

دو فصلنامه آب و هواشناسی کاربردی، سال ۱، شماره ۱، پاییز و زمستان ۱۳۹۳، شماره پیاپی ۱

A. S. Hosseini
M. Zare, PhD
M.H. Mokhtari

اعظم السادات حسینی، کارشناس ارشد مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه یزد
محمد زارع، استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد
محمد حسین مختاری، مربی پژوهشکده مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه یزد

HosseiniAS0401@gmail.com

وصول: ۱۳۹۳/۹/۱۷ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۲۵
صص: ۶۱-۷۲

اثر تشعشع محاسبه شده از مدل آلن بر روی میزان تغییرات تبخیر و تعرق بالقوه مدل فائو-پنمن-مانتیت (مطالعه موردی: استان یزد)

چکیده

یکی از راه‌های هدررفت آب در مناطق مختلف آب و هوایی ایران، تبخیر و تعرق است. برای محاسبه تبخیر و تعرق بالقوه روش‌های گوناگونی وجود دارد و روش فائو-پنمن-مانتیت به عنوان یک روش استاندارد جهانی برای تخمین تبخیر و تعرق پذیرفته شده است. این مدل برای محاسبه تبخیر و تعرق به داده‌های میدانی زیادی نیاز دارد که گاهی در بسیاری از حوزه‌ها در دسترس نبوده و یا اینکه با گسترش و توسعه‌های ایجاد شده در حوزه سازگاری ندارد. علاوه بر این جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز اغلب گران بوده و قابل تکرار کردن نیست و استفاده از این مدل را در برخی از مکان‌ها محدود می‌کند. با توجه به این که در استان یزد داده تابش خالص در بیشتر ایستگاه‌ها وجود ندارد، در این تحقیق، مدل فائو-پنمن-مانتیت به صورتی حل شده که تابش خالص با استفاده از دمای کمینه و بیشینه هوا به وسیله رابطه تجربی که توسط آلن پیشنهاد گردیده، محاسبه گردد. بنابراین داده‌های مورد نیاز این مدل تنها محدود به اندازه گیری دمای هوا، نم نسبی و سرعت باد می‌باشد. هم‌چنین در این مطالعه از روش پریستلی-تیلور برای محاسبه تبخیر و تعرق استفاده شده است. البته برای ارزیابی، مدل فائو-پنمن-مانتیت با داده‌های کامل نیز به عنوان مرجع در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد زمانی که داده تابش خالص مفقود باشد، روش فائو-پنمن-مانتیت با کمترین داده می‌تواند روش مناسبی برای برآورد تبخیر و تعرق بالقوه باشد، به طوری که این روش برخلاف روش پریستلی-تیلور ضریب همبستگی بالای ۰/۹۷ و ریشه میانگین مربعات خطا کمتر از ۰/۳۷ میلی‌متر در روز را در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه دارا است. بنابراین استفاده از مدل پیشنهادی آلن در محاسبه تابش خالص برای نقاطی از استان که از محدودیت برخوردار است، مناسب بوده و توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق بالقوه؛ تابش خالص؛ فائو-پنمن-مانتیت؛ پریستلی-تیلور، استان یزد.

طرح مسئله

تبخیر به این معنا است که به طور طبیعی نم موجود در زمین و منابع آب مانند چاه، قنات، برکه، تالاب و غیره به

صورت بخار درآید و به فضا متصاعد شود (جعفری و طویلی، ۱۳۸۹، ۸). تعرق فرآیند از دست دادن آب به صورت بخار از راه روزنه‌های برگ است. تبخیر و تعرق^۱ توصیف دو فرآیند از دست دادن آب از سطح زمین و گیاه به جو است. تبخیر و تعرق به طور همزمان رخ می‌دهند و هر دو فرآیند به تابش خورشیدی، دمای هوا، نم نسبی (کمبود فشار بخار) و سرعت باد بستگی دارند (میکل و همکاران^۲، ۲۰۰۹، ۱). تبخیر و تعرق ماهیت تبخیری داشته و چون تفکیک آن‌ها از هم امکان‌پذیر نیست، مجموع این دو را تبخیر و تعرق در نظر گرفته و با علامت ET نشان داده می‌شود (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۶، ۱۰۱). با توجه به میانگین جهانی، ۵۷ درصد بارندگی از طریق تبخیر و تعرق به جو باز می‌گردد و این مقدار ممکن است در مناطق خشک و بیابانی به ۱۰۰-۹۰ درصد هم برسد (حیدرنژاد، ۱۳۹۲، ۲).

تبخیر و تعرق بالقوه (PET) آیشینه مقدار تبخیر و تعرقی است که در یک وضعیت آب و هوایی مشخص در صورتی که محدودیتی از نظر آب وجود نداشته باشد از یک پوشش کامل گیاهی مانند چمن صورت می‌گیرد. بسیاری از طبقه بندی‌های آب و هواشناسی به جای استفاده از تبخیر و تعرق واقعی بر مبنای مقادیر تبخیر و تعرق بالقوه هستند (علیزاده، ۱۳۸۱، ۲۲۲). PET یک استاندارد مفید و قابل استفاده به عنوان مرجع برای مقایسه در آب و هوای متفاوت و یا در گیاهان گوناگون اما با یک شرایط آب و هوایی مشخص است (هاشمی نیا، ۱۳۸۷، ۸۷). تبخیر و تعرق بالقوه یکی از عناصر مهم چرخه آب‌شناختی است که نقش مهمی را در مطالعات کشاورزی، طرح‌های مدیریت منابع آب، طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی و سازه‌های آبی، بازی می‌کند (اسنیدر و همکاران^۳، ۲۰۰۵، ۲۴۹ و گاندکار و همکاران^۴، ۲۰۰۸، ۱۶۹).

تبخیر و تعرق بالقوه با روش‌های مستقیم و غیر مستقیم قابل اندازه‌گیری است. روش‌های مستقیم با استفاده از ایستگاه لایسیمتر و فراهم کردن بالاترین صحت، به پلات‌های تجربی انجام می‌گیرد (برنادو، ۱۹۹۵، ۱۹). محاسبه تبخیر و تعرق بالقوه به طور مستقیم سخت است و در بسیاری از موارد به طور غیر مستقیم با روش‌های تجربی محاسبه می‌شود (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۳، ۹۸- جنسون و همکاران^۵، ۱۹۹۰، ۶۵). این روش‌ها اغلب شامل یک یا چند متغیر آب و هواشناسی، که ترکیب آن‌ها شرایط سطح زمین را توصیف می‌کند، هستند (خاکبازان فرد و تجربی، ۱۳۹۰، ۲).

روش‌های موجود برای محاسبه تبخیر و تعرق به داده‌های میدانی زیادی نیاز دارند که گاهی در بسیاری از حوزه‌ها در دسترس نبوده و یا این که با توسعه ایجاد شده در حوزه سازگاری ندارند. افزون بر این جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز اغلب گران بوده و قابل تکرار کردن نیستند (باستیانسن و همکاران^۶، ۱۹۹۸، ۳). آلن و همکاران^۷ (۱۹۹۸) استفاده از روش فائو-پنمن-مانتیت^۸ را به دلیل این که در تخمین تبخیر و تعرق مرجع در شرایط آب و هوایی مختلف نتایج قابل قبولی می‌دهد را برای تمام دنیا توصیه کرده اند (آلن ریک جی، ۱۳۸۷، ۳۵). روش فائو-پنمن-مانتیت با توجه به اندازه‌گیری

۱- Evapotranspiration

۲- Michael et al

۳- Snyder et al

۴- Gundekar et al

۵- Bernado

۶- Jenson et al

۷- Bastiaanssen et al

۸- Allen et al

۹- FAO PanmaN- Monteith

لایسیمیتری تبخیر و تعرق چمن یا یونجه، در نقاط مختلف دنیا مورد ارزیابی قرار گرفته و به عنوان یک روش استاندارد تخمین تبخیر و تعرق مرجع انتخاب گردیده است (زینگ و همکاران^۱، ۲۰۰۸، ۲۵۲- پیرا و همکاران^۱، ۲۰۰۲، ۴۱۴). این روش محاسبه تبخیر و تعرق، براساس هر دو جزء آیرودینامیک و توازن انرژی است. با این حال در برخی از موارد، استفاده از این روش با محدودیت داده های آب و هواشناسی مواجه است. براین اساس آلن و همکاران (۱۹۹۸) روشی را برای تخمین متغیرهای آب و هواشناسی مفقود مانند تابش خالص، سرعت باد و کمبود فشار بخار، در نشریه شماره ۵۶ فائو پیشنهاد کردند. بنابراین لازم است که در کشورها و آب و هواهای مختلف، قابلیت انجام این روش مورد ارزیابی قرار گیرد.

برای استفاده از روش فائو- پنمن-مانتیت، باید ایستگاه های هواشناسی مجهز به وسایل اندازه گیری دمای هوا، نم نسبی، سرعت باد و آفتاب نگار باشند، برآورد دقیق این فراسنج ها اگرچه غیر ممکن نیست ولی کار بسیار مشکلی است. بنابراین استفاده از این روش در بعضی از مکان ها دارای محدودیت است. در استان یزد تعداد محدودی از ایستگاه ها به طور کامل داده های هواشناسی و آب و هواشناسی را اندازه گیری و ثبت می کنند و در بیشتر ایستگاه های آب و هواشناسی تنها داده تابش خالص ثبت داده نمی شود. بررسی منابع انجام گرفته حاکی از این می باشد که تا کنون مطالعه جامعی در استان یزد در زمینه ارزیابی و بررسی روش های مختلف تخمین تبخیر و تعرق، در شرایطی که داده تابش خالص موجود نباشد، صورت نگرفته است. و با توجه به این که دمای هوا به آسانی و با دقت مناسبی در ایستگاه های هواشناسی اندازه گیری می شود، بنابراین در این مقاله اثر تشعشع از طریق مدل پیشنهاد شده توسط آلن بر روی میزان تبخیر و تعرق بالقوه در روش فائو-پنمن-مانتیت در استان یزد محاسبه و نتایج آن با روش فائو- پنمن-مانتیت با داده های کامل بررسی و مقایسه می گردد. در صورت استفاده از این مدل پیشنهادی می توان مقادیر برآورد شده تابش را در معادله فائو-پنمن-مانتیت استفاده کرد و تعداد فراسنج های مورد نیاز این معادله را کاهش داد. در این پژوهش، این روش به عنوان "روش فائو- پنمن-مانتیت با کمترین داده" نامیده شده و با علامت اختصاری FAO PM(-n) نشان داده شده است، البته از روش پرستلی-تیلور که تنها نیاز به داده تابش و درجه حرارت دارد، در این تحقیق نیز استفاده شده است.

پیشینه ی پژوهش

روش فائو-پنمن-مانتیت با داده های مفقود توسط سنتوهرز و همکاران^۲ (۲۰۱۰) در کانادا، ژابلون و سهلی^۳ (۲۰۰۸) در تونس و برخی دیگر در نقاط مختلف جهان مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. ژابلون و سهلی (۲۰۰۸) به ارزیابی روش فائو-پنمن-مانتیت با معیارهای مختلف در ۸ ایستگاه از تونس تحت شرایط مختلف، نبود داده های تابش خورشیدی، سرعت باد و نم نسبی پرداختند. آن ها مقادیر فراسنج های تابش خورشیدی، نم نسبی و سرعت باد را با استفاده از سایر فراسنج های در دسترس به کمک روش های مختلف برآورد نمودند. براساس نتایج، کمترین دقت در شرایطی به دست می آید که فقط داده های دمای کمینه و بیشینه وجود داشته باشند. در ایران رحیمی خوب (۱۳۸۵) دو

۱- Xing et al

۲- Pereira et al

۳- Sentelhas, et al

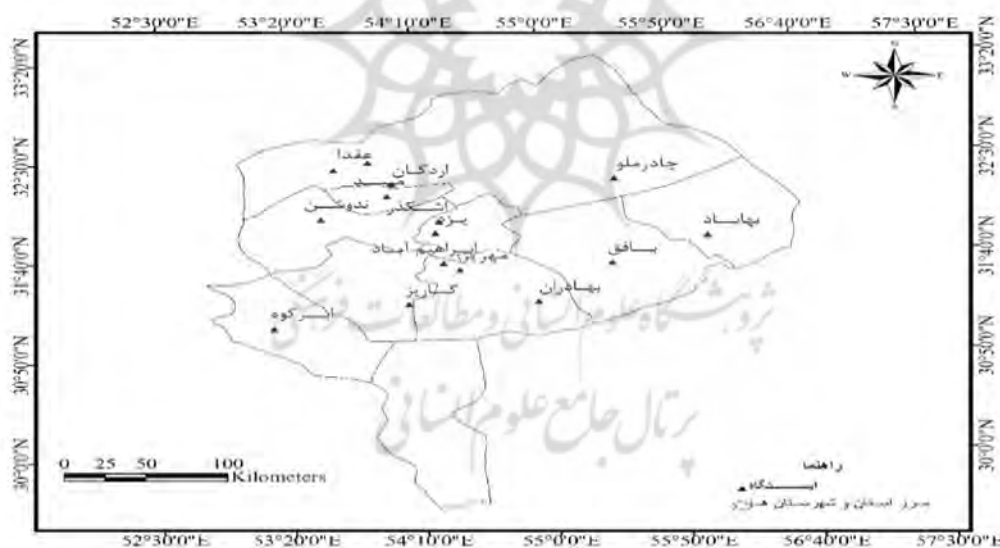
۴- Jabloun and Sahli

روش پنمن-مانتیت با کمینه داده (دمای هوا و سرعت باد) و هارگریوز را در استان خوزستان مقایسه کرد و نتیجه گرفت که روش پنمن-مانتیت با کمینه داده نسبت به روش هارگریوز عملکرد بهتری داشته است. دهقان و علیزاده (۱۳۹۱) روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در شرایط محدودیت داده های آب و هواشناسی در استان خراسان رضوی مورد ارزیابی و واسنجی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد: در صورت نبودن داده های تابش خالص و سرعت باد، روش فائو-پنمن-مانتیت، گزینه خوبی برای برآورد تبخیر و تعرق در استان خراسان رضوی می باشد، به طوری که میزان "ریشه میانگین مربعات خطا"^{۱۴}، کمتر از ۰/۷۱ میلیمتر در روز می باشد. همچنین در صورت نبودن داده های سرعت باد و کمبود فشار بخار، روش پریستلی-تیلور و در صورت وجود داشتن تنها داده درجه حرارت روش های هارگریوز و ترنت وایت اصلاح شده، گزینه مناسبی جهت برآورد تبخیر و تعرق می باشند.

داده‌ها و روش پژوهش

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه:

استان یزد در بخش مرکزی فلات ایران واقع و بین عرض جغرافیایی ۲۹ تا ۳۵ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ تا ۵۷ درجه شرقی قرار دارد. با ارتفاع ۱۴۱۱ متر از سطح دریا و وسعت ۷۲ هزار کیلومتر مربع حدود ۴/۴ درصد از مساحت کشور را در بر می گیرد.



نگاره ۱) موقعیت ایستگاه‌های بررسی شده در استان یزد

داده‌های پژوهش

برای محاسبه تبخیر و تعرق بالقوه، ابتدا داده‌های مورد نیاز از ایستگاه‌های همدید و آب و هواشناسی سازمان هواشناسی واقع در استان یزد جمع آوری گردید. سپس با در نظر گرفتن معیارهای مختلف در انتخاب ایستگاه، تعداد ۱۵ ایستگاه در سطح استان انتخاب شد (جدول ۱). در این ایستگاه‌ها فراسنج‌های اولیه‌ای مانند دمای بیشینه، دمای کمینه،

بیشینه نم نسبی، کمینه نم نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی به صورت روزانه جمع آوری و متوسط تبخیر و تعرق بالقوه روزانه و سالانه در سال ۲۰۰۹ میلادی، محاسبه و واکاوی شد. موقعیت ایستگاه‌های مورد استفاده در این تحقیق در نگاره (۱) آمده است.

جدول ۱) مشخصات ایستگاه‌های انتخاب شده جهت بررسی تبخیر و تعرق بالقوه در استان یزد

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
ابركوه	۵۳° ۱۳'	۳۱° ۰۷'	۱۴۸۵
بافق	۵۵° ۲۵'	۳۱° ۳۷'	۹۸۹
بهباد	۵۶° ۰۲'	۳۱° ۵۰'	۱۴۳۲
عقدا	۵۳° ۳۸'	۳۲° ۲۶'	۱۱۳۹
گاريز	۵۴° ۰۵'	۳۱° ۱۸'	۲۰۰۷
مهریز	۵۴° ۲۶'	۳۱° ۳۵'	۱۴۸۷
مید	۵۳° ۵۹'	۳۲° ۱۳'	۱۱۱۶
یزد	۵۴° ۱۷'	۳۱° ۵۴'	۱۲۳۶/۲
اردكان	۵۴° ۰۱'	۳۲° ۱۹'	۱۱۰۴
ابراهيم آباد	۵۴° ۲۰'	۳۱° ۳۹'	۱۶۳۰
چاه افضل	۵۳° ۵۲'	۳۲° ۳۰'	۹۸۰
اشكذر	۵۴° ۱۹'	۳۲° ۰۰'	۱۱۴۰
بهداران	۵۴° ۵۶'	۳۱° ۱۹'	۱۴۸۰
ندوشن	۵۳° ۳۳'	۳۲° ۰۲'	۱۹۹۳
چادرملو	۵۵° ۲۸'	۳۲° ۲۰'	۱۴۲۰

در این تحقیق برای انجام محاسبات مربوط به تبخیر و تعرق بالقوه از روش های زیر استفاده شده است:

الف) روش فائو - پنمن - مانیتث (FAO- PM)

این روش که در نشریه ۵۶ فائو به عنوان روش استاندارد برای برآورد تبخیر و تعرق توصیه شده است، در این تحقیق به عنوان مبنای ارزیابی روش فائو-پنمن-مانیتث با کمترین داده (FAO PM(-h))، استفاده شده است. این روش به صورت زیر می باشد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸، ۶۵).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma[900/(T+273)]U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

که در آن:

ET_0 : تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)، R_n : تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJm^{-2}d^{-1}$)، T : میانگین دمای هوا ($^{\circ}C$)، U_2 : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (ms^{-1})، $e_s - e_a$: کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (KPa)، Δ : شیب منحنی فشار بخار ($KPa^{\circ}C^{-1}$)، γ : ضریب نمی ($KPa^{\circ}C^{-1}$)، G : شار گرما به درون خاک ($MJm^{-2}d^{-1}$) می باشد. برای به دست آوردن اجزای معادله فائو - پنمن - مانیتث، مطابق دستور العمل ارائه شده توسط آلن و همکاران (۱۹۹۸) عمل شده است.

ب) روش پرستلی - تیلور (P-T)^{۱۵}

این روش براساس روش پنمن، ساده سازی شده است و جزء آیرودینامیکی معادله پنمن با یک ضریب تجربی جایگزین می شود که به فراسنج پرستلی - تیلور معروف است (پرستلی و تیلور، ۱۹۷۲).

$$ET_0 = 1.26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \left(\frac{R_n - G}{\lambda} \right) \quad (2)$$

همه اجزای معادله بالا در روش قبلی توضیح داده شد به جزء λ که گرمای نهان تبخیر $MJ Kg^{-1}$ می باشد و از رابطه زیر به دست می آید:

$$\lambda = 2.501 - (2.361 * 10^{-3})T \quad (3)$$

ج) برآورد تابش خالص خورشید با مدل پیشنهادی آلن

استفاده از معادله فائو-پنمن-مانتیت، زمانی که داده های هواشناسی به طور کامل در دسترس باشند، امکان پذیر می باشد. از طرفی آلن و همکاران (۱۹۹۸) در نشریه ۵۶ فائو نشان دادند که این روش را می توان در شرایط محدودیت داده های آب و هواشناسی، از طریق برآورد داده های غیر موجود استفاده کرد. آنها برای برآورد تابش خالص، استفاده از داده های بیشینه و کمینه درجه حرارت روزانه هوا و تابش فرازمینی به صورت معادله زیر (رابطه ۴) را پیشنهاد کردند. این رابطه در این تحقیق برای روش "فائو-پنمن-مانتیت با کمترین داده"، استفاده شده است.

$$R_s = K_{RS} \sqrt{T_{max} - T_{min}} R_a \quad (4)$$

که در آن R_a تابش خارج از جو ($MJm^{-2}d^{-1}$) و K_{RS} ضریب تجربی است و مقدار آن بین ۰/۱۶ تا ۰/۱۹ می باشد. چون استان یزد در مناطق داخلی و دور از دریا قرار دارد، مقدار آن در این تحقیق ۰/۱۶ در نظر گرفته شده است. به منظور ارزیابی و صحت سنجی کاربرد مدل پیشنهادی آلن در روش "فائو-پنمن-مانتیت با کمترین داده" و مقایسه دقت این روش و روش پرستلی-تیلور با روش "فائو-پنمن-مانتیت با داده های کامل" از معیارهای میزان همبستگی (R) و ریشه میانگین مربعات خطا استفاده گردید. ریشه میانگین مربعات خطا در این تحقیق از رابطه (۵) به دست می آید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{n}} \quad (5)$$

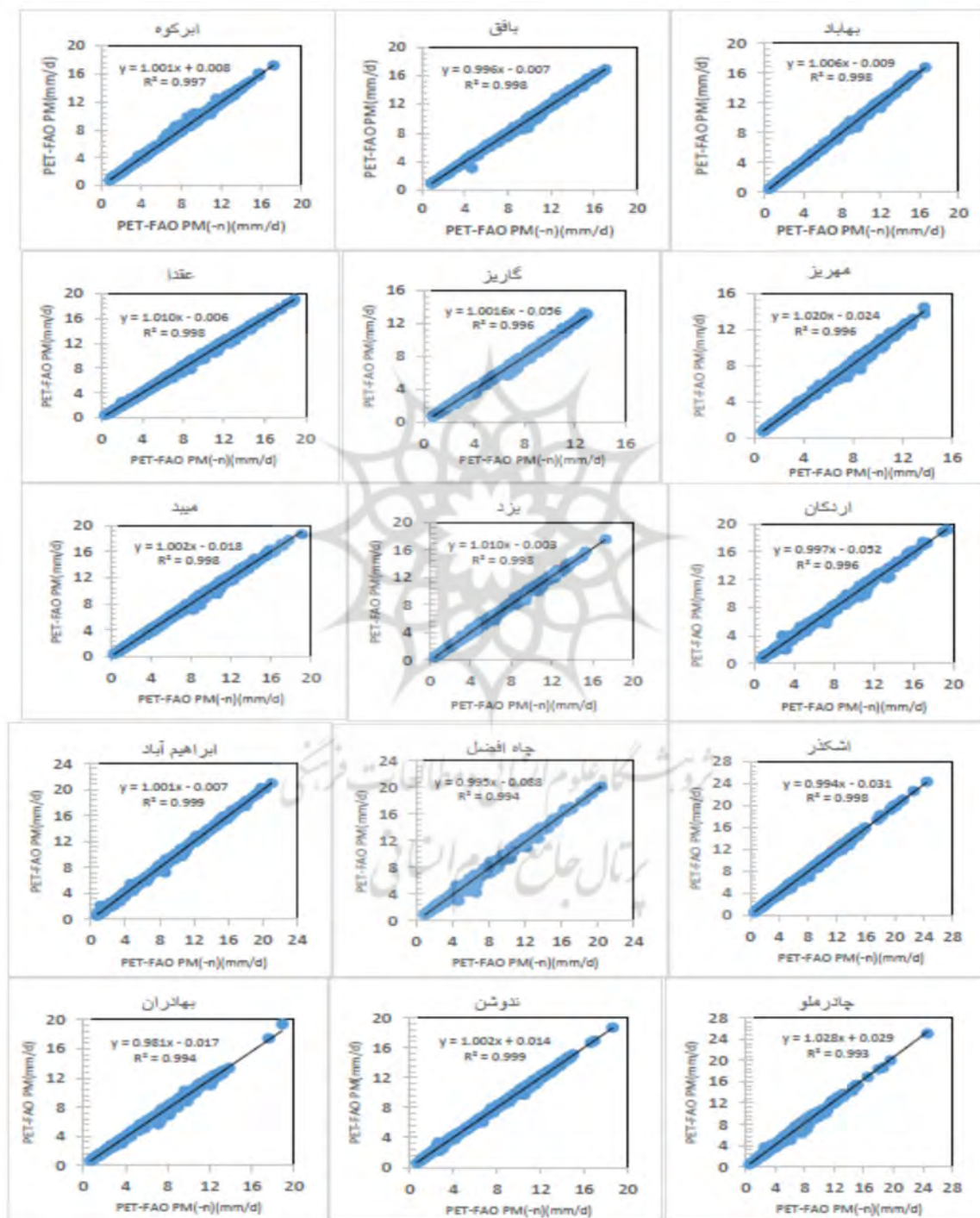
که در رابطه بالا:

RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا، ET_{ob} : مقادیر تبخیر و تعرق از روش مرجع فائو-پنمن-مانتیت، \overline{ET} : مقادیر تبخیر و تعرق از روش "فائو-پنمن-مانتیت با کمترین داده" و روش پرستلی-تیلور و n: تعداد کل است.

بحث

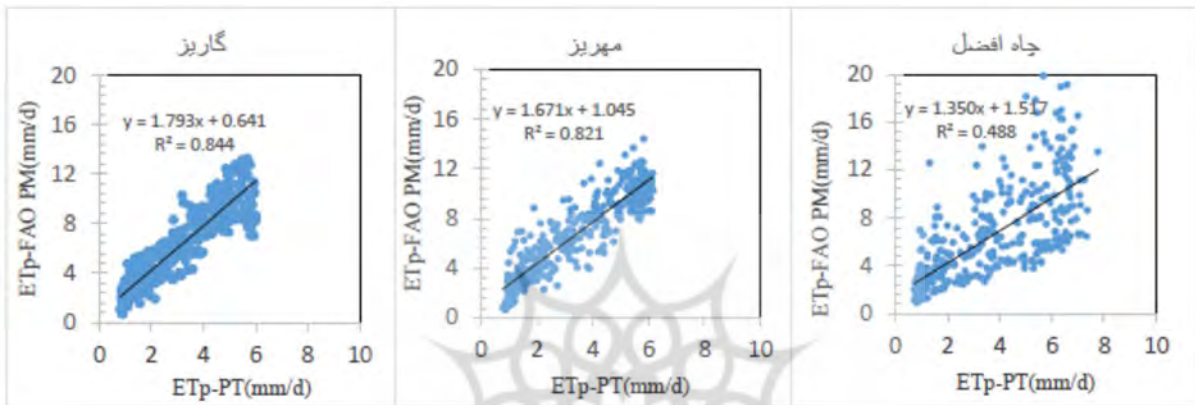
همان گونه که در سطرهای بالا اشاره شد، تبخیر و تعرق بالقوه روزانه در سال ۲۰۰۹ در استان یزد با داده های ۱۵ ایستگاه هواشناسی به روش فائو-پنمن-مانتیت با داده های کامل و داده مفقود تابش خالص، برآورد گردید. مقایسه بین دو روش فوق برای ایستگاه های مورد بررسی در این تحقیق در نگاره ۲ ارائه شده است. همان طور که در نگاره ۲ مشاهده می گردد، مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده از روش "فائو-پنمن-مانتیت با

کمترین داده نسبت به مقادیر برآورد شده با روش "فائو-پنمن-مانتیش با داده‌های کامل"، در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی در فاصله بسیار نزدیک از بهترین خط برازش داده شده، قرار گرفته‌اند. برای تمام ایستگاه‌ها ضریب تبیین (R^2) با فائو-پنمن-مانتیش و "فائو-پنمن مانیتش با کمترین داده" بین ۰/۹۷ - ۰/۹۹ به دست آمده است، که نشان از همبستگی بالای دو روش با یکدیگر را دارا می باشد.



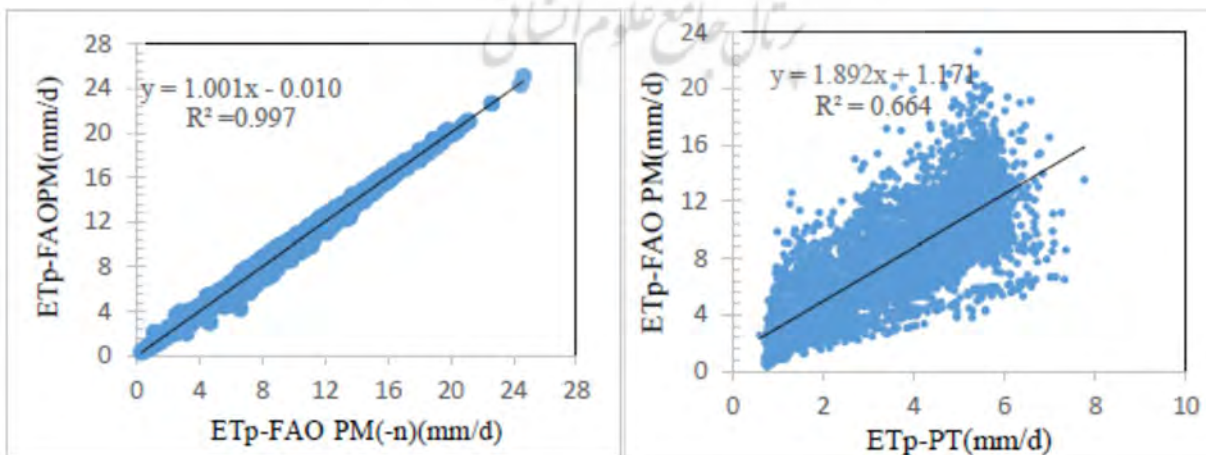
نگاره ۲) مقایسه نتایج تبخیر و تعرق بالقوه روش فائو-پنمن مانیتش با کمترین داده با روش فائو-پنمن-مانتیش در ایستگاه‌ها

همچنین مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده از روش پرستلی-تیلور نسبت به مقادیر برآورد شده با روش فائو-پنمن-مانتیت مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج حاکی از این می باشد که مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده از روش پرستلی-تیلور نسبت به روش فائو-پنمن-مانتیت در فاصله دورتری نسبت به بهترین خط برازش داده شده، قرار گرفته-اند و با افزایش تبخیر و تعرق فاصله داده ها از خط برازش بیشتر می گردد. بیشترین ضریب تبیین در روش پرستلی-تیلور مربوط به ایستگاه‌های گاریز و مهریز به ترتیب ۰/۸۴ و ۰/۸۲، و کمترین میزان همبستگی مربوط به ایستگاه چاه افضل به میزان ۰/۴۹ می باشد (نگاره ۳). سایر ایستگاه‌ها همبستگی بین این دو حد را دارا می باشند. بنابراین می توان چنین عنوان کرد که روش پرستلی-تیلور همبستگی بالایی را با روش فائو-پنمن-مانتیت در استان دارا نیست.



نگاره ۳) مقایسه نتایج تبخیر و تعرق بالقوه روش پرستلی-تیلور با روش فائو-پنمن-مانتیت برای ایستگاه‌های گاریز، مهریز و چاه افضل انتخاب شده در استان یزد

همچنین مقایسه کلی روش فائو-پنمن-مانتیت با روش‌های فائو-پنمن-مانتیت با کمترین داده و پرستلی-تیلور برای مجموعه ایستگاه‌های مورد مطالعه در نگاره (۴) ارائه شده است، که نشان می‌دهد، روش فائو-پنمن-مانتیت با کمترین داده برخلاف روش پرستلی-تیلور نه تنها از لحاظ مکانی در هر کدام از ایستگاه‌ها از همبستگی بالایی با روش فائو-پنمن-مانتیت برخوردار است، حتی در سطح استان نیز این همبستگی برقرار است و میزان ضریب تبیین برابر با ۰/۹۹ است.



نگاره ۴) مقایسه نتایج تبخیر و تعرق بالقوه روش‌های پرستلی-تیلور و فائو-پنمن-مانتیت با کمترین داده با روش فائو-پنمن-مانتیت برای مجموعه ایستگاه‌های مورد مطالعه این تحقیق در استان یزد

البته انتخاب یک روش برآورد تبخیر و تعرق به عوامل زیادی بستگی دارد که از جمله عبارتند از: دقت مورد نیاز در تخمین تبخیر و تعرق، نوع آب و هوا منطقه، دسترسی به داده های هواشناسی و میزان صحت و دقت آن ها (علیزاده، ۱۳۸۱). در این تحقیق انتخاب روش براساس کمینه ریشه میانگین مربعات خطا و بیشینه ضریب همبستگی (R^2) تعیین گردید. نتایج ضریب همبستگی و مجذور میانگین مربعات خطا با استفاده از دو روش در مقایسه با روش فائو-پنمن مانتیث در جدول (۲)، ارائه گردیده است. طبق نتایج جدول زیر روش فائو-پنمن-مانتیث با کمترین داده نسبت به روش پرستلی-تیلور در تمام ایستگاه ها، دارای بیشینه ضریب همبستگی و کمترین مجذور میانگین مربعات خطا است. میزان در روش فائو-پنمن-مانتیث با کمترین داده در محدوده بین ۰/۳۷-۰/۱۴ و در روش پرستلی-تیلور در محدوده بین ۶/۴۳-۳/۶۰ تغییر می کند. در روش فائو-پنمن-مانتیث با کمترین داده و در بین ایستگاه های مورد مطالعه، کمترین میزان مجذور میانگین مربعات خطا به ترتیب مربوط به ایستگاه های بهاباد و ندوشن هر دو به میزان ۰/۱۴ (mm/d) و بیشترین میزان مربوط به ایستگاه چادرملو به میزان ۰/۳۷ (mm/d) می باشد. بنابراین برآورد تبخیر و تعرق بالقوه از روش فائو-پنمن-مانتیث با کمترین داده که دارای مجذور میانگین مربعات خطا کوچک تر می باشد، دقیق تر است.

جدول (۲) نتایج ضریب همبستگی و میزان خطای استاندارد برآوردی با استفاده از دو روش در مقایسه با روش فائو-پنمن-

مانتیث با داده های کامل در ایستگاه های مورد مطالعه در استان یزد

PT		FAO PM(-n)		نام ایستگاه
R^2	RMSE	R^2	RMSE	
۰/۷۹	۴/۸۸	۰/۹۹۷	۰/۲	ابركوه
۰/۷۹	۵/۹۷	۰/۹۹۸	۰/۲	بافق
۰/۷۶	۵/۲۸	۰/۹۹۸	۰/۱۴	بهباباد
۰/۶۹	۵/۶۳	۰/۹۹۸	۰/۲۱	عقدا
۰/۸۴	۳/۶۰	۰/۹۹۶	۰/۲۱	گاریز
۰/۸۲	۳/۷۲	۰/۹۹۶	۰/۲۴	مهریز
۰/۷۷	۵/۳۴	۰/۹۹۸	۰/۲۱	میبدا
۰/۷۸	۴/۶۷	۰/۹۹۸	۰/۱۹	یزد
۰/۷۱	۴/۷۳	۰/۹۹۶	۰/۲۹	اردكان
۰/۷۰	۶/۴۳	۰/۹۹۹	۰/۱۹	ابراهیم آباد
۰/۴۹	۴/۱۰	۰/۹۹۴	۰/۳۴	چاه افضل
۰/۶۸	۶/۱۰	۰/۹۹۸	۰/۲۰	اشكذر
۰/۷۱	۳/۷۸	۰/۹۹۴	۰/۲۹	بهادران
۰/۷۰	۵/۱۳	۰/۹۹۹	۰/۱۴	ندوشن
۰/۶۳	۴/۱۲	۰/۹۹۳	۰/۳۷	چادرملو

نتایج این مطالعه با نتایج تحقیقات دهقان و علیزاده (۱۳۹۰) در استان خراسان رضوی، در صورتی که داده های تابش خالص و سرعت باد مفقود باشند، روش فائو-پنمن-مانتیث گزینه خوبی برای برآورد تبخیر و تعرق است، تطابق دارد.

اما برخلاف نتایج تحقیقات سنتووز و همکاران (۲۰۰۸) و ژابلون و سیلی (۲۰۰۸) می باشد. نتایج سنتووز نشان داد زمانی که داده تابش خالص مفقود باشد، روش فائو-پنمن-مانتیت گزینه مناسبی نیست و ضریب تجربی ارائه شده در معادله پیشنهادی آلن نیاز به واسنجی دارد. ژابلون و سهلی به این نتیجه دست یافتند که در صورت استفاده از داده‌های درجه حرارت برای محاسبه تابش خالص و جایگزینی آن در محاسبه تبخیر و تعرق، تبخیر و تعرق به دست آمده دقت قابل قبولی را با روش مرجع دارا نیست.

یافته‌ها

تعیین روشی که بتوان به وسیله آن با داده‌های ورودی کمتر، تبخیر و تعرق بالقوه را محاسبه کرد امری ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق، اثر تشعشع خالص از طریق مدل ارائه شده توسط آلن بر روی میزان تبخیر و تعرق بالقوه در روش فائو-پنمن-مانتیت در استان یزد محاسبه و نتایج این روش و پرستلی-تیلور با روش فائو-پنمن-مانتیت با داده‌های کامل بررسی و مقایسه گردید. نتایج این تحقیق نشان داد، زمانی که تنها داده تابش خالص مفقود باشد، روش فائو-پنمن-مانتیت با کمترین داده می‌تواند روش مناسبی برای برآورد تبخیر و تعرق بالقوه در استان یزد باشد. به طوری که این روش ضریب همبستگی بالای ۰/۹۷ و ریشه میانگین مربعات خطا کمتر از ۰/۳۷ میلیمتر در روز را در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه دارا است. ولی روش ساده پرستلی-تیلور که تنها نیاز به داده تابش دارد، دارای ضریب همبستگی کمتر و خطای بیشتری با روش مرجع است. بنابراین استفاده از مدل پیشنهادی آلن برای محاسبه تبخیر و تعرق در منطقه گرم و خشک استان یزد از دقت خوبی برخوردار است و استفاده از این مدل برای استان یزد توصیه می‌شود. پس می‌توان با استفاده از این مدل، در نقاطی که داده تابش خالص وجود ندارد، معادل آن را به دست آورده و با قرار دادن در رابطه فائو-پنمن-مانتیت، میزان تبخیر و تعرق بالقوه را در سطح استان به دست آورد.

سپاسگزاری

داده‌های مورد نیاز این تحقیق از سازمان هواشناسی کاربردی یزد و توسط آقای هرمزی تهیه گردیده، که بدین طریق از ایشان تشکر می‌شود.

منابع

- ۱- آلن، ریک جی . (۱۳۸۷). تبخیر و تعرق گیاهان (دستور العمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان). ترجمه وزیری، ژاله و همکاران. ترجمه و تدوین گروه کار استفاده پایدار از منابع آب برای تولید محصولات کشاورزی کمیته آبیاری و زهکشی ایران. چاپ (اول). ۱۳۸۷. تهران. ۳۶۲ ص.
- ۲- جعفری، محمد و طویلی، علی . (۱۳۸۹). احیای مناطق خشک و بیابانی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم، ۳۵۰ ص.
- ۳- حیدرنژاد، مریم، زارع ارنانی، محمد، و پاک پرور مجتبی، ۱۳۹۲، تعیین دقت مدل SEBS در تعیین تبخیر و تعرق واقعی در منطقه یزد، کاوش های جغرافیایی مناطق بیابانی، (۱)، ۱۶-۱ صص.
- ۴- خاکبازان فرد، فائزه، و تجریشی، مسعود . (۱۳۹۰). کاربرد الگوریتم بیلان انرژی (SUTSEBAL) در تخمین میزان آب مصرفی در دشت ورامین، ششمین کنگره مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ۹-۱ صص.
- ۵- دهقان، هادی و علیزاده، امین . (۱۳۹۱). ارزیابی و واسنجی روش های مختلف برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در شرایط محدودیت داده های آب و هواشناسی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶(۱)، ۲۵۰-۲۳۶ صص.
- ۶- رحیمی خوب، علی . (۱۳۸۵). بررسی استفاده از کمینه داده های هواشناسی در معادله پنمن ماتیت مطالعه موردی استان خوزستان، همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب، ۸-۱ صص.
- ۷- علیزاده، امین . (۱۳۸۱). اصول هیدرولوژی کاربردی، مشهد، انتشارات دانشگاه امام رضا، ۷۳۵ ص.
- ۸- علیزاده، امین، و کمالی، غلامعلی . (۱۳۸۶). نیاز آبی گیاهان در ایران، چاپ اول موسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، ۲۲۸ ص.
- ۹- علیزاده، امین، کمالی، غلامعلی، خانجانی، محمدجواد و رهنورد، محمدرضا . (۱۳۸۳). ارزیابی روش های برآورد تبخیر و تعرق در مناطق خشک ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، جلد ۱۹(۲)، ۱۰۵-۹۷ صص.
- ۱۰- هاشمی نیا، محمد . (۱۳۸۷). تبخیر، تبخیر و تعرق و داده های اقلیمی، نشر آموزش کشاورزی، ۲۴۲ ص.
- 11- Allen R.G, Pereira L.S, Raes D, and Smith M. 1998. Crop Evapotranspiration, Guide-lines for Computing Crop Water Requirements. FAO, Rome, Italy (FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56. 300 p.).
- 12- Bastiaanssen W, G., Menenti, M: Fedded, R, and Holtslag, A. 1998. "A remote sensing surface energy balance algorithm for land(SEBAL): 1.formulation". J. Hydrology 212- 2132, p. 198- 212.
- 13-Bernado,S. 1995. Manual irrigation. Federal university of Vicosa. 657p.
- 14-Gundekar, H. G., Khodke, U. M, & Sarkar, S. 2008. Evaluation of pan coefficient for reference crop evapotranspiration for semi-arid region. Irrigation Science 26:169-175.
- 15-Jabloun, M., and Sahli, A. 2008. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data application to Tunisia. FAO Agric Water Manage. 95: 707-715.
- 16- Jensen, M. E., Burman, R. D., & Allen, R. G. 1990. Evapoation and irrigation water requirements, American Society of Civil Engineering, Manual No. 70.
- 17- Michael D. Dukes, Consuelo C. Romero, Kati W. Migliaccio, and Kelly T. 2009. Step by Step Calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method). (Agricultural and Biological Engineering Department. AE459.10p.).

- 18- Pereira A.R., Sentelhas P.C., Folegatti M.V., Villa Nova N.A., Maggiotto S.R., and Pereira F.A.C. 2002. Substantiation of the daily FAO-56 reference evapotranspiration with data from automatic and conventional weather stations. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 10: 251–257.
- 19- Sentelhas P.C., Gillespie T.J., and Santos E.A. 2010. Evaluation of FAO Penman–Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. *Agricultural Water Management*, 97: 635–644.
- 20- Snyder, R. L., Orang, M., Matyac S., & Grismer ME. 2005. Simplified estimation of reference evapotranspiration from pan evaporation data in California. *J Irrigation Drain Engineering* 131(3):249–253.
- 21- Xing Z., Chow L., Meng F.R., Rees H.W., Stevens L., and Monteith J. 2008. Validating evapotranspiration equations using Bowen Ratio in New Brunswick. *Maritime Canada. Sensors*, 8: 412–42.

