۱/۰۶۸	۱/۱۴	۱/۲۳۵
آماره آزمون F	۲۸/۱۷	۶۱/۱۳	۳۹/۷۸	۴۳/۳۵
اعتبار	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
ضریب همبستگی	۰/۹۷۷	۰/۹۷۷	۰/۹۷۷	۰/۹۷۸

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۳- نتایج حاصل از آزمون رتبه بندی فریدمن برای تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه در سال‌های ۹۱-۱۳۷۷ در ایستگاه اهواز

پارامترهای آماری	روش اورنگ (۱۹۹۸)	روش اشنایدر (۱۹۹۲)	روش کونیکا (۱۹۸۹)	روش آلن و پروت (۱۹۹۱)
میانگین رتبه	۱/۶	۲/۲	۲/۸	۳/۴
χ_r^2		۵/۲		



شکل ۲- نمودار همبستگی بین مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر بر روز) برآورد شده از روش پنمن مانتیث و روش‌های اورنگ (۱۹۹۸)، اشنایدر (۱۹۹۲)، کونیکا (۱۹۸۹) و آلن و پروت (۱۹۹۱) به صورت روزانه، در سال‌های ۹۱-۱۳۷۷ در ایستگاه اهواز (خط نقطه چین خط یک به یک و خط دیگر بهترین خط برازش شده).

جدول٤- ضرایب تشت تبخیر برای دوره روزانه در سال‌های ۹۱-۱۳۷۷ در ایستگاه اهواز

مدل	اورنگ (۱۹۹۸)	اشنایدر (۱۹۹۲)	کونیکا (۱۹۸۹)	آلن و پروت (۱۹۹۱)
مقدار ضریب	۰/۷۴	۰/۷۶	۰/۷۱	۰/۷۶

Archive

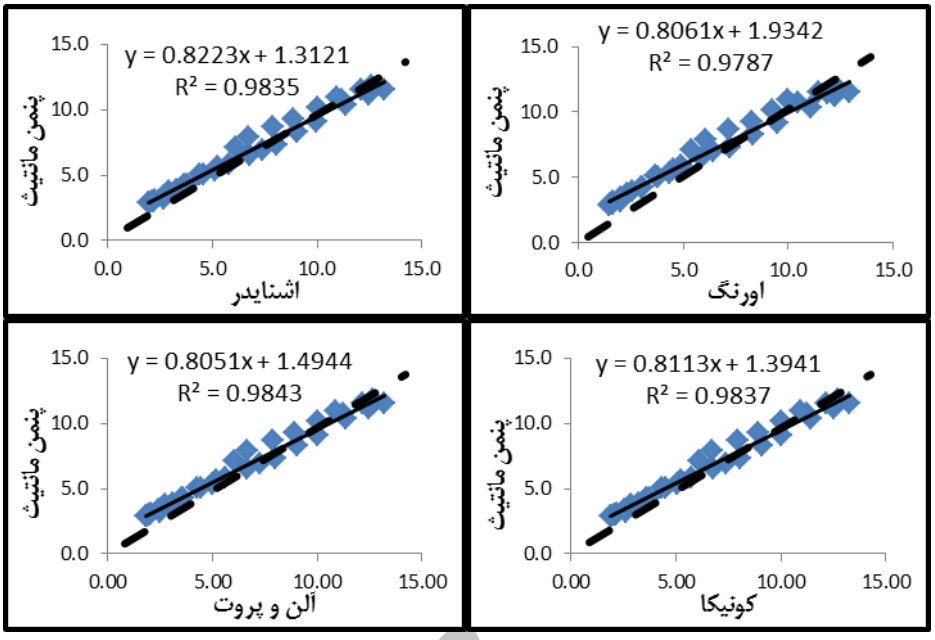
مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل در بازه ده روز

در شکل (۳) مقادیر تبخیر و تعرق ده روزه محاسبه شده توسط روش‌های تشت تبخیر با ضرایب به دست آمده از روش تجربی در مقابل مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل ده روزه محاسبه شده از روش پنمن مانتیث برای ایستگاه اهواز ترسیم و نسبت به خط ۱:۱ و بهترین خط برازش داده شده مورد ارزیابی قرار گرفت. مطابق شکل(۳) و نتایج رگرسیونی و آماری مندرج در جدول (۵) می‌توان گفت که روش آلن و پروت (۱۹۹۱) و اشنایدر (۱۹۹۲) به ترتیب دارای بهترین و بدترین شیب است و روش آلن-پروت و اورنگ (۱۹۹۸) بترتیب دارای بهترین و بدترین ضریب تبیین است. با توجه به شکل (۳) خط برازش شده روش اشنایدر (۱۹۹۲) به خط ۱:۱ نزدیکتر از سایر روش‌ها می‌باشد. بدترین مقادیر پارامترهای آماری خطای مطلق و میانگین مربعات خطا مربوط به روش اورنگ (۱۹۹۸) بوده لیکن مقادیر خطای مطلق و میانگین مربعات خطا در روش اشنایدر (۱۹۹۲) بهتر از سایر روش‌ها می‌باشدبا توجه به جدول (۵) سطح معنی داری محاسبه شده برای آماره F برابر ۰/۰۰۰ بوده و نشان از معنی‌دار بودن رگرسیون در سطح ۹۹ درصد دارد. هم‌چنین نتایج حاکی از همبستگی بالا می‌باشد بنابراین رگرسیون خطی برآورد شده مورد قبول است. با توجه به جدول (۶) می‌توان بهترین ضریب تشت در دوره ده روزه در منطقه را اشنایدر (۱۹۹۲) بیان کرد زیرا دارای بیش‌ترین مقدار میانگین رتبه می‌باشد. که با نتایج تحقیقات شریفیان و قهرمان (۱۳۸۴) و کابوسی (۲۰۱۲) در منطقه گرگان و گندار (۲۰۰۴) در استان ماهاراشتاور هند تطابق دارد. جدول (۷) ضرایب تشت تبخیر برای دوره ده روزه را نمایش می‌دهد.

www.SID.ir

مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل فصلی

در شکل (۴) مقادیر تبخیر و تعرق فصلی محاسبه شده توسط روش تشت با ضرایب به دست آمده از روش تجربی در مقابل مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل فصلی محاسبه شده از روش فائو پنمن مانتیث برای ایستگاه اهواز ترسیم و نسبت به خط ۱:۱ و بهترین خط برازش داده شده مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج رگرسیونی و محاسبات آماری این چهار روش به‌صورت فصلی در جدول (۸) ارائه شده است.



شکل ۳- نمودار همبستگی بین مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر بر روز) برآورد شده از روش پنمن مانتیث و روش‌های اورنگ (۱۹۹۸)، اشنایدر (۱۹۹۲)، کونیکا (۱۹۸۹) و آلن و پروت (۱۹۹۱) به صورت بازه ده روزه در سال‌های ۹۱-۱۳۷۷ در ایستگاه اهواز (خط نقطه چین خط یک به یک و خط دیگر بهترین خط برازش شده).

جدول۵- نتایج حاصل از مقایسه آماری تبخیر و تعرق پتانسیل بازه ده روزه در سال‌های ۹۱-۱۳۷۷ در ایستگاه اهواز

پارامترهای آماری	روش اورنگ (۱۹۹۸)	روش اشنایدر (۱۹۹۲)	روش کونیکا (۱۹۸۹)	روش آلن و پروت (۱۹۹۱)
ضریب تبیین	۰/۹۷۸	۰/۹۸	۰/۹۸۹	۰/۹۸۹
میانگین مربعات خطا	۱/۱۱	۰/۷۹۴	۰/۸۳۸	۰/۸۶۷
خطای مطلق	۰/۶۷۱	۰/۰۴۲	۰/۰۴۷	۰/۱۱۷
شیب	۰/۸۰۶	۰/۸۲۲	۰/۸۱۲	۰/۸۰۵
عرض از مبدا	۱/۹۲۶	۱/۳۱۴	۱/۳۹۲	۱/۴۹۳
آماره آزمون F	۲۹/۰۸	۴۰/۱	۲۹/۹۸	۳۷
اعتبار	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
ضریب همبستگی	۱	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸

جدول ٦- نتایج حاصل از آزمون رتبه‌بندی فریدمن برای تبخیر و تعرق پتانسیل بازه ده روزه در سال‌های ۹۱-۱۳۷۷ در ایستگاه اهواز

پارامترهای آماری	روش اورنگ (۱۹۹۸)	روش اشنایدر (۱۹۹۲)	روش کونیکا (۱۹۸۹)	روش آلن و پروت (۱۹۹۱)
میانگین رتبه	۱/۴	۳	۲/۹	۲/۷
χ_r^2		۵/۰۶		

Archive
www.SID.ir

جدول۷- ضرایب تشت تبخیر برای دوره ده روزه در سال‌های ۹۱-۱۳۷۷ در ایستگاه اهواز.

ماه	اورنگ(۱۹۹۸)	اشنایدر (۱۹۹۲)	کونیکا (۱۹۸۹)	آلن و پروت (۱۹۹۱)	ماه	اورنگ (۱۹۹۸)	اشنایدر (۱۹۹۲)	کونیکا (۱۹۸۹)	آلن و پروت (۱۹۹۱)
فروردین	۰/۵۹	۰/۷۴	۰/۶۸	۰/۷۳	مهر	۰/۵۹	۰/۶۹	۰/۶۴	۰/۶۹
فروردین	۰/۵۹	۰/۷۲	۰/۶۷	۰/۷۲	مهر	۰/۵۹	۰/۶۹	۰/۶۴	۰/۷۰
فروردین	۰/۵۹	۰/۷۲	۰/۶۷	۰/۷۲	مهر	۰/۵۸	۰/۷۱	۰/۶۶	۰/۷۱
اردیبهشت	۰/۵۹	۰/۷۰	۰/۶۵	۰/۷۰	آبان	۰/۵۸	۰/۷۳۴	۰/۶۸	۰/۷۳۲
اردیبهشت	۰/۵۹	۰/۶۸	۰/۶۳۱	۰/۶۸	آبان	۰/۵۸	۰/۷۵۷	۰/۶۹۱	۰/۷۴۸
اردیبهشت	۰/۵۹	۰/۶۶۵	۰/۶۱	۰/۶۶۵	آبان	۰/۵۸۴	۰/۷۷۱	۰/۷۱۷	۰/۷۵۹
خرداد	۰/۵۹	۰/۶۴	۰/۵۹۲	۰/۶۴	آذر	۰/۵۸	۰/۷۹	۰/۷۳۱	۰/۷۷۳
خرداد	۰/۶۰۱	۰/۶۳	۰/۵۹	۰/۶۳	آذر	۰/۵۷۸	۰/۸۳	۰/۷۶۶	۰/۸
خرداد	۰/۶۰	۰/۶۳	۰/۵۹	۰/۶۳۱	آذر	۰/۵۷	۰/۸۳۴	۰/۷۶	۰/۷۹۲
تیر	۰/۶۰	۰/۶۳۵	۰/۵۹۲	۰/۶۳	دی	۰/۵۷	۰/۸۴۵	۰/۷۶۵	۰/۷۹۱
تیر	۰/۶۰۵	۰/۶۳	۰/۵۹۵	۰/۶۴	دی	۰/۵۷	۰/۸۵۱	۰/۷۶۹	۰/۷۹
تیر	۰/۵۹۷	۰/۶۵	۰/۶۰	۰/۶۵	دی	۰/۵۷	۰/۸۴۹	۰/۷۶۴	۰/۷۹۴
مرداد	۰/۵۹	۰/۶۵	۰/۶۲۱	۰/۶۶	بهمن	۰/۵۸۸	۰/۸۴۱	۰/۷۶۹	۰/۷۹
مرداد	۰/۵۹	۰/۶۶	۰/۶۱	۰/۶۶۸	بهمن	۰/۵۸۱	۰/۸۲۴	۰/۷۴۹	۰/۷۸۲
مرداد	۰/۵۹۲	۰/۶۶	۰/۶۲	۰/۶۷	بهمن	۰/۵۸	۰/۸	۰/۷۴	۰/۷۷
شهریور	۰/۵۹	۰/۶۸۱	۰/۶۴۲	۰/۶۹	اسفند	۰/۵۸	۰/۷۸۴	۰/۷۲	۰/۷۶۱
شهریور	۰/۵۹	۰/۶۷	۰/۶۳	۰/۶۸	اسفند	۰/۵۸	۰/۷۵۲	۰/۷۰	۰/۷۴۲
شهریور	۰/۵۹	۰/۶۷	۰/۶۲	۰/۶۸	اسفند	۰/۵۹	۰/۷۴	۰/۶۸	۰/۷۳

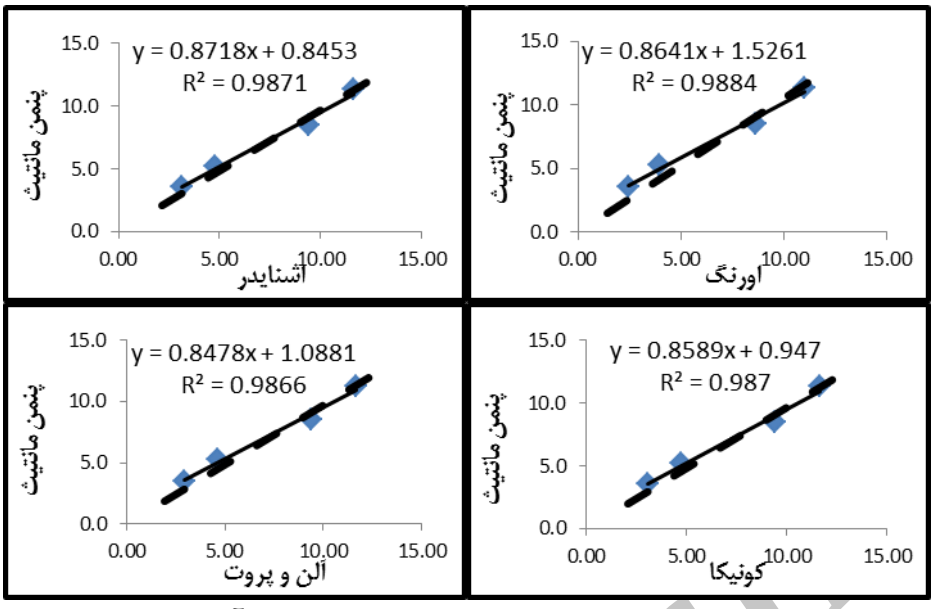
جدول۸- نتایج حاصل از مقایسه آماری تبخیر و تعرق پتانسیل فصلی برای سال‌های ۹۱-۱۳۷۷ در ایستگاه اهواز

پارامترهای آماری	روش اورنگ (۱۹۹۸)	روش اشنایدر (۱۹۹۲)	روش کونیکا (۱۹۸۹)	روش آلن و پروت (۱۹۹۱)
ضریب تبیین	۰/۹۸۹	۰/۹۸۷	۰/۹۸۷	۰/۹۸۷
میانگین مربعات خطا	۰/۸۵۷	۰/۵۶	۰/۶۰	۰/۶۳
خطای مطلق	۰/۶۴	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۰۰۴
شیب	۰/۸۶۳	۰/۸۷۲	۰/۸۵۸	۰/۸۴۷
عرض از مبدا	۱/۵۳۲	۰/۸۴۷	۰/۹۵	۱/۰۹۷
آماره آزمون F	۱۰/۴۳	۱۵	۱۱/۹	۱۳/۰۲
اعتبار	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
ضریب همبستگی	۱	۱	۱	۰/۹۹۹

مطابق شکل (۴) و نتایج رگرسیونی و آماری مندرج در جدول (۸) می‌توان گفت که روش‌های آلن و پروت (۱۹۹۱) و اشنایدر (۱۹۹۲) به‌ترتیب دارای بهترین و بدترین شیب هستند و روش‌های اورنگ (۱۹۹۸) و کونیکا (۱۹۸۹) به‌ترتیب دارای بهترین و بدترین ضریب تبیین می‌باشند. با توجه به شکل (۴) خط برازش شده در روش آلن و پروت (۱۹۹۱) به خط ۱:۱ نزدیک‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد. بدترین مقادیر پارامترهای آماری خطای مطلق و میانگین مربعات خطا مربوط به روش اورنگ (۱۹۹۸) بوده لیکن مقادیر خطای مطلق و میانگین مربعات خطا در روش آلن و پروت (۱۹۹۱) بهتر از سایر روش‌ها می‌باشد. با توجه به جدول فوق سطح معنی‌داری محاسبه شده برای آماره آزمون F برابر ۰/۰۰۰ بوده و نشان از معنی‌دار بودن رگرسیون در سطح ۹۹ درصد دارد. بنابراین رگرسیون خطی برآورد شده مورد قبول است. با استناد به جدول (۸) و (۹) می‌توان نتیجه گرفت که برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل فصلی از داده‌های تبخیر از تشت روش آلن و پروت (۱۹۹۱) مناسب می‌باشد، که با نتایج تحقیقات یزدانی و همکاران (۱۳۸۹) در منطقه آمل و گریسمر و همکاران (۲۰۰۲) در منطقه کالیفرنیا تطابق دارد. جدول (۱۰) ضرایب تشت تبخیر برای دوره فصلی را نمایش می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ٤- نمودار همبستگی بین مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر بر روز) برآورد شده از روش پنمن مانتیث و روش‌های اورنگ (۱۹۹۸)، اشنایدر (۱۹۹۲)، کونیکا (۱۹۸۹) و آلن و پروت (۱۹۹۱) به صورت فصلی در سال‌های ۹۱-۱۳۷۷ در ایستگاه اهواز (خط نقطه چین خط یک به یک و خط دیگر بهترین خط برازش شده)

جدول۹- نتایج حاصل از آزمون رتبه‌بندی فریدمن برای تبخیر و تعرق پتانسیل فصلی برای سال‌های ۹۱-۱۳۷۷ در ایستگاه اهواز

پارامترهای آماری	روش اورنگ (۱۹۹۸)	روش اشنایدر (۱۹۹۲)	کونیکا (۱۹۸۹)	روش آلن و پروت (۱۹۹۱)
میانگین رتبه	۱/۸	۲/۶	۲/۸	۲/۸
χ_r^2		۲/۲۱		

جدول۱۰-ضرایب تشت تبخیر برای دوره فصلی در سال‌های ۹۱-۱۳۷۷ در ایستگاه اهواز

فصل	اورنگ (۱۹۹۸)	اشنایدر (۱۹۹۲)	کونیکا (۱۹۸۹)	آلن و پروت (۱۹۹۱)
بهار	۰/۶۲۵۷	۰/۷۰۴۸	۰/۶۳۲۶	۰/۷۴۹
تابستان	۰/۶۲۶۹	۰/۶۸۳	۰/۶۱۲۱	۰/۷۱۰۷
پاییز	۰/۶۱۵۶	۰/۷۸۰۶	۰/۶۹۷۶	۰/۷۷۷
زمستان	۰/۶۱۳۴	۰/۸۳۲۳	۰/۷۳۷	۰/۸۰۵۸

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به نمودارها، جداول و بررسی های به عمل آمده می‌توان نتیجه گرفت که با تصحیح مقادیر تبخیر از تشت توسط هر یک از معادله‌های تجربی می‌توان مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع را برآورد نمود، لیکن باید معادله‌ای را انتخاب کرد که تبخیر و تعرق پتانسیل قابل قبولی را برآورد نماید. براساس نتایج آماری در منطقه اهواز با مبنا قرار دادن معادله پنمن مانتیث به‌عنوان معادله مبنا برای تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه و فصلی از داده‌های تشت بهتر است از روش آلن وپروت (۱۹۹۱) و در بازه ده روزه، از روش اشنایدر (۱۹۹۲) استفاده نمود. پیشنهاد می‌شود با توجه به متغیر بودن مقدار ضریب تشت تبخیر در بازه‌های زمانی (روزانه، ده روزه و فصلی) و در شرایط آب و هوایی مختلف، ضریب تشت تبخیر برای مناطق مختلف تعیین شود.

منابع

۱- اکبری نودهی، د. ۱۳۸۹. برآورد ضریب تشت تبخیر به منظور محاسبه تبخیر و تعرق (مطالعه موردی ایستگاه سینوپتیک ساری) مجله پژوهش در علوم زراعی، ۲ (۷): ۷۴-۶۵.

۲- بابامیری، ا. و ی. دین‌پژوه. ۱۳۹۳. مقایسه چهار روش تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع مبتنی بر درجه حرارت هوا در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. مجله علوم و مهندسی آبیاری، ۳۷ (۱): ۵۴-۴۳.

Archive of SID
www.SID.ir

۳- زارع ابیانه، ح.، نوری، ح.، لیاقت، ع.، نوری، ح. و و. کریمی.۱۳۹۰. مقایسه روش پنمن مانتیث فائو و تشت تبخیر کلاس A با داده‌های لایسیمتری در برآورد تبخیر و تعرق گیاه برنج در منطقه آمل. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، (۷۶): ۸۲-۷۲.

۴- شریفیان، ح. و ب. قهرمان. ۱۳۸۴. بررسی و مقایسه تبخیر و تعرق برآورد شده از تشت تبخیر با مقادیر ET_0 روش استاندارد در گرگان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳ (۵): ۲۸-۱۸.

۵- علیزاده، ا. ۱۳۸۹. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات آستان قدس رضوی ،چاپ یازدهم، ۶۱۶ صفحه.

۶- موسوی، ف. و س. اخوان. ۱۳۸۶. اصول آبیاری. انتشارات کنکاش. ۴۱۵ صفحه.

۷- موسوی بایگی، م.، عرفانیان، م. و م. سرمد. ۱۳۸۷. استفاده از حداقل داده‌های هواشناسی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ارائه ضرایب اصلاحی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۳ (۱): ۹۹-۹۱.

۸- وزیری، ژ.، انتصاری، م.، حیدری، ن.، سلامت، ع.، مسچی، م. و ح. دهقانی‌سانیج. ۱۳۸۷. تبخیر- تعرق‌گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان). کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۳۶۲ صفحه.

۹- یزدانی، و.، لیاقت، ع.، نوری، ح. و ح. زارع ابیانه. ۱۳۸۹. تعیین بهترین مدل محاسبه ضریب تشت در منطقه آمل بر پایه آنالیز حساسیت. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، (۲): ۱۷-۹.

10- Allen. R. G. and Pruitt, W. O. 1991. FAO-24 reference evapotranspiration factors. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 110(3): 289-303.

11- Cuenca, R. H. 1989. Irrigation system design: Engineering approach. Prentice- Hall, Englwood cliffs.

12- Frevert, D. K., Hillr. W. and B. C. Braaten. 1983. Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. Journal of Irrigation and Drainning Enginering, 109 (2): 265-270.

13- Grismer, M. E., Oran, M., Snyder, R. and R. Matyac. 2002. Pan evaporation to refrernce Jurnal of evapotranspiration conversion methods. Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 128 (3), 180-184.

14- Gundekar, H. G. 2004. Evapotranspiration estimation methods and development of crop coefficients for some crops in semi- arid region. An unpublished MTech Dissertation Submitted to Marathwada Agricultural university Parbhani, Maharashtra, india.

15- Irmak, S., Haman, D. and J. Jones. 2002. Evaluation of Class A Pan Coefficients for Estimating Reference Evapotranspiration in Humid Location. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 128(3): 153–159.

16- Jensen, M. E. 1974. Consumptive use of water and irrigation water requirements. Journal of the Irrigation and Drainage Division. ASCE, 89: 15-41.

17- Kaboosi, K. 2012. The investigation of error of pan evaporation data, estimation of pan evaporation coefficient by pandata and its comparison with empirical equations. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 4 (19): 1458-1465.

18- Orang, M. 1998. Potential accuracy of the popular non-linear regression equation for estimating pan coefficient values in the original and FAO-24 tables. Unpublished California Departments of Water Resources Report, Sacramento, Calif.

19- Rahimikhob, A. 2009. An evaluation of common pan coefficient equations to estimate reference evapotranspiration in a subtropical climate(north of iran), Journal of Irrigation Science,27 (4): 289-296.

Archive of SID

www.SID.ir

20- Snyder, R. L. 1992. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 118 (6): 977-980.

Archive of SID

www.SID.ir