

## ارزیابی ضرائب تشت تبخیر برآورد شده با استفاده از روش‌های تجربی در برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع

1- نیاز علی ابراهیمی پاک (نویسنده مسئول)

Email: nebrahimipak@yahoo.com

Tel: 09121817169

2- اصلا ن اگدرنژاد

3- فرزانه پارسایی

1- دانشیار، بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

2- استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

3- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

تاریخ دریافت 1398/12/01 تاریخ پذیرش 1399/08/22

### چکیده

تبخیر-تعرق مرجع ( $ET_0$ ) یکی از پارامترهای اصلی در برنامه‌ریزی منابع آب و مدیریت آب آبیاری در مزرعه می‌باشد. از طرفی، ضریب تشت کلاس A ( $K_p$ ) عامل مهمی برای محاسبه تبخیر-تعرق است. روش‌های مختلفی در تعیین مقدار  $K_p$  با استفاده از سرعت باد، رطوبت نسبی و طول پوشش گیاهی وجود دارد. در پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه در دوره 4 ساله از ایستگاه هواشناسی شهرکرد با استفاده از معادلات گوناگون نظیر کوئنکا (Cuenca)، آلن پرویت (Allen and Pruitt)، اشنايدر (Snyder)، اورنگ (Orang) و پیرا (Pereira) مقادیر ضریب تشت تخمین زده شد. سپس این مقادیر با استفاده از روش‌های تعیین تبخیر-تعرق گیاه مرجع، شامل فائو-پنمن-مانتیت پنمن 24، تورک، بلانی-کریدل و هارگریوز-سامانی نیز به دست آمد. سپس تمام روش‌ها با نتایج حاصل از روش لایسیمتر به عنوان روش مبنا مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین برای انتخاب بهترین مدل، بین سه پارامتر ریشه میانگین مربعات خطا، شاخص میانگین قدر مطلق خطا و خطای استاندارد تخمین رتبه‌بندی انجام شد. نتایج نشان داد که معادلات مبتنی بر تشت تبخیر نتایج بهتری نسبت به روش‌های تجربی دارند. همچنین معادله تورک به عنوان دقیق‌ترین و پنمن 24 به عنوان ضعیف‌ترین روش تعیین شدند.

**کلمات کلیدی:** ضریب تشت، تشت تبخیر کلاس A، تبخیر-تعرق مرجع، لایسیمتر.

## 1. مقدمه و بیان مساله

تبخیر-تعرق یکی از اجزا اصلی بیلان آب در طبیعت است و تخمین دقیق آن در مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی آبیاری در مزرعه دارای اهمیت خاصی است. تعیین مقدار آب برای تبخیر و تعرق، در صورتی که گیاه از لحاظ رطوبت هیچ مشکلی نداشته باشد از عوامل تعیین کننده برنامه‌ریزی به منظور رسیدن به حداکثر عملکرد محصول است (Allen, 1991). در طراحی و برنامه‌ریزی مدیریت آبیاری برای تأمین آب مورد نیاز گیاهان ابتدا باید تبخیر-تعرق گیاه مرجع تعیین شود و این عامل یکی از اجزای اصلی طراحی محسوب می‌شود. تبخیر-تعرق گیاه مرجع شامل میزان آبی است که یک مزرعه پوشیده از گیاه مرجع (چمن) در یک دوره زمانی مشخص مصرف نماید؛ به طوری که گیاهان مزرعه در طول دوره رشد با کمبود آب مواجه نشوند (Allen, 1991).

برای تعیین تبخیر-تعرق روش‌های مستقیم و غیرمستقیم پیشنهاد شده است. با توجه به اینکه روش‌های مستقیم هزینه‌بر بوده و مستلزم صرف زمان زیادی هستند؛ معمولاً از روش‌های غیرمستقیم استفاده می‌شود. یکی از مناسب‌ترین روش‌های غیرمستقیم، استفاده از تشت تبخیر است (Grismer, 2002) که علاوه بر دقت بالا، به پارامترهای کمتری نیاز دارد (Raghuwanshi, 1998). تشت‌های تبخیر کلاس A به علت سادگی و سهولت تفسیر داده‌های آن در سراسر دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرند و در مناطق مرطوب به عنوان وسیله‌ای برای تعیین تبخیر-تعرق مرجع با دقت زیاد شناخته شده‌اند (Irmak, 2002). Jensen در مطالعه دیگری که توسط Grismer و همکاران (2002) انجام شد، دقت شش مدل برآورد Kp به منظور برآورد تبخیر-تعرق در هفت ایستگاه از کالیفرنیا ارزیابی شد. ایستگاه‌ها در مکان و شرایط جغرافیایی با یکدیگر تفاوت داشتند به صورتی که بعضی از ایستگاه‌ها در ساحل و بعضی در مکان‌های خشک داخلی واقع شده‌اند. این محققان

(1990) از جمله اولین محققانی بود که موضوع به کارگیری مقادیر تبخیر از تشت را برای برآورد تبخیر-تعرق مرجع مطرح کرد. برای محاسبه تبخیر-تعرق مرجع از داده‌های تشت، پارامتری موسوم به ضریب تشت (Kp) را در مقدار تبخیر از تشت (Ep) ضرب می‌کنند. ضریب تشت به عنوان یک عامل وابسته به پارامترهایی نظیر میانگین سرعت باد روزانه (U)، رطوبت نسبی (RH) و طول فاصله‌ای از تشت که دارای پوشش گیاهی است (F)، بستگی دارد (Doorenbos, 1977). در تحقیقی که توسط Doorenbos and Pruitt (1977) انجام شد، ضریب تشت تبخیر بین 0/4 تا 0/85 گزارش شد.

تاکنون چندین معادله تجربی برای محاسبه مقادیر روزانه ضریب تشت توسط محققانی مانند Pereira و همکاران (1995)، Frevert و همکاران (1995)، Orang Snyder Allen and Pruitt (1991)، (1998)، Cuenca و همکاران (1989) (Kp) پیشنهاد شده است. در تحقیقی Raghuwanshi and Wallender (1998) برای پیش‌بینی Kp، معادله‌ای را که شامل هر دو مقوله کیفی (سرعت باد و رطوبت نسبی) و کمی (طول پوشش گیاهی) داده‌ها است، با استفاده از شاخص رگرسیون توسعه دادند. Abtew و همکاران (2011) روند تغییرات تبخیر-تعرق پتانسیل و تشت تبخیر را در 9 ایستگاه فلوریدای جنوبی در طی چند سال بررسی کردند و نشان دادند که روند تغییرات نیازمند بررسی جهت ارزیابی مدیریت آب می‌باشد.

گزارش کردند که مدل‌های برآورد Kp دقت مناسبی جهت تعیین تبخیر-تعرق داشتند.

Estahbani and Bakhtiary (2016) ضمن ارزیابی چهار مدل مختلف برآورد ضریب تشت از معادلات کونیکا، آلن و پروت، اشنایدر و اورنگ در اقلیم خشک کرمان با استفاده از داده‌های روزانه بخیر از تشت در بازه زمانی پنج ماهه گزارش نمودند که از بین چهار مدل مورد مطالعه،

به منظور ارزیابی روش‌های مختلف تخمین  $Kp$ ، از داده‌های هواشناسی روزانه در دوره 4 ساله از ایستگاه هواشناسی شهرکرد با عرض جغرافیایی 50/93 درجه و ارتفاع 2066 متر از سطح دریا استفاده شد. داده‌های مورد نظر از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شهرکرد اخذ شد. داده‌های لایسی‌متری برای تعیین تبخیر-تعرق واقعی گیاه نیز براساس مطالعات انجام شده در بازه مورد نظر برداشت شد.

### 2-2- معادلات تعیین ضریب تشت ( $Kp$ )

رابطه بین تبخیر از تشت ( $ETp$ ) و تبخیر-تعرق ( $ET_o$ ) در رابطه (1) نشان داده شده است (Snyder, 1992):

$$\begin{aligned} ET_o & \quad (1) \\ & = ETp \\ & \times Kp \end{aligned}$$

در جدول (1) پنج معادله مورد استفاده جهت برآورد  $Kp$  ارائه شده است.

روش آلن و پروت به منظور برآورد تبخیر-تعرق با استفاده از تشت تبخیر برای این منطقه بهتر از سایر روش‌ها می‌باشد. Amiri و همکاران (2008) در طی تحقیقی در اصفهان با اقلیم (خشک) به این نتیجه رسیدند که بهترین روش ضریب تشت در تخمین تبخیر-تعرق روزانه به ترتیب معادله‌های پریبرا و همکاران و دورنبوسو پروتیت می‌باشند.

هدف از این پژوهش بررسی دقت و مقایسه پنج معادله ارائه شده برای تعیین ضریب  $Kp$  بود. به منظور مقایسه نتایج به دست آمده از این ضریب در تعیین تبخیر-تعرق، نتایج به دست آمده با سایر روش‌های معمول تبخیر-تعرق شامل معادلات فائو-پنمن-مانتیث، پنمن 24، تورک، بلانی-کریدل و هارگریوز-سامانی مقایسه شد.

### 2- مواد و روش‌ها

#### 2-1- محیط مورد مطالعه و داده‌ها

### 2-3- معادلات تجربی:

معادلات تجربی متعددی برای میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع وجود دارد که از جمله می‌توان به مدل‌های تورک (1961)، بلانی-کریدل (1950)، فائو-پنمن-مانتیث (آلن و همکاران 1998) و هارگریوز (1985) اشاره نمود.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \left[ \frac{900}{\frac{T_{\min} + T_{\max}}{2} + 273} \right] U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

که در این معادله  $U_2$  سرعت باد در ارتفاع دو متری ( $m.s^{-1}$ )،  $R_n$  تابش خالص در سطح زمین ( $MJ.m^{-2}.d^{-1}$ )،  $e_s - e_a$  کمبود فشار بخار اشباع هوا (KPa)،  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار اشباع با دما ( $KPa.C^{-1}$ )،  $T_{\min}$  دمای کمینه ( $^{\circ}C$ ) و  $T_{\max}$  دمای بیشینه ( $^{\circ}C$ )،  $G$  چگالی شارحرارتی حرارتی خاک ( $MJ.m^{-2}.day$ )،  $\gamma$  ثابت سایکرومتری ( $KPa.C^{-1}$ ) می‌باشند.

2-3-4- معادله هارگریوز:

این روش برای محاسبه تبخیر-تعرق تنها نیازمند حداکثر و حداقل دمای روزانه می‌باشد که می‌تواند به صورت 24 ساعته، هفتگی، 10 روزه یا دوره ماهانه محاسبه شود. معادله ارائه شده برای این روش به صورت زیر می‌باشد:

$$ET_o = 0.0023R_a \left( \frac{T_{\min} + T_{\max}}{2} + 17.8 \right) (T_{\min} + T_{\max})^{0.5}$$

که در این معادله  $R_a$  تابش ماوراء زمینی ( $mm.day^{-1}$ )،  $T_{\min}$  دمای کمینه ( $^{\circ}C$ ) و  $T_{\max}$  دمای بیشینه ( $^{\circ}C$ ) می‌باشند.

2-4- ارزیابی و مقایسه روش‌های محاسبه ضریب تشت یکی از مراحل مهم در تهیه یک مدل، بررسی چگونگی عملکرد و تعیین میزان دقت آن می‌باشد. علاوه بر این، به منظور مقایسه مدل‌های مختلف با یکدیگر لازم است که معیاری از دقت مدل‌ها در اختیار باشد. به منظور مقایسه دقیق نتایج حاصل از لایسیمتر و روش‌های تجربی، از شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، شاخص میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و خطای استاندارد تخمین (SEE) استفاده شد. این آماره‌ها در روابط (6) تا (8) نشان داده شده‌اند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{(X_E - X_{ab})^2}{n}} \quad (6)$$

- معادله تورک:

این معادله بر پایه تشعشعات خورشیدی و درجه حرارت قرار دارد. استفاده از این روش در نواحی شرقی اروپا توسعه یافت که بعدها در نقاط مختلف دنیا نیز مورد استفاده قرار گرفت و به صورت معادله زیر قابل بیان است:

$$ET_o = 0.013a_r \frac{\frac{T_{\min} + T_{\max}}{2}}{\frac{T_{\min} + T_{\max}}{2} + 15} \frac{23.8856R_s + 50}{\lambda}$$

$$RH \geq 50 \rightarrow a_r = 1$$

$$RH < 50 \rightarrow a_r = 1 + \frac{50 - RH}{70}$$

که در این معادله  $T$  متوسط دمای هوا ( $^{\circ}C$ )،  $R_s$  کل تابش خورشیدی ( $MJ.m^{-2}.d^{-1}$ )،  $T_{\min}$  دمای کمینه ( $^{\circ}C$ ) و  $T_{\max}$  دمای بیشینه ( $^{\circ}C$ )،  $\lambda$  گرمای نهان تبخیر و  $RH$  درصد متوسط رطوبت نسبی می‌باشد.

2-3-2- معادله بلانی-کریدل:

این معادله از قدیمی‌ترین روش‌های تخمین تبخیر و تعرق می‌باشد که توسط پروت از اساتید سابق دانشگاه کالیفرنیا مورد واسنجی قرار گرفت و برای تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع به صورت زیر ارائه شده است:

$$ET_o = a + b \{P(0.46T + 8.13)\}$$

$$a = 0.0043RH - \frac{n}{N} - 1.41$$

$$b = f(RH_{\min}, \frac{n}{N}, U_d)$$

که در این معادله  $T$  متوسط دمای هوا ( $^{\circ}C$ )،  $RH$  درصد متوسط رطوبت نسبی،  $RH_{\min}$  درصد رطوبت نسبی حداقل،  $N$  تعداد روزهای ماه مورد نظر،  $P$  ضریب روشنایی یا درصد ساعات روشنایی روزانه،  $n/N$  نسبت ساعات آفتابی به مدت روشنایی روز می‌باشد.

2-3-3- معادله فائوپنمن مانتیث:

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

شکل‌های (2) و (3) بین 0/6 تا 0/85 متغیر است. از طرفی مقدار ضریب تشت تبخیر حاصل از لایسیمتر بین 0/8 تا 1/1 متغیر بود. نتایج نشان داد که این روش‌ها برآورد بهتری نسبت به روش‌های تجربی دارند. همچنین پراکندگی مقادیر به دست آمده به وسیله این روش‌ها نسبت به روش‌های تجربی کمتر بوده و همبستگی بیشتری با نتایج لایسیمتر داشتند. نتایج متوسط سالانه برای روش‌های تجربی نیز به مقادیر حاصل از لایسیمتر نزدیکتر بود (جدول 2). متوسط سالانه ضرایب تشت تبخیر بر اساس داده‌های لایسیمتری 0/75 میلی‌متر و بر اساس معادله کوئکا 0/7 بود. این مقادیر برای روش‌های آلن، اشنایدر، اورنگ و پیرا به ترتیب برابر با 0/75، 0/75، 0/74 و 0/78 به دست آمد. مقادیر متناظر برای روش‌های تجربی فائوپنمن-ماننیت، پنمن 24، تورک، بلانی-کریدل و هارگریوز-سامانی نیز به ترتیب برابر با 0/83، 0/76، 0/88، 0/84 و 0/88 تعیین شد.

به طور کلی می‌توان گفت که مقادیر ضریب تشت تبخیر برآورد شده به وسیله روش‌های تشت تبخیر کمتر از مقادیر روش‌های تجربی بود. با این وجود روش تشت تبخیر برآورد دقیق‌تری جهت تعیین تبخیر-تعرق نسبت به سایر روش‌های تجربی نشان داد. در جدول (2) مقادیر ماهانه ضریب تشت تبخیر به تفکیک ماهانه ارائه شده است. در انتهای این جدول، روش‌های مورد استفاده با توجه به شاخص‌های آماری با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته و رتبه‌بندی شده‌اند. براساس این نتایج، معادله تورک بهترین روش برآورد ضریب تشت تبخیر در این منطقه بود. پس از این روش، معادله پیرا در رتبه بعدی قرار گرفت. با توجه به اینکه معادله پیرا در مناطق مرطوب دقت پایین‌تری نسبت به معادله تورک دارد، در رتبه‌بندی نیز در رده دوم قرار گرفت. این نتیجه با گزارش Gundekar و همکاران (2008) همخوانی داشت. همچنین روش پنمن 24 در رتبه آخر قرار گرفته است. به همین دلیل این روش قابل اعتماد در شهر کرد نمی‌باشد. Rahimikhoob (2009) نیز نتایج مشابهی در این خصوص منتشر کرده است.

#### 4- نتیجه‌گیری

مقایسه و ارزیابی روش‌های مختلف برآورد ضریب تشت در دوره زمانی چهارساله در شهر کرد، شامل معادلات و

$$MAE = \frac{\sum |X_E - X_{ab}|}{n} \quad (7)$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum (X_{ab} - X_E)^2}{(n-1)}} \quad (8)$$

که در این معادلات،  $X_E$  مقادیر اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر،  $X_{ab}$  متوسط مقادیر پیش‌بینی شده از روش‌های تجربی و  $n$  تعداد نمونه‌ها می‌باشد.

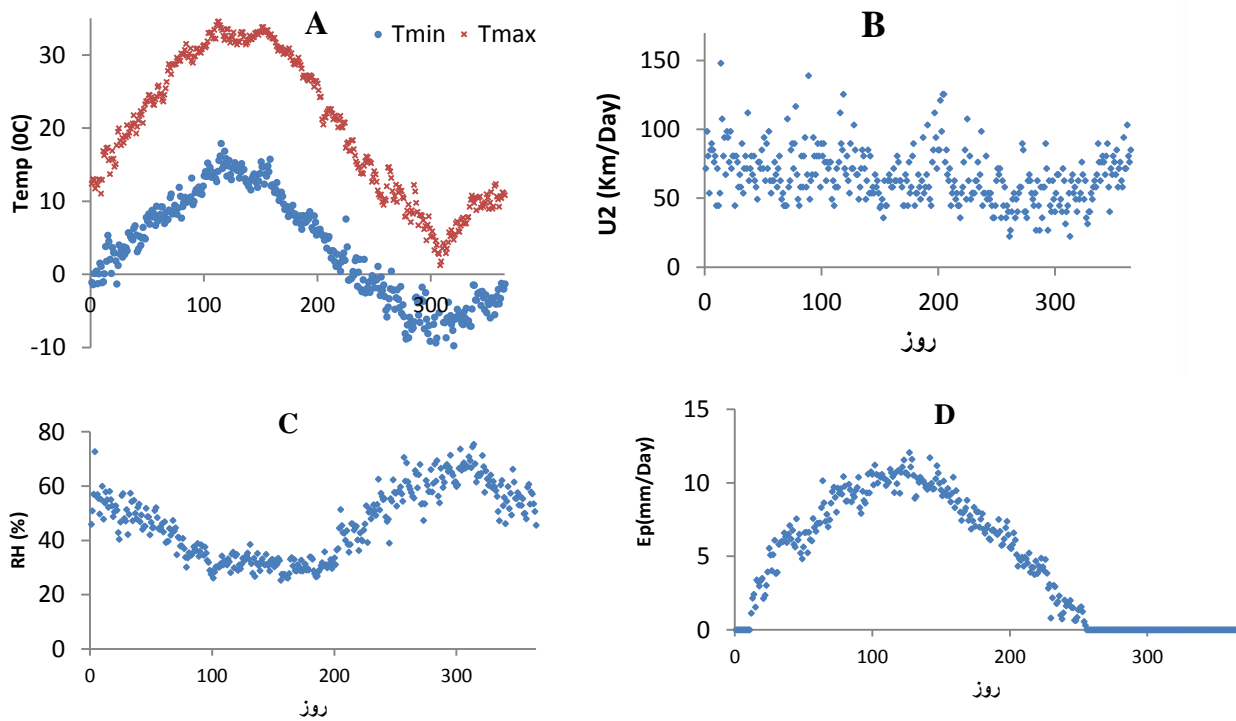
#### 3- نتایج و بحث

این تحقیق بر اساس آنالیزهای داده‌های روزانه، هفتگی و ماهانه انجام گرفت. در شکل (1) میانگین روزانه چهار ساله مقادیر درجه حرارت، سرعت باد، رطوبت نسبی و تبخیر از تشت تبخیر را نشان می‌دهد. در شکل 1-D ملاحظه می‌شود که بیشترین مقدار تبخیر از تشت در ماه تابستان و در روزهای گرم سال واقع شده است که با توجه به سایر نمودارها ملاحظه می‌شود که در این روزها درجه حرارت بالا بوده و رطوبت نسبی در این دوره زمانی پایین است و سرعت باد با افزایش نسبی همراه بود. ضمن اینکه با توجه به اقلیم نیمه مرطوب معتدل با تابستان‌های معتدل و زمستان‌های بسیار سرد شهر کرد و با توجه به زمان کارگزاری تشت تبخیر که از تاریخ اول اردیبهشت تا 15 آبان بود، ملاحظه گردید که از اواخر ماه آبان تا آخر سال مقدار تبخیر از تشت صفر بود. این مقدار در محاسبات لحاظ نشده است. در شکل (2) میانگین مقادیر روزانه برای داده‌های چهارساله Kp نشان داده شده است. در شکل (3) میانگین مقادیر هفتگی ضریب تشت با استفاده از روش‌های تجربی منطقه شهر کرد مشاهده می‌شود. با توجه به ناچیز بودن تبخیر در برخی روزها، مقادیر هفتگی به جای روزانه مورد استفاده قرار گرفت.

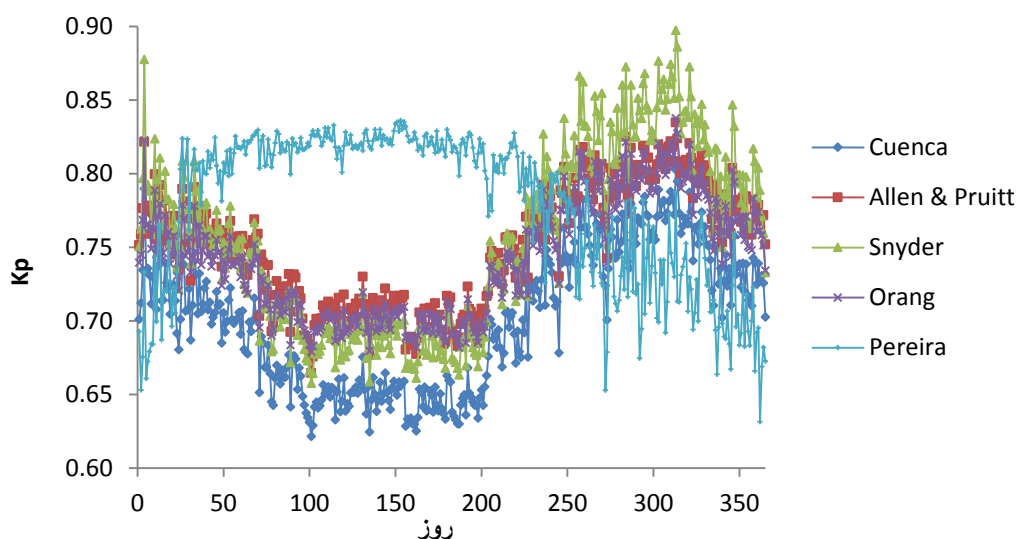
همانطور که در شکل (2) ملاحظه می‌شود، معادلات کوئکا، آلن، اشنایدر و اورنگ مقادیر روزانه ضریب تشت تبخیر را نزدیک به هم محاسبه می‌کنند. ولی معادله پیرا دارای تفاوت با سایر معادلات می‌باشد. علت آن هم در نظر گرفتن پارامترهای هواشناسی بیشتر نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد. با توجه به شکل 3-B مقادیر هفتگی ضریب تشت تبخیر با استفاده از روش‌های تجربی بین 0/5 تا 1/6 متغیر بود. مقادیر ضریب تشت برآورده شده توسط معادلات با توجه به

روش‌های تجربی در مقیاس روزانه و هفتگی و ماهانه انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که معادلات برآورد خوبی نسبت به روش‌های تجربی دارند و ضریب تشت را با دقت بیشتری نسبت به لایسیمتر برآورد می‌کنند. از طرفی این معادلات مقادیر ضریب تشت را کمتر از لایسیمتر تخمین می‌زند. براساس این نتایج، روش‌های تورک و پیرا بهترین دقت و روش‌های هارگریوز و پنمن 24 کمترین دقت را داشتند. نتایج بدست آمده از روش پنمن 24 نشان داد که این روش برآورد خوبی از مقادیر ضریب تشت نداشت و هر معادله‌ای که از این روش مشتق شده باشد، نتایجش غیر قابل اعتماد خواهد داشت.

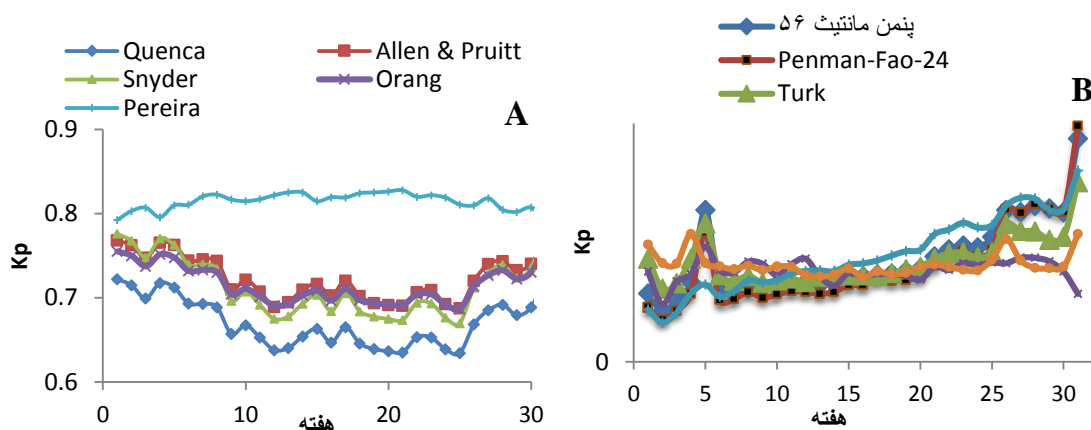
معادله $K_p$	نام محقق (سال)
$K_p=0.475-2.4 \times 10^{-4}u_2+5.16 \times 10^{-3}RH+1.18 \times 10^{-3}F-1.6 \times 10^{-5}RH^2-1.01 \times 10^{-6}F^2-8 \times 10^{-9}RH^2u_2-1 \times 10^{-8}H^2F$	(Cuenca, 1989)
$K_p=0.108-0.000331u_2+0.0422\ln(F)+0.1434\ln(RH)-0.000631[\ln(F)]^2\ln(RH)$	(Allen and Pruitt, 1991)
$K_p=0.482-0.000376u_2+0.024\ln(F)+0.0045RH$	(Snyder, 1992)
$K_p=0.85(\Delta+\gamma)/[\Delta+\gamma(1+0.33u_2)]$	(Pereira, 1995)
$K_p=0.51206-0.000321u_2+0.031886\ln(F)+0.002889RH$	(Orang, 1998)



شکل (1): میانگین چهار ساله مقادیر اندازه‌گیری شده روزانه پارامترهای هواشناسی ایستگاه چهارتخته شهرکرد (A) ماکزیمم و مینیمم درجه حرارت، (B) سرعت باد، (C) رطوبت نسبی و (D) تبخیر از تشت کلاس آ. در شکل (2) میانگین مقادیر روزانه برای داده‌های چهارساله  $K_p$  نشان داده شده است. در شکل (3) میانگین مقادیر هفتگی ضربت تشت با استفاده از روش‌های تجربی منطقه شهرکرد مشاهده می‌شود. با توجه به ناچیز بودن تبخیر در برخی روزها، مقادیر هفتگی به جای روزانه مورد استفاده قرار گرفت.



شکل (2): میانگین مقادیر روزانه ضریب تشت (Kp) بدست آمده با استفاده از معادلات بر حسب میلی متر



شکل (3): میانگین مقادیر هفتگی ضریب تشت (Kp) بدست آمده با استفاده از معادلات (A) و مناسبترین روش‌های تجربی منطقه (B) بر حسب میلی متر

جدول (2): میانگین ماهانه مقادیر ضریب تشت (Kp) بر حسب میلی متر و مقایسه روش‌های مختلف با لایسیمتر بر اساس شاخص‌های کمی

Hargreaves	Blaney	Turk	Penman-24	پنمن مانثیث ۵۶	Pereira	Orang	Snyder	Allen	Cuenca	لایسیمتر	
0/49	0/80	0/91	0/51	0/61	0/73	0/76	0/78	0/77	0/72	0	فروردین
0/56	0/78	0/83	0/55	0/63	0/81	0/74	0/76	0/76	0/71	0/96	اردیبهشت
0/73	0/88	0/74	0/61	0/67	0/82	0/72	0/72	0/73	0/67	0/88	خرداد
0/84	0/80	0/77	0/65	0/74	0/82	0/70	0/68	0/70	0/65	0/81	تیر
0/97	0/80	0/82	0/75	0/81	0/82	0/70	0/69	0/71	0/65	0/81	مرداد
1/23	0/88	0/98	0/95	1/03	0/82	0/70	0/68	0/70	0/64	0/88	شهریور
1/37	0/91	1/13	1/27	1/3	0/81	0/70	0/70	0/71	0/65	0/94	مهر
0	0	0	0	0	0/79	0/75	0/77	0/76	0/71	0	آبان
0	0	0	0	0	0/75	0/78	0/82	0/79	0/75	0	آذر



0	0	0	0	0	0/73	0/80	0/84	0/80	0/76	0	دی
0	0	0	0	0	0/73	0/80	0/84	0/80	0/76	0	بهمن
0	0	0	0	0	0/69	0/76	0/79	0/77	0/73	0	اسفند
0/88	0/84	0/88	0/76	0/83	0/78	0/74	0/75	0/75	0/70	0/75	میانگین
0/438	/4300	/3041	0/5282	0/4623	/3824	/4004	/3993	/396	/4233	مبنا	RMSE
	0	0			0	0	0	0	0		
0/3570	/2737	/1940	0/3381	0/3051	/1617	/2099	/2105	/205	/2441	مبنا	MAE
	0	0			0	0	0	0	0		
0/4849	/4310	/3048	0/5294	0/4634	/3932	/4013	/4002	/397	/4243	مبنا	SSEE
	0	0			0	0	0	0	0		
9	7	1	10	8	2	5	4	3	6	مبنا	Rank

- location, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 128 (3), 153-159.
- Jensen, M.E and Allen, R.G. (1990). *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements*. ASCE Manual and Reports on Engineering Practices, No 70, American Social Civil Engineering, New York, PP. 360.
- Orang, M. (1998). Potential Accuracy of the popular non-linear Regression Equations for Estimating Pan Coefficient Values in the Original and FAO-24 tables. Unpublished report California Department of Water Resources, Sacramento, California.
- Pereira, A.R, Villa Nova, N.A. Pereira, A.S., Barbieri, V. (1995). A model for the Class A Pan Coefficient. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amstrdam, 76 (1), 75-82.
- Raghuwanshi, N.S and Wallender, W.W. (1998). Converting from Pan Evaporation to Evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 124 (5), 275-277.
- Rahimikhoob, A.(2009). An Evaluation of Common Pan Coefficient Equations to Estimate Reference Evapotranspiration in a Subtropical Climate (north of Iran). *Irrigation Science* 27: 289-296.
- Snyder, R.L. (1992). Equation for Evaporation Pan Evapotranspiration Conversion. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 118 (6), 977-980.
- Turc, L. 1961. Evaluation of the basis of potential evapotranspiration in irrigation. *Annals of Agronomy* 12(1): 13-49.
- Allen, R.G and Pruitt, W.O (1991). FAO-24 Reference Evapotranspiration Factors, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 117 (5), 758-773.
- Amiri, M. Abedikooaei, J. and M. Khazaei (2008). Estimation best method of class A pan coefficient for estimating daily evapotranspiration in Esfahan province. In: Proc.Third National Conference on Integrated Water Resources Management.Tabriz.8p.[https://www.civilica.com/Paper-WRM03-WRM03\\_175.html](https://www.civilica.com/Paper-WRM03-WRM03_175.html) (In Persian)
- Blaney, H.F., and Criddle, W.D. 1950. Determining water requirements in irrigated area from climatological irrigation data, US Department of Agriculture, Soil Conservation Service.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W.O (1977). *Guidelines for Predicting Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 24 (2th ed) FAO Rome, Italy, PP. 156.
- Ebrahimipak, N.A, (2012). Determination of Potential Reference Evapotranspiration and Comparison with Empirical Method Lysimeter in the Shahre-Kord. Soil and Water Research Institute, Code no: 180-15-75-100. (In Farsi)
- Estehbanati, S. and M. bakhtiari (2016). Comparing evapotranspiration obtained from some of pan evaporation equations using ASCE Standard Penman-Monteith model in an arid climate. *Journal of Irrigation & Water Engineering* 6(24):90-102. (In Persian)
- Freveert, D.K., Hill, R.W. and Braaten, B.C (1983). Estimation of FAO Evapotranspiration Coefficients. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 129 (2), 265-270.
- Grismer, M.E., Oran, M., Snyder, R and Matyac, R (2002). Pan Evaporation to Reference Evapotranspiration Conversion Methods. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 128 (3), 180-184.
- Gundekar, H.G. Khodke, U.M. Sarkar, S. Rai, R.K (2008). Evaluation of Pan Coefficient for Reference Crop Evapotranspiration for Semi-Arid Region. *Irrigation Science*, 26: 169-175.
- Hargreaves, G.H. and Z.A. Samani 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering Agriculture* 1(2): 96-99.
- Irmak, S., Haman. D.Z and Jones. J.W. (2002). Evaluation of Class A Pan Coefficient for Estimation Reference Evapotranspiration in Humid



## **Evaluation of evaporation pan coefficients for empirical methods to Estimate Reference Evapotranspiration**

### **Abstract**

Reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) is one of the main parameters in water resource planning and water management. Pan coefficient Class A (K<sub>p</sub>) is an important factor for calculation of reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>). There are several ways to estimate K<sub>p</sub> using different parameters such as wind speed, relative humidity and vegetation. In this study, using daily meteorological data for 4 years period from Shahrekord Meteorological Station using different equations such as Cuenca, Allen Pruitt, Snyder, Orang and Pereira, pan coefficient was estimated. Then, those values were estimated FAO-Penman-Monteith, Penman-24, Turk, Blaney-Cridle and Hargreaves-Samani equations. Results were compared to lysimeter data collected from this region. Also for choosing the best model, between three parameters, Root mean square error, Mean absolute error and Standard Estimation Error rank test was performed. Results showed that pan evaporation methods had better accuracy compared to empirical methods. In addition, Turk equation ranked as the best and most accurate method and Penman-24 was the worst one.

**Keywords:** coefficient pan, evaporation pan class A, potential evapotranspiration, lysimeter.