

مقایسه تبخیر تعرق حاصل از برخی معادلات تشت تبخیر با مدل پنمن-مانتیت استاندارد ASCE در یک اقلیم خشک

سعید اصطهباناتی^۱، بهرام بختیاری^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۲۲

چکیده

هدف از مطالعه حاضر ارزیابی چهار مدل مختلف برآورد ضریب تشت (K_p) به منظور محاسبه تبخیر تعرق گیاه مرجع یونجه می‌باشد. به این منظور مقادیر ضریب تشت حاصل از چهار معادله کوئنکا، آلن و پروت، اشنایدر و اورنگ در اقلیم خشک کرمان محاسبه گردید و با استفاده از داده‌های روزانه تبخیر از تشت در بازه زمانی پنج ماهه (امرداد تا آذر سال ۱۳۹۲) در مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان مقادیر تبخیر تعرق گیاه مرجع یونجه (ET_0) محاسبه گردید. با استفاده از داده‌های جوی روزانه بدست آمده از ایستگاه هواشناسی خودکار واقع در این مزرعه (در بازه زمانی مطالعاتی)، ET_0 از روش پنمن-مانتیت استاندارد ASCE محاسبه گردید و به عنوان شاخصی برای ارزیابی تبخیر تعرق گیاه مرجع بدست آمده از چهار مدل مذکور مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش آلن و پروت شاخص توافق نزدیک‌تری به یک داشته ($d\text{-index}=0/83$) و مقدار خطاها نسبت به روش‌های دیگر کمتر ($MAE=1/412$ و $RMSE=1/607$) بوده است. در نتیجه از بین چهار مدل مورد مطالعه روش آلن و پروت به منظور برآورد تبخیر تعرق با استفاده از تشت تبخیر برای این منطقه پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پنمن-مانتیت ASCE، تبخیر تعرق، تشت تبخیر، کرمان، یونجه.

^۱ کارشناس ارشد بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، ۰۹۱۳۳۴۰۹۳۳۰، Astahbanati@yahoo.com (مسئول مکاتبه)

^۲ استادیار، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، ۰۹۱۳۳۴۳۹۵۶۲، Drbakhtiari@uk.ac.ir

مقدمه

تبخیرتعرق گیاه مرجع (ET_0) منطبق بر استاندارد سازمان خوار و بار جهانی (فائو) بیانگر مقدار آب مصرف شده در یک مزرعه پوشیده از گیاه مرجع همچون چمن یا یونجه در بازه زمانی معین است، به نحوی که گیاهان مزرعه مورد نظر در طول دوره رشد دچار کمبود آب نگردند (Allen et al., 1991). در اغلب روش‌هایی که برای تعیین تبخیرتعرق گیاه (ET_0) ارائه شده است، ابتدا مقدار ET_0 برآورد شده و سپس با استفاده از آن تبخیرتعرق گیاه مورد نظر محاسبه می‌شود. روش‌های مختلفی برای محاسبه تبخیرتعرق وجود دارد. استفاده از لایسیمتر یک روش مستقیم و دقیق برای اندازه‌گیری ET_0 است، اما به علت هزینه بالای آن و عدم وجود آن در هر منطقه، روش‌های تجربی و یا فیزیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند (علیزاده، ۱۳۷۲). معادلات برآورد تبخیرتعرق از جمله هارگریوز، جنسن، تورک، بلانی-کریدل، پنمن و پنمن-مانتیت (P.M.) از جمله این مدل‌ها هستند. از میان مدل‌های فوق، پنمن-مانتیت ASCE توسط انجمن مهندسی عمران آمریکا برای برآورد ET_0 و نیز ارزیابی سایر روش‌ها ارائه شده است (ASCE-EWRE, 2005). البته علاوه بر معادلات تجربی روش‌های غیرمستقیم دیگری نظیر استفاده از تشت تبخیر (E_p) و معادلات ضریب تشت (K_p) برای برآورد ET_0 پیشنهاد گردیده است.

مطالعات متعددی برای تجزیه و تحلیل E_p و ET_0 در نقاط مختلف جهان انجام پذیرفته است. Gundekar et al., 2008 در یک اقلیم نیمه‌خشک با استفاده از برآورد E_p و K_p حاصل از روش‌های کوئنکا، اشنایدر، پریبرا و همکاران، روگوانشی و ولندر و اورنگ اقدام به برآورد ET_0 نمودند و مقادیر حاصل را با ET_0 حاصل از مدل پنمن-مانتیت فائو ۵۶ مقایسه نمودند. نتایج روش اشنایدر را مناسب‌ترین روش برای مناطق نیمه‌خشک نشان. Aschonitis et al., 2012 اقدام به محاسبه تبخیرتعرق از طریق حاصل‌ضرب تبخیر برآورد شده از تشت تبخیر کلاس A و K_p بدست

آمده از شش معادله و مقایسه آنها با روش پنمن-مانتیت ASCE در یک منطقه با اقلیم مدیترانه‌ای نمودند. نتیجه آن‌ها نزدیکی بیشتر روش کوئنکا را نسبت به سایر روش‌ها نشان داد. Cobaner (2013) مدل راندمان رگرسیون موج (WR) برای برآورد ET_0 بر اساس تشت تبخیر کلاس A را در ایستگاه‌های فرزنو و بیکرزفیلد در ایالت کالیفرنیا مورد بررسی قرار داد. نتایج حاصل از این مدل را با مقادیر بدست آمده از سه معادله مبتنی بر تشت (فائو-۲۴، اشنایدر و قره) مقایسه نمود و برای اینکار از مدل پنمن-مانتیت فائو ۵۶ بهره برد. نتایج نشان داد که مدل WR دقت پیش‌بینی مشابه ET_0 بدست آمده از تشت تبخیر را دارا می‌باشد. بختیاری و همکاران (۱۳۸۶) در اقلیم خشک کرمان با استفاده از داده‌های بدست آمده از سایت لایسیمتری مزرعه دانشگاه شهید باهنر اقدام به برآورد تبخیرتعرق گیاه مرجع در گام زمانی ساعتی و مقایسه آن با روش پنمن-مانتیت ASCE و پنمن-مانتیت فائو ۵۶ نمودند که نتایج حاصل نشان‌دهنده بیش‌برآورد تبخیرتعرق حاصل از این دو معادله به ویژه معادله پنمن-مانتیت ASCE با داده‌های لایسیمتری بود. امیری و همکاران (۱۳۸۷) در اصفهان روش‌های دورنبوس و پروت، کوئنکا، اشنایدر، پریبرا و همکاران و فائو ۵۶ را در تعیین مقدار K_p مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که بهترین روش K_p در تخمین تبخیرتعرق روزانه به ترتیب معادله پریبرا و همکاران (۱۹۹۵) و دورنبوس و پروت (۱۹۷۷) می‌باشد. شیرمحمدی و همکاران (۱۳۹۰) در منطقه فریمان اقدام به مقایسه مقادیر تخمینی دو روش برآورد ET_0 چمن یعنی مدل‌های پنمن-مانتیت ASCE و پنمن-مانتیت فائو ۵۶ در بازه زمانی یک ساعته نمودند. نتایج حاصل نشان داد که برای مواردی که نیاز به استفاده از داده‌های یک ساعته و یا روزانه برای تمام طول دوره می‌باشد، برای استفاده از داده‌های تبخیرتعرق یک ساعته و روزانه، مدل پنمن-مانتیت فائو ۵۶ توصیه می‌گردد. اکبری نودهی (۱۳۸۹) از چهار روش آلن-پروت، اشنایدر، کوئنکا و اورنگ برای اندازه‌گیری ضریب تشت در ایستگاه سینوپتیک ساری استفاده

سال ششم • شماره بیست و چهارم • تابستان ۱۳۹۵

انجام این مطالعه کمتر مورد توجه بوده است. به خصوص در مورد گیاه یونجه و استفاده از تشت تبخیر با فچ تعیین شده، این تحقیق کمتر صورت گرفته است. ضرورت می‌یابد که مقادیر تبخیرتعلق اندازه‌گیری شده با تشت تبخیر در فچ مورد نظر با روش‌های استاندارد نظیر پنمن-مانتیت ASCE مورد مقایسه قرار گیرد. این پژوهش به منظور ارزیابی دقت برآورد ET_0 از طریق به‌کارگیری چهار معادله K_p و تبخیر بدست آمده از تشت کلاس A واقع در مزرعه یونجه دانشگاه شهید باهنر کرمان و مقایسه آن‌ها با معادله پنمن-مانتیت ASCE انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

ایستگاه مورد مطالعه در مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان با عرض جغرافیایی 30° درجه و $14'$ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 57° درجه و $07'$ دقیقه شرقی و ارتفاع 1770 متر از سطح دریا قرار گرفته است. در تقسیم‌بندی اقلیمی دومارتن، نوع اقلیم کرمان نیمه خشک است. بر اساس دوره آماری 30 ساله 1361 تا 1391 ، میانگین بارش سالانه منطقه $154/1$ میلی‌متر، متوسط دمای هوا $17/1$ ، متوسط دما در گرمترین ماه سال $34/7$ ، متوسط دما در سردترین ماه سال $4/6$ درجه سانتیگراد، میانگین سالانه رطوبت نسبی 32% و میانگین سالانه سرعت باد در ارتفاع دو متری $2/3$ متر بر ثانیه تعیین شده است. باد غالب در مزرعه مطالعاتی در جهت غربی به دست آمد. همچنین اطراف ایستگاه را اراضی کشاورزی و تحت آبیاری در بر گرفته است. تشت تبخیر کلاس A در یک مزرعه یونجه با ابعاد 100×120 متر و در فچ 25 متری نصب شده است (شکل ۱). جانمایی تشت تبخیر و ایستگاه هواشناسی در مزرعه مطالعاتی در شکل ۲ نشان داده شده است. داده‌های روزانه تبخیر از تشت طی 5 ماه امرداد تا آذر سال 1392 از مزرعه یونجه برداشت گردید. همچنین داده‌های هواشناسی روزانه به منظور استفاده در

کرد. سپس تبخیرتعلق بدست آمده با تبخیرتعلق لایسیمیتری مقایسه گردید و نتایج نشان داد که برای محاسبه مقادیر ET_0 روزانه و ماهانه در این منطقه روش اورنگ مناسب می‌باشد. کابوسی (۱۳۹۰) در ایستگاه سینوپتیک گرگان اقدام به محاسبه K_p با استفاده از داده‌های جوی از 7 روش Allen et al., Snyder et al., 1995, 2008, Orang, 1998، پریرا و همکاران (۱۹۹۵)، Snyder, 1992، اشنایدر اصلاح شده (۱۹۹۲) و Cuenca, 1989 پرداخت. نتایج نشان داد که به دلیل خطای زیاد در قرائت و ثبت، مقادیر روزانه تبخیر از تشت K_p بیشتر از یک می‌باشد. این در حالی است که مقدار این ضریب برای شرایط مختلف بین $0/35$ تا $0/85$ گزارش شده است و 7 روش مورد استفاده نیز مقدار K_p را در ایستگاه مورد بررسی بین $0/45$ تا $0/95$ برآورد می‌کنند. همچنین هر چه دوره زمانی محاسبات بزرگتر باشد K_p منطقی‌تر به دست آمده و برآورد ET_0 به روش تشت دقیق‌تر خواهد بود. کیخا و صالحیان (۱۳۹۲) در دشت سیستان مقادیر ضریب تشت را با استفاده از معادلات فرورت و همکاران، آلن و پروت، اورنگ و اشنایدر، بدست آورد و آنها را با مقادیر بدست آمده از معادله پنمن-مانتیت مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که، معادله اورنگ بیشترین ضریب همبستگی را با معادله پنمن-مانتیت داشته و مناسب‌ترین معادله جهت محاسبه ET_0 ماهانه در منطقه سیستان می‌باشد. اصطهباناتی و همکاران (۱۳۹۲) به محاسبه چند معادله تجربی تبخیرتعلق در بازه زمانی روزانه در اقلیم خشک کرمان پرداختند. معادلات هارگریوز، هارگریوز-سامانی، تورک، جنسن-هیز، جنسن-هیز اصلاح شده و تبخیر از تشت تبخیرکلاس A را با معادله استاندارد پنمن-مانتیت ASCE مقایسه کردند. نتایج نشان داد که برای محاسبه تبخیرتعلق گیاه مرجع یونجه در این منطقه، روش هارگریوز مناسب‌ترین روش بوده است و روش‌های جنسن-هیز اصلاح شده و تشت تبخیرکلاس A در رتبه‌های بعد قرار گرفتند. با توجه به تحقیقات انجام گرفته در ایران مشاهده می‌گردد که تاکنون در اقلیم خشک کرمان

ثبت شده در جدول ۱ ارائه شده است.

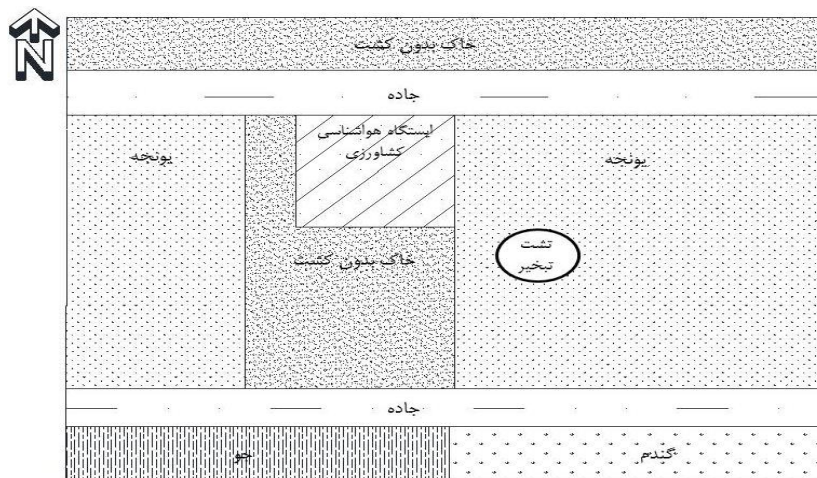
معادلات، از ایستگاه هواشناسی خودکار واقع در مزرعه طی دوره مطالعاتی استخراج شد. نمونه‌ای از اطلاعات



شکل (۱): تشت تبخیر کلاس A واقع در مزرعه یونجه دانشگاه شهید باهنر کرمان

جدول (۱): نمونه‌ای از داده‌های هواشناسی برداشت شده از مزرعه دو هکتاری یونجه واقع در دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ	دمای خشک تر (°C)	دمای تر (°C)	دمای حداکثر (°C)	دمای حداقل (°C)	رطوبت نسبی (%)	سرعت باد (ms ⁻¹)	سمت باد	تبخیر (mm)
۹۲/۵/۲	۲۹	۱۵/۵	۳۲/۲	۱۵/۶	۲۵	۱/۶	NW	۹/۵
۹۲/۵/۳	۳۱	۱۷	۳۱/۳	۱۳/۷	۲۶/۲	۱/۸	NW	۸/۷
۹۲/۵/۴	۳۰	۱۸/۲	۳۱/۴	۱۲/۴	۳۴/۲	۱/۶	NW	۸/۷
۹۲/۵/۵	۲۸/۵	۱۵	۳۱/۶	۱۲/۳	۲۵/۱	۱/۱	NW	۸/۸
۹۲/۵/۶	۲۹	۱۵	۳۲/۲	۱۳/۸	۲۳/۷	۱/۳	NW	۸/۷
۹۲/۵/۷	۳۱	۱۶	۳۳/۲	۱۱/۹	۲۲/۴	۱/۱	N	۸/۸
۹۲/۵/۸	۳۲	۱۷/۵	۳۴/۷	۱۱/۱	۲۵/۵	۱/۰	NE	۷/۱
۹۲/۵/۹	۳۳/۵	۲۲	۳۴/۹	۱۳/۰	۳۹	۱/۱	NW	۹/۲



شکل (۲): جانمایی تشت تبخیر در محل انجام تحقیق

سال ششم • شماره بیست و چهارم • تابستان ۱۳۹۵

با محیط و شرایط اطراف آن است (به عنوان مثال رطوبت نسبی، سرعت باد و مسافت جانبی بادگیر محصول سبز یا آیش خشک (Fetch)). ارتباط بین ET_o و E_p ، توسط معادله ۲ نشان داده شده است (Allen et al., 1991).

$$ET_o = K_p \times E_p \quad (2)$$

که در آن E_p تبخیر از تشت (mmd^{-1}) و K_p ضریب تشت است.

بر اساس بررسی متون، محدوده مقادیر K_p بین ۰/۳ و ۱/۱ را پوشش می‌دهد که با رطوبت نسبی متناسب و با سرعت باد نسبت عکس دارد (Orang, 1998; Cuenca, 1989; Allen et al., 2008). تلاش‌های قابل توجهی جهت برآورد غیرمستقیم K_p از معادلات انجام شده، که با استفاده از داده‌های هواشناسی و ویژگی‌های محیط اطراف انجام گرفته است. معادلات Snyder, 1992، Cuenca, 1989، Allen et al., 2008 و Orang, 1998 برای برآورد ET_o گیاه مرجع یونجه به ترتیب معادلات شماره‌های ۳ تا ۶ ارائه شده است.

$$K_p = 0.475 - 0.00024U + 0.00516RH + 0.00118F - 1.6 \times 10^{-5}(RH)^2 - 1.01 \times 10^{-6}F^2 - 8 \times 10^{-9}RH \times U - 1 \times 10^{-8}(RH)^2F \quad (3)$$

$$K_p = 0.482 + 0.024Ln(F) - 0.000376U + 0.0045RH \quad (4)$$

$$K_p = 0.108 - 0.000331U + 0.0422Ln(F) + 0.1434Ln(RH) - 0.000631[Ln(F)]^2 Ln(RH) \quad (5)$$

$$K_p = 0.512062 - 0.000321U + 0.002889RH + 0.031886Ln(F) - 0.000107RH \times Ln(F) \quad (6)$$

که در آن‌ها K_p ضریب تشت تبخیر، U متوسط سرعت روزانه باد در ارتفاع ۲ متری (kmd^{-1})، RH متوسط رطوبت نسبی روزانه (%) و F فاصله سبزینگی

روش‌های مورد استفاده جهت محاسبه ET_o

معادله پنمن-مانتیث (ASCE)

موسسه منابع آب و محیط‌زیست (EWRI) و انجمن مهندسان عمران آمریکا (ASCE) در سال ۲۰۰۵ دو محصول مرجع را پیشنهاد کرده‌اند، محصول کوتاهی شبیه به چمن کوتاه (۰/۱۲ متر ارتفاع) و محصولی بلند شبیه به یک پوشش کامل یونجه (۰/۵ متر ارتفاع). با توجه به دو محصول مرجع، کمیته ASCE-EWRI معادله پنمن-مانتیث فائو ۵۶ را مورد تجدید نظر و بهبود قرار داد و روش جدید پنمن-مانتیث ASCE را ارائه کرده است. معادله پنمن-مانتیث ASCE با گام زمانی روزانه برای گیاه مرجع یونجه به صورت معادله شماره ۱ است (ASCE-EWRE, 2005).

$$ET_o = \frac{0.408 \times \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{1600}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.38u_2)} \quad (1)$$

که در آن ET_o تبخیر تعرق گیاه مرجع (mmd^{-1})، Δ شیب منحنی فشار بخار ($\text{kpa } ^\circ\text{C}^{-1}$)، R_n تابش ورودی خالص در سطح زمین ($\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$)، G چگالی شار حرارتی در سطح خاک ($\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$)، γ ثابت سایکرومتری ($\text{kpa}^\circ\text{C}^{-1}$)، T متوسط دمای روزانه ($^\circ\text{C}$)، u_2 متوسط روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری (ms^{-1})، e_s متوسط فشار بخار واقعی در ارتفاع دو متری (kpa) و e_a متوسط فشار بخار اشباع در ارتفاع دو متری (kpa) است. محاسبه e_s ، e_a ، R_{nl} و G توسط معادلات مختلفی که در کتب کلاسیک موجود است بر اساس گام زمانی روزانه انجام شده است (Allen et al., 1998; ASCE-EWRE, 2005).

روش تشت تبخیر

یکی از روش‌های معمول برای برآورد غیر مستقیم ET_o ، اندازه‌گیری E_p و ضرایب K_p منطبق

ازنقطه شروع مزرعه در مسیر باد غالب تا تشت تبخیر (m) است.

تحلیل های آماری

در این مطالعه مقادیر روزانه ET_0 از روش پنمن-مانتیت ASCE به عنوان مرجعی برای مقایسه بین روش های ارائه شده استفاده شده است. مطابق معادلات ۷ تا ۹ آزمون های آماری ضریب تبیین (R^2)، میانگین مطلق خطا (MAE)، جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و شاخص توافق (d-index) برای تجزیه و تحلیل و مقایسه مورد استفاده قرار گرفته است. هر کدام از این شاخص ها یک دامنه قابل قبول برای تایید صحت کارکرد مدل دارند. R^2 بیانگر میزان احتمال همبستگی میان داده های مشاهداتی و محاسباتی در مدلسازی می باشد. مقدار حداقل این آماره صفر و بهترین مقدار آن برابر با ۱ است. این ضریب در واقع نتایج تقریبی پارامتر موردنظر در آینده را براساس مدل ریاضی تعریف شده که منطبق بر داده های موجود است، بیان می دارد. RMSE تفاوت میان مقدار پیش بینی شده توسط مدل و مقدار واقعی می باشد. RMSE یک آماره مناسب برای مقایسه خطاهای پیش بینی توسط یک مجموعه داده است. هر چه مقدار این آماره کمتر باشد (نزدیک به صفر) مدل تطابق بهتری نسبت به داده های مشاهداتی دارد. اگر RMSE نرمال حاصل از یک صفت کمتر از ۱۰٪ باشد کارکرد مدل عالی، بین ۱۰ تا ۲۰٪ خوب، بین ۲۰ تا ۳۰٪ متوسط و بیشتر از ۳۰٪ ضعیف ارزیابی می گردد (Jamieson et al., 1991). d-index شاخص توافق ویلموت بوده که نزدیک بودن آن به یک نیز بیانگر نزدیکی مقادیر شبیه سازی شده به مشاهده شده و در حقیقت کارکرد بهتر مدل است (Willmott, 1982).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - E_i| \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{n}} \quad (8)$$

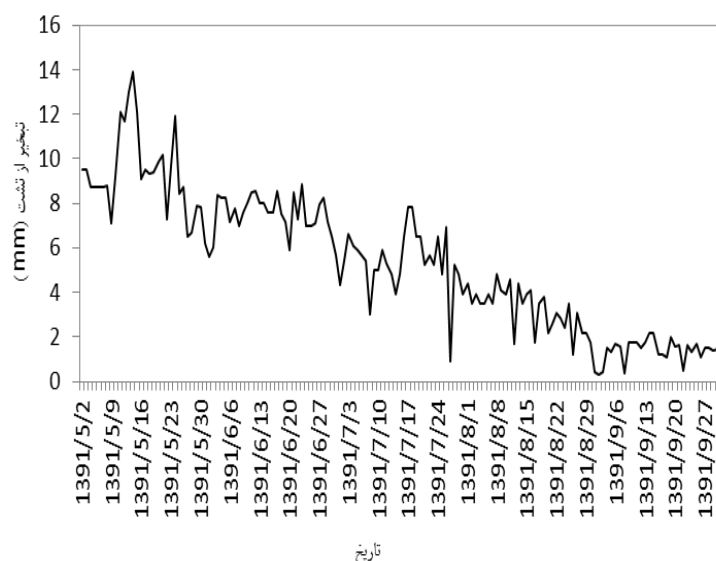
$$d_{index} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}, \quad 0 \leq d \leq 1 \quad (9)$$

که در آن ها O_i تبخیرتغرق مرجع از روش پنمن-مانتیت ASCE، E_i تبخیرتغرق مرجع از روش های محاسباتی، \bar{O} میانگین تبخیرتغرق مرجع از روش پنمن-مانتیت ASCE و n تعداد کل داده ها است. مقایسه بین روش های مورد استفاده توسط آزمون t جفت نشده با نرم افزار SPSS 17 در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

اندازه گیری E_{pan} روزانه از تشت تبخیر کلاس A، در فچ ۲۵ متر به مدت ۱۵۲ روز (امرداد تا آذر) از محصول در حال رشد صورت پذیرفت (شکل ۳). بر اساس داده های موجود در شکل ۳، حداکثر تبخیر از تشت در نیمه اول امرداد ماه با عنایت به گرمای هوا و تابش مستقیم آفتاب در فصل تابستان اتفاق افتاده است و حداقل این مقدار در روزهای پایانی آبان و ماه آذر همزمان با کاهش دما رخ داده است.

ارزیابی تبخیرتغرق حاصل از معادلات انتخاب شده K_p (معادلات ۳ تا ۶) با استفاده از مدل استاندارد پنمن-مانتیت ASCE به عنوان مرجع انجام گرفت. به این منظور برای هر یک از روش های یاد شده و روش مرجع مقادیر تبخیرتغرق روزانه در طول دوره محاسبه گردید. سپس مقادیر ET_0 روزانه بدست آمده از هر یک از چهار مدل مذکور در مقابل مقادیر متناظر ET_0 روزانه استاندارد همان روز رسم گردید (شکل ۴). با رگرسیون گیری بین مقادیر موجود در هر نمودار نتایج موجود در جدول شماره ۲ حاصل شد که بیانگر شیب و فاصله از خط ۱:۱ تقریباً مشابه در هر چهار روش است.



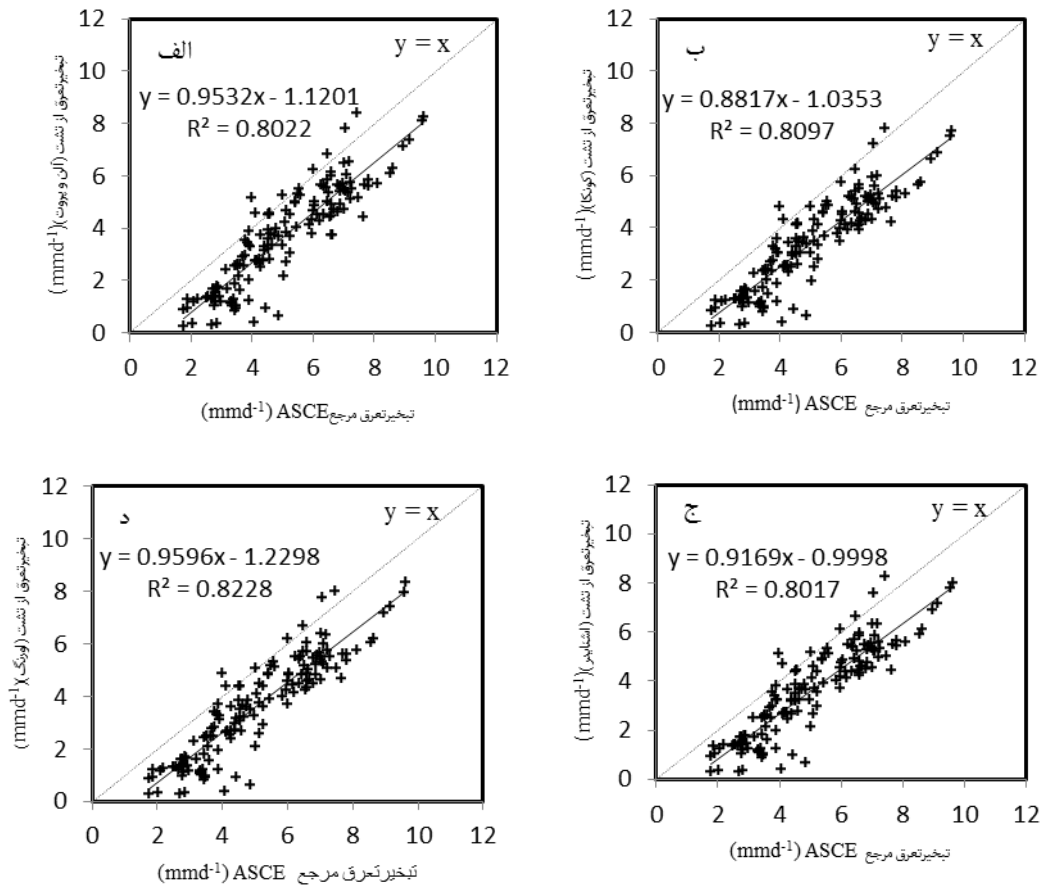
شکل (۳): میانگین روزانه تبخیر از تشت (Ep) در مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان طی چند روز مختلف از سال ۱۳۹۱

جدول (۲): مقادیر عرض از مبدا (b) و شیب (m) خط رگرسیون در معادله $(ET_{O-Pan} = m ET_{O-ASCE} + b)$ با توجه به فچ ۲۵ متر

روش	m	b
اورنگ	۰/۹۵۹	-۱/۲۲۹
اشنايدر	۰/۹۱۶	-۰/۹۹۹
کوئنکا	۰/۸۸۱	-۱/۰۳۵
آلن و پروت	۰/۹۵۳	-۱/۱۲۰

نشان دهنده آن است که برای منطقه مورد مطالعه روش آلن و پروت بیشترین نزدیکی را با روش مرجع داشته است و روش کوئنکا نامناسبترین روش در میان سایر روشها است.

از معیارهای آماری R^2 ، RMSE و MAE برای تجزیه و تحلیل و مقایسه میان معادلات مختلف K_p استفاده شد، که نتایج حاصل از نظر دقت پیش‌بینی در جدول شماره ۳ آمده است. نتایج بدست آمده



شکل (۴): مقایسه تبخیر تعرق مرجع (ET_0) بدست آمده از روش الف) آلن و پروت، ب) کوئنکا، ج) اشنایدر و د) اورنگ در فوج ۲۵ متر نسبت به تبخیر تعرق مرجع استاندارد پنمن-مانتیث ASCE

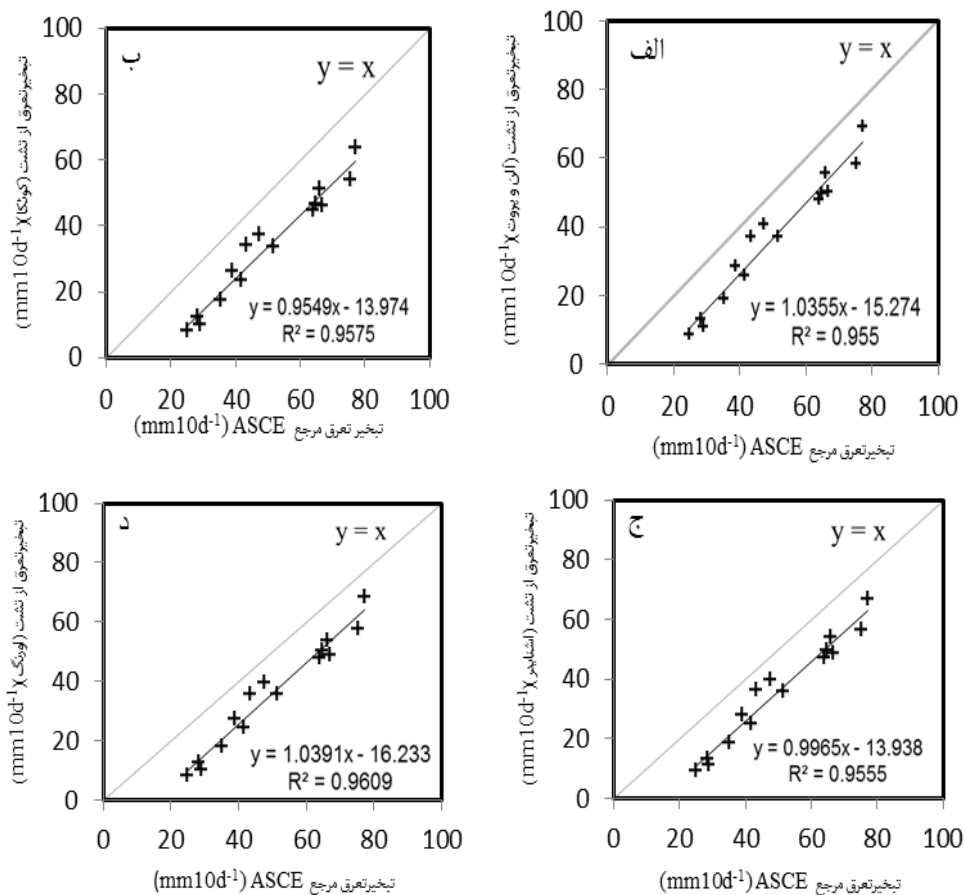
مورد توجه و ارزیابی قرار گیرد. در شکل ۵ مقادیر ET_0 ۱۰ روزه برآورد شده از معادلات K_p در مقابل مقادیر ET_0 روش مرجع قرار گرفته است. معادلات رگرسیون حاصل از نمودارهای شکل ۵ در جدول ۴ آمده است. نتایج حاصل نماینگر آن است که شیب خط برازش شده در روش اورنگ به ۱ نزدیک تر است. همچنین در هر چهار روش خط رگرسیون فاصله مشابهی تا خط ۱:۱ دارا می باشند.

البته نزدیکی ضرایب تبیین و مقادیر خطا در سه روش اورنگ، اشنایدر و آلن و پروت نشان دهنده آن است که می توان از دو مدل دیگر نیز به عنوان روش هایی قابل قبول برای محاسبه K_p جهت برآورد ET_0 یونجه از تبخیر بدست آمده از تشت کلاس A در منطقه استفاده نمود. در برنامه ریزی آبیاری معمولاً دوره آبیاری گیاهان زراعی کمتر از ۱۰ روز نیست. بر همین مبنا مقادیر ۱۰ روزه ET_0 (جمع ۱۰ روز متوالی) می تواند بعنوان معیاری مناسب در برنامه ریزی آبیاری

جدول (۳): آماره‌های ضریب تبیین (R^2)، شاخص توافق (d-index)، میانگین قدرمطلق خطا (MAE) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) جهت مقایسه ET_0 محاسبه شده حاصل از تشتت با استفاده از مدل‌های مختلف ضریب تشتت و مدل

استاندارد پنمن-مانتیث ASCE

معادله	R^2	d-index	MAE	RMSE
اورنگ	۰/۸۲	۰/۸۲	۱/۴۷۱۷	۱/۶۴۶
اشنايدر	۰/۸۰	۰/۸۱	۱/۴۶۳۴	۱/۶۴۷
کوئنکا	۰/۸۱	۰/۷۵	۱/۶۴۷۷	۱/۸۱۲
آلن و پروت	۰/۸۰	۰/۸۳	۱/۴۱۲۲	۱/۶۰۶



شکل (۵): مقایسه تبخیر تعرق مرجع (ET_0) دوره ۱۰ روزه بدست آمده از روش الف) آلن و پروت، ب) کوئنکا، ج) اشنايدر و د) اورنگ در فچ ۲۵ متر نسبت به تبخیر تعرق مرجع استاندارد پنمن-مانتیث ASCE

جدول (۴): مقادیر عرض از مبداء (b) و شیب (m) خط رگرسیون ($ET_{0-Pan} = m ET_{0-ASCE} + b$) در مقیاس ۱۰ روزه

روش	m	b
اورنگ	۱/۰۳۹	-۱۶/۲۳۳
اشنايدر	۰/۹۹۷	-۱۳/۹۳۸
کوئنکا	۰/۹۵۵	-۱۳/۹۷۴
آلن و پروت	۱/۰۳۶	-۱۵/۲۷۴

جدول (۵): آماره های محاسبه شده جهت مقایسه ET_0 حاصل از معادلات تحت تبخیر و مدل استاندارد پنمن-مانتیت

ASCE در بازه زمانی ۱۰ روزه

معادله	R^2	d-index	MAE	RMSE
اورنگ	۰/۹۶	۰/۸۴۷	۱۴/۲۷۱	۱۴/۷۲۶
اشنایدر	۰/۹۶	۰/۶۸۶	۱۴/۱۹۲	۱۴/۵۸۱
کوئنکا	۰/۹۷	۰/۴۶۴	۱۴/۸۷۵	۱۶/۶۱۴
آلن و پروت	۰/۹۶	۰/۳۶۳	۱۴/۵۲۹	۱۴/۰۳۹

نتایج حاصل از بررسی و تجزیه و تحلیل آماری برای دوره های ۱۰ روزه در جدول شماره ۵ آمده است که نشان دهنده مناسب تر بودن روش اورنگ برای دوره ۱۰ روزه در منطقه مورد مطالعه بوده است. همچنین نتایج حاصله از مقایسه آماری بین روش های

مورد آزمایش توسط آزمون t جفت نشده در تعیین تبخیر تعرق گیاه مرجع با ضرایب مختلف تحت نشان داد که بین تمام روش های مورد بررسی اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۱٪ مشاهده می شود (جدول ۶).

جدول (۶): نتایج آزمون t به منظور مقایسه روش های مورد بررسی در تعیین تبخیر تعرق گیاه مرجع

ضریب تبیین	آزمون t استیوونت				درجه آزادی	روش های مورد آزمون
	نتیجه آزمون مقدار P	حدود اعتماد ۹۵ درصد		t محاسبه شده		
		حد بالا	حد پایین			
۰/۸۰	۰/۰۰۰	۱/۴۹	۱/۲۱	۱۹/۲۱	۱۵۰	پنمن-مانتیت و آلن و پروت
۰/۸۱	۰/۰۰۰	۱/۷۶	۱/۵۰	۲۴/۷۵	۱۵۰	پنمن-مانتیت و کوئنکا
۰/۸۰	۰/۰۰۰	۱/۵۵	۱/۲۸	۲۰/۶	۱۵۰	پنمن-مانتیت و اشنایدر
۰/۸۲	۰/۰۰۰	۱/۵۶	۱/۳۰	۲۱/۶	۱۵۰	پنمن-مانتیت و اورنگ

نتیجه گیری

تبخیر تعرق گیاه مرجع یونجه در شرایط مزرعه و در بازه زمانه روزانه با استفاده از اطلاعات ثبت شده در ۵ ماه توسط روش استاندارد پنمن-مانتیت ASCE و چهار روش برآورد ضریب تحت تبخیر محاسبه گردید. به این منظور از ایستگاه خودکار هواشناسی مجاور یک مزرعه یونجه واقع در دانشگاه شهید باهنر کرمان در مدت ۵ ماه (اول مرداد لغایت پایان آذر ۱۳۹۱) استفاده شد. مدل استاندارد پنمن-مانتیت ASCE به عنوان روش مرجع برای ارزیابی عملکرد روش های دیگر در نظر گرفته شد و از این طریق روش های کوئنکا، اشنایدر، آلن و پروت و اورنگ مورد ارزیابی قرار گرفتند. باتوجه به این که در روش آلن و پروت شاخص توافق (d-index=۰/۸۲۳) نزدیکی بیشتری به یک داشت و مقدار خطاها نسبت به روش های دیگر

حداقل (MAE=۱/۴۱۲) و (RMSE=۱/۶۰۷) به دست آمده است. در نتیجه از میان چهار مدل مورد مطالعه برای این منطقه مناسب تر می باشد. همچنین خطا و شاخص توافق بدست آمده از ارزیابی روش کوئنکا که در جدول ۱ ارائه شده است، نمایان گر آن است که روش فوق نامناسب ترین روش در میان سایر روش ها است. البته نزدیکی ضرایب تبیین، شاخص توافق و مقدار خطاها در سه روش اورنگ، اشنایدر و آلن و پروت نشان دهنده آن است که می توان از دو روش دیگر نیز به عنوان روش هایی قابل قبول برای محاسبه K_p جهت برآورد ET_0 یونجه از تبخیر بدست آمده از تحت کلاس A در منطقه مورد مطالعه نام برد. در بررسی دوره های ۱۰ روزه روش اورنگ بیشترین مقدار ضریب تبیین ($R^2=۰/۹۶۱$)، نزدیک ترین شاخص توافق را به ۱ (d-index=۰/۸۲۳) و مقدار خطاها

روزانه به ۱۰ روزه تغییر یافت، روش اورنگ نتایج بهتری را نسبت به روش آلن و پروت از خود نشان داد. در تحقیقات مشابه بعدی پیشنهاد می‌شود که مقادیر لایسیمیتری در این منطقه در بازه زمانی روزانه برای ارزیابی روش‌های مختلف تجربی و فیزیکی برای گیاه مرجع یونجه مورد استفاده قرار گیرد.

نسبت به روش‌های دیگر مقادیر قابل قبولی (MAE=۱۴/۲۷۱) و (RMSE=۱۴/۷۲۶) را دارا می‌باشد. در تحقیق مشابهی که توسط کیخا و همکاران (۱۳۹۲) در دشت سیستان در یک اقلیم مشابه برای ارزیابی ET_o ماهانه انجام پذیرفت. روش اورنگ بعنوان بهترین روش معرفی گردید. قابل ذکر است که در تحقیق حاضر نیز هنگامی که بازه زمانی از

منابع

- اصطهباناتی، س.، ب. بختیاری و ا. جلال کمالی. ۱۳۹۲. مقایسه برخی روش‌های برآورد تبخیرتعلق گیاه مرجع یونجه با مدل استاندارد ASCE (مطالعه موردی: مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان). دوازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- اکبری، نودهی، د. ۱۳۸۹. برآورد ضریب تشت تبخیر به منظور محاسبه تبخیر تعلق. مجله پژوهش در علوم زراعی، ۷: ۶۵-۷۴.
- امیری، م. ج.، عابدی، ج.، کوپایی، و م. خزایی. ۱۳۸۷. بهترین روش تعیین ضریب تشت تبخیر کلاس A در تخمین تبخیرتعلق روزانه در منطقه اصفهان. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.
- بختیاری، ب.، ع. خلیلی، ع. لیاقت و م. ج. خانجانی. ۱۳۸۶. برآورد تبخیرتعلق ساعتی مرجع چمن و مقایسه آن با مقادیر اندازه‌گیری شده. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- شیرمحمدی، ز.، ح. انصاری و ا. علیزاده. ۱۳۹۰. مقایسه تبخیرتعلق مرجع پنمن - مانیتث ASCE و پنمن - مانیتث فائو-۵۶ در بازه زمانی ساعتی در ایستگاه هواشناسی فریمان. نشریه آب و خاک، ۲۵: ۴۸۴-۴۷۲.
- علیزاده ا. ۱۳۷۲. اصول طراحی سیستم‌های آبیاری، انتشارات دانشگاه امام رضا. مشهد.
- کابوسی، ک. ۱۳۹۰. تخمین ضریب تشت تبخیر به روش‌های مختلف در ایستگاه سینوپتیک گرگان. یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- کیخا، م. و آ. صالحیان. ۱۳۹۲. ارزیابی و برآورد ضریب بهینه تشتک تبخیر در شرایط اقلیمی دشت سیستان. دومین کنفرانس بین‌المللی مدلسازی گیاه، آب، خاک و هوا، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان.
- Allen, R. G. and W. O. Pruitt. 1991. FAO-24 reference evapotranspiration factors. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 117: 758-773.
- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage, No. 56, Rome, Italy.
- Aschonitis, V. G., V. Z. Antonopoulos and D. M. Papamichail. 2012. Evaluation of pan coefficient equations in a semi-arid Mediterranean environment using the ASCE-standardized Penman-Monteith method. *Agricultural Sciences*, 3:58-65
- ASCE-EWRI. 2005 The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Technical Committee Report to the Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers from the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. ASCE-EWRI, 1801 Alexander Bell Drive, Reston.
- Cobaner, M. 2013. Reference evapotranspiration based on Class A pan evaporation via wavelet regression technique. *Irrigation Science*, 31:119-134.

Cuenca, R. H. 1989. Irrigation system design: An engineering approach. Prentice Hall, Englewood Cliffs.

Gundekar, H. G., U. M. Khodke, S.Sarkar and R. K. Rai. 2008. Evaluation of pan coefficient for reference crop evapotranspiration for semi-arid region. Irrigation Science, 26:169-175.

Jamieson, P. D., J. R. Porter and D. R. Wilson. 1991. A test of the computer simulation model ARC-WHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. Field Crops Research, 27:337-350.

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 rep. California Department of Water Resources, Sacramento.

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

Willmott, C. J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bull. Am. Meteorol. Soc. 63 (11): 1309–1313.

Comparing evapotranspiration obtained from some of pan evaporation equations using ASCE Standard Penman-Monteith model in an arid climate

Saeed Estahbanati¹, Bahram Bakhtiari^{*2}

Abstract

The present study aimed at investigating four different models to estimate pan evaporation coefficient (K_p) to measure alfalfa-reference evapotranspiration. To this end the values of pan coefficient obtained from Cuenca, Allen and Priutt, Snyder and Orang equations in Kerman with arid climate were calculated. Then, the values of alfalfa-reference evapotranspiration (ET_0) were measured using pan evaporation daily data in a period of five months (from 23/07/2013 to 21/12/2013) on experimental farm of Shahid Bahonar University of Kerman. Based on the daily weather data provided by the automatic weather station in this farm (during the study), ET_0 was calculated using ASCE standard Penman-Monteith model and was used as an index to measure alfalfa-reference evapotranspiration obtained from the four stated models. The results indicated that d-index in Allen and Priutt model was closer to 1 (0.823) with fewer errors compared to those of the other models (RMSE=1.607 and MAE=1.412). Accordingly, among the four models under investigation, Allen and Priutt is suggested to estimate evapotranspiration using pan evaporation in such a climate.

Keywords: ASCE Penman-Monteith, evapotranspiration, pan evaporation, Kerman, alfalfa.

1 . M. Sc., Department of Water Engineering, College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Corresponding Author: * Email: Astahbanati@yahoo.com

2 . Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, Email: Drbakhtiari@uk.ac.ir