Archive of SID

نشریه دانش آب و خاک / جلد 26 شماره 1/2 صفحه‌های 1 تا 14/ سال 1395

نگرش ریاضی به نقش مؤلفه سرعت باد در رابطه فائو - پنمن - مونتیث برای محاسبه تبخیر - تعرق مرجع

محمدرضا حامی کوچه‌باغی[1*]، امیرحسین ناظمی[2]، علی‌اشرف صدرالدینی[2]، رضا دلیرحسن‌نیا[3]

تاریخ دریافت: 94/02/09 تاریخ پذیرش: 94/09/25

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

2- استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

3- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: abc.m.hami@gmail.com

چکیده

از دیدگاه ریاضی، رابطه فائو- پنمن- مونتیث، قالب یک تابع هموگرافیک را نسبت به متغیر سرعت باد دارد. تابع هموگرافیک دارای دو مجانب افقی و عمودی است. مجانب عمودی برای مقادیر منفی سرعت باد رخ می‌دهد ولی ازآنجایی‌که علامت منفی در سرعت باد بیان‌گر جهت باد است و مقادیر مطلق کمیت‌ها در رابطه مورداستفاده قرار می‌گیرد، مجانب عمودی کاربردی ندارد. با افزایش سرعت باد از صفر، میزان تبخیر و تعرق افزایش می‌یابد تا به یک مقدار حدی برسد. این مقدار حدی همان مجانب افقی تابع کسری رابطه فائو- پنمن- مونتیث هست. در این تحقیق اثر تغییرات سرعت باد بر میزان تبخیر-تعرق با توجه به قالب ریاضی رابطه فائو- پنمن- مونتیث مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. بدین‌منظور از آمار و اطلاعات ایستگاه سینوپتیک تبریز، اصفهان و رشت استفاده شد. نتایج نشان داد در رابطه فائو- پنمن- مونتیث، اثر سرعت باد بر روی میزان تبخیر و تعرق، به‌صورت غیرخطی هست و تغییرات در مقدار تبخیر و تعرق برای مقادیر مختلف سرعت باد در سرعت‌های کم باد، زیاد است و تبخیر -تعرق بیشتر تحت تأثیر سرعت باد قرار می‌گیرد و با افزایش سرعت باد، میزان تبخیر- تعرق به مقدار حدی یا مجانب تابع هموگرافیک میل نموده و شدت افزایش تبخیر - تعرق کمتر می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تابع هموگرافیک، دیدگاه ریاضی، رابطه فائو- پنمن- مونتیث، سرعت باد، مقدار حدی

www.SID.ir

Archive of SID

Mathematical View Point to the wind speed parameter role in the FAO Penman-Monteith Equation for Calculating ET_0

MR Hami Kouchebagi[1*], AH Nazemi[2], AA Sadraddini[2], R Delirhasannia[3]

Received: 29 April 2015 Accepted: 16 December 2015
[1-] MSc Graduate of Irrigation and Drainage Engin., Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Tabriz, Iran
[2-] Professor, Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Tabriz, Iran
[3-]Assistant Professor, Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Tabriz, Iran
[*]Corresponding Author, Email: abc.m.hami@gmail.com

Abstract

From the mathematical point of view, the FAO Penman-Monteith equation shows a homographic function related to the wind speed. The homographic function has horizontal and vertical asymptotes. In this issue horizontal asymptote is applicable; because the vertical asymptote occurs for negative values of wind speed but the negative sign indicates the direction of the wind speed and only the absolute values of the quantities are used. By increasing wind speed from zero, evapotranspiration will increase until it reaches to a limited asymptote value. This value is the horizontal asymptote of the fractional function of FAO Penman Monteith equation. In this research the effect of wind speed variations on the evapotranspiration amounts was analyzed, with considering the mathematical framework of the Penman-Monteith equation. Meteorological data from three weather stations, including Tabriz, Isfahan and Rasht were used in this research. Results showed that in the FAO Penman-Monteith equation, wind speed effect on evapotranspiration is nonlinear and variation in evapotranspiration amounts is more at low wind speeds than high values of wind speeds. As a general result, evapotranspiration has tended to asymptote homographic function and the rate of increasing in evapotranspiration is reduced by wind speed increasing.

Keywords: Asymptote value, FAO Penman-Monteith, Homographic function, Mathematical point of view, Wind speed

مقدمه

یکی از حیاتی‌ترین نیازهای گیاهان در جهت رشد، تکامل و بقای آن‌ها آب هست. گیاهان آب موردنیاز خود را از طریق نزولات جوی دریافت می‌کنند در غیر این صورت انسان عمل آب رساندن به ناحیه ریشه گیاه را بر عهده می‌گیرد. برای محاسبه حجم آب آبیاری نیاز به دانستن میزان تبخیر - تعرق هست. مقدار آب موردنیاز به‌صورت طبیعی برابر با تبخیر تعرق گیاه منهای بارندگی مؤثر در طول فصل رشد آن است (ویلیامز 2001).

نیاز مداوم و مبرم به دانستن میزان تبخیر- تعرق، موجب ابداع روش‌های متعددی برای برآورد آن شده است. روش‌های محاسبه تبخیر- تعرق با استفاده از داده‌های هواشناسی، با توجه به محاسنی که دارد از دیرباز موردتوجه قرارگرفته و مدل‌های متعددی به- همین منظور توسعه‌یافته است. آنچه در برنامه‌ریزی-

www.SID.ir

Archive of SID

های معمول پروژه‌های آبی صورت می‌گیرد استفاده از مقادیر میانگین داده‌های ورودی هست (جنسن و همکاران 1990). طالبی و همکاران (1389) تحقیقی در زمینه بررسی عوامل مؤثر در تبخیر- تعرق مرجع، با استفاده از تحلیل حساسیت معادله فائو- پنمن- مونتیث و در سه ایستگاه یزد، طبس و مروست انجام دادند. نتایج این تحقیق نحوه اولویت‌بندی پارامترهای اقلیمی و میزان تأثیرگذاری آن‌ها را در ماه‌های مختلف سال در هریک از ایستگاه‌های مطالعاتی نشان داد. بر این اساس، تغییرات دو پارامتر بیشینه دما و سرعت باد در سال بیشترین تأثیر را در نوسانات تبخیر-تعرق در هر سه ایستگاه داشته است. همچنین ترتیب اولویت‌بندی عوامل مؤثر در تبخیر-تعرق در فصول مختلف متفاوت بود، به‌طوری‌که برای مثال در فصل بهار در هر سه ایستگاه دمای بیشینه، سرعت باد و دمای کمینه به‌ترتیب مؤثرترین عوامل بودند، درحالی‌که در فصل پاییز این ترتیب به‌صورت سرعت باد، دمای بیشینه و رطوبت نسبی تغییر یافت. بر اساس تحقیقات طالبی و همکاران (1389) دمای هوا و سرعت باد از مهم‌ترین عوامل در تعیین میزان تبخیر- تعرق با استفاده از فائو- پنمن- مونتیث هست. ازآنجایی‌که دما هم به‌صورت مستقیم و هم به‌صورت غیر-مستقیم و در محاسبه سایر کمیت‌ها موردنیاز، در رابطه فائو- پنمن- مونتیث حضور دارد، نمی‌توان یک قالب ریاضی خاص برای آن لحاظ نمود ولی در مورد سرعت باد این‌گونه نیست و فرم تابع هموگرافیک مشهود است. طبق تحقیقات سانچز و همکاران (2011) در محاسبه میزان تبخیر- تعرق، نیاز به در نظر گرفتن جهت باد وجود ندارد و استفاده از مقدار عددی سرعت باد در میانگین‌گیری‌ها کفایت می‌کند. این معادله بر اساس روش‌های توازن انرژی و آیرودینامیک روی یک سطح مرطوب پوشیده از گیاه فرضی ارائه‌شده است. برای استفاده از این رابطه گیاه چمن به ارتفاع 12 سانتی‌متر و مقاومت روزنه‌ای 70 ثانیه بر متر و ضریب بازتاب 0/23 با این فرض که شاخص سطح آن 24 برابر ارتفاع گیاه باشد در نظر گرفته می‌شود (آلن و همکاران 1998).

اسلامی و قهرمان (1392) تحقیقی با موضوع تحلیل حساسیت و بررسی عدم قطعیت پارامترهای مؤثر در برآورد تبخیر- تعرق مرجع در مدل‌های با ساختار ریاضی متفاوت انجام دادند. نتایج نشان داد که نااطمینانی داده‌ها در فصول سرد سال بیشتر از فصول گرم سال بوده و تمامی مدل‌های منتخب به دو پارامتر دمای بیشینه و کمینه T_{max} و T_{min} حساسیت بیشتری نسبت به سایر پارامترها داشتند. همچنین بیشترین ضریب همبستگی با مقدار 0/52+ مربوط به جفت پارامتر بیشینه و کمینه رطوبت نسبی RH_{max} و RH_{min} و کمترین آن با مقدار 0/003+ مربوط به جفت پارامتر سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین و دمای بیشینه (U_2 و T_{max}) به‌دست آمد. یانگ و یانگ (2012) در بررسی روند تبخیر با استفاده از تشتک‌های تبخیر با مطالعه 54 ایستگاه هواشناسی طی یک دوره 40ساله در کشور چین، کاهش قابل‌توجهی را در میزان تبخیر- تعرق مشاهده کردند که این تغییرات و کاهش روند را نتیجه نوسان میزان پارامترهایی چون سرعت باد، تابش دریافتی، دمای هوا و رطوبت نسبی دانستند.

در محاسبه تبخیر- تعرق مرجع (ET_o)، مقدار هر دو عامل تبخیر و تعرق به‌صورت همزمان محاسبه می‌گردد و محاسبه جداگانه تبخیر و تعرق غیرممکن هست. ولی ازآنجایی‌که در رابطه فائو- پنمن- مونتیث سطح وسیعی از زمین به‌طور کامل پوشیده از گیاه و به‌صورت یک برگ بزرگ در نظر گرفته می‌شود، در واقع بیشتر بر روی تعرق از گیاه تأکید شده است تا بر تبخیر از سطح خاک (آلن و همکاران 1998).

تعرق از سطح برگ به‌صورت عمده از دو منبع روزنه‌ها و ترک‌های موجود در کوتیکول صورت می‌گیرد. این دو به‌صورت موازی باهم می‌باشند. مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده میزان تعرق از روزنه‌ها، میزان باز بودن روزنه‌ها هست. میزان باز بودن روزنه‌ها تابع

www.SID.ir

Archive of SID

عوامل متعددی است که سرعت باد جزء این عوامل هست به‌گونه‌ای که در سرعت‌های زیاد باد، روزنه‌های برگ، به‌علت تنش ناشی از سرعت باد بسته می‌شوند و تعرق از این طریق کاهش می‌یابد (ایرماک و موتیبوا 2009). تعرق از طریق کوتیکول وابسته به اختلاف فشار بخار آب در داخل برگ و لایه مرزی هوای چسبیده به سطح برگ (اختلاف پتانسیل فشار بخار) هست. با شروع به وزش باد و در سرعت کم باد، فشار بخار آب در لایه مرزی هوای چسبیده به سطح برگ کاهش می‌یابد و به‌تبع آن پتانسیل فشار بخار افزایش یافته و تعرق از این طریق بیشتر می‌گردد. وزش باد به‌خصوص در سرعت‌های بالا اثرات دیگری نیز بر روی برگ می‌گذارد. اول این‌که وزش باد باعث خنک شدن برگ و در نتیجه کاهش تعرق می‌گردد، همچنین وزش شدید باد باعث افزایش فشار بخار (به‌علت تلاطم) در داخل برگ می‌گردد. این دو در تضاد باهم قرار دارند و بسته به سایر شرایط جوی و گیاه، ممکن است وزش باد باعث کاهش و یا افزایش تبخیر- تعرق گردد. هدف از انجام تحقیق حاضر ایجاد یک نگرش ریاضی به شکل کلی رابطه فائو- پنمن- مونتیث برای محاسبه تبخیر- تعرق و تحلیل میزان تغییرات هر یک از پارامترها و اثرات آن بر مقادیر تبخیر-تعرق هست.

مواد و روش‌ها

برای این پژوهش، از آمار و اطلاعات سه ایستگاه سینوپتیک برای دوره آماری 21 سال استفاده شد. ایستگاه سینوپتیک تبریز در طول جغرافیایی 46 درجه و 17 دقیقه شرقی و عرض 38 درجه و 41 دقیقه شمالی با ارتفاع 1361 متر از سطح دریا، ایستگاه سینوپتیک اصفهان واقع در طول جغرافیایی 51 درجه و 39 دقیقه شرقی و عرض 32 درجه و 381 دقیقه شمالی با ارتفاع 1570 متر از سطح دریا و ایستگاه سینوپتیک رشت واقع در طول جغرافیایی 49 درجه و 36 دقیقه شرقی و عرض 37 درجه و 18 دقیقه شمالی با ارتفاع 4 متر از سطح دریا واقع‌شده‌اند. خلاصه‌ای از مشخصات اقلیمی این ایستگاه‌ها در جدول 1 آمده است.

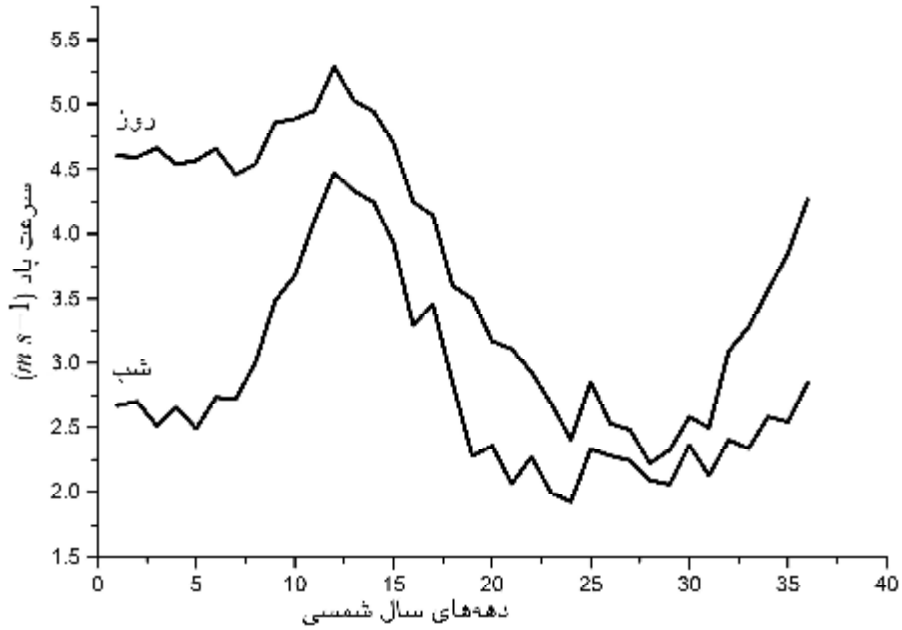
تغییرات سرعت باد در ارتفاع دو متر از سطح زمین بر اساس آمار برای هر سه ایستگاه استخراج گردید که در شکل 1 به‌طور نمونه برای ایستگاه تبریز در روز (از ساعت 6 تا 18) و شب (از ساعت 18 تا 6 صبح روز بعد) برای دوره‌های ده روزه ارائه‌شده است. از این داده‌ها برای محاسبه تبخیر – تعرق استفاده گردید.

جدول 1- خلاصه‌ای از مشخصات اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک تبریز، اصفهان و رشت.

ایستگاه	میانگین رطوبت نسبی (%)	میانگین ساعات آفتابی	میانگین کمینه دما (^{0}C)	میانگین بیشینه دما (^{0}C)	میانگین سرعت باد ($m\,s^{-1}$)
تبریز	52	8	7/6	12/7	3
اصفهان	41/5	8/8	9	23/4	4/8
رشت	81/3	4/7	11/3	20/6	2/8

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 1- تغییرات سرعت باد در دهه‌های مختلف در طول سال شمسی.

به‌منظور انجام تحلیل حساسیت نسبت به سرعت باد، داده‌های هواشناسی مربوط به دهه دوم (روز دهم تا روز بیستم) سال شمسی (مورد نیاز در رابطه 1) استفاده شد. علت استفاده از داده‌های این دوره زمانی وجود نوسانات زیاد سرعت باد در این دوره زمانی هست تا در انجام محاسبات، اعمال تغییر در مقدار سرعت باد، باعث ایجاد خطاهای زیاد در نتایج نگردد.

به‌منظور تعیین تبخیر- تعرق گیاه مرجع از رابطه فائو- پنمن- مونتیث استفاده‌شده است. فرم کلی معادله به‌صورت معادله 1 هست:

[1]

$$ET_o = \frac{0.408D(R_n - G) + g\left[\frac{890}{T+273}\right]U_2(e_s - e_a)}{D + g(1 + 0.34U_2)}$$

که در آن ET_o تبخیر- تعرق مرجع (میلی‌متر بر روز)، R_n شار انرژی تابشی خالص در سطح پوشش گیاهی (مگاژول بر مترمربع در روز)، T متوسط دمای هوا در ارتفاع 2 متری از سطح زمین (درجه سلسیوس)، U_2 متوسط سرعت باد در ارتفاع 2 متری از سطح زمین (متر بر ثانیه)، $e_s - e_a$ کمبود فشار بخار در ارتفاع 2 متری (کیلو پاسکال)، D شیب منحنی فشار بخار (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس)، g ضریب رطوبتی (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس) و G شار گرما به داخل خاک (مگاژول بر مترمربع در روز) هست. جزئیات بیشتر از نشریه فائو 56 قابل‌استخراج است (آلن و همکاران 1998).

نگرش ریاضی

با نگرش ریاضی به رابطه فائو- پنمن- مونتیث، در اولین نگاه فرم تابع هموگرافیک نسبت به متغیر سرعت باد جلب نظر می‌کند. حالت کلی تابع هموگرافیک به‌صورت رابطه 2 هست:

$$f(x) = \frac{Ax + B}{Cx + D} \qquad [2]$$

این تابع خود حالت خاصی از توابع کسری هست. حالت کلی این‌گونه توابع به‌صورت رابطه 3 هست:

$$f(x) = \frac{p(x)}{g(x)} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} A_n x^n}{\sum_{m=0}^{\infty} B_m x^m} \qquad [3]$$

www.SID.ir

Archive of SID

که در آن $p(x)$ و $g(x)$ دو چندجمله‌ای بر حسب x می‌باشند. درصورتی‌که $n=m=1$ باشد تابع هموگرافیک حاصل می‌شود (توماس 1988).

در مشابهت با رابطه فائو- پنمن- مونتیث، سرعت باد در ارتفاع 2 متری U_2 معادل کمیت متغیر x هست و سایر کمیت‌های ثابت در رابطه 3 عبارت‌اند از:

$$A=\frac{890g(e_s-e_a)}{T+273} \qquad [4]$$

$$B=0.408D(R_n-G) \qquad [5]$$

$$C=0.34g \qquad [6]$$

$$D=D+g \qquad [7]$$

توابع هموگرافیک دارای دو مجانب افقی و عمودی است. مجانب عمودی زمانی مطرح می‌شود که مخرج کسر رابطه 2 برابر صفر شود در این‌صورت:

$$x=-\frac{D}{C}=-\frac{D+g}{0.34g} \qquad [8]$$

چون D و g از نظر عددی مقادیر مثبت می‌باشند، این مجانب در سمت منفی محور x ها $(x<0)$ واقع خواهد شد. مجانب افقی نیز زمانی خودنمایی می‌کند که کمیت متغیر x به بی‌نهایت میل کند. با گرفتن حد از رابطه 2 رابطه 9 حاصل خواهد شد.

$$\lim_{x\to\infty} f(x)=\frac{A}{C} \quad \Rightarrow Y=\frac{2617(e_s-e_a)}{T+273} \qquad [9]$$

ازآنجایی‌که فشار بخار اشباع e_s از نظر عددی معمولاً بیشتر از فشار واقعی بخار e_a هست در نتیجه حاصل رابطه 9 عدد مثبتی است و در سمت مثبت محور Y ها واقع می‌شود.

منظور از x در توابع فوق، سرعت باد است و منظور از $Y=f(x)$، تبخیر- تعرق گیاه مرجع یا ET_o هست. با توجه به مطالب ذکرشده، تبخیر- تعرق گیاه مرجع دارای دو مجانب است. مجانب عمودی برای مقادیر منفی سرعت باد رخ می‌دهد ولی ازآنجایی‌که علامت منفی در سرعت باد بیان‌گر جهت باد است و در تعیین میزان تبخیر- تعرق گیاهان از قدر مطلق سرعت باد استفاده می‌شود و مقادیر منفی سرعت باد بی‌معنی است. در نتیجه مجانب عمودی کاربردی ندارد و مجانب افقی قابل‌استفاده است. نمودار شکل 2 فرم عمومی رابطه 2 برای تبخیر- تعرق گیاه مرجع هست.

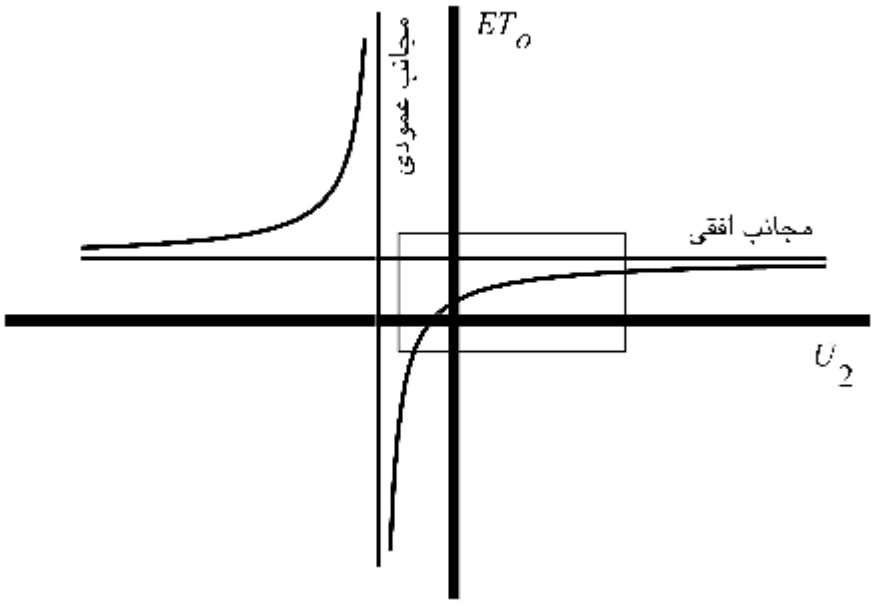
همان‌گونه که در شکل 2 دیده می‌شود، با افزایش سرعت باد از صفر، میزان تبخیر- تعرق افزایش می‌یابد تا به یک مقدار حدی برسد. این مقدار حدی همان مجانب افقی تابع کسری رابطه فائو- پنمن- مونتیث هست. افزایش میزان تبخیر- تعرق با افزایش سرعت باد u_2 به‌صورت خطی نیست و حالت مجانبی دارد در نتیجه شدت تغییرات تبخیر- تعرق در سرعت‌های کم باد، بیشتر از میزان تغییرات تبخیر- تعرق در سرعت‌های زیاد باد هست.

به‌علت شیب کم این شاخه از منحنی، درکل میزان تغییرات تبخیر- تعرق به‌سبب سرعت‌های مختلف باد، به‌خصوص در سرعت‌های بالا زیاد نیست. شیب این شاخه را می‌توان با مشتق گرفتن از رابطه فائو- پنمن- مونتیث نسبت به سرعت باد، به‌دست آورد. با مشتق‌گیری از رابطه 2 رابطه 10 حاصل خواهد شد.

$$ET_o'=\frac{AD-BC}{(Cx+D)^2} \qquad [10]$$

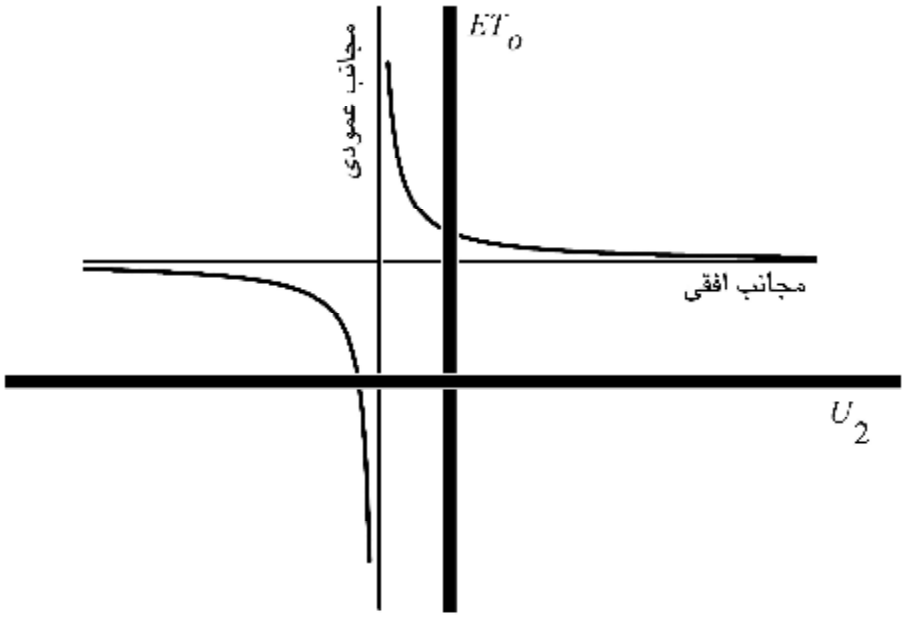
www.SID.ir

Archive of SID



شکل 2- فرم عمومی رابطه کسری برای تبخیر- تعرق گیاه مرجع.

به‌علت وجود توان 2، مخرج رابطه 10 عدد مثبت هست. اگر صورت کسر نیز عدد مثبت باشد، شیب منحنی مثبت است. یعنی با افزایش سرعت باد، میزان تبخیر- تعرق افزایش می‌یابد اما اگر شرایطی پیش آید که صورت کسر رابطه 10 عدد منفی باشد $(AD < BC)$ در این صورت با افزایش سرعت باد، میزان تبخیر- تعرق کاهش خواهد یافت چنین حالتی در شکل 3 دیده می‌شود. کاهش میزان تبخیر- تعرق با افزایش سرعت باد در عمل رخ نمی‌دهد و اگر در محاسبه تبخیر- تعرق از طریق رابطه فائو- پنمن- مونتیث این نتیجه حاصل شود، دلیل بر اشکال در رابطه فائو- پنمن- مونتیث هست.



شکل 3- درصورتی‌که کسر در رابطه -10- عدد منفی باشد تبخیر- تعرق با سرعت باد رابطه عکس دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

جمله $AD - BC$ با جاگذاری مقادیر عبارت است از: [11]

$$AD - BC = \frac{890g(D+g)(e_s - e_a)}{T + 273} - 0.139gD(R_n - G)$$

هرچند وجود شیب منفی در رابطه 11 دور از ذهن نیست اما در عمل g و D مقادیر بسیار کمی دارند (به‌عنوان‌مثال در منطقه موردبررسی تبریز $D_{max} = 0.2$ و $g = 0.0573$ هست) که با ضرب شدن در عدد 0/139 مقدار کل باز هم کوچک‌تر می‌شوند. بنابراین به‌علت کوچک بودن عدد مربوط به جمله BC انتظار نمی‌رود در شرایط معمول آب و هوایی، شیب منفی در رابطه فائو- پنمن- مونتیث دیده شود (هرچند غیرممکن نیست).

از طرفی به‌ازای $x = 0$ (سرعت باد صفر) میزان ET_o (تبخیر- تعرق) در حالت بدون باد تابع سایر کمیت‌های آب و هوایی هست و برابر است با رابطه 12:

$$ET_o = \frac{B}{D} = \frac{0408(R_n - G)}{D+g} \quad [12]$$

این در صورتی است که وزش باد به‌صورت کامل وجود نداشته باشد. چنین شرایطی حالت خاص هست و ممکن است در گلخانه اتفاق افتد ولی در مزارع چنین حالتی رخ نمی‌دهد.

نتایج و بحث

با جمع‌بندی مطالب گفته‌شده با شروع وزش باد و در سرعت‌های کم باد، افزایش اختلاف پتانسیل فشار بخار به‌علت کاهش فشار بخار آب در لایه مرزی هوای چسبیده به سطح برگ ناشی از جابجایی هوا و همچنین افزایش فشار بخار آب در داخل برگ ناشی از تلاطم برگ، به‌وجود می‌آید و به‌تبع آن تعرق از برگ افزایش می‌یابد (ایرماک و موتیبوا 2009). در این حالت تعرق از طریق روزنه غالب هست. با افزایش سرعت باد، روزنه‌ها شروع به بسته شدن می‌نمایند همچنین فشار بخار آب در لایه مرزی هوای چسبیده به سطح برگ به یک مقدار ثابت می‌رسد و دیگر کم نمی‌شود و در نتیجه افزایش اختلاف پتانسیل فشار بخار بین برگ و هوای سطح برگ با شیب کمتری افزایش می‌یابد. بنابراین با افزایش بیشتر سرعت باد، میزان تعرق با شیب کمتری افزایش می‌یابد و در نهایت در سرعت بی‌نهایت باد (منظور بی‌نهایت فیزیکی هست که مقداری محدود از نظر عددی هست)، میزان تعرق به یک مقدار ثابت که همان مقدار حدی یا مجانب افقی است می‌رسد. در این حالت میزان تعرق دیگر به‌سرعت باد وابسته نبوده و توسط سایر پارامترهای هواشناسی کنترل می‌گردد.

به‌عنوان نمونه‌ای از سه منطقه موردبررسی، برای محاسبه تبخیر- تعرق از رابطه فائو- پنمن- مونتیث و از داده‌های هواشناسی موجود (مربوط به دهه دوم سال شمسی) برای ناحیه تبریز استفاده شد. در شکل 4 نحوه تغییرات تبخیر- تعرق برحسب سرعت باد در ارتفاع دو متری در بازه صفر تا سی متر بر ثانیه (108 کیلومتر بر ساعت) در منطقه تبریز دیده می‌شود. علت انتخاب عدد سی متر بر ثانیه برای سرعت باد آن است که در طبیعت سرعت‌های بیش از 40 تا 50 متر بر ثانیه (معادل 145 تا 180 کیلومتر بر ساعت) باعث شکستن درختان می‌گردند (کالدول 1970) و بررسی تأثیر سرعت باد بر روی تبخیر- تعرق در بیشتر از این مقدار سرعت باد ضرورتی ندارد. مقدار حدی تبخیر- تعرق زمانی که سرعت باد به بی‌نهایت میل می‌کند برابر 6/48 میلی‌متر در روز به‌دست آمد که به‌صورت مجانب افقی در شکل 5 نشان داده‌شده است.

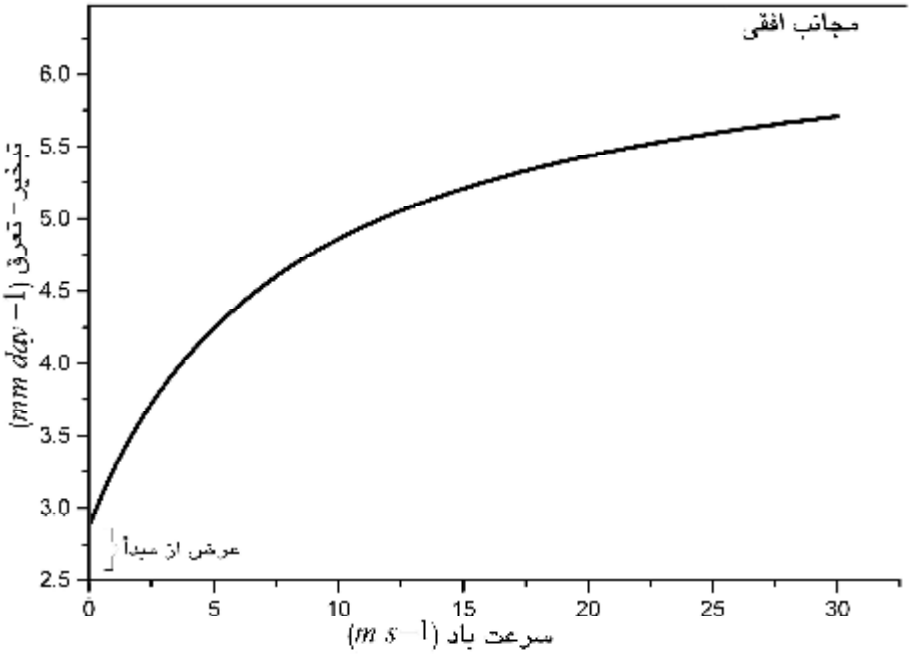
در مطابقت با مطالب فوق، تبخیر- تعرق در ابتدا با شیب زیاد افزایش می‌یابد و با زیادشدن سرعت باد در نهایت به یک حالت تقریباً افقی (با شیب بسیار کم) می‌رسد. بااین‌حال مقدار حدی تبخیر- تعرق در سرعت بینهایت باد رخ می‌دهد. همچنین در شکل، بخشی با عنوان عرض از مبدأ نامیده شده است که میزان تبخیر- تعرقی است که در صورت عدم وزش باد اتفاق

www.SID.ir

Archive of SID

می‌افتد و تابع سایر شرایط جوی نظیر دما و رطوبت هوا هست.

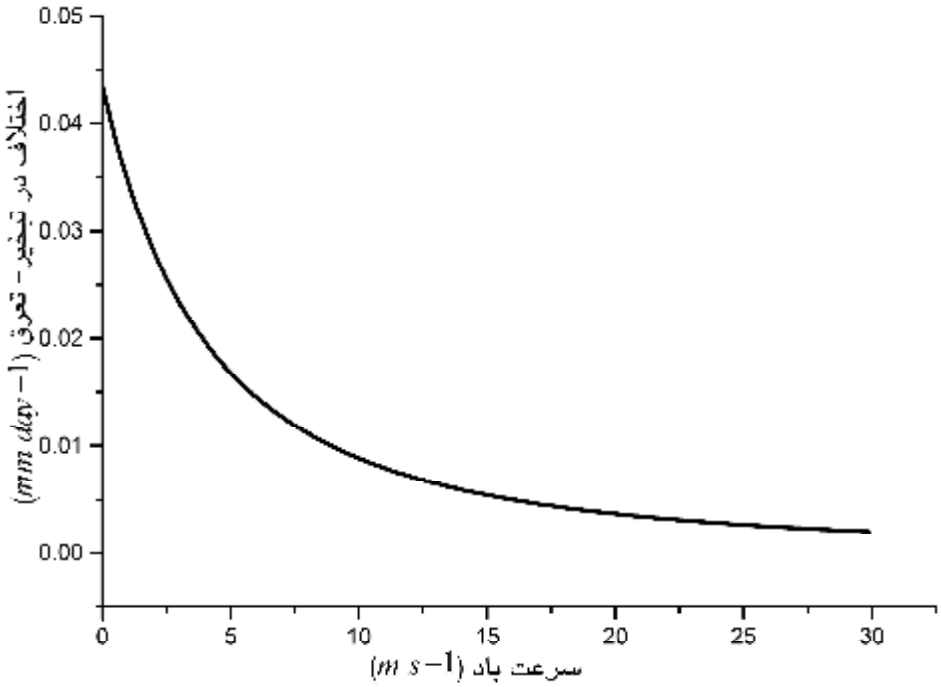
میزان تغییرات در مقدار تبخیر- تعرق بر حسب سرعت باد در شکل 5 نشان داده‌شده است. همان‌گونه که گفته شد، میزان تغییرات در مقدار تبخیر- تعرق به‌ازای یک واحد تغییر در سرعت باد در ابتدا زیاد است ولی با افزایش سرعت باد، میزان تغییرات به‌ازای یک واحد تغییر در سرعت باد کمتر شده و به صفر میل می‌کند. میانگین میزان تغییرت در مقدار تبخیر- تعرق به‌ازای یک واحد تغییر در سرعت باد از صفر تا یک متر بر ثانیه به‌اندازه 0/04 میلی‌متر در روز و به‌ازای یک واحد تغییر در سرعت باد از 29 تا 30 متر بر ثانیه برابر 0/002 میلی‌متر در روز هست. این بیان‌گر آن است که اثر تغییر به اندازه یک واحد در سرعت باد بر روی تبخیر- تعرق در سرعت‌های بالا، تا 20 برابر کمتر از اثر تغییر به‌اندازه یک واحد در سرعت باد بر روی تبخیر- تعرق در سرعت‌های پایین هست و تأثیر تغییرات در سرعت باد بر روی تبخیر- تعرق در سرعت‌های کم چشمگیرتر است.



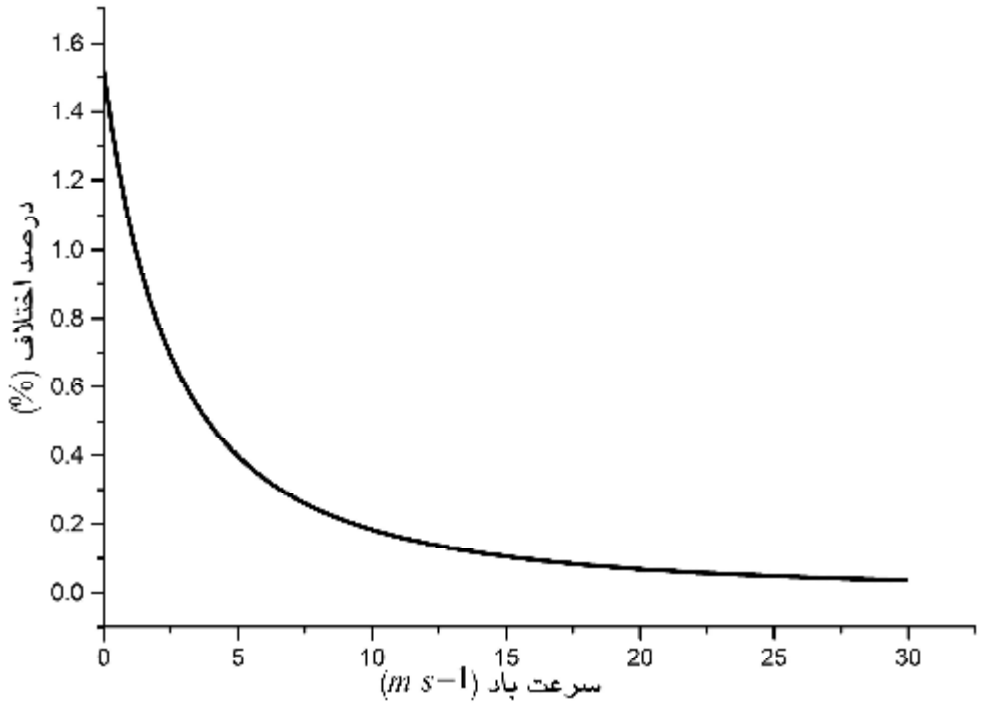
شکل 4- نحوه تغییرات تبخیر- تعرق برحسب سرعت باد بر اساس آمار ایستگاه سینوپتیک تبریز.

www.SID.ir

Archive of SID



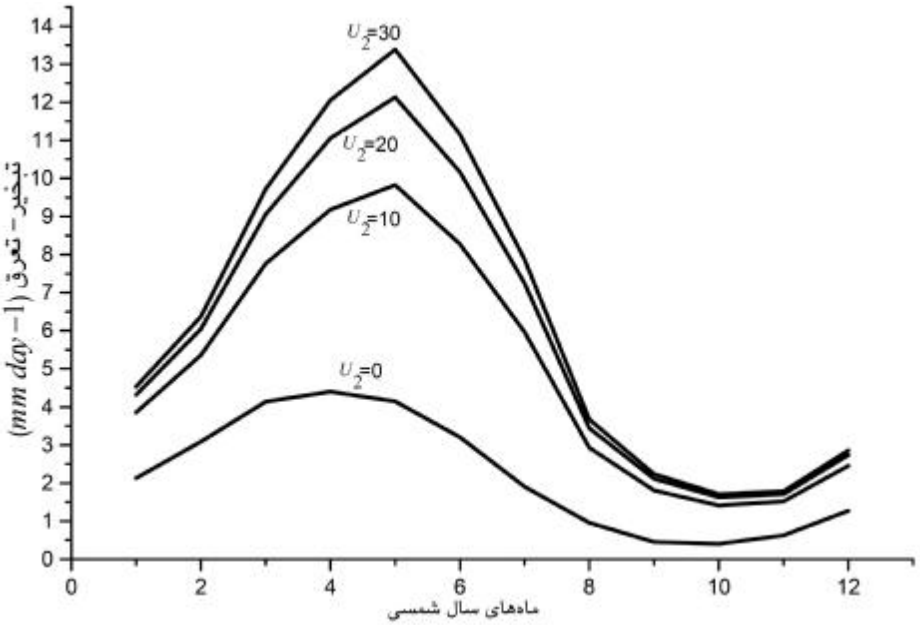
شکل 5- میزان تغییرات در مقدار تبخیر- تعرق بر حسب سرعت باد.



شکل 6- درصد تغییرات در میزان تبخیر- تعرق به ازای یک واحد تغییر در سرعت.

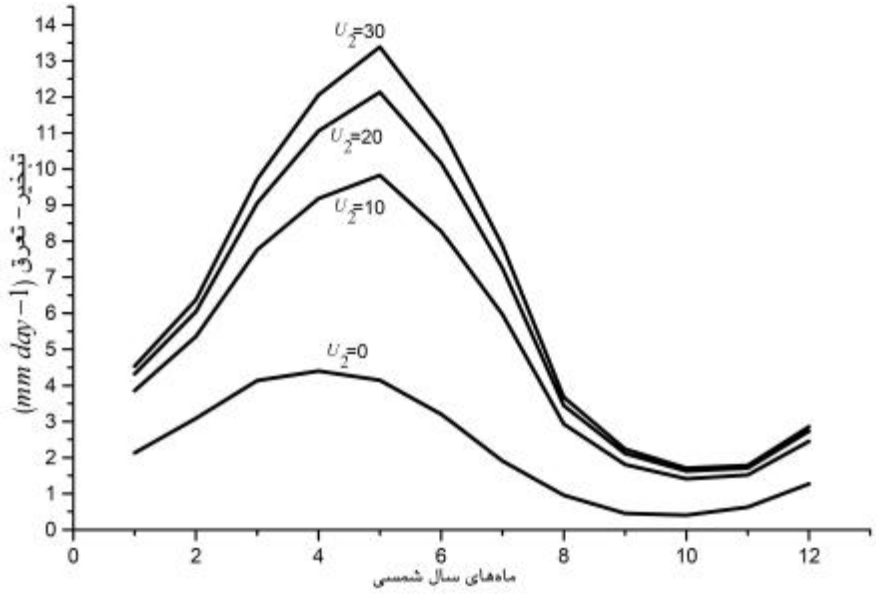
www.SID.ir

Archive of SID



شکل 7- نحوه تغییرات تبخیر- تعرق به‌ازای چهار سرعت باد در تبریز.

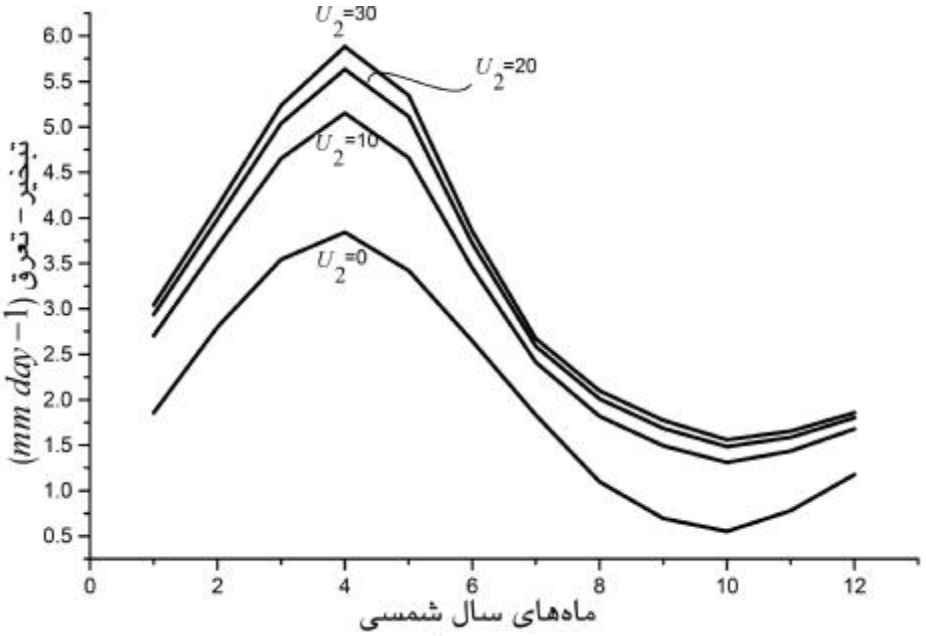
در شکل 6 درصد تغییرات در میزان تبخیر- تعرق به‌ازای یک واحد تغییر در سرعت باد نشان داده شده است. میانگین میزان درصد تغییرت در مقدار تبخیر- تعرق به‌ازای یک واحد تغییر در سرعت باد از صفر تا یک متر بر ثانیه به‌اندازه 1/29 درصد و به‌ازای یک واحد تغییر در سرعت باد از 29 تا 30 متر بر ثانیه برابر 0/036 درصد هست. این بیان‌گر آن است که در این تحقیق، اثر تغییر به اندازه یک واحد در سرعت باد بر روی درصد تغییرات در میزان تبخیر- تعرق در سرعت‌های بالا، تا 36 برابر کمتر از اثر تغییر به اندازه یک واحد در سرعت باد بر روی درصد تغییرات در میزان تبخیر- تعرق در سرعت‌های پایین هست.



شکل 8- نحوه تغییرات تبخیر- تعرق به‌ازای چهار سرعت باد در اصفهان.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 9- نحوه تغییرات تبخیر- تعرق به‌ازای چهار سرعت باد در رشت.

شکل‌های 7، 8 و 9 نحوه تغییرات تبخیر- تعرق به‌ازای چهار سرعت باد صفر، 10، 20 و 30 متر بر ثانیه برای هریک از مناطق تبریز، اصفهان و رشت است. طبق تحقیقات خام‌چین مقدم و رضائی پژند (1388) این نواحی به ترتیب معرف نواحی آب و هوایی نیمه‌خشک، خشک و مرطوب است. برای محاسبه میزان تبخیر- تعرق با استفاده از رابطه فائو- پنمن- مونتیث، از داده‌های میانگین آب و هوایی هر منطقه استفاده شد و به‌منظور بررسی تأثیر باد بر روی تبخیر- تعرق فقط سرعت باد تغییر داده‌شده است.

همان‌گونه که دیده می‌شود و انتظار می‌رفت، با افزایش سرعت باد، منحنی‌های تبخیر- تعرق به همدیگر نزدیک‌تر می‌شوند. این اتفاق در هر سه ناحیه آب و هوایی اتفاق افتاده است که بیانگر کم شدن وابستگی تبخیر- تعرق به‌دست‌آمده از طریق رابطه فائو- پنمن- مونتیث به سرعت باد، با افزایش سرعت باد، در هر سه منطقه موردبررسی است. در مقایسه عددی سه ناحیه موردبررسی، برای تمامی سرعت‌های موردبررسی باد، بیشترین میزان تبخیر- تعرق در تبریز مربوط به مردادماه و در اصفهان و رشت مربوط به تیرماه هست. بیشترین اختلاف میزان تبخیر- تعرق در تبریز نسبت به سرعت باد از صفر تا 10 متر بر ثانیه برابر 5/67 میلی‌متر در روز، برای تغییر سرعت باد 10 تا 20 متر بر ثانیه برابر 2/31 میلی‌متر در روز و برای تغییر سرعت باد20 تا 30 متر بر ثانیه برابر 1/25 میلی- متر در روز به‌دست آمد. این مقدار تغییر در اصفهان به ترتیب برابر 7/27، 3/10 و 1/76 و در رشت برابر 1/31، 0/48 و 0/25 هست. درصد تغییر در تبخیر- تعرق در تبریز نسبت به افزایش سرعت باد از صفر به 10 متر بر ثانیه در مردادماه برابر 158/36 درصد، برای افزایش سرعت باد از 10 به 20 متر بر ثانیه برابر 22/90 درصد و برای افزایش سرعت باد از 20 به 30 متر بر ثانیه برابر 9/74 درصد به‌دست آمد. این درصد تغییر تبخیر- تعرق در تیرماه برای اصفهان به‌ترتیب برابر 165/20 درصد، 27/00 درصد و 11/87 درصد و برای رشت به‌ترتیب برابر 34/17 درصد، 9/34 درصد و 4/43 درصد به‌دست آمد. همان‌گونه که دیده می‌شود، تأثیر باد بر روی تبخیر- تعرق در اصفهان بیشتر از

www.SID.ir

Archive of SID

سایر مناطق موردبررسی است و به‌نظر می‌رسد علت آن کم بودن رطوبت نسبی در این شهر نسبت به سایر شهرهای موردبررسی باشد (جدول شماره 1). از طرفی در میان مناطق موردبررسی، شهر رشت کمتر از بقیه شهرها تحت تأثیر سرعت باد بود. به‌نظر می‌رسد علت این امر بالا بودن رطوبت در منطقه باشد. چراکه تأثیر عمده باد، ایجاد اختلاف پتانسیل رطوبت بین برگ و هوای چسبیده به برگ هست و در مناطق مرطوب، باد تأثیر کمتری در ایجاد این اختلاف‌پتانسیل ایفا می‌نماید.

نتیجه‌گیری کلی

در کل می‌توان نتیجه گرفت در رابطه فائو- پنمن- مونتیث، تغییرات در مقدار تبخیر- تعرق برای مقادیر مختلف سرعت باد در سرعت‌های کم باد، زیاد است و تبخیر- تعرق بیشتر تحت تأثیر سرعت باد قرار می‌گیرد و با افزایش سرعت باد، تأثیر این کمیت بر میزان تبخیر- تعرق کمتر می‌گردد. به‌طور عمومی میزان تغییرات در تبخیر- تعرق به‌ازای افزایش یک واحد در سرعت باد از صفر تا یک متر بر ثانیه، بر روی تبخیر- تعرق، تا بیست برابر بیشتر از اثر افزایش به اندازه یک واحد در سرعت باد از 29 تا 30 متر بر ثانیه، بر روی تبخیر- تعرق هست. این مقدار تغییرات در تبخیر- تعرق حالت کلی بوده و ممکن است در مناطق مختلف مقداری تفاوت داشته باشد. این نتیجه تأییدکننده مطالب ارائه‌شده در بخش نگرش ریاضی است به این معنی که با افزایش سرعت باد از صفر، میزان تبخیر- تعرق افزایش می‌یابد تا به یک مقدار حدی برسد. از نظر فیزیولوژیکی نیز این کاهش اثر باد با افزایش سرعت آن، بر تبخیر- تعرق، به‌علت بسته شدن روزنه‌ها تحت تأثیر تنش ناشی از باد، در سرعت باد بالا قابل توجیه هست. حال آنکه در سرعت‌های کم باد و با شروع وزیدن آن، به‌علت کم شدن فشار بخار آب در هوای اطراف برگ براثر بر هم زدن لایه هوای چسبیده به سطح برگ، میزان تبخیر- تعرق به‌صورت چشمگیری افزایش می‌یابد به‌خصوص این‌که در سرعت کم باد هنوز تنشی به گیاه وارد نشده است و روزنه‌ها باز می‌باشند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، تأثیر سرعت باد بر روی میزان تبخیر- تعرق حاصل از رابطه فائو- پنمن- مونتیث، در مناطقی با رطوبت نسبی پایین بارزتر از تأثیر سرعت باد در مناطقی با رطوبت نسبی بالا هست.

منابع مورداستفاده

اسلامی ا و قهرمان ب، 1392. آنالیز حساسیت و بررسی عدم قطعیت پارامترهای مؤثر در برآورد تبخیر -تعرق مرجع در مدل‌های با ساختار ریاضی متفاوت. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره 1، جلد 7، صفحه‌های 68 تا 79.

طالبی ع، پورمحمدی س، رحیمیان مح، 1389. بررسی عوامل مؤثر در تبخیر-تعرق مرجع، با استفاده از آنالیز حساسیت معادله فائو- پنمن- مونتیث، مطالعه موردی: ایستگاه‌های یزد، طبس و مروست. نشریه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، جلد 73، صفحه-های 97 تا 110.

خام‌چین مقدم ف و رضائی پژند ح، 1388. نقد روش اقلیم‌بندی دومارتن برای بارش حداکثر روزانه در ایران به‌کمک روش گشتاورهای خطی. مجلهٔ فنی مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد، دورهٔ 2، شمارهٔ 2، صفحه‌های 93 تا 103.

Allen RG, Pereira LS, Raes D and Smith M. 1998. Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome.

Caldwell MM, 1970. Plant gas exchange at high wind speeds. Plant Physiology 46: 535- 537.

Irmak S and Mutiibwa D, 2009. On the dynamics of stomata resistance: relationships between stomata behavior and micrometeorological variables and performance of Jarvis-type parameterization. Transactions of the ASABE 52(6): 1923-1939.

Jensen ME, Burman RD and Allen RG, 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirement. ASCE Manual. USA 70, 332p.

www.SID.ir

Archive of SID

Sanchez I, Faci JM and Zapata N, 2011. The effects of pressure, nozzle diameter and meteorological conditions on the performance of agricultural impact sprinklers. Agricultural Water Management 102: 13-24.

Thomas GB and Finney RL, 1988. Calculus and analytic geometry, Seventh edition. Addition - Wesley.

Williams LE, 2001. Irrigation of wine grapes in California. Practical Winery & Vineyard 23(1): 42-55.

Yang H and Yang D, 2012. Climatic factors influencing changing pan evaporation across China from 1961 to 2001. Journal of Hydrology 414-415: 184–193.

www.SID.ir