



دوازدهمین بایش ملی آبیاری و کابش تجزیر

کرمان ۵ و ۶ شهریورماه ۱۳۹۲



مقایسه روش فائو پنمن مانتیث با برخی روش های دیگر در برآورد تبخیر و تعرق

مرجع (مطالعه موردی: حوزه اسکندری در استان اصفهان)

مهسا پناهی^۱، محمدتقی دستورانی^۲، حسین مختاری^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد

Mahsa_panahi86@yahoo.com

۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

mdastorani@yazduni.ac.ir

۳- دکتری، پژوهشکده مناطق خشک و بیابانی/ دانشگاه یزد

M_h_mokhtari@yahoo.com

چکیده:

امروزه کمبود آب در جهان یکی از اساسی ترین مشکلاتی است که زندگی بشر را تحت الشعاع قرار داده است. این مشکل بیش از همه مناطق خشک و نیمه خشک را تحت تاثیر قرار می دهد. کشور ایران با قرار گرفتن در کمربند خشک جهانی بیش از بسیاری از کشور ها با مسئله بحران آب روبروست. لذا تعیین اجزای بیلان آبی و محاسبه مقدار تلفات آب از حوزه در مناطق خشک یکی از راهکارهای موثر در مدیریت منابع آب با توجه به شرایط کمبود آب می باشد. در تحقیق حاضر اقدام به مقایسه ۶ روش برآورد تبخیر و تعرق و مقایسه آن ها با روش فائو پنمن مانتیث به عنوان روش مورد پذیرش توسط اکثر متخصصان هیدرولوژی گردید. نتیجه این پژوهش نشان داد که مناسب ترین روش برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع بعد از روش فائو پنمن مانتیث، روش سازمان عمران آمریکا (ASCE) می باشد و روش های هارگریوز - سامانی (۱۹۸۵) و تابش فائو ۲۴ به ترتیب برای محاسبه تبخیر و تعرق در حوزه مورد نظر مناسب نیستند.

کلمات کلیدی: تبخیر و تعرق مرجع، فائو پنمن مانتیث، تلفات آب، مناطق خشک و نیمه خشک

مقدمه:

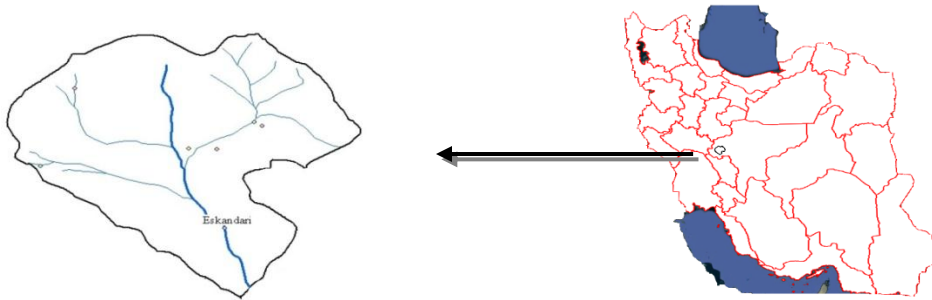
تبخیر و تعرق پتانسیل یکی از عوامل مهم سیکل هیدرولوژی است که باید در طرح های آبیاری، تاسیسات آبی، مطالعات زهکشی و هیدرولوژیکی برآورد شود. تعیین دقیق مقدار آبی که برای تبخیر - تعرق مصرف می شود، از عوامل اساسی در برنامه ریزی برای رسیدن به محصولات بیش تر است. [۱] در اغلب روش هایی که برای تعیین میزان تبخیر - تعرق ارائه شده اند، ابتدا مقدار تبخیر - تعرق گیاه مرجع (ET_0) تخمین زده می شود و سپس از روی آن تبخیر - تعرق



گیاه مورد نظر محاسبه می شود [۴] در سال ۱۹۷۵ سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (FAO) روشی برای محاسبه تبخیر - تعرق با استفاده از تبخیر - تعرق گیاه مرجع (ET_0) و ضرایب گیاهی (Kc) ارائه کردند که در آن دانشمندانی همانند دورنباس و پروت [۵]، جنسن و همکاران [۶]، اسمیت [۷]، ET_0 را به صورت میزان تبخیر - تعرق از یک سطح وسیع گیاه چمن در حال رشد یکنواخت با ارتفاع (۸ تا ۱۵ سانتی متر)، که بر روی زمین سایه کاملی داشته و آب به اندازه کافی در اختیار داشته باشد تعریف کرده اند و این روش چون اصلاح شده روش پنمن می باشد، به روش پنمن فائو معروف گردیده است. معادله پنمن فائو که توسط متخصصان فائو ارائه گردید یکی از معادلات کاربردی می باشد ولی از آنجایی که در این معادله فرض شده است که تبخیر و تعرق فقط بوسیله عوامل هوایی کنترل می شود و نقش خود گیاه در نظر گرفته نشده است بتدریج اهمیت خود را از دست داده و معادلات دیگری همچون پنمن مانتیث جای آن را گرفتند [۴ و ۶]. روش پنمن مانتیث بوسیله جان مانتیث در سال ۱۹۸۶ ارائه گردید که در این روش سطح پوشش گیاهی بر خلاف روش پنمن که سطح آب در نظر گرفته شده است، یک سطح مرطوب است به عبارت دیگر در روش پنمن مانتیث فرض می شود که کل سطح پوشش گیاهی یک برگ بزرگ با روزنه های موجود در آن است و مقاومت روزنه ها نیز در معادله پنمن مانتیث لحاظ شده است [۱]. آلن و همکاران (۱۹۹۸)، سطح مرجع روش پنمن مانتیث را به صورت یک گیاه فرضی با ارتفاع ۱۲ سانتی متر و یک مقاومت سطح ثابت ۷۰ ثانیه بر متر و آلبدو ۰/۲۳ پذیرفته اند، این روش به روش فائو پنمن مانتیث معروف می باشد [۴ و ۹]. آلن و همکاران استفاده از روش پنمن مانتیث فائو ۵۶ را به دلیل اینکه در تخمین تبخیر - تعرق مرجع در شرایط آب و هوایی مختلف نتایج قابل قبولی می دهد را برای تمام دنیا توصیه کرده اند [۹ و ۱۰]. روش های بسیار زیادی برای تخمین تبخیر - تعرق گیاه مرجع وجود دارد اما بسیاری از دانشمندان همانند آلن و همکاران [۱۱]، جنسن و همکاران [۷]، اسمیت [۸] مشخص کردند که معادله پنمن مانتیث دقیق ترین روش در مقایسه با دیگر معادلات در نواحی مختلف دنیا می باشد. آمیتا و همکاران [۱۲] در یک تحقیق مشخص کردند که روش های تخمین تبخیر - تعرق پنمن مانتیث نسبت به دیگر روش های معمول از یک پایه تئوریک قوی برخوردار می باشد، بنابراین نتایج قابل اعتمادی از کاربرد این روش بدست می آید. مطالعاتی که بعدها انجام شد، برتری روش فائو پنمن مانتیث را بر دیگر روش ها و در مقایسه این روش با اندازه گیری لایسیمترها تایید کرد [۱۳ و ۱۴]. از بین روش های تجربی متعدد ارائه شده برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع، در سال ۱۹۹۰ از سوی کمیسیون بین المللی آبیاری و زهکشی (ICID) و سازمان خوار و بار جهانی (FAO) روش فائو پنمن مانتیث به عنوان تنها روش استاندارد برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روی داده های اقلیمی و همچنین برای ارزیابی سایر روش ها پیشنهاد شده است [۱۵]. این روش نیازمند داده های تابش، دما، رطوبت و سرعت باد بوده و با درجه اعتماد بالایی در دامنه وسیعی از مناطق و اقلیم ها برآورد صحیحی از تبخیر و تعرق گیاه مرجع ارائه می کنند [۱۶]. هدف از انجام این تحقیق، برآورد ۶ روش تبخیر و تعرق مرجع و مقایسه آن ها با روش فائو پنمن مانتیث به عنوان روش پذیرفته شده برای برآورد مناسب مقدار تبخیر و تعرق، می باشد.

مواد و روش ها:

حوزه مورد مطالعه، حوزه اسکندری واقع در شهرستان داران در غرب استان اصفهان با مختصات "۰۵، ۵۰" تا "۴۰، ۵۰" طول شرقی و "۳۲، ۴۲" تا "۳۳، ۱۰" عرض شمالی و دارای آب و هوای نیمه مرطوب سرد می باشد (شکل ۱). این ناحیه در منطقه ای کوهستانی از رشته کوه های زاگرس قرار داشته و یکی از مرتفع ترین مناطق ایران می باشد.



شکل ۱: موقعیت حوزه مورد مطالعه در استان اصفهان

طبق تعریف فائو، تبخیر و تعرق مرجع عبارت است از میزان تبخیر و تعرق از یک گیاه فرضی به ارتفاع ۱۲ سانتیمتر و مقاومت پوشش گیاهی ثابت و برابر با ۷۰ ثانیه در متر و ضریب آلبیدو برابر با ۰/۲۳ که مشابه میزان تبخیر و تعرق از یک سطح گسترده با پوشش گیاهی چمن سبز با ارتفاع یکنواخت و با رشد فعال و سایه اندازی کامل بر روی زمین و بدون کمبود آب می باشد. بنابراین روش پنمن مانیتیت این امکان را می دهد تا بتوان رابطه بسیار معنی دار تری بین داده های هواشناسی و اقلیمی مختلف از یک سو و شرایط پوشش گیاهی از سوی دیگر برقرار کرده و آن را واسنجی نمود [۵]. لذا روش فائو پنمن مانیتیت به عنوان روش مرجع در نظر گرفته شده و ۶ روش دیگر به منظور رتبه بندی، با این روش مقایسه گردیده اند.

معادله پنمن مانیتیت به صورت زیر نوشته می شود:

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta(R_n - G) + \gamma \left[\frac{890}{T+273} \right] U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1+0.34 U_2)} \quad (1)$$

ET_0 = تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)

R_n = تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJm^{-2}d^{-1}$)

T = متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین ($^{\circ}C$)

U_2 = سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (ms^{-1})

$e_a - e_d$ = کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (KPa)



دوازدهمین بایش ملی آبیاری و کماش تجزیه

کرمان ۵ و ۶ شهریورماه ۱۳۹۲



Δ = شیب منحنی فشار بخار ($\text{KPa}^\circ\text{C}^{-1}$)

γ = ضریب رطوبتی ($\text{KPa}^\circ\text{C}^{-1}$)

G = شار گرما به داخل خاک ($\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$)

معادله هارگریوز - سامانی (۱۹۸۵)

معادله هارگریوز - سامانی (۱۹۸۵)، با داشتن ماکزیمم و مینیمم درجه حرارت قادر است تبخیر و تعرق را در دوره های ۲۴ ساعته، هفتگی، ۱۰ روزه و ماهانه محاسبه کند [۳].

$$ET_0 = 0.0023 (T_{\text{mean}} + 17.8)(T_{\text{max}} - T_{\text{min}})^{0.5} Ra \quad (2)$$

ET_0 = تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)

T_{max} : ماکزیمم درجه حرارت روزانه ($^\circ\text{C}$)

T_{min} : حداقل درجه حرارت روزانه ($^\circ\text{C}$)

T_{mean} : میانگین درجه حرارت ($^\circ\text{C}$)

Ra: میزان تشعشع ورودی در بالای اتمسفر (mm/day)

معادله تورک

تورک در سال ۱۹۶۱ برای دوره های ۱۰ روزه و برای شرایط اقلیمی اروپای غربی، معادلات زیر را ارائه کرده است [۳].

$$ET_0 = 0.013 \left(\frac{T}{T+15} \right) (R_s + 50) \quad (3) \quad \text{برای } RH > 50\%$$

$$ET_0 = 0.013 \left(\frac{T}{T+15} \right) (R_s + 50) \left(1 + \frac{50-RH}{70} \right) \quad (4) \quad \text{برای } RH < 50\%$$

ET_0 : تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)

T: میانگین درجه حرارت ($^\circ\text{C}$)

R_s : تشعشع خورشیدی (mm/day)

RH: متوسط رطوبت نسبی (درصد)

معادله پنمن مانیتث استاندارد ASCE



دوازدهمین بایش ملی آبیاری و کماش تجزیه
کرمان ۵ و ۶ شهریورماه ۱۳۹۲



معادله استاندارد ارائه شده توسط انجمن مهندسی عمران آمریکا (ASCE) برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع چمن و یونجه در بازه زمانی ساعتی و روزانه به صورت زیر می باشد (۱):

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left[\frac{890}{T+273} \right] U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (5)$$

ET_0 = تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)

R_n = تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJm^{-2}d^{-1}$)

T = متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین ($^{\circ}C$)

U_2 = سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (ms^{-1})

$e_a - e_d$ = کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (KPa)

Δ = شیب منحنی فشار بخار ($KPa^{\circ}C^{-1}$)

γ = ضریب رطوبتی ($KPa^{\circ}C^{-1}$)

G = شار گرما به داخل خاک ($MJm^{-2}d^{-1}$)

C_d و C_n به ترتیب ثابت های صورت و مخرج بوده و تابع نوع گیاه مرجع و بازه زمانی اندازه گیری می باشد که به صورت جدول زیر می باشد.

جدول ۱: ضرایب C_d و C_n برای گیاه چمن و یونجه

گیاه یونجه		گیاه چمن		بازه زمانی
C_d	C_n	C_d	C_n	
۰/۳۸	۱۶۰۰	۰/۳۴	۹۰۰	روزانه
۰/۲۵	۶۶	۰/۲۴	۳۷	ساعتی - در طول روز
۱/۷	۶۶	۰/۹۶	۳۷	ساعتی - در طول شب

معادله بلانی - کریدل فائو

در سال ۱۹۹۷، دورنباس و همکاران برای ارائه تعریف بهتر از اثر اقلیم بر روی آب مورد نیاز گیاه با استفاده از رابطه بلانی کریدل، روش اصلاح شده بلانی کریدل را برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع توصیه نمودند که به صورت زیر می باشد [۲]:



$$ET_0 = C \times [P(0.46T + 8)] \quad (6)$$

ET_0 = تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)

T: میانگین درجه حرارت روزانه در ماه مورد نظر برحسب درجه سانتیگراد

P: درصد متوسط ساعات روشنایی روزانه در طول ماه که تابع عرض جغرافیایی، ماه و سال

C: فاکتور تعدیل کننده وابسته به حداقل رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد

معادله مک کینگ

در سال ۱۹۷۵ مک کینگ معادله زیر را جهت محاسبه و تخمین تبخیر و تعرق برای چمن در دوره های ۱۰ روزه بدست آورد که به صورت زیر می باشد [۲]:

$$ET_0 = 0.61 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_s}{58.8} - 0.12 \quad (7)$$

این روش براساس اندازه گیری تشعشع خورشیدی و درجه حرارت استوار است. وی اعتقاد دارد که هرچه درجه حرارت بیش تر شود مقادیر بیش تری از انرژی خورشید در تبخیر و تعرق مصرف می شود.

معادله تابش فائو ۲۴

دورنباس و پروت در سال ۱۹۷۷ معادله مک کینگ را تصحیح کردند و به صورت زیر در آوردند [۲]:

$$ET_0 = a + b \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right] \frac{R_s}{\lambda} \quad (8)$$

$$a = -0.3$$

$$b = 1.0656 - 0.0012795 \times RH + 0.044953 \times Ud - 0.000203 \times RH \times Ud - 0.000031508 \times RH^2 - 0.0011026 \times Ud^2$$

که در آن ET_0 و $\frac{R_s}{\lambda}$ برحسب (mm/day) خواهد بود. به این معادله که توسط کارشناسان فائو اصلاح شده است، معادله FAO 24 Radiation اطلاق می شود.

بحث و نتیجه گیری

به منظور پیشبرد اهداف تحقیق، داده های اقلیمی یک دوره یک ساله از اول فروردین تا آخر اسفندماه سال ۱۳۸۹، شامل دمای حداکثر، دمای حداقل، میانگین دما، سرعت باد، ساعات آفتابی، تابش و دمای نقطه شبنم به صورت روزانه از ایستگاه سینوپتیک داران واقع در استان اصفهان جمع آوری گردید و سپس به محاسبه میزان تبخیر و تعرق مرجع به روش های پنمن مانیتیت سازمان عمران آمریکا (ASCE)، تابش فائو ۲۴، بلانی - کریدل، هارگریوز - سامانی (۱۹۸۵)،



ماکینک و تورک (۱۹۶۱) و همچنین به روش فائو پنمن مانیتیت پرداخته شد. در نهایت جهت بررسی دقت و تعیین مناسب ترین روش در برآورد تبخیر و تعرق، روش فائو پنمن مانیتیت به عنوان روش مرجع در نظر گرفته شده و نتایج هریک از این روش ها با استفاده از مجذور مربعات خطا (RMSE)، شاخص توافق (D)، میانگین خطای مطلق (MAE) ارزیابی گردید.

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

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - E_i| \quad (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{n}} \quad (11)$$

جدول ۲: نتایج بررسی معادلات با استفاده از شاخص های آماری

معادله	RMSE	D	MAE
پنمن مانیتیت سازمان عمران آمریکا (ASCE)	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۴۵
تابش فائو ۲۴	۵/۶۳	۰/۶۲	۲/۱۲
بلانی - کریدل	۵/۱۰	۰/۶۸	۲/۰۳
هارگریوز - سامانی	۶/۵۹	۰/۵۶	۲/۳۳
مک کینگ	۲/۷۴	۰/۹۰	۱/۴۶
تورک	۲/۹۶	۰/۹۳	۱/۳۹

نتایج این تحقیق نشان داد که روش پنمن مانیتیت سازمان عمران آمریکا (ASCE) با داشتن کمترین خطا و بیش ترین شاخص توافق نتایج مناسب تری را نسبت به سایر روش ها ارائه داده است. در مقابل روش های هارگریوز - سامانی (۱۹۸۵) و تابش فائو ۲۴ نیز با داشتن بیش ترین خطا و کمترین شاخص توافق از دقت کمتری برخوردار بوده و برای پیش بینی مقدار تبخیر و تعرق در منطقه مذکور مناسب نمی باشد.

منابع

[۱] زهرا شیر محمدی علی اکبر خانی و همکاران، مقایسه تبخیر - تعرق مرجع پنمن مانیتیت ASCE و پنمن مانیتیت فائو-۵۶ در بازه زمانی ساعتی در ایستگاه هواشناسی فریمان، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۳، مرداد - شهریور ۱۳۹۰، ص. ۴۸۴ - ۴۷۲.

[۲] شهابی فر. مهدی، عصارى. مصطفی، کوچک زاده. مهدی و عزیزى زهان. علی اکبر، ارزیابی شش روش محاسباتی تبخیر و تعرق سطح مرجع با داده های لایسیمتری در شرایط گلخانه ای، اولین کارگاه ارتقاء کارایی مصرف آب با کشت محصولات گلخانه ای، ۲۶ مهرماه ۱۳۸۶.



[۳] عابدی کوپایی، جهانگیر، اسلامیان، سید سعید، امیری. محمد جواد، مقایسه چهار روش تخمین تبخیر و تعرق سطح مرجع با داده های میکرو لایسیمتری در منطقه اصفهان، دومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب، ۸ الی ۱۰ بهمن ۱۳۸۷.

[۴] علیزاده ا. اصول طراحی سیستم های آبیاری. انتشارات آستان قدس رضوی.

[۵] معرفی جهات نظری و کاربردی روش پنمن مانیت، گروه کار آب مورد نیاز، ۱۳۷۶، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، شماره ۷۶/۱۶، ص ۱۶۸.

[6] Doorenbos J., Pruitt W.O. 1975. Crop water requirements. FAO irrigation and drainage. Paper No. 24. FAO, Rome.

[7] Jensen M.E., Burman R.D., and Allen R.G. (Eds.) 1990. Evapotranspiration and Water Irrigation Requirements. Committee on Irrigation Water Requirements, Irrigation and Drainage Division of ASCE, Manual no. 70. American Society of Civil Engineers, New York, 332 pp.

[8] Smith M. 1991. Report on the Expert Consultation on Procedures for Revision of FAO Guidelines for Prediction of Crop Water Requirements. FAO, Rome, p. 45.

[9] Monteith J.L. 1965. Evaporation and environment. pp. 205-234. In G.E. Fogg (ed.) Symposium of the Society for Experimental Biology, The State and Movement of Water in Living Organisms, Vol. 19, Academic Press, Inc., NY.

[10] Suleiman A. A., and Hoogenboom G. 2009. A comparison of ASCE and FAO-56 reference evapotranspiration for a 15-min time step in humid climate conditions. Journal of Hydrology 375 (2009) 326-333.

[11] Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration—Guidelines for computing crop water requirements—FAO irrigation and drainage paper 56, FAO, Rome. Italy. 301 p.

[12] Amatya D.M., Skaggs R.W., and Gregory J.D. 1995. Comparison of methods for estimating REF-ET. Proc. ASCE J. Irrig. Drain. Eng. 121 (6), 427-435.

[13] Berengena J., and Gavilan P. 2005. Reference evapotranspiration estimation in a highly advective semiarid environment. J. Irrig. Drain. Eng., ASCE 131 (2), 147-163.

[14] Lopez-Urrea R., Martin de Santa Olalla F., Fabeiro C., and Moratalla A. 2006. An evaluation of two hourly reference evapotranspiration Equations for semiarid conditions. Agricultural water management. (86) 277-282.

[15] Hargreaves, G.H. 1994. Defining and using reference evapotranspiration. J. of Irrig. and Drain. Eng., ASCE, 120 (6): 1132-1139.

[16] Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56, Rome, Italy, 300 p.