



## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۸ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۷  
صفحه‌های ۲۵۱-۲۳۷

### مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق مرجع براساس روش‌های تابش خورشیدی در اقلیم‌های مختلف ایران

هوشنگ قمرنیا<sup>۱\*</sup>، مریم یوسفوند<sup>۲</sup>

۱. استاد، گروه مهندسی آب دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۲۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۷/۱۳

#### چکیده

مقایسه روش‌های برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن در بین روش‌های برپایه تابش خورشیدی با مدل فائو پنمن مانیتث برای اقلیم‌های مختلف کشور و تعیین بهترین مدل برای هر اقلیم در سراسر کشور انجام گرفت. معادلات مورد استفاده عبارت بودند از تورک و تورک اصلاح‌شده، هارگریوز، معادلات مک‌کینگ، پرستلی- تیلور، جنسن- هیز، امسی گاینس و بوردن، جانز و ریچ، ایرماک، هانسن، دورنباس و پرویت، معادلات آبتیو و معادلات طبری و همکاران. آمار و اطلاعات هواشناسی ۱۵۴ ایستگاه سینوپتیک در سراسر کشور به صورت روزانه به مدت ۱۵ سال فراهم شد. برای ارزیابی دقت مدل‌ها و مقایسه نسبی نتایج از آزمون‌های آماری RMSE، MBE، R و t استفاده شد. پس از ارزیابی، برای اقلیم خشک مدل‌های هانسن، مودیفاید آبتیو بهترین نتیجه و مدل‌های جانز و ریچ و هارگریوز بدترین نتیجه را داشتند. در اقلیم نیمه‌خشک مدل‌های ایرماک، هانسن و در اقلیم مدیترانه‌ای مدل‌های تورک اصلاح‌شده و مکینگ<sup>۲</sup>، برآورد بهتری نسبت به روش‌های دیگر داشتند. در اقلیم‌های نیمه‌مرطوب، مرطوب و بسیار مرطوب، مدل‌های پرستلی- تیلور و ایرماک به‌عنوان مناسب‌ترین روش انتخاب شدند. همچنین در اقلیم‌های ذکرشده مدل‌های جانز- ریچ و دورنباس- پرویت بدترین نتیجه را نشان دادند.

**کلیدواژه‌ها:** آزمون آماری، ایرماک هانسن، پنمن مانیتث، تورک، مکینگ.

## مقدمه

از ارزیابی روش‌های محاسبه تبخیر- تعرق در اقلیم خشک در ایران و مقایسه آن‌ها با داده‌های لایسیمتری، به این نتیجه رسیدند که در ایستگاه‌های مرجع، روش‌های پنمن مانیت و پنمن اصلاح‌شده بهترین برآورد و جنسن هیز کمترین دقت را دارد و در ایستگاه‌های غیرمرجع روش پریستلی- تیلور بهترین برآورد و روش پنمن کیمبرلی کمترین دقت را داشته است (۳ و ۲). ایرماک و همکاران، در مطالعه‌ای روش جنسن- هیز و هارگریوز را برای اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک پیشنهاد کردند (۱۱). ایکسو و همکاران و همچنین دهقانی‌سانج و همکاران نشان دادند که تبخیر و تعرق محاسبه‌شده با استفاده از روش پنمن- مانیت در اقلیم‌های مختلف به مقادیر مشاهده‌شده لایسیمتری نزدیک‌تر می‌باشد (۱۵ و ۷). رحیمی‌خوب و همکاران چهار مدل تجربی را در سراسر شمال ایران مورد ارزیابی قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که مدل پرستلی تیلور دقیق‌ترین روش برای محاسبه تبخیر و تعرق می‌باشد (۱۱). لذا، هدف اصلی از تحقیق حاضر ضمن تعیین اقلیم نقاط مختلف کشور براساس آخرین داده‌ها و پارامترهای ایستگاه‌های هواشناسی با استفاده از روش دمارتن، تعیین بهترین روش برآورد تبخیر- تعرق مرجع (پتانسیل) با استفاده از کلیه روش‌های تابش محور و روش فائو- پنمن- مانیت و در نهایت تعیین و پیشنهاد بهترین و بدترین روش تخمین تبخیر- تعرق برای هر اقلیم می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

در انجام این پژوهش داده‌های هواشناسی موردنیاز به‌صورت روزانه از ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان‌های هواشناسی واقع در ۳۱ استان ایران از بدو تأسیس تا سال ۲۰۱۵ میلادی از اداره کل هواشناسی جمع‌آوری شد، شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک انتخابی در کشور

با توجه به این‌که ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده است، لذا میزان نزولات جوی در طی فصل رشد و نمو گیاه زراعی، کم می‌باشد. بنابراین تولید محصولات زراعی در مناطق مختلف ایران به آبیاری وابسته است (۴). اگرچه تبخیر و تعرق عامل اصلی در تعیین نیاز آبی گیاهان زراعی است اما نیاز واقعی ممکن است تحت تأثیر عوامل دیگری نظیر عدم توانایی در پراکنش یکنواخت آب، نیاز به آب آبشویی و اتلاف قابل پیش‌بینی آب به‌صورت رواناب قرار گیرد، در عین حال تبخیر- تعرق باز هم عامل اصلی است که باید تخمین زده شود (۶). کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی و سازمان خواروبار جهانی روش فائو- پنمن- مانیت را به‌عنوان تنها روش استاندارد برای محاسبه تبخیر- تعرق مرجع معرفی کرده‌اند (۸). مزیت معادله پنمن- مانیت نسبت به روش‌های تجربی دیگر در آن است که هر دو مکانیسم انرژی و آئروپنمیک در پدیده تبخیر را در نظر می‌گیرد (۱۲). معادلاتی که برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده می‌شوند، پارامترهای اقلیمی یکسانی را به‌کار نمی‌گیرند و به دلیل ماهیت تجربی آن‌ها، برای تمام شرایط اقلیمی مناسب نیستند. به‌همین دلیل لازم است که معادله مناسب هر منطقه مشخص شود (۵). یکی از پارامترهای مهم در تعیین میزان تبخیر- تعرق، انرژی خورشیدی است. تابش خورشیدی یکی از متغیرهای هواشناسی است، که بر بسیاری از فرآیندهای آب و خاک مانند تبخیر، تعرق، ذوب برف و رشد گیاهان اثر می‌گذارد. با وجود اهمیت این متغیر، اندازه‌گیری مستقیم آن به‌طور محدود انجام می‌شود. فرمول‌های محاسباتی تبخیر- تعرق در هر منطقه نسبت به داده‌های تابش یا نوسانات انرژی خورشیدی دارای حساسیت‌های متفاوتی می‌باشند. سلطانی و مرید همچنین علیزاده و همکاران پس

دیگر این فرمول طبقه‌بندی بیشتری را در نظر گرفته و می‌تواند اقلیم‌های متنوع‌تری را نشان دهد. این روش براساس معادله (۱) بنا شده است: پارامترهای این رابطه عبارتند از:  $I$ : ضریب خشکی دومارتن،  $P$ : متوسط بارش سالانه (میلی‌متر)،  $T$ : متوسط دمای سالانه (سانتی‌گراد).

$$I = P / (T + 1) \quad (1)$$

#### مدل پنمن - مانیتث - فائو ۵۶ (FAO 56)

معادله کاربردی برای این مدل به قرار معادله (۲) است.

$$ETO = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left( \frac{900}{T + 273} \right) U_2 (e_a - e_s)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (2)$$

که در آن،  $ETO$ ، تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع (mm)،  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار نسبت به درجه حرارت ( $Kpa \cdot ^\circ C^{-1}$ )،  $R_n$  تابش خالص ( $MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ )،  $G$  شار گرما به داخل خاک است که معمولاً صفر در نظر گرفته می‌شود،  $\gamma$  ضریب رطوبتی ( $Kpa \cdot ^\circ C^{-1}$ )،  $T$  متوسط دمای روزانه ( $^\circ C$ )،  $e_a$  و  $e_s$  به ترتیب فشار بخار اشباع و فشار واقعی بخار آب ( $mbar$ )،  $U_2$  سرعت باد در روز در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین به ( $m \cdot s^{-1}$ ) می‌باشد.

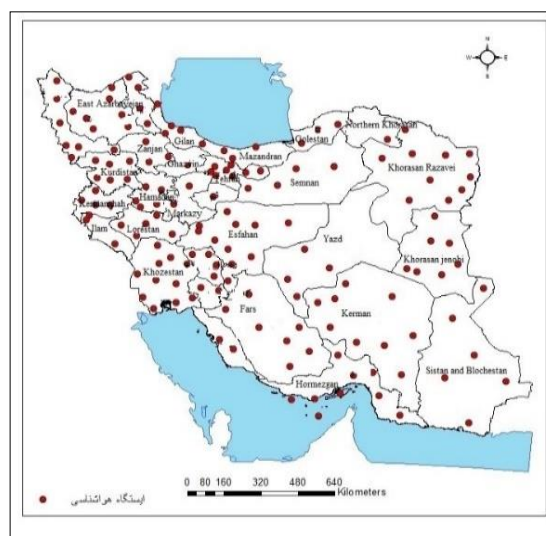
#### معادلات مبنی بر پایه تابش

در جدول (۲) کلیه معادلات وضع شده تاکنون بر پایه تابش ارائه شده‌اند. در معادلات عنوان شده در جدول (۱)  $e_s$  = فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)،  $e_a$  = فشار واقعی بخار هوا (کیلو پاسکال)،  $U$  = سرعت متوسط روزانه باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین (متر بر ثانیه)،  $RH$  = میانگین رطوبت نسبی هوا (درصد)،  $T_a$  = میانگین دمای روزانه هوا (درجه سانتی‌گراد) می‌باشند.

#### آنالیز آماری

نتایج به دست آمده از برآوردهای تبخیر و تعرق پتانسیل

را نشان می‌دهد. پس از بررسی‌های لازم، به منظور یکسان‌سازی بازه زمانی ۱۹۹۹/۱/۱ تا ۲۰۱۳/۱۲/۳۱ برای ۱۵ سال آماری، در کل ایستگاه‌های سینوپتیک کشور انتخاب شد. سپس خلاً آماری هر ایستگاه مشخص گردیده و بازسازی آماری آن‌ها با رگرسیون‌گیری، نسبت به موقعیت ایستگاه‌های مجاور، انجام گرفت. در ابتدا با استفاده از روش دمارتن اقلیم‌های متفاوت در نقاط مختلف کشور دسته‌بندی شدند که تعداد ایستگاه‌های هر اقلیم در جدول ۱ مشخص شده است. برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع روش‌های غیرمستقیم براساس تابش در جدول ۲ ارائه شده‌اند. در این مطالعه روش فائو-پنمن - مانیتث به عنوان یک روش مبنای مقایسه و واسنجی سایر مدل‌ها انتخاب گردید.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک

#### اقلیم‌بندی به روش دومارتن

روش دومارتن به دو علت کاربرد بیشتری در ایران دارد. اول این‌که برای محاسبه پارامتر ضریب خشکی در این فرمول به دو عامل متوسط بارش سالانه و متوسط دمای سالانه نیاز است که هر دو در دسترس‌ترین عامل‌ها هستند. از طرفی

### نتایج

تبخیر- تعرق برای تمام ایستگاه‌های سینوپتیک کشور با استفاده از معادلات بر پایه تابش مندرج در جدول (۲)، محاسبه و با مقایسه نتایج هرکدام از روش‌ها با روش پنمن مانتیث و بهره‌گیری از پارامترهای آماری، روش برتر در هر ایستگاه و در نهایت برای هر اقلیم مشخص گردید. با توجه به حجم زیاد جدول‌ها و نمودارها، از هر اقلیم، محاسبات تبخیر- تعرق و آنالیزهای آماری، نتایج مختصر یک ایستگاه به‌عنوان نمونه از آن اقلیم آورده شده است. لذا در جدول (۳)، نتایج محاسبات تبخیر- تعرق ایستگاه سیریک به‌عنوان نمونه برای اقلیم خشک نشان داده شده است. همان‌گونه که از برآوردهای آماری جدول (۳) پیداست، از میان مدل‌های بررسی‌شده، مدل تبخیر- تعرق هانسن با داشتن ضریب همبستگی ۰/۹۵، RMSE ۰/۴۹ میلی‌متر بر روز و کمترین مقدار MBE و t بهترین عملکرد را نشان می‌دهد. روش هارگریوز با داشتن ضریب همبستگی ۰/۸۷، RMSE=۲/۸۵ mm day<sup>-1</sup> و MBE=۲/۶۲ (بیشترین مقدار RMSE و t) به‌عنوان بدترین مدل انتخاب شده است. همچنان‌که در شکل ۴ نشان داده شده است، نمودار روش هانسن بیشترین انطباق و نمودار روش هارگریوز به‌عنوان بدترین روش، بیشترین فاصله را از نمودار پنمن- مانتیث دارا می‌باشد. در جدول ۴ که مربوط به ایستگاه گرگان به‌عنوان نمونه‌ای از اقلیم نیمه‌خشک است، مشاهده می‌گردد که مقادیر شاخص‌های R، MBE و R/t برای دو روش تورک و هانسن برابر بوده و اما با توجه به مقادیر RMSE روش تورک با ۰/۴۲ RMSE = به‌عنوان بهترین روش انتخاب شد. همچنین روش جانز و ریچ به‌دلیل داشتن بیشترین مقادیر RMSE، BE و t در بین روش‌های دیگر، به‌عنوان بدترین روش برآورد تبخیر و تعرق در این ایستگاه انتخاب گردید. در شکل (۵)، روش تورک بیشترین انطباق و همپوشانی را با

حاصل از مدل‌های تجربی تحت چهار شاخص آماری با نتایج حاصله از روش مرجع (پنمن- مانتیث- فائو) مقایسه شدند. این شاخص‌ها که توسط جاکوویدز<sup>۱</sup> پیشنهاد گردیده عبارتند از: ضریب رگرسیونی (R)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، متوسط خطای تخمین‌ها (MBE) و معیار جاکوویدز (t).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2}} \quad (۳)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}} \quad (۴)$$

$$MBE = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n} \quad (۵)$$

$$t = \sqrt{\frac{(n-1)MBE^2}{RMSE^2 - MBE^2}} \quad (۶)$$

که در آنها، X مقادیر اندازه‌گیری‌شده تبخیر- تعرق، میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر- تعرق، Y مقادیر برآوردشده، میانگین مقادیر برآوردشده، di اختلاف بین مقادیر برآوردشده با مقادیر اندازه‌گیری‌شده و مقدار n تعداد مشاهدات می‌باشد. هرچه مقدار RMSE و قدر مطلق MBE کوچک‌تر باشد، دقت مدل بالاتر است. مقادیر مثبت MBE نشان‌دهنده آن است که مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل، بیشتر از مقدار واقعی و مقادیر منفی نشانگر آن است که مقادیر پیش‌بینی‌شده از مقادیر واقعی کمتر می‌باشند. عملکرد هر یک از روش‌ها براساس مقدار t سنجیده می‌شود. هرچقدر که مقدار t پایین‌تر باشد، به معنی کمتر بودن اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و پیش‌بینی‌شده است و آن روش عملکرد بهتری داشته است (۱۰).

مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق مرجع براساس روش‌های تابش خورشیدی در اقلیم‌های مختلف ایران

داشتن کمترین ضریب همبستگی و بیشترین مقدار RMSE و MBE در بین روش‌های دیگر، به‌عنوان بدترین روش انتخاب گردید. همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده، نمودار روش تورک اصلاح‌شده بیشترین همپوشانی با نمودار روش مرجع، و نمودار روش جانز و ریچ دورترین نمودار به روش مرجع را دارا می‌باشد.

نمودار فائو-پنمن-مانتیت داشته و نمودار روش جانز و ریچ بیشترین فاصله را از نمودار پنمن-مانتیت دارد. در جدول (۵)، برای ایستگاه ایوان (اقلیم مدیترانه‌ای)، از میان مدل‌های بررسی‌شده، روش تورک اصلاح‌شده به‌دلیل کمتر بودن مقادیر MBE و t و همچنین R/t بالاتر به‌عنوان بهترین روش در این ایستگاه انتخاب شد. روش جانز و ریچ با

جدول ۱. تعداد ایستگاه‌های هر اقلیم

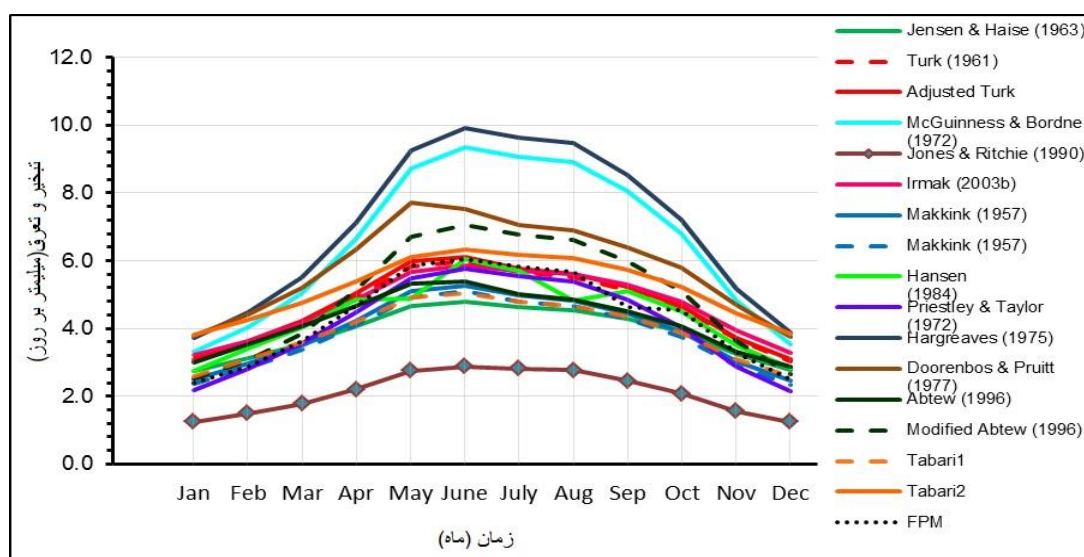
اقلیم	خشک	نیمه‌خشک	مدیترانه‌ای	نیمه‌مرطوب	مرطوب	بسیار مرطوب
تعداد ایستگاه	۸۰	۵۸	۲	۳	۴	۷

جدول ۲. معادلات برآورد تبخیر و تعرق مرجع براساس تابش

ردیف	روش	معادله
۱	جنسن هیز	$ETo = Ct * (Ta - Tx) * (1000 * Rs) / \lambda$ $\lambda \text{ (cal gr-1)} = 595 - 0.51Ta$ Rs برحسب میلی‌متر بر روز، Ct ثابت دمایی برابر ۰/۰۲۵، Tx ثابت و برای وقتی که Ta برحسب درجه سلسیوس باشد برابر ۳ است.
۲	تورک (1961)	$ETo = 0.013 * T / (T + 15) * (Rs + 50)$ if RH $\geq$ 50 $ETo = 0.013 * T / (T + 15) * (Rs + 50) * [1 + (50 - RH) / 70]$ if RH < 50 Rs مقدار کل تابش خورشیدی بر حسب کالری بر سانتیمتر مربع در روز می‌باشد.
۳	تورک اصلاح شده	$ETo = 0.013 * Ta * (23.89 * Rs + 50) / (Ta + 15)$ Rs مقدار کل تابش خورشیدی برحسب مگاژول بر متر مربع در روز می‌باشد.
۴	امسی گاینس و بوردن (1972)	$ETo = [(0.0082 * Ta - 0.19) * (Rs / 1500)] * 2.54$ وقتی که ETo برحسب سانتی‌متر بر روز باشد برای دوره‌های ماهانه، Ta برحسب فارنهایت Rs برحسب کالری بر سانتی‌متر مربع در روز
۵	جانز و ریچ (1990)	$ETo = \alpha * [0.00387 * Rs * (0.6 T_{max} + 0.4 T_{min} + 29)]$ وقتی مقدار T <sub>max</sub> بین ۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد باشد $\alpha = 1$ اگر، T <sub>max</sub> بزرگ‌تر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد باشد $\alpha = 1.1 + 0.05 * (T_{max} - 35)$ اگر، T <sub>max</sub> کوچک‌تر از ۵ درجه باشد $\alpha = 0.01 \exp [0.18 * (T_{max} + 20)]$
۶	ایرماک (1957)	$ETo = -0.611 + (0.149 * Rs) + (0.079 * Ta)$
۷	هانسن (1984)	$ETo = 0.7 * [\Delta / (\Delta + \gamma) * (Rs / \lambda)]$
۸	هارگریوز (1975)	$ETo = 0.0135 * (T + 17.8) * Rs / \lambda$
۹	دورنباس و پرویت (1977)	$ETo = a * [\Delta / (\Delta + \gamma) * Rs] + b$
۱۰	آبتیو (1996)	$ETo = K * Rs / \lambda K$ ضریب بدون بعد برابر با ۰/۵۳
۱۱	آبتیو اصلاح شده (1996)	$ETo = (1/K3) * Rs * T_{max}$ که در آن مقدار K3 برابر با ۵۳/۵ درجه سانتی‌گراد
۱۲	طبری و همکاران (2013)	1) $ETo = -0.642 + 0.174 * Rs + 0.0353 * Ta$ 2) $ETo = -0.478 + 0.156 * Rs - 0.0112 * T_{max} + 0.0733 * T_{min}$
۱۳	پرستلی تیلور (1972)	$ETo = \alpha * [\Delta / (\Delta + \gamma) * (Rn / \lambda)]$ $\alpha = 1.26$
۱۴	روش‌های مکینک (1957)	$ETo = 0.61 * [\Delta / (\Delta + \gamma) * (Rs / \lambda)]$ , $\lambda \text{ (MJ kg-1)} = 2.501 - (0.00236 * Ts)$ $\Delta = 4098 * es / (237.3 + Ta)$ es (kPa) = $0.6108 * \exp(17.27 * Ta / (Ta + 237.3))$ $\gamma = 0.0016286 * P / \lambda$ , Where P (kPa), $P = 101.3 * ((293 - 0.0065 * EL) / 293) 5.26$ $ETo = 0.61 * [\Delta / (\Delta + \gamma) * (Rs / 58.5)] - 0.12$ , $\Delta = 33.8639 * ((0.05904 * ((0.00738 * Ta + 0.8072) 7) - 0.0000342, \lambda \text{ (cal gr-1)} = 595 + 0.51 * Ta$ , $\gamma = Cp * P / (0.622 * \lambda)$ $P = 1013 - (0.1055 * EL)$

جدول ۳. نتایج محاسبات تبخیر- تعرق و شاخص‌های آماری ایستگاه سیریک (اقلیم خشک)

R/t	t	R	MBE	RMSE (mm day <sup>-1</sup> )	Mean (mm day <sup>-1</sup> )	روش‌ها	ردیف
۰/۰۴	۲۱/۷۸	۰/۹۵	۰/۱۴	۰/۴۹	۴/۵۲	هانسن (1984)	۱
۰/۰۳	۳۰/۶۳	۰/۹۵	۰/۲۱	۰/۵۵	۴/۶	تورک (1961)	۲
۰/۰۲	۴۸/۳۷	۰/۹۶	-۰/۲۸	۰/۵۲	۴/۱	پریستلی تیلور (1973)	۳
۰/۰۲	۴۵/۱۸	۰/۹۵	۰/۳	۰/۵۷	۴/۶۸	تورک اصلاح‌شده	۴
۰/۰۲	۳۹/۴۵	۰/۹۶	۰/۲۹	۰/۶۲	۴/۶۷	ایرماک (1957)	۵
۰/۰۵	۱۷/۳۷	۰/۹	-۰/۱۷	۰/۷۳	۴/۲۲	آبتیو (1996)	۶
۰/۰۲	۶۱/۰۸	۰/۹۵	-۰/۴۴	۰/۷	۳/۹۴	مک‌کینگ ۱ (1957)	۷
۰/۰۱	۸۱/۴۱	۰/۹۷	۰/۵۵	۰/۷۴	۴/۹۳	آبتیو اصلاح‌شده	۸
۰/۰۲	۵۶/۲۲	۰/۹۴	-۰/۴۸	۰/۸	۳/۹	طبری و همکاران (2013)	۹
۰/۰۱	۷۹/۲۲	۰/۹۵	-۰/۵۹	۰/۸۱	۳/۷۹	مک‌کینگ ۲ (1957)	۱۰
۰/۰۲	۵۲/۹	۰/۹۶	-۰/۵۳	۰/۹	۳/۸۶	جنسن هیز	۱۱
۰/۰۱	۹۳/۲۴	۰/۹۴	۰/۸	۱/۰۲	۵/۱۸	طبری و همکاران ۲ (2013)	۱۲
۰/۰۱	۱۴۰/۵۲	۰/۹	۱/۴۲	۱/۶	۵/۸	دورنبوس و پرویت	۱۳
۰/۰۱	۱۵۳/۶۲	۰/۸۷	۲/۱۵	۲/۳۹	۶/۵۴	امسی گاینس و بوردن	۱۴
۰	۱۹۹/۳۶	۰/۸۶	-۲/۲۸	۲/۴۳	۲/۱۱	جانز و ریچ	۱۵
۰	۱۷۳/۳۷	۰/۸۷	۲/۶۲	۲/۸۵	۷/۰۰	هارگریوز	۱۶



شکل ۴. نمودار تبخیر و تعرق برآوردی از روش‌های مختلف برپایه تابش (ایستگاه سیریک)

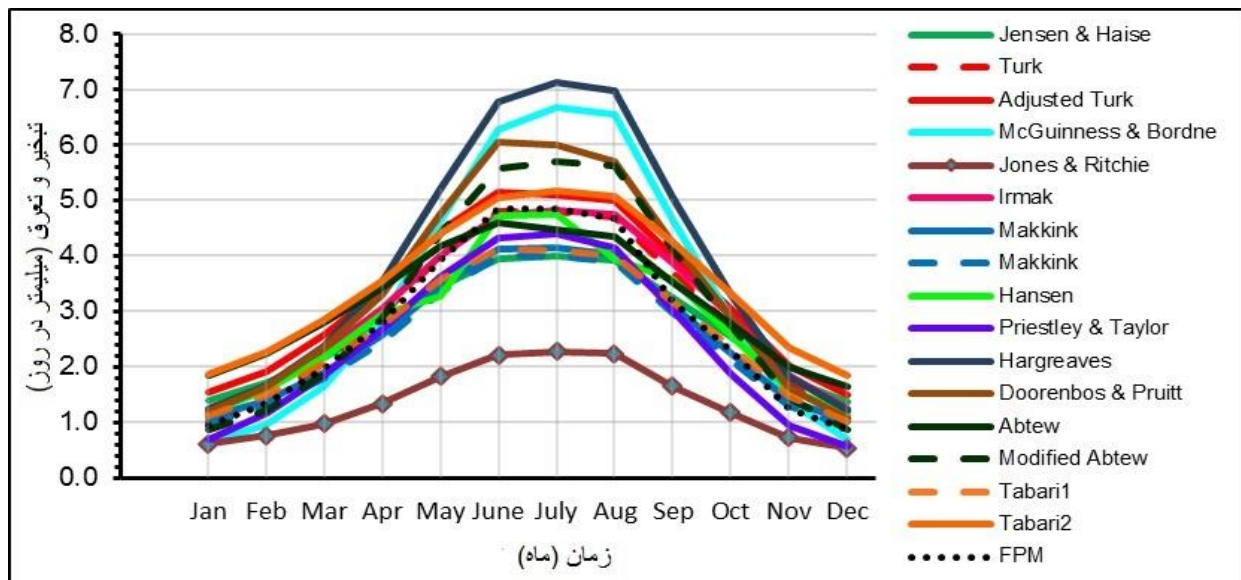
## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۸ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۷

مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق مرجع براساس روش‌های تابش خورشیدی در اقلیم‌های مختلف ایران

جدول ۴. نتایج محاسبات تبخیر- تعرق و شاخص‌های آماری ایستگاه گرگان (اقلیم نیمه‌خشک)

R/t	t	R	MBE	RMSE (mm day <sup>-1</sup> )	Mean (mm day <sup>-1</sup> )	روش‌ها	ردیف
۰/۰۴	۲۳/۹۳	۰/۹۷	۰/۱۴	۰/۴۶	۲/۹۲	هانسن (1984)	۱
۰/۰۴	۲۵/۲۲	۰/۹۷	۰/۱۴	۰/۴۲	۲/۹۲	تورک (1961)	۲
۰/۰۲	۵۴/۶۵	۰/۹۷	-۰/۳۳	۰/۵۶	۲/۴۵	پریستلی تیلور (1973)	۳
۰/۰۱	۸۰/۴۸	۰/۹۶	۰/۵۳	۰/۷۲	۳/۳۱	تورک اصلاح‌شده	۴
۰/۰۲	۴۱/۴۲	۰/۹۷	۰/۲۶	۰/۵۳	۳/۰۴	ایرماک (1957)	۵
۰/۰۲	۳۹/۲۶	۰/۹۲	۰/۳۸	۰/۸۱	۳/۱۶	آبتیو (1996)	۶
۰/۰۳	۳۴/۷۶	۰/۹۷	-۰/۲۴	۰/۵۶	۲/۵۴	مککینگ ۱ (1957)	۷
۰/۰۳	۳۶/۴۳	۰/۹۷	۰/۳۴	۰/۷۷	۳/۱۲	آبتیو اصلاح‌شده	۸
۰/۰۴	۲۱/۷	۰/۹۶	-۰/۱۷	۰/۶	۲/۶۱	طبری و همکاران (2013)	۹
۰/۰۲	۵۰/۶۹	۰/۹۷	-۰/۳۵	۰/۶۳	۲/۴۳	مککینگ ۲ (1957)	۱۰
۰/۰۵	۲۱/۰۱	۰/۹۷	-۰/۰۸	۰/۷	۲/۷	جنسن هیز	۱۱
۰/۰۱	۹۲/۷۶	۰/۹۶	۰/۷۳	۰/۹۳	۳/۵۱	طبری و همکاران ۲ (2013)	۱۲
۰/۰۲	۶۴/۷	۰/۹۷	۰/۶۳	۰/۹۶	۳/۴۱	دورنوس و پرویت	۱۳
۰/۰۲	۴۰/۸۶	۰/۹۸	۰/۵۵	۱/۱۴	۳/۳۳	امسی گاینس و بوردن	۱۴
۰/۰۱	۱۰۳/۱۱	۰/۹۵	-۱/۴۱	۱/۴۷	۱/۳۷	جانز و ریچ	۱۵
۰/۰۱	۸۱/۱۸	۰/۹۸	۱/۰۹	۱/۴۷	۳/۸۷	هارگریوز	۱۶



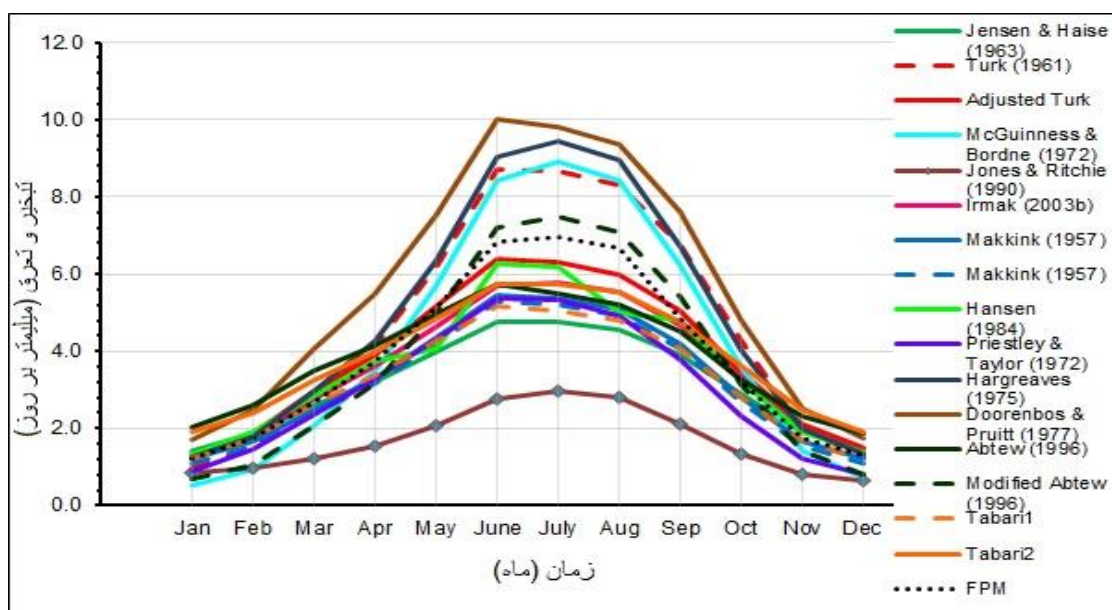
شکل ۵. نمودار تبخیر و تعرق برآوردی از روش‌های مختلف برپایه تابش (ایستگاه گرگان)

## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۸ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۷

جدول ۵. نتایج محاسبات تبخیر- تفرق و شاخص‌های آماری ایستگاه ایوان (اقلیم مدیترانه‌ای)

R/t	t	R	MBE	RMSE (mm day <sup>-1</sup> )	Mean (mm day <sup>-1</sup> )	روش‌ها	ردیف
۰/۰۶	۱۵/۶۸	۰/۹۶	-۰/۱۶	۰/۷۷	۳/۷۲	هانسن (1984)	۱
۰/۰۲	۵۷/۱۵	۰/۹۷	۰/۷۷	۱/۲۶	۴/۶۶	تورک (1961)	۲
۰/۰۱	۷۵/۸۲	۰/۹۵	-۰/۸۷	۱/۲۱	۳/۰۲	پرستلی تیلور (1973)	۳
۰/۲۵	۳/۷۸	۰/۹۵	-۰/۰۴	۰/۷۵	۳/۸۵	تورک اصلاح شده	۴
۰/۰۳	۳۱/۹۴	۰/۹۶	-۰/۳۴	۰/۸۶	۳/۵۴	ایرماک (1957)	۵
۰/۱۷	۵/۲	۰/۸۹	-۰/۰۸	۱/۱۶	۳/۸	آبتیو (1996)	۶
۰/۰۲	۵۵/۷۱	۰/۹۶	-۰/۶۴	۱/۰۷	۳/۳۲	مککینگ ۱ (1957)	۷
۰/۰۶	۱۷/۱۲	۰/۹۶	-۰/۱۷	۰/۷۵	۳/۷۲	آبتیو اصلاح شده	۸
۰/۰۲	۳۰/۵۳	۰/۹۴	-۰/۷۱	۱/۲۱	۳/۱۷	طبری و همکاران (2013)	۹
۰/۰۱	۶۵/۲۳	۰/۹۵	-۰/۷۷	۱/۱۶	۳/۱۲	مککینگ ۲ (1957)	۱۰
۰/۰۲	۵۰/۵	۰/۹۵	-۰/۷۶	۱/۳۵	۳/۱۲	جنسن هیز	۱۱
۰/۵	۱/۸۸	۰/۹۴	-۰/۰۳	۱/۰۳	۳/۸۶	طبری و همکاران ۲ (2013)	۱۲
۰/۰۱	۱۰۸/۱۹	۰/۹۷	۱/۷۳	۲/۰۹	۵/۶۱	دورنوس و پرویت	۱۳
۰/۰۵	۲۱/۴۶	۰/۹۷	۰/۳۳	۱/۲	۴/۲۲	امسی گاینس و بوردن	۱۴
۰/۰۱	۱۰۵/۳۶	۰/۸۸	-۲/۲	۲/۶۹	۱/۶۸	جانز و ریچ	۱۵
۰/۰۱	۶۶/۲۱	۰/۹۷	۰/۹۸	۱/۴۷	۴/۸۷	هارگریوز	۱۶



شکل ۶. نمودار تبخیر و تفرق برآوردی از روش‌های مختلف برپایه تابش ایستگاه ایوان (اقلیم مدیترانه‌ای)

## مدیریت آب و آبیاری

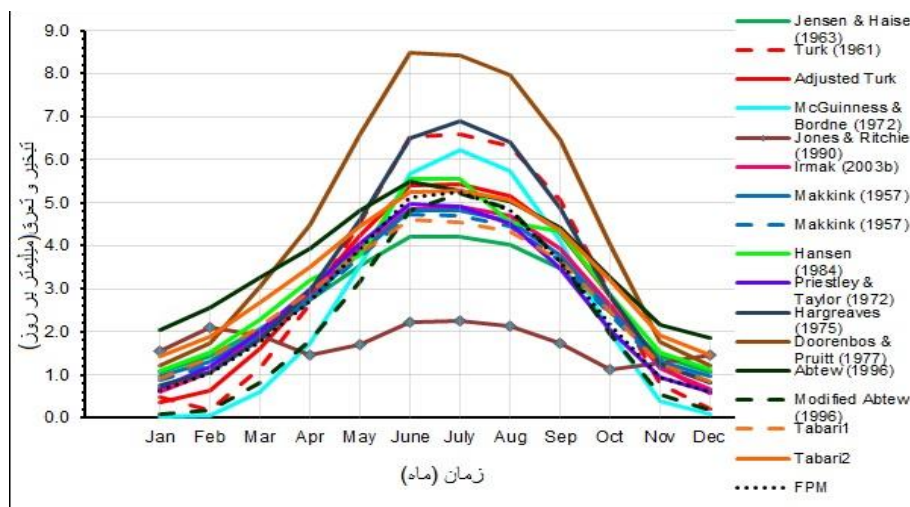
دوره ۸ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۷



مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق مرجع براساس روش‌های تابش خورشیدی در اقلیم‌های مختلف ایران

جدول ۶. نتایج محاسبات تبخیر- تعرق و شاخص‌های آماری ایستگاه ابعلی (اقلیم نیمه مرطوب)

R/t	t	R	MBE	RMSE (mm day <sup>-1</sup> )	Mean (mm day <sup>-1</sup> )	روش‌ها	ردیف
۰/۰۱	۱۰۲/۱۴	۰/۹۸	۰/۵	۰/۶۲	۳/۲۴	هانسن (1984)	۱
۰/۰۶	۱۴/۴۷	۰/۸۲	۰/۴	۲/۰۸	۳/۱۳	تورک (1961)	۲
۰/۲۳	۴/۲۷	۰/۹۹	-۰/۰۲	۰/۳۳	۲/۷۱	پریستلی تیلور (1973)	۳
۰/۰۴	۲۴/۹۸	۰/۹۷	۰/۱۷	۰/۵۳	۲/۹	تورک اصلاح شده	۴
۰/۱۱	۹/۱۳	۰/۹۷	۰/۰۵	۰/۴۱	۲/۷۸	ایرماک (1957)	۵
۰/۰۱	۹۵/۱	۰/۹۲	۰/۹۵	۱/۲۱	۳/۶۹	آبتیو (1996)	۶
۰/۰۶	۱۵/۶۹	۰/۹۸	۰/۰۹	۰/۴۲	۲/۸۲	مککینگ ۱ (1957)	۷
۰/۰۱	۷/۴۵	۰/۹۸	-۰/۴۴	۰/۶۹	۲/۲۹	آبتیو اصلاح شده	۸
۰/۳۶	۲/۶۸	۰/۹۶	۰/۰۲	۰/۵۶	۲/۷۵	طبری و همکاران (2013)	۹
۰/۲۷	۳/۶۳	۰/۹۸	-۰/۰۱	۰/۴۱	۲/۷۲	مککینگ ۲ (1957)	۱۰
۰/۱۱	۹/۲	۰/۹۷	-۰/۰۸	۰/۶۵	۲/۶۵	جنسن هیز	۱۱
۰/۰۱	۹۵/۵۳	۰/۹۷	۰/۶۵	۰/۸۲	۳/۳۸	طبری و همکاران ۲ (2013)	۱۲
۰/۰۱	۱۰۶/۵۱	۰/۹۸	۱/۹	۲/۳۱	۴/۶۳	دورنوس و پرویت	۱۳
۰/۰۵	۱۷/۷۱	۰/۹۷	-۰/۲	۰/۸۶	۲/۵۳	امسی گاینس و بوردن	۱۴
۰/۰۱	۳۹/۷۱	۰/۲۷	-۰/۹۹	۲/۰۹	۱/۷۵	جانز و ریچ	۱۵
۰/۰۱	۶۸/۶۸	۰/۹۹	۰/۶۷	۰/۹۹	۳/۴۱	هارگریوز	۱۶



شکل ۷. نمودار تبخیر و تعرق برآوردی از روش‌های مختلف برپایه تابش (ایستگاه ابعلی)

تبخیر- تعرق روزانه برای این ایستگاه انتخاب شدند (اگرچه مقدار MBE روش مکینگ ۲ کمتر از پریستلی تیلور است ولی تفاوت آن بسیار ناچیز بوده و تأثیر چندانی بر روی نتیجه ندارد). همچنین روش دورنوس و پرویت با وجود دارا بودن ضریب رگرسیونی (R) بالا

با توجه به جدول (۶) برای ایستگاه ابعلی (اقلیم نیمه مرطوب)، روش پریستلی تیلور با داشتن بیشترین ضریب رگرسیونی معادل ۰/۹۹ و کمترین RMSE معادل ۰/۳۳ و بعد از آن روش مکینگ ۲ با RMSE معادل ۰/۴۲ در بین تمام معادلات به عنوان بهترین روش جهت محاسبه

## مدیریت آب و آبیاری

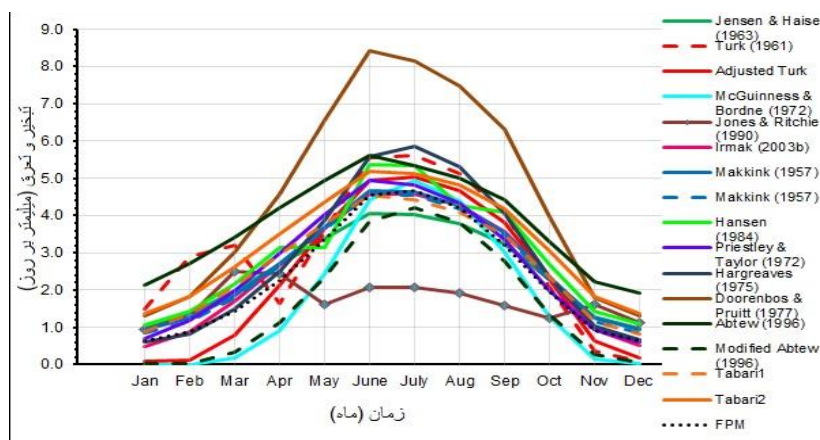
دوره ۸ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۷

(ضریب رگرسیونی ۰/۹۷ و RMSE برابر ۰/۴۱ و MBE=۰/۱۲) و مک کینگ ۲ (ضریب رگرسیونی ۰/۹۸ و RMSE برابر ۰/۴۱ و ۰/۲۰) بهترین برآورد را نسبت به بقیه روش‌ها را دارند. همچنین روش تورک (ضریب رگرسیونی ۰/۰۹ و RMSE برابر ۱۷/۷۷) به‌عنوان بدترین روش محاسبه تبخیر- تعرق انتخاب شد. ضمناً در شکل (۸) نیز نتایج اخذشده قابل مشاهده است

معادل ۰/۹۸ به‌دلیل بیشترین مقدار RMSE و t به‌عنوان بدترین روش محاسبه تبخیر- تعرق انتخاب شدند. همچنین در شکل (۷)، روش پرستلی تیلور بیشترین همپوشانی و روش دورنباس و پرویت کمترین همپوشانی با روش فائو- پنمن- مانیتث را نشان می‌دهند. در جدول (۷)، برای ایستگاه چیتگر (اقلیم مرطوب) نیز با توجه به کلیه شاخص‌های آماری روش‌های ایرماک

جدول ۷. نتایج محاسبات تبخیر- تعرق و شاخص‌های آماری ایستگاه چیتگر (اقلیم مرطوب)

R/t	t	R	MBE	RMSE (mm day <sup>-1</sup> )	Mean (mm day <sup>-1</sup> )	روش‌ها	ردیف
۰/۰۱	۱۲۸/۹۱	۰/۹۸	۰/۶۹	۰/۷۹	۳/۹	هانسن (1984)	۱
۰/۰۴	۲/۴	۰/۰۹	۰/۵۸	۱۷/۷۷	۲/۹۸	تورک (1961)	۲
۰/۰۲	۴۹/۱۶	۰/۹۷	۰/۲۶	۰/۴۷	۲/۶۶	پرستلی تیلور (1973)	۳
۰/۰۸	۱۲/۸۴	۰/۹۸	-۰/۱۲	۰/۶	۲/۲۸	تورک اصلاح‌شده	۴
۰/۰۴	۲۱/۸۱	۰/۹۷	۰/۱۲	۰/۴۱	۲/۵۲	ایرماک (1957)	۵
۰/۰۱	۱۴۲/۰۵	۰/۹	۱/۳۷	۱/۵۴	۳/۷۷	آبتیو (1996)	۶
۰/۰۲	۵۹/۹۵	۰/۹۸	۰/۲۸	۰/۴۴	۲/۶۸	مککینگ ۱ (1957)	۷
۰/۰۱	۱۴۴/۲۱	۰/۹۸	-۰/۷۲	۰/۸	۶۹/۱	آبتیو اصلاح‌شده	۸
۰/۰۳	۳۷/۰۶	۰/۹۴	۰/۲۷	۰/۶	۲/۶۷	طبری همکاران (2013)	۹
۰/۰۲	۴۱/۶	۰/۹۸	۰/۲	۰/۴۱	۲/۶	مککینگ ۲ (1957)	۱۰
۰/۰۷	۱۴/۶۹	۰/۹۶	۰/۱۱	۰/۵۴	۲/۵۱	جنسن هیز	۱۱
۰/۰۱	۱۳۲/۵۵	۰/۹۵	۰/۸۸	۱	۳/۲۸	طبری همکاران ۲ (2013)	۱۲
۰/۰۱	۱۰۴/۹۱	۰/۹۷	۲/۱۷	۲/۶۵	۴/۵۷	دورنبوس و پرویت	۱۳
۰/۰۱	۶۷	۰/۹۷	-۰/۵۸	۰/۸۶	۱/۸۳	امسی گاینس و بوردن	۱۴
۰/۰۱	۲۹/۲۳	۰/۲۴	-۰/۷	۱/۹۱	۱/۷	جانز و ریچ	۱۵
۰/۰۲	۵۷/۳۴	۰/۹۹	۰/۴۵	۰/۷۳	۲/۸۵	هارگریوز	۱۶

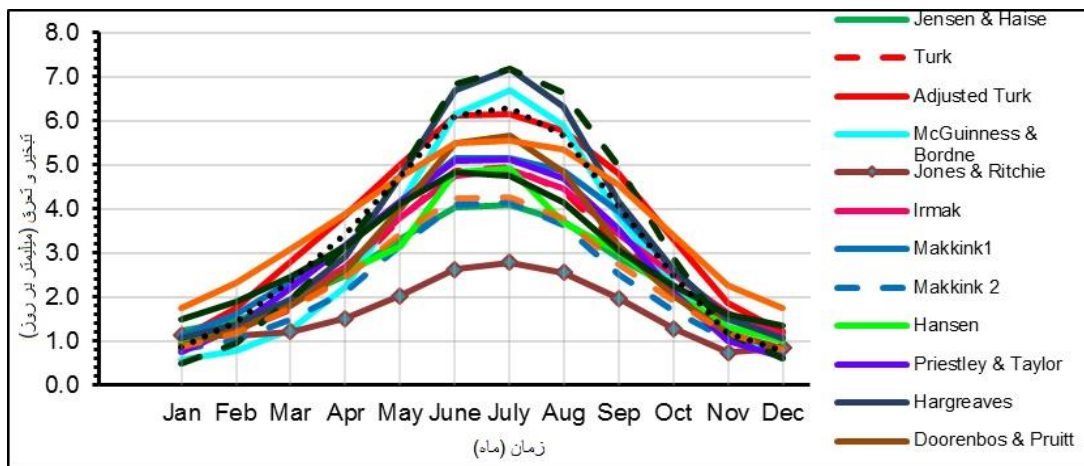


شکل ۸. نمودار تبخیر و تعرق برآوردی از روش‌های مختلف برپایه تابش (ایستگاه چیتگر)

مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق مرجع براساس روش‌های تابش خورشیدی در اقلیم‌های مختلف ایران

جدول ۸. نتایج محاسبات تبخیر- تعرق و شاخص‌های آماری ایستگاه بندر انزلی (اقلیم بسیار مرطوب)

ردیف	روش‌ها	Mean (mm day <sup>-1</sup> )	RMSE (mm day <sup>-1</sup> )	MBE	R	t	R/t
۱	هانسن (1984)	۲/۶۸	۰/۶۱	۰/۱۹	۰/۹۷	۲۵/۶۲	۰/۰۴
۲	تورک (1961)	۲/۷	۱/۰۱	۰/۴۹	۰/۹۵	۴۱/۰۹	۰/۰۳
۳	پریستلی تیلور (1973)	۲/۸۳	۰/۷۵	-۰/۴۸	۰/۹۸	۶۱/۷	۰/۰۲
۴	تورک اصلاح شده	۳/۶۵	۰/۶۷	۰/۳۴	۰/۹۶	۴۳/۶۲	۰/۰۲
۵	ایرماک (1957)	۲/۸۱	۰/۶۱	-۰/۰۱	۰/۹۶	۰/۴۶	۲/۰۹
۶	آبتیو (1996)	۲/۹۳	۱/۰۱	۰/۳۹	۰/۹۲	۳۰/۸۳	۰/۰۳
۷	مککینگ ۱ (1957)	۳/۰۶	۰/۷۲	-۰/۲۵	۰/۹۷	۲۸	۰/۰۳
۸	آبتیو اصلاح شده	۳/۴۸	۰/۷۵	۰/۱۷	۰/۹۷	۱۶/۸۳	۰/۰۶
۹	طبری و همکاران (2013)	۲/۳۹	۰/۸۵	-۰/۳	۰/۹۵	۲۸/۲۵	۰/۰۳
۱۰	مککینگ ۲ (1957)	۲/۲۱	۰/۷۸	-۰/۳۸	۰/۹۷	۴۰/۵۲	۰/۰۲
۱۱	جنسن هیز	۲/۵۲	۰/۹۹	-۰/۳۵	۰/۹۶	۲۷/۸۱	۰/۰۳
۱۲	طبری و همکاران ۲ (2013)	۳/۶۸	۰/۸۸	۰/۳۷	۰/۹۶	۳۴/۷۳	۰/۰۳
۱۳	دورنبوس و پرویت	۲/۸۲	۱/۹۳	۱/۶۳	۰/۹۸	۴۸/۱۱۵	۰/۰۱
۱۴	امسی گاینس و بوردن	۲/۹۸	۱/۱۹	۰/۴۲	۰/۹۷	۲۸	۰/۰۳
۱۵	جانز و ریچ	۱/۶۵	۲/۲۵	-۱/۶۶	۰/۷۷	۸۰/۴۱	۰/۰۱
۱۶	هارگریوز	۳/۴۸	۱/۵	۱/۱	۰/۹۷	۷۹/۷۳	۰/۰۱



شکل ۹. نمودار تبخیر و تعرق برآوردی از روش‌های مختلف برپایه تابش (ایستگاه بندر انزلی)

می‌گردد که با توجه به ضرایب و پارامترهای آماری موردنظر، دو روش هانسن و ایرماک هر دو کمترین مقدار

با توجه به نتایج جدول (۸) و بررسی مدل‌ها برای ایستگاه بندر انزلی (اقلیم بسیار مرطوب)، مشاهده

## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۸ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۷

تبخیر و تعرق می‌باشند. در رابطه با اقلیم مدیترانه‌ای نیز نتایج حاکی از آن است که روش‌های تورک اصلاح‌شده و مکینگ ۲ هرکدام با پوششی در حدود ۵۰٪ ایستگاه‌ها به‌عنوان بهترین روش‌های برآورد تبخیر و تعرق و روش‌های جانز و ریچ و دورنباس و پرویت نیز با پوششی در حدود ۵۰٪ ایستگاه‌های این اقلیم به‌عنوان بدترین روش‌های برآورد تبخیر و تعرق می‌باشند. همچنین نتایج داد که در اقلیم نیمه‌مرطوب نیز به ترتیب دو روش پرستلی تیلور و ایرماک با پوششی معادل ۶۷٪ و ۳۳٪ بهترین و جانز و ریچ و دورنباس و پرویت نیز با همین درصد به‌عنوان بدترین روش‌های برآورد تبخیر و تعرق شناخته شدند. در اقلیم مرطوب نیز به ترتیب دو روش پرستلی تیلور و ایرماک با پوششی معادل ۷۵٪ و ۲۵٪ بهترین روش‌ها و دورنباس و پرویت با پوشش ۵۰٪ و جانز و ریچ با پوشش ۲۵٪ بدترین روش شناخته شد. ترتیب بهترین روش‌ها و همچنین بدترین آن‌ها در اقلیم‌های بسیار مرطوب نیز به ترتیب عبارت بودند از ایرماک با ۵۷٪ و پرستلی تیلور با ۴۳٪، جانز و ریچ با ۸۶٪ و دورنباس و پرویت با ۱۴٪ پوشش. خلاصه نتایج حاصله از انتخاب بهترین و بدترین روش‌های برآورد تبخیر و تعرق مرجع برای تمامی اقلیم‌های ذکرشده در جدول (۹) ارائه شده است.

RMSE را به خود اختصاص داده‌اند. اما در روش ایرماک مقدار MBE و t از روش‌ها سن کمتر بوده در نتیجه روش ایرماک به‌عنوان بهترین روش و روش جانز و ریچ با داشتن کمترین ضریب رگرسیونی و بیشترین مقدار RMSE و t به‌عنوان بدترین روش برای برآورد تبخیر و تعرق در این ایستگاه انتخاب شد. همچنین در شکل (۹) تطابق مناسب و نامناسب روش‌های انتخابی با روش پنمن ماتیت نشان داده شده است. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی بهترین روش‌های برآورد تبخیر و تعرق مرجع بر پایه تابش در کل ایستگاه‌های کشور نشانگر آن است که در اقلیم خشک به ترتیب روش‌های هانسن و آبتیو اصلاح‌شده با پوششی در حدود ۴۴٪ و ۱۶٪ کل ایستگاه‌ها به‌عنوان بهترین روش‌های برآورد تبخیر و تعرق، و روش‌های جانز و ریچ و هارگریوز نیز به ترتیب با ۵۰٪ و ۲۹٪ پوشش ایستگاه‌ها به‌عنوان بدترین روش‌های برآورد تبخیر و تعرق را شامل می‌شوند. در اقلیم‌های نیمه‌خشک روش‌های ایرماک و هانسن با پوششی در حدود ۴۵٪ و ۲۳٪ کل ایستگاه‌های این اقلیم، به‌عنوان بهترین روش‌های برآورد تبخیر و تعرق، و از میان روش‌های نامناسب منتخب برای هر ایستگاه روش‌های جانز و ریچ و دورنباس و پرویت نیز به ترتیب با ۳۳٪ و ۲۱٪ پوشش ایستگاه‌ها به‌عنوان بدترین روش‌های برآورد

جدول ۹. بهترین و بدترین روش محاسبه تبخیر- تعرق مرجع در هر اقلیم

اقلیم منطقه	بهترین روش‌ها	درصد پوشش ایستگاه‌ها	بدترین روش‌ها	درصد پوشش ایستگاه‌ها
خشک	هانسن و آبتیو اصلاح شده	۴۴٪ و ۱۶٪	جانز و ریچ و هارگریوز	۵۰٪ و ۲۹٪
نیمه‌خشک	ایرماک و هانسن	۴۵٪ و ۲۳٪	جانز و ریچ و دورنباس و پرویت	۳۳٪ و ۲۱٪
مدیترانه	تورک اصلاح شده و مکینگ ۲	۵۰٪ و ۵۰٪	جانز و ریچ و دورنباس و پرویت	۵۰٪ و ۵۰٪
نیمه‌مرطوب	پرستلی تیلور و ایرماک	۶۷٪ و ۳۳٪	جانز و ریچ و دورنباس و پرویت	۶۷٪ و ۳۳٪
مرطوب	پرستلی تیلور و ایرماک	۷۵٪ و ۲۵٪	دورنباس و پرویت و جانز و ریچ و	۷۵٪ و ۲۵٪
بسیار مرطوب	ایرماک و پرستلی تیلور	۵۷٪ و ۴۳٪	دورنباس و پرویت و جانز و ریچ و	۸۶٪ و ۱۴٪

## بحث و نتیجه گیری

در تحقیق حاضر با توجه به اهمیت بسیار بالای پدیده تبخیر- تعرق در برنامه‌ریزی منابع آب در زمینه‌های مختلف و به‌ویژه کشاورزی و عدم وجود تحقیق کاملی در زمینه بررسی و مقایسه روش‌های محاسبه تبخیر- تعرق در بین روش‌های بر پایه تابش خورشیدی برای اقلیم‌های مختلف در کل ایران، به محاسبه تبخیر- تعرق مرجع چمن با کلیه مدل‌های بر پایه تشعشع و مدل فائو پنمن مانیتث برای ۱۵۴ ایستگاه سینوپتیک کشور پرداخته شد. به دلیل عدم وجود داده‌های لایسیمیتری در کل کشور، روش فائو پنمن- مانیتث به‌عنوان روش مرجع در نظر گرفته و سپس تبخیر- تعرق برآورد شده از مدل‌ها با روش فائو پنمن- مانیتث مقایسه و بهترین مدل محاسبه تبخیر- تعرق برای همه ایستگاه‌ها و اقلیم‌های مختلف کشور مشخص شد. بررسی نتایج این تحقیق و سایر تحقیقات انجام شده در این رابطه نشانگر آن است که نتایج حاصل از تحقیق با نتایج گزارش شده توسط ولی‌پور که در طی تحقیقاتی، مدل‌های بر پایه تابش را در استان‌های مختلف ایران بدون توجه به تنوع اقلیمی بررسی و پیشنهاد نموده است، کاملاً متفاوت می‌باشد. ضمناً در نتایج تحقیق ارائه شده برای یزد با اقلیم خشک روش آبتیو به‌عنوان روش برتر گزارش شده که با نتایج این تحقیق مطابقت ندارد (۱۴). همچنین طبق نتایج گزارش شده توسط بابامیری و دین‌پژوه که به ترتیب روش‌های دورنبوس- پرویت، پرستلی تیلور، مکینگ، جنسن- هیز، تورک، آبتیو و مکینز- بوردن را در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با اقلیم نیمه‌خشک به‌عنوان بهترین روش معرفی گردیده است که این نتایج با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق برای مناطق با اقلیم نیمه‌خشک که روش ایرماک و هانسن را در اولویت قرار داده، هماهنگی ندارد (۱). این عدم هماهنگی‌ها در موارد ذکر شده و تحقیقات انجام شده،

به دلیل تفاوت در سال‌های آماری مورد بررسی بین دو تحقیق و همچنین بررسی تعداد محدودی از روش‌های تخمین تبخیر و تعرق مبتنی بر تابش در تحقیق بابامیری و همکاران می‌باشد. ضمناً نتایج به‌دست آمده در این تحقیق با نتایج گزارش شده توسط تومار و کومار که در منطقه پانت ناگار واقع در ایالت اوتراخاند هند با اقلیم نیمه‌مرطوب، روش کاستاندا راتو که روشی شناخته شده و جهانی نبوده را به‌عنوان اولویت معرفی نموده‌اند، تطابق ندارد (۱۳). رحیمی خوب و همکاران در تحقیقی که در شمال ایران با اقلیم نیمه‌مرطوب و مرطوب انجام داده‌اند، استفاده از مدل پرستلی تیلور را برای تخمین تبخیر- تعرق پتانسیل پیشنهاد نموده‌اند که با نتایج ارائه شده در این تحقیق هماهنگی و تطابق دارد (۱۱). به‌هرحال، نتایج حاصل از این تحقیق که حاصل بررسی داده‌های هواشناسی طولانی مدت و قابل قبول ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک سرتاسر ایران با اقلیم‌های مختلف است، می‌تواند راهنمای مناسبی برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل براساس بهترین روش‌های بر پایه تابش خورشیدی برای کلیه متخصصان و مهندسان و برنامه‌ریزان منابع آب و کشاورزی مورد استفاده واقع شود.

## منابع

۱. بابامیری، دین‌پژوهی و اسدی (۱۳۹۲) واسنجی و ارزیابی هفت روش تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع مبتنی بر تابش خورشیدی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. دانش آب و خاک. ۴: ۱۴۳-۱۵۸.
۲. سلطانی س و سلطانی م (۱۳۸۴) مقایسه برآورد تابش خورشید با استفاده از روش هارگریوز- سامانی و شبکه‌های عصبی مصنوعی. دانش کشاورزی. ۱۵(۱): ۶۹-۷۷.
۳. علیزاده (۱۳۸۳) رابطه آب و خاک و گیاه. چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، مشهد. ۴۷۲ صفحه.

- (2003) Solar and Net Radiation based Equations to Estimate Reference Evapotranspiration in Humid Climates. *Irrigation and Drainage Engineering*. 129(5): 336-347.
10. Jacovides. C.P .1997. Reply to comment on Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration models, *J. Agricultural water management* 3:95-97.
11. Rahimikhoob A, Behbahani M A and Fakheri J (2012) An Evaluation of Four Reference Evapotranspiration Models in a Subtropical Climate. *Water Resources Management*. 26: 2867-2881.
12. Temesgen B, Echings S, Davidoff B and Frame K (2005) Comparison of some reference evapotranspiration equations for California. *Irrigation and Drainage Engineering*. 131(1): 73-84.
13. Tomar A S and Kumar O P (2015) Performance of Radiation-Based Reference Evapotranspiration Equations Vs FAO 56-PM model at Sub-Humid Region of Uttarakhand. *International journal of Research in Advent Technology*. 3(6): 51-57.
14. Valipour M (2015) Evaluation of radiation methods to study potential evapotranspiration of 31 provinces. *Meteorology and Atmospheric Physics*. 127(3): 289-303.
15. Xu CY and Singh VP (2002) Cross comparison of empirical equations for calculating potential evapotranspiration with data from Switzerland. *Water Resources Management*. 16(3): 197-219.
۴. قمرنیا ه. و سپهری س (۱۳۸۸) اصلاح هیدرومدل الگوی کشت در شرایط کم آبیاری به منظور استفاده بیشتر از منابع آب و خاک در شبکه های آبیاری و زهکشی. دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۵. موسوی بایگی س. م.، عرفانیان م. و سرمد م (۱۳۸۸) استفاده از حداقل داده های هواشناسی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ارایه ضرایب اصلاحی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). آب و خاک علوم و صنایع کشاورزی. ۲۳(۱): ۹۱-۹۹.
۶. هاشمی نیا س م (۱۳۸۵) مدیریت آب در کشاورزی. چاپ دوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد. ۵۳۵ صفحه.
7. Dehghanisanij H, Yamamoto T and Rasiah V (2004) Assessment of Evapotranspiration Estimation Models for use in Semi - arid Environments. *Agricultural Water Management*. 64: 91-106.
8. Hargreaves G H (1994) Defining and using reference evapotranspiration. *Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*. 120: 1132-1139.
9. Irmak S, Irmak A, Allen R G and Jones J W



## Water and Irrigation Management

(Scientific Journal of Agriculture)  
(College of Abouraihan – University of Tehran)

Vol. 8 ■ No. 2 ■ Autumn & Winter 2019

### Comparison of Different Radiation based Methods to Estimate Reference Evapotranspiration in various climates of Iran

Houshang Ghamarnia<sup>1\*</sup>, Maryam Yousefvand<sup>2</sup>

1. Professor, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.
2. Former M.Sc. Student, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

Received: October 05, 2018

Accepted: December 14, 2018

#### Abstract

This study was conducted to compare the estimation methods of the reference Evapotranspiration for the methods based on solar radiation with FAO Penman Monteith for different climates to find the best model for each weather station and each climate in Iran. The evapotranspiration equations used in this research were Turc, modified Turc, Hargreaves, Makkink models, Priestley-Taylor, Jensen- Haise, McGuinness & Bordne, Jones & Ritchie, Irmak, Hansen, Doorenbos- Pruitt, Abteu, and tabari et al models. Meteorological data of 154 synoptic stations across the country on a daily basis was prepared from the country's Meteorological Agency for 15 years. The accuracy of the methods was evaluated using the statistical indexes. Among them are RMSE, MBE, R and t. The results showed that models of Hansen and modified Abteu were more applicable and Jones & Ritchie and Hargreavs had the less accuracy in arid climates. In semi-arid areas Irmak and Hansen methods had more accuracy. In Mediterranean areas Adjusted Turk and Makkink 2 were more accurate methods. In the semi- humid, humid and very humid areas the methods of Priestley-Taylor and Irmak presented more appropriate results. The methods of Jones & Ritchie and Doorenbos – Pruitt were the less accuracy in all climates.

**Keywords:** Irmak Hansen, Mkkink, Penman Monteith, Statistical tests, Turc modified.