Archive of SID



# ارزیابی و اصلاح مدل‌های والیانتز برای برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع در شرایط کمبود داده

هادی دهقان[۱]، مهدی مکاری[۲]

تاریخ ارسال:۱۳۹۷/۰۳/۲۶

تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/۰۶/۱۴

## چکیده

برآورد دقیق تبخیر- تعرق گیاه مرجع ($ET_o$) نقش بسزایی در بهبود مدیریت مصرف آب در مزرعه و برنامه‌ریزی آبیاری دارد. روش‌های مختلفی جهت برآورد $ET_o$ موجود می‌باشد. معتبرترین روش برآورد $ET_o$ مدل فائو-پنمن- مانتیث (FAO-PM) می‌باشد، اما این مدل به داده‌های ورودی زیادی نیاز دارد که در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی بخصوص در کشورهای در حال توسعه به طور کامل اندازه‌گیری نشده و یا داده‌های اندازه‌گیری شده دقت کافی ندارند. لذا محققین به سایر روش‌های تجربی با داده ورودی کمتر روی آورده‌اند. در این مطالعه ابتدا مقادیر روزانه $ET_o$ با استفاده از روش‌های تجربی پریستلی-تایلور، هارگریوز، روش پیشنهادی فائو در شرایط کمبود داده و دو شکل معادله والیانتز در ایستگاه سینوپتیک مشهد محاسبه و با مقادیر محاسبه شده با روش FAO-PM مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین در این مقاله با اصلاح دو شکل معادلات والیانتز مدل‌های جدیدی برای برآورد $ET_o$ در شرایط کمبود داده سرعت باد و همچنین سرعت باد و رطوبت نسبی ارائه شد. نتایج نشان داد در شرایط کمبود داده سرعت باد و رطوبت نسبی مدل والیانتز اصلاح شده در این مقاله نسبت به سایر روش‌ها بالاترین دقت را داشت، به طوری که مقدار شاخص‌های $R^2$، RMSE و MAE به ترتیب ۰/۸۵، ۱/۵۹ و ۱/۲۶ میلی‌متر در روز محاسبه گردیدند. همچنین نتایج نشان داد در شرایطی که در ایستگاه هواشناسی تنها داده دما موجود باشد، روش هارگریوز اصلاح شده بالاترین دقت را داشت.

**کلمات کلیدی: تبخیر- تعرق مرجع، پنمن- مانتیث، داده‌های محدود، والیانتز، پریستلی تایلور، هارگریوز**

۱- استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران، ۰۹۱۳۹۴۹۶۲۲۷، h.dehghan@kashmar.ac.ir (نویسنده مسئول)
۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران، ۰۹۳۹۸۸۲۱۹۶۰، mehdimokari@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

## مقدمه

بخش کشاورزی با سهم ۸/۳ درصدی از تولید ناخالص داخلی و سهم ۱۸ درصدی از کل شاغلان کشور از اهمیت ویژه‌ای در اقتصاد ایران برخوردار است و یکی از بخش‌های کلیدی در اقتصاد کشور محسوب می‌شود (نوروزی، ۱۳۹۶). از طرفی این بخش عمده‌ترین مصرف‌کننده آب کشور نیز می‌باشد. با توجه به تغییرات اقلیمی، رقابت شدید بین بخش‌های مختلف مصرف‌کننده آب و در نتیجه کاهش سهم بخش کشاورزی از منابع تجدیدپذیر، مدیریت مصرف آب در کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است.

یکی از مهم‌ترین روش‌های بهبود مدیریت مصرف آب در مزرعه، برنامه‌ریزی دقیق آبیاری است. برنامه‌ریزی آبیاری شامل فرآیندهای پیش‌بینی زمان و مقدار آبیاری است و نقش مهمی در برنامه‌ریزی‌های آینده در کشاورزی، به ویژه در کشورهای در حال توسعه ایفا می‌کند و می‌تواند به روش‌های مختلف انجام شود. یکی از متداول‌ترین روش-ها، استفاده از نیاز آبی برآورد شده گیاه براساس محاسبه تبخیر- تعرق مرجع است (توکلی و همکاران، ۱۳۹۲).

معتبرترین روش تعیین تبخیر- تعرق گیاه مرجع، استفاده از لایسیمتر است. به طوری که دقت سایر روش‌ها با آن سنجیده می‌شود. در شرایط عدم دسترسی به داده‌های لایسیمتری، نتایج پژوهشگران مختلف حاکی از آن است که روش فائو- پنمن- مانتیث بهترین روش محاسبه تبخیر- تعرق می‌باشد. اهمیت و مقبولیت این روش تا اندازه‌ای است که در اقلیم‌های گوناگون، دقت سایر روش‌ها را نسبت به آن می‌سنجند. سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد (FAO) نیز پس از تحلیل روش‌های مختلف، معادله فائو- پنمن- مانتیث را به عنوان روش استاندارد تعیین تبخیر- تعرق گیاه مرجع پیشنهاد نموده است. در طول نیم قرن گذشته، معادلات تجربی یا فیزیکی بسیاری جهت برآورد تبخیر-تعرق مرجع در نواحی اقلیمی مختلف جهان توسعه داده شده‌اند. در بیشتر مطالعات روش فائو پنمن مانتیث به عنوان روش استاندارد جهت ارزیابی و واسنجی سایر روش‌ها مورد استفاده قرارگرفته است. اشکال اصلی معادله فائو پنمن مانتیث نیاز به ورودی‌های زیاد هواشناسی است. برای حل این مشکل Allen et al. (1998) روش‌هایی را برای تخمین متغیرهای اقلیمی مفقود مانند تابش خورشیدی، کمبود فشار بخار و سرعت باد در نشریه شماره ۵۶ فائو پیشنهاد کردند. براساس این روش مطالعاتی در اقلیم‌های مختلف جهت ارزیابی معادله پنمن مانتیث تحت شرایط کمبود داده انجام شده است. به عنوان مثال دهقان و علیزاده (۱۳۹۱) روش‌های مختلف برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع در شرایط محدودیت داده‌های اقلیمی در استان خراسان رضوی را ارزیابی و واسنجی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد وقتی که داده‌های تابش خورشیدی و سرعت باد مفقود باشند، روش FAO-PM گزینه خوبی برای برآورد تبخیر- تعرق مرجع ماهانه در استان خراسان رضوی می‌باشد. همچنین ارزیابی روش فائو- پنمن- مانتیث با داده‌های مفقود توسط Popova et al. (2006) برای بلغارستان، Jabloun and Sahli (2008)در تونس و Sentelhas et al. (2010) در کانادا نیز انجام شده است.

Tomas et al. (2017) دقت برآوردهای تبخیر تعرق مرجع ($ET_o$) تحت سناریوهای کمبود داده را در شبه جزیره ایبری بررسی کردند. داده‌های هواشناسی مفقود با استفاده از دو سناریوی درون‌یابی (PM-IC) و دستورالعمل ارائه شده توسط فائو ۵۶ (PM-R) برآورد گردیدند. همچنین روش هارگریوز و سامانی (HS) نیز مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش PM-IC بهترین عملکرد را در مقایسه با سایر روش‌ها داراست.

با توجه به اهمیت برآورد دقیق تبخیر-تعرق گیاه مرجع با روش پنمن- مانتیث در شرایط کمبود داده، Valiantzas (2013) روش‌های برآورد ساده‌ای با عملکرد خوب و دقیق برای وقتی که داده‌های موجود خیلی محدود باشند، ارائه داد. Djman et al. (2016) ، Valipour (2015) و Kisi (2013) عملکرد مدل‌های ارائه شده توسط Valiantzas را تست و بررسی کردند.

Kisi (2013) روش‌های مختلف تجربی برآورد تبخیر- تعرق مرجع روزانه را در اقلیم مدیترانه‌ای بررسی کرد. نتایج نشان داد عملکرد معادله Valiantzas با ورودی کامل هواشناسی، بهتر از دیگر روش‌های تجربی می‌باشد. بدترین برآورد عموماً از معادله Turc به دست آمد.

www.SID.ir

Archive of SID



Valipour (2015) معادلات والیانتز را در گستره اقلیمی ایران مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که این معادلات برای اکثر استان‌های ایران مناسب می‌باشند. Valiantzas 1 (T, Rs, RH, u) برای مرکز و جنوب ایران، Valiantzas 2 (T, Rs, RH, u) برای غرب، شرق و شمال ایران مناسب‌تر است. علاوه بر این، در میان روش‌های برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع در شرایط محدودیت داده، مدل Valiantzas 2 (T, Rs, RH) بهترین روش (۱۸ استان) است.

Djaman et al. (2016 a) در مطالعه‌ای به بررسی برآورد تبخیر تعرق گیاه مرجع روزانه تحت داده‌های محدود در شرق آفریقا پرداختند. نتایج نشان داد در شرایط کاربرد معادله فائو- پنمن- مانتیث تحت داده‌های مفقود تابش خورشیدی (Rs)، رطوبت نسبی (RH)، سرعت باد (U2)، شیب خط رگرسیون به ترتیب از ۰/۶۸ تا ۰/۸۹، ۰/۷۹ تا ۱، ۰/۷۹ تا ۰/۹۶، متغیر است، تحت شرایط فقدان داده رطوبت نسبی، روش ساده شده تخمین‌های دقیقی از $ET_o$ ارائه می‌کند. معادله Valiantzas با داده‌های کامل هواشناسی بیشترین دقت را در شرایط اقلیمی شرق آفریقا نشان داد.

Djaman et al. (2016 b) در مطالعه دیگری به ارزیابی مدل فائو- پنمن- مانتیث و مدل‌های Valiantzas برای محاسبه تبخیر- تعرق مرجع چمن در شرایط ساحلی با داده‌های محدود پرداختند. نتایج نشان داد زمانی که داده‌های تابش خورشیدی موجود نباشد، برآورد تابش خورشیدی از داده‌های درجه حرارت روزانه حداکثر و حداقل، برآوردهای دقیقی از $ET_o$ تولید می‌کند. در مورد داده‌های سرعت باد، روش استفاده از متوسط سرعت باد در مقایسه با پیش فرض ارائه شده ۲ متر بر ثانیه، بهترین برآورد را نشان داد. معادله Valiantzas که از داده‌های دمای هوا و رطوبت نسبی استفاده می‌کند، مناسب نبوده و برای استفاده در شرایط آب و هوایی بورکینافاسو توصیه نمی‌شود.

Djaman et al. (2017) فرم‌های ساده شده Valiantzas از مدل تبخیر-تعرق مرجع فائو ۵۶ پنمن-مانتیث در شرایط اقلیمی مرطوب ارزیابی کردند. عملکرد روش FAO-PM با داده رطوبت نسبی مفقود در کل اوگاندا بسیار خوب می‌باشد، درحالی‌که استفاده از مقادیر سرعت باد متوسط طولانی‌مدت محلی در ایستگاه با داده مفقود سرعت باد در برآورد $ET_o$ نتایج مطلوبی نداشت. عملکرد معادلات Valiantzas بستگی به اطلاعات مورد نیاز داشت، هر چقدر تعداد ورودی‌های مدل بیشتر می‌باشد به تناسب آن دقت برآورد $ET_o$ نیز افزایش می‌یابد.

Ahooghalandari et al. (2017) معادلات Valiantzas را در منطقه Pilbara استرالیا واسنجی کردند. نتایج نشان داد ضریب تعیین ($R^2$) برای روش‌های Valiantzas 1 , 2 (Rs, T, RH)، Copais (Rs, T, RH) در فرم‌های اصلی آن‌ها بیشتر از سایر روش‌ها است. با کالیبراسیون معادلات Valiantzas 1 , 2 (Rs, T, RH) و Valiantzas 3 (Rs, T, $T_{min}$) با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی MHBMO برآوردهای $ET_o$ را با ضرایب تبیین ۰/۹۵، ۰/۹۲۷ و ۰/۹ بهبود پیدا کرد.

به طور کلی، داده‌های مورد نیاز برای تخمین تبخیر-تعرق مرجع شامل دمای هوا، سرعت باد، تابش خورشیدی و رطوبت نسبی هستند. در بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایران، ایستگاه‌های هواشناسی که به طور کامل همه پارامترهای هواشناسی برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع را ثبت کنند، کم می‌باشند. از طرفی در همین ایستگاه‌های محدود نیز ممکن است اطلاعات برداشت شده از دقت کافی برخوردار نباشند. همچنین ممکن است در منطقه مورد مطالعه ایستگاه‌های موجود باشند که همه داده‌های هواشناسی در آنها ثبت نگردد. لذا در چنین شرایطی استفاده و کاربرد مدل‌های برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع با دقت بالا، نقش مهمی در مدیریت منابع آب دارد. در این مطالعه ابتدا مدل‌های فائو-پنمن-مانتیث (FAO-PM)، والیانتز (Valiantzas)، پریستلی- تایلور (Priestley and Taylor) و هاگریوز (Hargreaves) با استفاده از داده‌های روزانه ایستگاه سینوپتیک مشهد در شرایط کمبود داده مورد ارزیابی قرار گرفت. در مرحله بعد مدل‌های والیانتز (Valiantzas) با کاربرد فاکتور دمای مؤثر اصلاح شدند.

www.SID.ir

Archive of SID

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی مدل‌های مختلف برآورد $ET_o$ از داده‌های روزانه ایستگاه سینوپتیک مشهد در استان خراسان رضوی (طول جغرافیایی E ۳۸ ′ ۵۹ °، عرض جغرافیایی ۱۶N ′ ۳۶ ° و ارتفاع ۹۹۹/۲ متر از سطح دریا) که در اقلیم نیمه‌خشک (روش دومارتن) واقع شده است، استفاده گردید. داده‌های مورد استفاده شامل دمای حداکثر ($T_{max}$)، دمای حداقل ($T_{min}$)، رطوبت نسبی حداقل ($RH_{min}$)، رطوبت نسبی حداکثر ($RH_{max}$)، ساعات آفتابی (n) و سرعت باد در ارتفاع ۲ متری بر حسب متر بر ثانیه ($U_2$) به صورت روزانه از ابتدای سال ۱۹۹۶ میلادی تا پایان ۲۰۰۸ (۱۳ سال) می‌باشند.

### روش‌های محاسبه $ET_o$

برای محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع از روش‌های زیر به دلیل پذیرش گسترده در بسیاری از مناطق استفاده شد.

### روش فائو- پنمن- مانتیث (FAO-PM)

این روش به عنوان روش استاندارد و دقیق‌ترین روش محاسبه تبخیر-تعرق می‌باشد (Allen et al., 1998). معادله این روش به صورت زیر می‌باشند:

$$ET_o = \frac{0.408\,\Delta(R_n - G) + \gamma[890/(T+273)]U_2(e_a - e_s)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\,U_2)} \qquad (۱)$$

که در آن:

$ET_o =$ 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 ($^oC$)، $U_2 =$ سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین ($ms^{-1}$)، $e_a - e_s =$ کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (KPa)، $\Delta =$ شیب منحنی فشار بخار ($kPa\,^oC^{-1}$)، $\gamma =$ ضریب رطوبتی ($kPa\,^oC^{-1}$)، $G =$ شار گرما به داخل خاک ($MJm^{-2}d^{-1}$) می‌باشند. برای به دست آوردن اجزای معادله فائو- پنمن- مانتیث مطابق دستورالعمل ارائه شده توسط Allen et al., (1998) عمل شد.

### روش پریستلی-تایلور (P-T)

این روش براساس روش پنمن ساده‌سازی شده است و جز آیرودینامیکی معادله پنمن با یک ضریب تجربی جایگزین می‌شود که به پارامتر پریستلی-تایلور معروف است (Priestley and Taylor, 1972):

$$ET_o = 1.26\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}\left(\frac{R_n - G}{\lambda}\right) \qquad (۲)$$

همه اجزای معادله بالا در قسمت قبلی توضیح داده شد. پارامتر پریستلی- تایلور (۱/۲۶) به عوامل مختلفی از جمله نوع پوشش گیاهی، شرایط رطوبتی خاک و پدیده ادوکتیو (انتقال افقی حرارت) بستگی دارد (Priestley and Taylor, 1972, Suleiman and Hoogenboom, 2007). در این مطالعه ضریب مذکور به طور محلی واسنجی گردید.

### روش هارگریوز (HA)

این روش $ET_o$ را با استفاده از داده‌های درجه حرارت حداقل و حداکثر تخمین می‌زند (Hargreaves and Samani, 1985) و به صورت زیر می‌باشد:

$$ET_o = C_0\,R_a'\,(T_{max} - T_{min})^{0.5}(T + 17.8) \qquad (۳)$$

در این معادله $Ra'$ تابش فرازمینی بر حسب میلی‌متر در روز و $C_0$ ضریب تبدیل (۰/۰۰۲۳) می‌باشد که در این مطالعه این ضریب واسنجی شده است.

### روش‌های والیانتز

Valiantzas (2013) معادله ساده شده زیر را برای محاسبه $ET_o$ در شرایطی که داده‌های سرعت باد در دسترس نباشند ارائه داد:

$$ET_o \approx 0.0393R_s\sqrt{T+9.5} - 0.19Rs^{0.6}\varphi^{0.15} + 0.078(T+20)\left(1 - \frac{RH}{100}\right) \qquad (۴)$$

www.SID.ir

Archive of SID



همچنین Valiantzas (2013) معادله ساده شده زیر را برای محاسبه $ET_o$ در شرایطی که داده‌های سرعت باد و رطوبت نسبی در دسترس نباشند ارائه داد:

$$ET_o \approx 0.0393 R_s \sqrt{T+9.5} - 0.19 Rs^{0.6} \varphi^{0.15} + 0.0061(T+20)(1.12T - T\min - 2)^{0.7} \quad (۵)$$

Kisi (2013) نشان داد اگر در معادله ۵ عبارت (1.12T-Tmin) کمتر از ۲ باشد، معادله مذکور قابل کاربرد نیست، لذا معادله زیر را به جای معادله ۵ پیشنهاد کرد:

$$ET_o = 0.0393 R_s \sqrt{T+9.5} - 0.19 R_s^{0.6} \varphi^{0.15} + 0.0061(T+20)(1.12T - T_{\min} - 2)^{0.7} \quad (۶)$$

در معادلات ۴ تا ۶، $R_S$ تابش خورشیدی روزانه، T میانگین دمای روزانه، $\varphi$ عرض جغرافیایی (رادیان)، RH میانگین رطوبت نسبی روزانه، $T_{min}$ حداقل دمای روزانه می‌باشند.

## روش‌های جایگزین برای تخمین داده‌های اقلیمی

استفاده از معادله فائو- پنمن- مانتیث زمانی که همه داده‌های هواشناسی به طور کامل باشند، امکان‌پذیر می‌باشد. از طرفی Allen et al. (1998) نشان دادند که این روش را می‌توان در شرایط محدودیت داده‌های اقلیمی، از طریق برآورد داده‌های غیرموجود استفاده کرد.
در مورد داده‌های مفقود تابش خورشیدی با استفاده از داده‌های درجه حرارت حداقل و حداکثر و تابش فرازمینی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R_s = K_{Rs} \sqrt{T_{\max} - T_{\min}} R_a \quad (۷)$$

که در آن $K_{Rs}$ ضریب تجربی است که مقدار آن بین ۰/۱۶ تا ۰/۱۹ می‌باشد. در این مطالعه مقدار این ضریب ۰/۱۶ در نظر گرفته شده است (Sentelhas et al., 2010).

وقتی که داده‌های سرعت باد موجود نباشند بر طبق دستورالعمل ارائه شده توسط Allen et al. (1998) بهترین روش استفاده از داده‌های سرعت باد نزدیک‌ترین ایستگاه مورد نظر در منطقه می‌باشد. از طرفی اثر سرعت باد بر $ET_o$ نسبتاً کم (به جز مناطق بسیار خشک و بادخیز) بوده و این فرض توسط محققین نیز پذیرفته شده است (Popova et al., 2006). در این مطالعه، از داده‌های سرعت باد میانگین ایستگاه و همچنین پیش‌فرض ۲ متر بر ثانیه، برای مقایسه مدل‌ها استفاده شده است.

زمانی که داده‌های رطوبت هوا موجود نباشند، کمبود فشار بخار $(e_s - e_a)$ را می‌توان از داده‌های درجه حرارت تخمین زد. فشار بخار واقعی با فرض مساوی بودن دمای نقطه شبنم با دمای حداقل از معادله زیر به دست می‌آید:

$$e_a = 0.611 \exp\left(\frac{17.27\, T_{\min}}{T_{\min} + 237.3}\right) \quad (۸)$$

## آنالیز داده‌ها

این پژوهش در دو مرحله انجام شد. در مرحله اول مقایسه روش‌های برآورد $ET_o$ در کل دوره آماری انجام شد. در مرحله دوم ابتدا برای ۸۰ درصد ابتدایی داده‌ها (از ابتدای ۱۹۹۶ تا پایان ۲۰۰۵ ) مدل‌ها واسنجی شدند و برای ۲۰ درصد انتهایی (از ابتدای ۲۰۰۶ تا پایان ۲۰۰۸) ارزیابی گردیدند (Li et al., 2010). نتایج $ET_o$ تخمین زده شده با روش FAO PM با داده‌های مفقود ذکر شده در بالا با $ET_o$ تخمین زده شده با مجموعه کامل داده‌ها مقایسه شد. به طور مشابه $ET_o$ تخمین زده با روش‌های جایگزین و روش FAO-PM نیز مقایسه گردید. در این مطالعه روش‌های تجربی نیز برای هر ایستگاه از واسنجی پارامترهای تجربی اصلاح گردید و با روش FAO-PM مقایسه شد. واسنجی روش‌های مختلف از طریق حداقل کردن خطا بین تبخیر-تعرق تخمین زده شده و محاسبه شده با روش FAO-PM و همچنین مساوی بودن شیب خط رگرسیون با یک انجام شد. عملکرد هر یک از روش‌ها از طریق آنالیز رگرسیونی و با در نظر گرفتن عرض از مبدأ خط رگرسیون برابر با صفر (a=0)، تجزیه و تحلیل شدند. از شیب خط رگرسیون (b) و ضریب تعیین ($R^2$) برای دقت اندازه‌گیری‌ها استفاده گردید. بهترین حالت زمانی می‌باشد که شیب خط رگرسیون و ضریب تبیین برابر ۱ باشند. برای مقایسه و ارزیابی هر یک از روش‌ها با روش FAO-PM از شاخص‌های آماری ضریب تعیین ($R^2$)، میانگین مجذور

www.SID.ir

Archive of SID

مربعات خطا (RMSE) و میانگین مطلق خطا (MAE) با روابط زیر استفاده شده است:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(ETo_{FAO-PM} - ETo_{FAO-PM-AVE})^2}{\sum_{i=1}^{n}(ETo_{est} - ETo_{FAO-PM-AVE})^2} \qquad (۹)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(ETo_{est} - ETo_{FAO-PM})^2} \qquad (۱۰)$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|ETo_{est} - ETo_{FAO-PM}\right| \qquad (۱۱)$$

در معادلات بالا $ETo_{FAO-PM}$ تبخیر- تعرق برآورد شده با روش فائو- پنمن- مانتیث، $ETo_{FAO-PM-AVE}$ متوسط تبخیر- تعرق برآورد شده با روش فائو- پنمن- مانتیث و $ETo_{est}$ تبخیر- تعرق برآورد شده با روش‌های تجربی می‌باشد.

## نتایج و بحث

در جدول ۱ برخی از پارامترهای آماری داده‌های مورد استفاده در طول دوره آماری ارائه شده است. همچنین اثر هر کدام از متغیرهای هواشناسی بر تبخیر-تعرق مرجع محاسبه شده با روش FAO-PM نیز ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد دمای حداکثر و حداقل نسبت به سایر پارامترها بیشترین همبستگی را با تبخیر-تعرق گیاه مرجع دارد. ضریب تبیین ($R^2$) بین برآوردهای $ET_o$ روزانه و متغیرهای اقلیمی برای دمای حداکثر ($R^2$=0.86) بیشترین مقدار و برای سرعت باد در ارتفاع دو متری ($R^2$=0.34) کمترین مقدار بود.

**جدول (۱): برخی از پارامترهای آماری داده‌های مورد استفاده در طول دوره آماری**

| پارامتر | دمای حداکثر | دمای حداقل | رطوبت نسبی حداقل | رطوبت نسبی حداکثر | ساعات آفتابی | سرعت باد |
|---|---|---|---|---|---|---|
| حداکثر | ۴۳/۸ | ۲۷/۴ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۴ | ۳۴/۷۸ |
| حداقل | -۹ | -۲۱ | ۰/۸ | ۱۲ | ۰ | ۰ |
| میانگین | ۲۲/۳۳ | ۹/۲۶ | ۳۲/۲۸ | ۷۲/۵۶ | ۸/۱۸ | ۴/۴۸ |
| ضریب تبیین | ۰/۸۶ | ۰/۷۹ | ۰/۴۵ | ۰/۶۹ | ۰/۵۷ | ۰/۳۴ |

### مقایسه مدل‌های برآورد $ET_o$ در دوره واسنجی

برای ارزیابی و واسنجی مدل‌های مختلف به کار برده شده در این پژوهش، مجموعه داده‌های روزانه به دو قسمت تقسیم شد. ۸۰ درصد سالهای ابتدایی جهت واسنجی مدل-ها و ۲۰ درصد انتهایی جهت ارزیابی مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. مدل‌های واسنجی شده شامل مدل‌های والیانتز در شرایط کمبود داده (معادلات ۴ و ۵)، پریستلی- تایلور (معادله ۲) و هارگریوز (معادله ۳) می‌باشند.

محققین مختلفی برای اصلاح مدل‌های والیانتز پیشنهادهایی ارائه کرده‌اند. به عنوان مثال Kisi (2013) نشان داد اگر در معادله ۵ عبارت (1.12T-Tmin) کمتر از ۲ باشد، معادله مذکور قابل کاربرد نیست، لذا پیشنهاد کرد قبل از استفاده از عبارت (1.12T-Tmin-2) در معادله ۵ قدر مطلق گرفته شود. همچنین Ahooghalandari et al. (2017) پیشنهاد کرد قبل از استفاده از معادلات والیانتز، برای هر معادله سه ضریب واسنجی تعریف گردد و این ضرایب با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی MHBMO واسنجی گردند. با این حال، در این مطالعه روش جدیدی برای اصلاح مدل‌های والیانتز پیشنهاد شده است. بدین ترتیب در معادلات ۴ و ۵ به جای پارامتر دمای متوسط از فاکتور دمای مؤثر با رابطه زیر که توسط Camargo et al. (1999) پیشنهاد شده است، استفاده گردید:

$$T_{eff} = \beta(3T\max - T\min) \qquad (۱۲)$$

در این معادله $T_{max}$ و $T_{min}$ به ترتیب حداکثر و حداقل دمای روزانه و $\beta$ پارامتر کامارگو می‌باشد که مقدار آن ۰/۳۶ پیشنهاد شده است. در معادلات والیانتز ضریب $\beta$ با کاربرد فاکتور دمای مؤثر از طریق حداقل کردن خطا بین تبخیر-تعرق تخمین زده شده و محاسبه شده با روش FAO-PM و همچنین مساوی بودن شیب خط رگرسیون

www.SID.ir

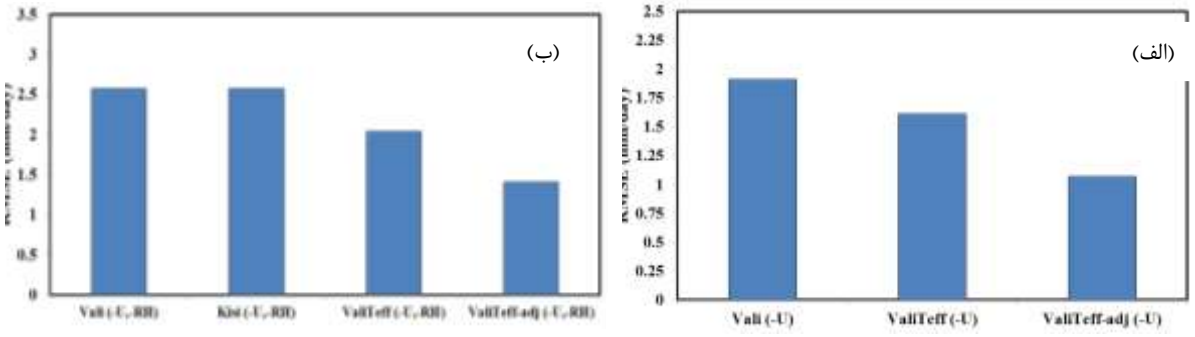
Archive of SID



با یک انجام شد. همچنین ضرایب تجربی معادلات هارگریوز (۰/۰۰۲۳) و پریستلی- تایلور (۱/۲۶) مورد واسنجی قرار گرفتند. با محاسبه شاخص‌های آماری بدون عمل واسنجی و با عمل واسنجی، میزان واسنجی بر کارایی معادلات تبخیر تعرق مرجع محاسبه شده است (جدول ۲ و شکل ۱).

با توجه به نتایج جدول ۲ در شرایط کمبود داده سرعت باد، شیب خط در مدل والیانتز در فرم اصلی از ۱/۳۵ به ۱/۲۲ و با واسنجی ضریب $\beta$ به ۱/۰۰ رسیده است. مقدار ضریب $\beta$ در این حالت ۰/۵۲۷ محاسبه گردید. همچنین مقدار MAE از ۱/۴۲ میلی‌متر در روز به ۰/۸۲ میلی‌متر در روز کاهش یافته است. همانطور که در شکل ۱- الف نیز نشان داده شده است مقدار RMSE در فرم اصلی از ۱/۹۱ میلی‌متر در روز به ۱/۶۱ میلی‌متر در روز و با واسنجی ضریب $\beta$ به ۱/۰۷ میلی‌متر در روز کاهش یافته است. این نتایج نشان می‌دهد در شرایط کمبود داده سرعت باد عملکرد مدل والیانتز به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است، گرچه باز هم دقت آن در مقایسه با مدل FAO-PM با در نظر گرفتن متوسط سرعت باد در ایستگاه، کمتر می‌باشد.

نتایج مقایسه مدل‌های دو پارامتری (با ورودی دما و ساعات آفتابی) نشان داد مدل والیانتز پس از واسنجی بالاترین عملکرد را داشت. به طوری که مقدار شیب خط در مدل والیانتز در فرم اصلی از ۱/۵۶ به ۱/۲۷ و با واسنجی ضریب $\beta$ به ۱/۰۰ رسیده است. همچنین مقدار MAE از ۱/۹۹ میلی‌متر در روز به ۱/۱۳ میلی‌متر در روز کاهش یافته است. با توجه به شکل ۱- ب اختلاف خاصی بین مدل‌های والیانتز و Kisi در این سناریو مشاهده نشد؛ اما با کاربرد فاکتور دمای مؤثر مقدار RMSE از ۲/۵۷ میلی‌متر در روز به ۲/۰۴ میلی‌متر در روز و با واسنجی ضریب $\beta$ به ۱/۴۱ میلی‌متر در روز کاهش یافته است. مقدار ضریب $\beta$ در این حالت ۰/۴۶۱ محاسبه گردید. با واسنجی مدل پریستلی- تایلور مقدار RMSE از ۳/۲۱ به ۱/۴۸ میلی‌متر در روز و مقدار MAE از ۲/۵۵ به ۱/۱۳ میلی‌متر در روز کاهش یافته است. مقدار ضریب معادله پریستلی- تایلور اصلاح شده ۲/۲۴ محاسبه گردید.




**شکل (۱): ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای تخمین تبخیر- تعرق مرجع با استفاده از روش‌های والیانتز و Kisi در دوره واسنجی الف) داده غیرموجود سرعت باد ب) داده غیرموجود سرعت باد و رطوبت نسبی**

* Vali (-U): معادله اصلی والیانتز با داده مفقود سرعت باد، Vali Teff (-U): معادله اصلاح شده والیانتز با داده مفقود سرعت باد ($\beta = 0.36$)، Vali Teff-adj (-U): معادله اصلاح شده والیانتز با داده مفقود سرعت باد ($\beta = 0.527$)، Vali (-U,-RH): معادله اصلی والیانتز با داده مفقود سرعت باد و رطوبت نسبی، Kisi (-U,-RH): معادله Kisi با داده مفقود سرعت باد و رطوبت نسبی، Vali Teff (-U,-RH): معادله اصلاح شده والیانتز با داده مفقود سرعت باد و رطوبت نسبی ($\beta = 0.36$)، Vali Teff-adj (-U,-RH): معادله اصلاح شده والیانتز با داده مفقود سرعت باد و رطوبت نسبی ($\beta = 0.461$)

نتایج مقایسه مدل‌های تک پارامتری (با ورودی داده دمای هوا) در دوره واسنجی نشان داد که دقت روش هارگریوز اصلاح شده بالاتر از روش FAO-PM می‌باشد. مقادیر RMSE و MAE در روش هارگریوز اصلاح شده به ترتیب ۱/۰۸ و ۰/۸۱ میلی‌متر در روز می‌باشند، در حالی که مقادیر شاخص‌های مذکور در روش FAO-PM به

www.SID.ir

Archive of SID

ترتیب ۲/۰۲ و ۱/۴۰ میلی‌متر در روز می‌باشند. این نتایج نشان می‌دهد با واسنجی معادله هارگریوز دقت این معادله از روش FAO-PM در شرایط کمبود داده بالاتر است.

مقدار ضریب معادله هارگریوز اصلاح شده ۰/۰۰۱۴۲۵ محاسبه گردید.

**جدول (۲): مقایسه مدل‌های برآورد $ET_o$ در شرایط کمبود داده با روش FAO PM با داده‌های کامل هواشناسی (دوره واسنجی)**

| مدل | b | $R^2$ | RMSE (mm/day) | MAE (mm/day) |
|---|---|---|---|---|
| $ET_o$ (-U), U=2 m/s | ۱/۴۲ | ۰/۹۴ | ۲/۱۱ | ۱/۵۲ |
| $ET_o$ (-U), U= $U_{avg}$ | ۱/۰۵ | ۰/۹۴ | ۰/۹۲ | ۰/۶۳ |
| Vali (-U) | ۱/۳۵ | ۰/۹۴ | ۱/۹۱ | ۱/۴۲ |
| $Vali_{Teff}$ (-U) | ۱/۲۲ | ۰/۹۱ | ۱/۶۱ | ۱/۱۴ |
| $Vali_{Teff\text{-}adj}$ (-U) | ۱/۰۰ | ۰/۹۱ | ۱/۰۷ | ۰/۸۲ |
| $ET_o$ (-U,-RH) | ۱/۳۰ | ۰/۹۰ | ۱/۸۷ | ۱/۳۳ |
| Vali (-U,-RH) | ۱/۵۶ | ۰/۹۲ | ۲/۵۷ | ۱/۹۹ |
| Kisi (-U,-RH) | ۱/۵۶ | ۰/۹۲ | ۲/۵۷ | ۱/۹۹ |
| $Vali_{Teff}$ (-U,-RH) | ۱/۲۷ | ۰/۸۳ | ۲/۰۴ | ۱/۴۸ |
| $Vali_{Teff\text{-}adj}$ (-U,-RH) | ۱/۰۰ | ۰/۸۵ | ۱/۴۱ | ۱/۱۳ |
| PT (-U,-RH) | ۱/۷۹ | ۰/۸۳ | ۳/۲۱ | ۲/۵۵ |
| $PT_{adj}$ (-U,-RH) | ۱/۰۰ | ۰/۸۳ | ۱/۴۸ | ۱/۱۳ |
| $ET_o$ (-Rs,-U,- RH) | ۱/۳۲ | ۰/۸۷ | ۲/۰۲ | ۱/۴۰ |
| HA (-Rs,-U,- RH) | ۰/۶۲ | ۰/۹۱ | ۴/۱۱ | ۳/۵۵ |
| $HA_{adj}$ (-Rs,-U,- RH) | ۱/۰۰ | ۰/۹۱ | ۱/۰۸ | ۰/۸۱ |

*$ET_o$ (-U): معادله FAO PM با داده مفقود سرعت باد (U=2 m/s)، $ET_o$ (-U): معادله FAO PM با داده مفقود سرعت باد (U= $U_{avg}$)، Vali (-U): معادله اصلی والیانتز با داده مفقود سرعت باد، Vali Teff (-U): معادله اصلاح شده والیانتز با داده مفقود سرعت باد ( $\beta = 0.36$ )، Vali Teff-adj (-U): معادله اصلاح شده والیانتز با داده مفقود سرعت باد ( $\beta = 0.527$ )،$ET_o$ (-U,-RH) : معادله FAO PM با داده مفقود سرعت باد و رطوبت نسبی (U= $U_{avg}$)، Vali (-U,-RH): معادله اصلی والیانتز با داده مفقود سرعت باد و رطوبت نسبی، Kisi (-U,-RH): معادله Kisi با داده مفقود سرعت باد و رطوبت نسبی، Vali Teff (-U,-RH): معادله اصلاح شده والیانتز با داده مفقود سرعت باد و رطوبت نسبی ( $\beta = 0.36$ )، Vali Teff-adj (-U,-RH): معادله اصلاح شده والیانتز با داده مفقود سرعت باد و رطوبت نسبی ( $\beta = 0.461$ )،PT: معادله پریستلی- تایلور، $PT_{adj}$: معادله پریستلی- تایلور اصلاح شده، $ET_o$ (-Rs,-U,-RH): معادله FAO PM با داده مفقود تابش خورشیدی، سرعت باد و رطوبت نسبی (U= $U_{avg}$)، HA: معادله هارگریوز، $HA_{adj}$: معادله هارگریوز اصلاح شده

## مقایسه مدل‌های برآورد $ET_o$ در دوره ارزیابی

همانگونه که قبلاً ذکر گردید ۲۰ درصد سال‌های انتهایی جهت ارزیابی مدل‌های کالیبره شده مورد استفاده قرار گرفت. نتایج در جدول ۳ ارائه شده است.

با توجه به نتایج جدول ۳ در گروه اول در شرایط کمبود داده سرعت باد، مدل FAO PM با در نظر گرفتن متوسط سرعت باد در ایستگاه، بالاترین دقت را داشت، به طوری که مقدار شاخص‌های RMSE و MAE به ترتیب ۱/۰۲ و ۰/۷۵ میلی‌متر در روز می‌باشند. این نتایج با مطالعات Djaman et al. (2016 b) و دهقان و علیزاده (۱۳۹۱) همخوانی دارد. مدل والیانتز اصلاح شده در این سناریو در جایگاه دوم قرار گرفت. همچنین در شکل ۲- الف نتایج محاسبه RMSE در مدل والیانتز به فرم اصلی، والیانتز با کاربرد دمای مؤثر و والیانتز با واسنجی دمای مؤثر نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد با اصلاح معادله والیانتز مقدار RMSE به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است، به طوری که مقدار RMSE در فرم اصلی ۲/۰۴ میلی‌متر در روز، والیانتز با کاربرد دمای مؤثر ۱/۷۸ میلی‌متر در روز و والیانتز با واسنجی دمای مؤثر ۱/۱۷ میلی‌متر در روز می‌باشد (شکل ۲- الف).

در گروه دوم که مبتنی بر پارامترهای ورودی دما و ساعات آفتابی (تابش خورشیدی) می‌باشند، بهترین مدل برای تخمین $ET_o$ مدل واسنجی شده والیانتز می‌باشد که دارای MAE برابر با ۱/۲۶ میلی‌متر در روز است. در شکل

www.SID.ir

Archive of SID



۲- ب نیز نتایج محاسبه RMSE در مدل‌های والیانتز و Kisi نشان داده شده است. مشابه با مدل قبلی در این سناریو نیز با واسنجی معادله والیانتز مقدار RMSE به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است، به طوری که مقدار آن در فرم اصلی ۲/۹۶ میلی‌متر در روز و در فرم واسنجی شده ۱/۵۹ میلی‌متر در روز می‌باشد. بعد از مدل والیانتز معادله پریستلی- تایلور اصلاح شده با MAE ۱/۲۹ میلی‌متر در روز بالاترین دقت را داشت. این نتایج نشان می‌دهد دقت معادلات واسنجی شده (والیانتز و پریستلی- تایلور) بیشتر از مدل FAO PM در شرایط کمبود داده می‌باشد. در گروه سوم که معادلات آن نیازمند داده‌های دمای روزانه می‌باشند، مدل هارگریوز اصلاح شده با کم‌ترین RMSE به میزان ۱/۲۵ میلی‌متر در روز از دقت بالاتری برخوردار است. نتایج مطالعه دهقان و علیزاده (۱۳۹۱) نیز نشان داد در شرایط محدودیت داده‌های اقلیمی دقت معادلات پریستلی- تایلور و هارگریوز اصلاح شده در مقیاس ماهانه بالاتر از روش FAO PM می‌باشد.

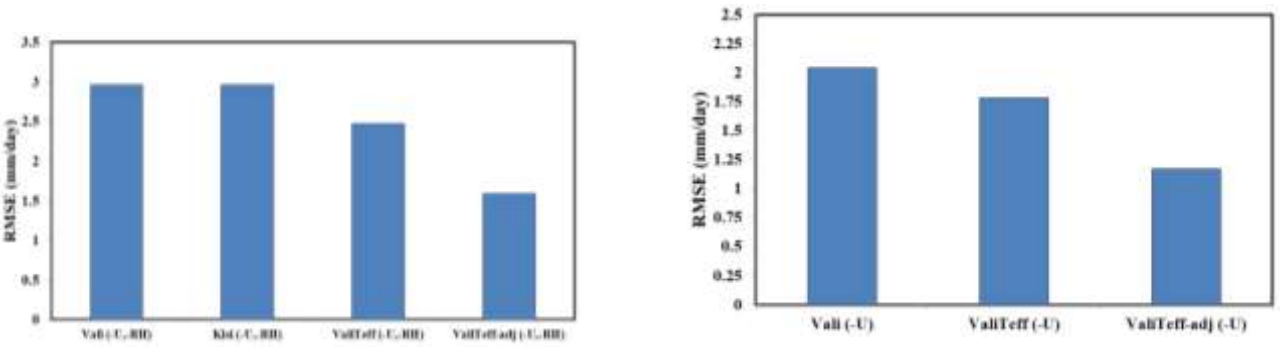
**جدول (۳): مقایسه مدل‌های برآورد $ET_o$ در شرایط کمبود داده با روش FAO PM با داده‌های کامل هواشناسی (دوره ارزیابی)**

| مدل | b | $R^2$ | RMSE (mm/day) | MAE (mm/day) |
|---|---|---|---|---|
| $ET_o$ (-U), U=2 m/s | ۱/۴۳ | ۰/۹۴ | ۲/۳۹ | ۱/۷۴ |
| $ET_o$ (-U), U= $U_{avg}$ | ۱/۰۳ | ۰/۹۴ | ۱/۰۲ | ۰/۷۵ |
| Vali (-U) | ۱/۳۴ | ۰/۹۴ | ۲/۰۴ | ۱/۵۲ |
| $Vali_{Teff}$ (-U) | ۱/۲۳ | ۰/۹۱ | ۱/۷۸ | ۱/۳۳ |
| $Vali_{Teff-adj}$ (-U) | ۱/۰۰ | ۰/۹۱ | ۱/۱۷ | ۰/۹۰ |
| $ET_o$ (-U,-RH) | ۱/۳۶ | ۰/۹۰ | ۲/۳۰ | ۱/۷۱ |
| Vali (-U,-RH) | ۱/۶۱ | ۰/۹۲ | ۲/۹۶ | ۲/۳۲ |
| Kisi (-U,-RH) | ۱/۶۱ | ۰/۹۲ | ۲/۹۶ | ۲/۳۲ |
| $Vali_{Teff}$ (-U,-RH) | ۱/۳۶ | ۰/۸۳ | ۲/۴۷ | ۱/۸۸ |
| $Vali_{Teff-adj}$ (-U,-RH) | ۱/۰۷ | ۰/۸۵ | ۱/۵۹ | ۱/۲۶ |
| PT (-U,-RH) | ۱/۹۵ | ۰/۸۴ | ۳/۸۳ | ۳/۰۸ |
| $PT_{adj}$ (-U,-RH) | ۱/۱۰ | ۰/۸۴ | ۱/۷۰ | ۱/۲۹ |
| $ET_o$ (-Rs,-U,- RH) | ۱/۴۱ | ۰/۸۸ | ۲/۴۷ | ۱/۷۸ |
| HA (-Rs,-U,- RH) | ۰/۶۶ | ۰/۹۱ | ۳/۸۹ | ۳/۳۷ |
| $HA_{adj}$ (-Rs,-U,- RH) | ۱/۰۶ | ۰/۹۱ | ۱/۲۵ | ۰/۹۳ |

$ET_o$ (-U): معادله FAO PM با داده مفقود سرعت باد (U=2 m/s)، $ET_o$ (-U): معادله FAO PM با داده مفقود سرعت باد (U= $U_{avg}$)، Vali (-U): معادله اصلی والیانتز با داده مفقود سرعت باد، Vali Teff (-U): معادله اصلاح شده والیانتز با داده مفقود سرعت باد ($\beta = 0.36$)، Vali Teff-adj (-U): معادله اصلاح شده والیانتز با داده مفقود سرعت باد ($\beta = 0.527$)، $ET_o$ (-U,-RH): معادله FAO PM با داده مفقود سرعت باد و رطوبت نسبی (U= $U_{avg}$)، Vali (-U,-RH): معادله اصلی والیانتز با داده مفقود سرعت باد و رطوبت نسبی، Kisi (-U,-RH): معادله Kisi با داده مفقود سرعت باد و رطوبت نسبی، Vali Teff (-U,-RH): معادله اصلاح شده والیانتز با داده مفقود سرعت باد و رطوبت نسبی ($\beta = 0.36$)، Vali Teff-adj (-U,-RH): معادله اصلاح شده والیانتز با داده مفقود سرعت باد و رطوبت نسبی ($\beta = 0.461$)، PT: معادله پریستلی- تایلور، $PT_{adj}$: معادله پریستلی- تایلور اصلاح شده، $ET_o$ (-Rs,-U,-RH): معادله FAO PM با داده مفقود تابش خورشیدی، سرعت باد و رطوبت نسبی (U= $U_{avg}$)، HA: معادله هارگریوز، $HA_{adj}$: معادله هارگریوز اصلاح شده

www.SID.ir

Archive of SID




(الف) (ب)

**شکل(۲): ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای تخمین تبخیر- تعرق مرجع با استفاده از روشهای والیانتز و Kisi در دوره ارزیابی الف) داده غیرموجود سرعت باد ب) داده غیرموجود سرعت باد و رطوبت نسبی** : Vali (-U): معادله اصلی والیانتز با داده مفقود سرعت باد، Vali Teff (-U): معادله اصلاح شده والیانتز با داده مفقود سرعت باد ( $\beta = 0.36$ )، Vali Teff-adj (-U): معادله اصلاح شده والیانتز با داده مفقود سرعت باد ( $\beta = 0.527$ )، Vali (-U,-RH): معادله اصلی والیانتز با داده مفقود سرعت باد و رطوبت نسبی، Kisi (-U,-RH): معادله Kisi با داده مفقود سرعت باد و رطوبت نسبی، Vali Teff (-U,-RH): معادله اصلاح شده والیانتز با داده مفقود سرعت باد و رطوبت نسبی ( $\beta = 0.36$ )، Vali Teff-adj (-U,-RH): معادله اصلاح شده والیانتز با داده مفقود سرعت باد و رطوبت نسبی ( $\beta = 0.461$ )

## نتیجه‌گیری

در این مطالعه، روش‌های جدید والیانتز، مدل‌های پریستلی- تایلور، هارگریوز و روش پیشنهادی فائو در شرایط کمبود داده برای برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع در ایستگاه سینوپتیک مشهد مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد در شرایط کمبود داده سرعت باد مدل FAO PM با در نظر گرفتن متوسط سرعت باد در ایستگاه، بالاترین دقت را دارد. در این مقاله تحت شرایط کمبود داده سرعت باد و رطوبت نسبی، با اصلاح مدل والیانتز با کاربرد فاکتور دمای مؤثر یک مدل جدید برای برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع ارائه شد. نتایج مقایسه مدل‌های دو پارامتری (با ورودی دما و ساعات آفتابی) نشان داد مدل والیانتز اصلاح شده در این مقاله نسبت به سایر روش‌ها بالاترین دقت را داشت. نتایج نشان داد در صورتی که در ایستگاه تنها داده دمای هوا موجود باشد، روش هارگریوز اصلاح شده نسبت به روش فائو در شرایط کمبود داده بالاترین دقت را داشت. نتایج این مطالعه در شرایط مختلف کمبود داده‌های سرعت باد و رطوبت نسبی در سایر ایستگاه‌های هواشناسی که دارای اقلیم مشابه با ایستگاه مورد مطالعه هستند، قابل کاربرد است. پیشنهاد می‌گردد معادلات والیانتز اصلاح شده در این مقاله، در سایر اقلیم‌های کشور نیز بررسی و صحت-سنجی گردند و در صورت مناسب بودن، برای مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری در مزرعه مورد استفاده قرار گیرند.

## منابع

توکلی، ا.، ب. قهرمان، ک. داوری و ح. انصاری. ۱۳۹۲. برآورد تبخیر- تعرق مرجع در شرایط کمبود داده ( مطالعه موردی: استان خراسان شمالی). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال هفدهم، شماره ۶۰، ص ۲۲۲- ۲۱۱.

دهقان، ه.، و ا. علیزاده. ۱۳۹۱. ارزیابی و واسنجی روش‌های مختلف برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع در شرایط محدودیت داده‌های اقلیمی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۱، ص ۲۵۰- ۲۳۶.

نوروزی، ۱۳۹۶. بخش کشاورزی و لزوم توسعه پایدار در ایران. معاونت بررسی‌های اقتصادی. اتاق بازرگانی، صنایع معادن و کشاورزی تهران.

www.SID.ir

Archive of SID



Ahooghalandari, M., M. Khiadani and M. E. Jahromi. 2017. Calibration of Valiantzas' reference evapotranspiration equations for the Pilbara region, Western Australia. Theoretical and Applied Climatology, 128(3-4): 845-856.

Allen R.G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9): D05109.

Djaman, K., S. Irmak and K. Futakuchi. 2016 a. Daily reference evapotranspiration estimation under limited data in eastern Africa. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 143(4): 06016015.

Djaman, K., S. Irmak, I. Kabenge and K. Futakuchi. 2016 b. Evaluation of FAO-56 Penman-Monteith Model with Limited Data and the Valiantzas Models for Estimating Grass-Reference Evapotranspiration in Sahelian Conditions. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 142(11): 04016044.

Djaman, K., D. Rudnick, V. C. Mel, D. Mutiibwa, L. Diop, M. Sall, I. Kabenge, A. Bodian, H. Tabari and S. Irmak. 2017. Evaluation of Valiantzas' Simplified Forms of the FAO-56 Penman-Monteith Reference Evapotranspiration Model in a Humid Climate. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 143(8): 06017005.

Hargreaves G.H. and Z.A. Samani. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied engineering in agriculture, 1(2): 96-99.

Jabloun, M. D., and A. Sahli. 2008. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data: Application to Tunisia. Agricultural water management, 95(6): 707-715.

Kisi, O. 2013. Comparison of different empirical methods for estimating daily reference evapotranspiration in Mediterranean climate. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 140(1): 04013002.

Li, Y., R. Horton, T. Ren and C. Chen. 2010. Prediction of annual reference evapotranspiration using climatic data. Agricultural Water Management, 97(2): 300-308.

Popova, Z., M. Kercheva and L. S. Pereira. 2006. Validation of the FAO methodology for computing ETo with limited data. Application to South Bulgaria. Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage, 55(2): 201-215.

Priestley, C. H. B and R. J. Taylor. 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. Monthly weather review, 100(2): 81-92.

Sentelhas, P. C., T. J. Gillespie and E. A. Santos. 2010. Evaluation of FAO Penman–Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. Agricultural Water Management, 97 (5): 635-644.

Suleiman, A. A and G. Hoogenboom. 2007. Comparison of Priestley-Taylor and FAO-56 Penman-Monteith for daily reference evapotranspiration estimation in Georgia. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 133(2): 175-182.

Tomas-Burguera, M., S. M. Vicente-Serrano, M. Grimalt and S. Beguería. 2017. Accuracy of reference evapotranspiration ($ET_o$) estimates under data scarcity scenarios in the Iberian Peninsula. Agricultural water management, 182: 103-116.

Valiantzas, J. D. 2013. Simplified forms for the standardized FAO-56 Penman–Monteith reference evapotranspiration using limited weather data. Journal of Hydrology, 505: 13-23.

Valipour, M. 2015. Investigation of Valiantzas' evapotranspiration equation in Iran. Theoretical and applied climatology, 121(1-2): 267-278.

www.SID.ir

Archive of SID


# Evaluation and Modification of Valiantzas Models for the Reference Evapotranspiration Estimation by Lack of Data

**Hadi Dehghan[*], Mehdi Mokari[2]**

**Abstract**

The precise estimation of reference crop evapotranspiration ($ET_o$) has a significant role in improving water management in field and irrigation management. Different methods are available for $ET_o$ estimating. The FAO-PM equation is the most reliable method for $ET_o$ estimating, but this method requires large input data that is not fully measured in most meteorological stations. Also, the measured data lacks enough precision, especially in developing countries. Therefore, the researchers have used the empirical equations with minimum input data. In this study, the daily values of $ET_o$were calculated at the synoptic station of Mashhad using Priestley-Taylor, Hargreaves, the FAO-PM proposed method by the lack of data and two forms of the Valiantzas equation. Then, the calculated values were compared with FAO Penman Monteith (PM) method. In this paper, new models for estimating $ET_o$ were presented by lack of wind speed and relative humidity data by modifying two forms of the Valiantzas equations. The results showed that by the lack of wind speed and relative humidity data, the modified Valiantzas model had the highest accuracy compared with the other methods. It was showed that the $R^2$, RMSE and MAE indices were 0.85, 1 and 1.26 mm per day, respectively. Also, the results showed that the modified Hargreaves method had the highest accuracy when only temperature data is available.

**Keywords: Reference Evapotranspiration, Penman-Monteith, Lack of Data, Valiantzas, Priestley and Taylor, Hargreaves**

1- Assistant Professor, Water Science and Engineering Department, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran. h.dehghan@kashmar.ac.ir
2- Assistant Professor, Water Science and Engineering Department, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran. Mehdimokari@gmail.com

www.SID.ir