

ارزیابی و واسنجی روش‌های مختلف برآورد تبخیر تعرق در سه نمونه اقلیمی ایران

محمد قبائی سوق*

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

ابوالفضل مساعدی

دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مامور به دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد

موسی حسام

استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

ابوطالب هزارجریبی

استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

فرآیند تبخیر و تعرق یکی از اجزای اصلی چرخه‌ی هیدرولوژیکی است که تخمین دقیق آن در مطالعات بیلان آبی، طراحی سیستم‌های آبیاری و برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب نقش بسزایی دارد. در این تحقیق با استفاده از آمار روزانه داده‌های هواشناسی ۳ ایستگاه سینوپتیک تهران، گرگان و کرمانشاه با شرایط اقلیمی متفاوت (به ترتیب خشک، مدیترانه‌ای و نیمه خشک بر اساس روش دومارتن)، تبخیر و تعرق با ۵ روش فائو پنمن-مانتیث (EPM56)، هارگریوز-سامانی (EHS)، تورک (ET)، پریستولی-تیلور (EPT) و مک‌کینک (EMK) در دوره آماری ۱۹۹۲ الی ۲۰۰۷ محاسبه گردید. سپس با مرجع قرار دادن روش EPM56، معادلات فوق برای هر ۳ ایستگاه در دوره ۱۹۹۲ الی ۲۰۰۲ واسنجی و با استفاده از معیارهای آماری R_2 ، RMSE و MBE معادلات تجربی مختلف مقایسه شد. پس از آن بهترین معادله‌ی واسنجی در دوره ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۷ برای هر ایستگاه تعیین شد. نتایج نشان داد که در ایستگاه‌های تهران، گرگان و کرمانشاه به ترتیب معادلات واسنجی شده‌ی EHS، ET و EHS از دقت بالاتری در مقایسه با EPT و EMK برخوردار هستند. ضمن آن که واسنجی معادلات تجربی سبب افزایش کارایی و کاهش خطا شده است.

واژگان کلیدی: تبخیر و تعرق پتانسیل، واسنجی معادلات تجربی، فائو پنمن مانتیث، ایران



مقدمه

فرآیند تبخیر و تعرق یکی از مولفه‌های اصلی چرخه‌ی هیدرولوژیکی است که تخمین دقیق آن در مطالعات بیلان هیدرولوژیکی آب، طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری، شبیه‌سازی تولید گیاهی و برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب برای دستیابی به توسعه‌ی پایدار نقش بسزایی دارد (صیادی و همکاران، ۱۳۸۸). با توجه به میزان اندک نزولات جوی و محدودیت منابع آب در ایران، مدیریت صحیح و ارتقاء بهره‌وری مصرف در شبکه‌های آبیاری و زهکشی از اهمیت زیادی برخوردار بوده و لازم است در مورد مسائلی که به نحوی با آن مرتبط می‌شود، به شرایط و ملزومات استفاده‌ی بهینه توجه کافی شود. در این راستا تعیین نسبتاً دقیق مقدار آبی که برای تبخیر و تعرق مصرف می‌شود، از عوامل اساسی در برنامه‌ریزی برای رسیدن به محصول بیشتر و الگوی توسعه‌ی پایدار است (محمدی و همکاران، ۱۳۸۸).

یکی از متداول‌ترین روش‌های تخمین مقدار تبخیر و تعرق گیاه زراعی، محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع نظیر چمن یا یونجه از یک سطح استاندارد و سپس استفاده از ضرایب گیاهی برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر می‌باشد. بر اساس استاندارد فائو، تبخیر و تعرق گیاه مرجع عبارت است از میزان آبی که یک مزرعه پوشیده از گیاه مرجع (نظیر چمن) در یک دوره زمانی مشخص مصرف نماید به طوری که گیاهان این مزرعه در طول دوره رشد با کمبود آب مواجه نشوند (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). اثر متقابل فاکتورهای کلیماتولوژی از قبیل دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، تشعشع، نوع و مرحله رشد گیاه و عوامل دیگر سبب شده است تا تبخیر و تعرق به صورت پدیده‌ای غیرخطی و پیچیده بیان شود (کومار و همکاران، ۲۰۰۲). بخاطر دشواری و پیچیدگی فرآیند مذکور از سوی محققان معادلات تجربی مختلفی شامل پنمن ۱۹۴۸ Penman، تورنت‌وایت ۱۹۴۸ Thornth-Waite، بلانی کریدل 1950 Blaney-Criddle، مک‌کینک ۱۹۵۷ Makkink، تورک ۱۹۶۱ Turc، هارگریوز-سامانی ۱۹۸۵ Hargreavs-Samani، پریستولی-تیلور ۱۹۶۳ Priestley-Taylor، پنمن-مانتیث ۱۹۶۵ Penman-Monteith و فائو پنمن-مانتیث ۱۹۹۸ FAO Penman-Monteith ارائه شده‌است (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۶). برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع به کمک هر یک از روش‌های ذکر شده با توجه به فرضیات و داده‌های مختلف هواشناسی مورد استفاده در آن‌ها، اغلب نتایج متفاوتی به دست می‌دهند. اغلب این روش‌ها تحت واسنجی‌های منطقه‌ای به دست آمده‌اند و برای شرایط آب و هوایی خاصی از اعتبار جهانی محدود برخوردارند. جانسون و همکاران (۱۹۹۰) مقدار ET_0 را با استفاده از لایسیمتر در ۱۱ نقطه‌ی جهان با شرایط اقلیمی و آب و هوایی مختلف اندازه‌گیری نمودند و نتایج حاصل را با بیش از بیست روش مختلف تجربی محاسبه‌ی ET_0 مقایسه و بیان داشتند که در تمامی ایستگاه‌ها نتایج پنمن مانتیث از دقت بالاتری برخوردار است و بیان داشتند روش پنمن مانتیث می‌تواند به عنوان روش مرجع برای ارزیابی سایر روش‌ها بکار رود. این روش نیازمند داده‌های تابش، دما، رطوبت و سرعت باد بوده و با درجه اعتماد بالایی در دامنه وسیعی از مناطق و اقلیم‌ها برآورد صحیحی از تبخیر و تعرق گیاه مرجع را ارائه می‌کند. طبری (۲۰۰۹) با مرجع قراردادن روش فائوپنمن-مانتیث به ارزیابی چهار روش هارگریوز، تورک، پریستولی-تیلور و مک‌کینک برای محاسبه تبخیر و تعرق ماهانه در ۱۲ ایستگاه



سینوپتیک با شرایط آب و هوایی مختلف در ایران پرداخت. نتایج وی نشان داد که روش تورک برای مناطق دارای اقلیم سرد-مرطوب و اقلیم خشک از نتایج خوبی نسبت به سایر روش‌ها برخوردار است، ضمن آن‌که مدل هارگریوز دارای دقت مناسب برای شرایط اقلیمی گرم-مرطوب و سرد-خشک می‌باشد. همچنین مدل مک‌کینک در تمام شرایط آب و هوایی به جز سرد-مرطوب دارای ضعیف‌ترین برآورد بود. در آب و هوای سرد-مرطوب مدل هارگریوز نیز نتایج ضعیفی به همراه داشت. دین‌پژوه و همکاران (۱۳۸۷) از روش هارگریوز برای تخمین مقدار متوسط تبخیر و تعرق در ۸۰ ایستگاه هواشناسی در ایران و تحلیل الگوی تغییرات مکانی آن در ماه‌های رشد فعال گیاه (آوریل- سپتامبر) استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که سواحل غربی دریای خزر کم‌ترین و قسمت‌های مرکزی بلوچستان بیشترین مقدار ET_0 سالانه را داشتند و مقادیر ET_0 از آوریل تا جولای افزایش و به تدریج از جولای تا سپتامبر کاهش می‌یابد. ضمن آن‌که بیشترین مقدار ET_0 معادل با ۲۷۳ میلی‌متر در ماه جولای به دزفول و کمترین آن به مقدار ۷۱ میلی‌متر در ماه آوریل متعلق به بندر انزلی بوده است. بیات‌ورکشی و همکاران (۱۳۸۷) با بررسی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق در سه ایستگاه سینوپتیک همدان، کرج و گرگان، بهترین روش برآورد تبخیر و تعرق ماهانه در ایستگاه‌های مذکور را به ترتیب هارگریوز-سامانی، تورک و پنمن-کیمبرلی تشخیص دادند. دین-پژوه (۲۰۰۶) با توجه به شاخص خشکی (نسبت باران بر ET_0) روش E_{HS} را برای مناطق غرب و شمال غرب کشور مناسب ارزیابی نمود.

با توجه به این‌که معادلات برآورد کننده تبخیر و تعرق پتانسیل در مناطق خاص و با شرایط آب و هوایی مربوط به آن محل استخراج شده‌اند، لازم است که کارایی این معادلات جهت استفاده در مناطق دیگر ارزیابی شود. ضمن آن‌که معادلات تجربی مختلف پارامترهای اقلیمی یکسانی را به کار نمی‌گیرند و به دلیل ماهیت تجربی آن‌ها برای تمام شرایط اقلیمی مناسب نیستند و لازم است که معادله‌ی مناسب برای هر منطقه مشخص شود. بنابراین هدف از انجام این تحقیق ارزیابی دقت معادلات تجربی کالیبره شده (هارگریوز-سامانی، پریستولی-تیلور، مک‌کینک و تورک) جهت تخمین ET_0 و مقایسه با روش فائو پنمن-مانتیت به عنوان روش مرجع در ایستگاه‌های سینوپتیک گرگان، تهران و کرمانشاه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق از ۳ ایستگاه سینوپتیک گرگان، تهران و کرمانشاه به ترتیب با اقلیم-های مدیریتانه‌ای، خشک، نیمه‌خشک در گستره‌ی ایران به صورت روزانه از ابتدای سال ۱۹۹۲ میلادی تا پایان سال ۲۰۰۷ شامل دمای حداکثر (T_{max})، دمای حداقل (T_{min})، رطوبت نسبی (RH)، ساعات آفتابی (n) و سرعت باد در ارتفاع دو متری (U_2) می‌باشند که از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. مشخصات برخی از خصوصیات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی در جدول ۱ درج شده است.



جدول ۱- مشخصات برخی از خصوصیات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	دما (سانتی‌گراد)	بارش (میلی‌متر)	رطوبت (درصد)	اقلیم (دومارتن)
گرگان	۳۶° ۵۱'	۵۴° ۱۸'	۱۳۳	۱۸/۰۵	۶۰۱	۷۰	مدیترانه‌ای
تهران	۳۵° ۴۱'	۵۱° ۱۹'	۱۹۹۰/۸	۱۷/۳۰	۲۳۲/۸	۴۱	خشک
کرمانشاه	۳۴° ۱۷'	۴۷° ۰۷'	۱۳۲۲	۱۴/۲۵	۴۴۵/۱	۴۷	نیمه‌خشک

۲- معادلات تجربی برآورد تبخیر و تعرق

(الف) فائو پنمن-مانتیت (E_{PM56})

روش موسوم به E_{PM56} در سال ۱۹۹۰ ارائه و سپس توسط آلن و همکاران (۱۹۹۸) تصحیح و به عنوان روش مرجع برای محاسبه‌ی E_{TO} به صورت ماهانه، ۱۰ روزه، روزانه و حتی ساعتی از طرف سازمان‌های بین‌المللی مختلف پذیرفته و تأیید گردید (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

$$E_{PM56} = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma (890 / (T + 273)) U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

(ب) هارگریوز-سامانی (E_{HS})

هارگریوز و سامانی در سال ۱۹۸۵ با فرض این که مهم‌ترین پارامترهای موثر بر E_{TO}، دما و تابش برون‌زمینی می‌باشند. برای محاسبه‌ی تبخیر و تعرق پتانسیل (E_{TO}) روش تجربی زیر را پیشنهاد دادند (لاندراس و همکاران، ۲۰۰۸).

$$E_{HS} = 0.0023 \frac{R_a}{\lambda} (T_{mean} + 17.8) \sqrt{T_{max} - T_{min}} \quad (2)$$

(ج) پرستولی-تیلور (E_{PT})

پرستولی و تیلور در سال ۱۹۷۲ معادله‌ی ساده شده‌ی از روش ترکیبی را برای تعیین E_{TO} به شکل زیر ارائه دادند. در این فرمول قسمت آئروپنمیک معادله حذف و قسمت مربوط به انرژی در یک ضریب ثابت α (۱/۲۶) ضرب شده است. معادله‌ی فوق تکامل یافته معادله پنمن (۱۹۴۸) می‌باشد که دارای اساس فیزیکی است و به داده‌های دمایی و تابش خورشیدی برای محاسبه‌ی E_{TO} نیاز دارد (لاندراس و همکاران، ۲۰۰۸).

$$E_{PT} = \frac{a}{\lambda} \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) \quad (3)$$

(د) مک‌کینک (E_{MK})

در سال ۱۹۵۷ مک‌کینک معادله‌ی زیر را برای تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن پیشنهاد داد. این معادله براساس مقایسه بین داده‌های لایسیمتری و روش پنمن (۱۹۴۸) در هلند برای محاسبه‌ی E_{TO} بدست آمد و نیازمند داده‌های دمایی و تابش خورشیدی است (لاندراس و همکاران، ۲۰۰۸).

$$E_{MK} = 0.61 \frac{\Delta R_s}{\Delta + \gamma \lambda} - 0.12 \quad (4)$$

ه) تورک (E_T)

تورک در سال ۱۹۶۱ برای محاسبه‌ی E_{T0} روزانه معادله‌ی زیر را پیشنهاد داد که نیازمند داده‌های دمایی، تابش خورشیدی و رطوبت نسبی است. وی همچنین عقیده دارد که هرچه درجه حرارت بیشتر شود، مقادیر بیشتری از انرژی خورشید صرف تبخیر و تعرق می‌شود (لاندراس و همکاران، ۲۰۰۸).

$$E_T = a_T 0.013 \frac{T_{mean}}{T_{mean} + 15} + \frac{23.8856 R_s + 50}{\lambda} \quad (5)$$

$$HR \geq 50 \rightarrow a_T = 1$$

$$HR < 50 \rightarrow a_T = 1 + \frac{50 - HR}{70}$$

پارامترهای بکار گرفته شده در معادلات فوق به شرح زیر می‌باشند:

T_{min} حداقل دمای روزانه (°C)، T_{max} حداکثر دمای روزانه (°C)، T_{mean} میانگین دمای روزانه (°C)، λ گرمای نهان تبخیر (MJ Kg⁻¹)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع (KPa C⁻¹)، R_n تابش خالص در سطح پوشش گیاهی (MJ m⁻² d⁻¹)، G چگالی شار گرمای خاک (MJ m⁻² d⁻¹)، R_s تابش خورشیدی روزانه (MJ m⁻² d⁻¹)، R_a تابش برون‌زمینی (MJ m⁻² d⁻¹)، α = ۰.۱۲۶، γ ضریب سایکرومتری رطوبتی (KPa C⁻¹)، u₂ سرعت باد در ارتفاع دو متری (m s⁻¹)، e_s فشار بخار اشباع (KPa)، e_a فشار بخار واقعی (KPa) و RH متوسط رطوبت نسبی روزانه (%). تمامی پارامترهای اقلیمی که در این تحقیق برای محاسبه E_{T0} به کار برده شد، با استفاده از معادلات ارائه شده در نشریه‌ی شماره ۵۶ فائو، بدست آمد.

۳- واسنجی معادلات E_{T0} در دوره‌ی آماری ۱۹۹۲ الی ۲۰۰۳

به منظور افزایش کارایی و بهبود عملکرد معادلات تبخیر و تعرق، می‌توان با استفاده از روش‌های استاندارد مانند فائو پنمن-مانتیث و یا از روی داده‌های لایسیمتری معادلات تجربی را برای هر منطقه واسنجی نمود. در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی امکان اندازه‌گیری همه‌ی پارامترهای مورد نیاز معادله‌ی E_{PM56} وجود ندارد و یا این‌که در آن ایستگاه یک دوره‌ی کامل آماری برای محاسبه‌ی E_{T0} به این روش موجود نیست. در چنین مواردی استفاده از معادلات تجربی که نیاز به پارامترهای هواشناسی کمتری دارند، ناگزیر به نظر می‌رسد. بنابراین در این شرایط می‌توان با استفاده از آمار دوره‌ای که در آن پارامترهای روش E_{PM56} اندازه‌گیری شده‌است، یا با استفاده از آمار ایستگاه‌هایی که دارای شرایط مشابه با ایستگاه مورد مطالعه هستند، واسنجی مطابق با رابطه‌ی پیشنهادی فائو در نشریه ۵۶ انجام گیرد (لاندراس و همکاران، ۲۰۰۸).

$$ET_o = a + b ET_{Model} \quad (6)$$

در رابطه ۶ E_{T0} تبخیر و تعرق استاندارد است که از روش E_{PM56} محاسبه می‌شود، E_{Model} تبخیر و تعرق محاسبه شده از فرمول‌های تجربی و a و b ضرایب رگرسیون خطی می‌باشند.



۴- تعیین میزان کارایی عمل واسنجی معادلات تجربی

به منظور سنجش این که عمل واسنجی معادلات تجربی تا چه میزان توانسته است سبب افزایش یا کاهش خطا شود، با محاسبه ی مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا برای معادلات تبخیر و تعرق با عمل واسنجی ($RMSE_{ET_0 \text{ Calibrated}}$) و بدون عمل واسنجی ($RMSE_{ET_0 \text{ not Calibrated}}$) در دوره آماری ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۷ از رابطه ۷ استفاده شده است (لاندراس و همکاران، ۲۰۰۸).

$$RaRMSE = 1 - \frac{RMSE_{ET_0 \text{ Calibrated}}}{RMSE_{ET_0 \text{ not Calibrated}}} \quad (7)$$

در رابطه ی ۷ مقادیر مثبت RaRMSE نشان دهنده ی بهبود عملکرد و کاهش مقدار خطای معادلات تبخیر و تعرق در اثر عمل واسنجی است و مقادیر منفی نشان دهنده ی آن است که عمل واسنجی سبب افزایش مقدار خطا شده است.

۵- معیارهای آماری سنجش مقدار خطا

در این تحقیق به منظور سنجش مقدار خطای مدل های مختلف، مقادیر تبخیر و تعرق روزانه محاسبه شده از معادلات تجربی واسنجی شده (E_{Modeli}) با مقادیر محاسبه شده به روش فائو پنمن-مانتیث (E_{PM56}) (به عنوان روش مرجع) از طریق معیارهای آماری R^2 ، RMSE و MBE مقایسه می گردند.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (E_{Modeli} - E_{PM56i})}{n} \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_{Modeli} - E_{PM56i})^2}{n}} \quad (9)$$

نتایج و بحث

۱- نتایج واسنجی معادلات ET_0 در دوره ی آماری ۱۹۹۲ الی ۲۰۰۲

با استفاده از آمار پارامترهای هواشناسی مقادیر تبخیر و تعرق از معادلات تجربی ۱ الی ۵ در دوره ی آماری ۱۹۹۲ الی ۲۰۰۳ محاسبه و با مرجع قرار دادن روش E_{PM56} معادلات تجربی، با استفاده از رابطه ی ۶ واسنجی و ضرایب رگرسیون خطی محاسبه گردید که این ضرایب برای معادلات مختلف تبخیر و تعرق ایستگاه های مورد بررسی در جداول ۲ الی ۴ آمده است.

جدول ۲- پارامترهای رگرسیون خطی برای واسنجی معادلات ET_0 در ایستگاه سینوپتیک گرگان

معادله	شیب	عرض از مبدا	ضریب تبیین
هار گریوز-سامانی	۰/۹۲۷	-۰/۲۷۴	۰/۹۰۸
پریستولی-تیلور	۰/۸۸۰	۰/۱۳۵	۰/۹۴۵
مک کینک	۱/۱۷۶	-۰/۰۷۳	۰/۹۱۷
تورک	۲/۵۰۰	-۰/۱۹۷	۰/۹۳۳

جدول ۳- پارامترهای رگرسیون خطی برای واسنجی معادلات ET_0 در ایستگاه سینوپتیک تهران

معادله	شیب	عرض از مبدا	ضریب تبیین
هارگریوز-سامانی	۱/۱۷۵	-۰/۲۷۴	۰/۸۷۶
پریستولی-تیلور	۱/۱۹۴	۰/۲۷۵	۰/۸۶۹
مک کینک	۱/۴۱۰	-۰/۲۶۷	۰/۸۶۰
تورک	۲/۰۶۷	۰/۴۹۳	۰/۸۵۳

جدول ۴- پارامترهای رگرسیون خطی برای واسنجی معادلات ET_0 در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه

معادله	شیب	عرض از مبدا	ضریب تبیین
هارگریوز-سامانی	۰/۸۲۹	۰/۱۹۴	۰/۸۸۱
پریستولی-تیلور	۱/۲۰۸	۰/۲۱۰	۰/۸۷۶
مک کینک	۱/۲۷۹	-۰/۰۶۳	۰/۸۶۷
تورک	۱/۷۹۸	۰/۸۰۳	۰/۸۷۰

نتایج این جداول نشان می‌دهد که در این دوره بدون انجام واسنجی در ایستگاه گرگان معادله پریستولی-تیلور با ضریب تبیین ۰/۹۴۵ از دقت بیشتری برخوردار است و در ایستگاه‌های تهران و کرمانشاه معادله هارگریوز-سامانی به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۸۷۶ و ۰/۸۸۶ از دقت بالاتری برخوردار بود که با نتایج دین-پزوه که روش E_{HS} را برای غرب و شمال غرب ایران پیشنهاد داد مطابقت دارد. ضمن آن که در ایستگاه‌های گرگان، تهران و کرمانشاه به ترتیب معادلات E_{HS} ، E_T و E_{MK} نتایج ضعیف‌تری نشان دادند که نتایج گرگان و کرمانشاه با نتایج حاصل از پژوهش طبری (۲۰۰۹) مطابقت دارد. در عین حال نتایج ایستگاه تهران با نتایج طبری (۲۰۰۹) همخوانی ندارد. این موضوع ممکن است به دلیل به نوع داده‌های مورد بررسی (از نظر ماهانه یا روزانه) باشد. زیرا وی در تحقیق خود در تهران از دوره‌ی آماری ماهانه استفاده نموده است در حالی که در این تحقیق از داده‌های روزانه استفاده شده است. معادله E_{HS} به علت آنکه از پارامتر تابش برون-زمینی به جای تابش خورشیدی استفاده می‌کند در مناطق مرطوب و سواحل دریاها دارای دقت کمتری است. علت آن می‌تواند اثر رطوبت و پوشش ابری این مناطق بر مقدار تابش خورشیدی باشد که باعث می‌شود تا حدودی مقادیر E_{HS} بیشتر از مقدار واقعی برآورد گردند. هم‌چنین معادله‌ی E_{MK} به علت شرایط محیطی کشور هلند که در آنجا توسعه یافته است در مناطق با آب و هوای خشک و نیمه‌خشک از نتایج ضعیفی برخوردار است.

۲- نتایج مقایسه‌ی معادلات تجربی ET_0 واسنجی شده‌ی در دوره‌ی آماری ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۷

در ادامه این تحقیق با استفاده از ضرایب رگرسیون خطی محاسبه شده در دوره‌ی آماری ۱۹۹۲ الی ۲۰۰۲ در جداول شماره ۲ الی ۴، چهار روش مختلف برآورد تبخیر و تعرق هارگریوز-سامانی (E_{HS})، تورک (E_T)، پریستولی-تیلور (E_{PT}) و مک کینک (E_{MK}) در سه ایستگاه سینوپتیک واقع شده در سه اقلیم متفاوت



مدیرانه‌ای، نیمه‌خشک و خشک با مرجع قرار دادن روش E_{PM56} از رابطه‌ی ۶، واسنجی گردیدند که نتایج آن در جداول ۵ الی ۷ آمده است. با مقایسه‌ی روش‌های مختلف در دوره‌ی آماری ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۷ در سه ایستگاه گرگان، تهران و کرمانشاه به ترتیب معادلات واسنجی شده‌ی E_T ، E_{HS} و E_{HS} با ضریب تبیین ۰/۹۳۴، ۰/۸۸۹ و ۰/۸۸۵ هم‌چنین مقادیر $RMSE$ ۰/۴۷۲، ۰/۹۳۰ و ۰/۷۶۷ از دقت بالاتری برخوردار هستند. ضمن آن‌که در ایستگاه‌های مذکور به ترتیب معادلات واسنجی شده‌ی E_{MK} ، E_{MK} و E_{PT} از دقت کمتری برای تخمین ET_0 روزانه برخوردار می‌باشند.

جدول ۵- نتایج مقایسه معادلات مختلف با معیارهای سنجش خطا در ایستگاه سینوپتیک گرگان

معادله	R^2	RMSE	MBE
هارگریوز-سامانی	۰/۹۱۱	۰/۵۵۳	-۰/۱۱۳
پریستولی-تیلور	۰/۹۴۰	۰/۴۸۳	-۰/۱۷۰
مک‌کینک	۰/۹۰۷	۰/۵۲۷	۰/۰۲۷
تورک	۰/۹۴۳	۰/۴۷۲	-۰/۱۶۴

جدول ۶- نتایج مقایسه معادلات مختلف با معیارهای سنجش خطا در ایستگاه سینوپتیک تهران

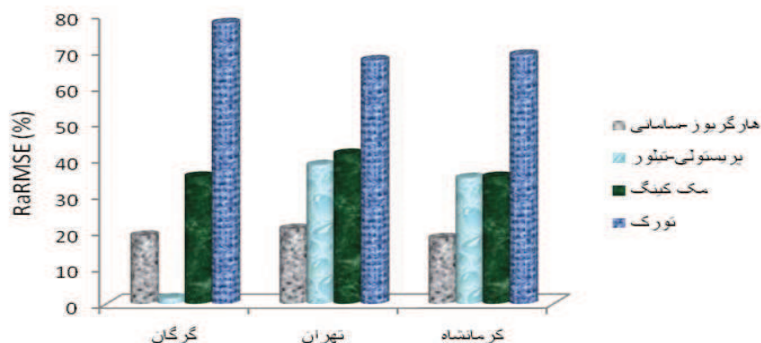
معادله	R^2	RMSE	MBE
هارگریوز-سامانی	۰/۸۸۹	۰/۹۳۰	-۰/۳۹۴
پریستولی-تیلور	۰/۸۷۴	۰/۹۱۱	-۰/۲۳۶
مک‌کینک	۰/۸۴۷	۰/۹۸۴	-۰/۲۲۰
تورک	۰/۸۴۹	۰/۹۶۱	-۰/۱۹۱

جدول ۷- نتایج مقایسه معادلات مختلف با معیارهای سنجش خطا در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه

معادله	R^2	RMSE	MBE
هارگریوز-سامانی	۰/۸۸۵	۰/۷۶۷	-۰/۱۰۷
پریستولی-تیلور	۰/۸۳۶	۰/۹۰۱	-۰/۱۷۱
مک‌کینک	۰/۸۴۵	۰/۸۸۵	-۰/۱۵۳
تورک	۰/۸۷۹	۰/۷۸۲	-۰/۰۶۴

با توجه به شکل ۱، به‌طور کلی انجام عمل واسنجی به‌جز در معادله E_{PT} در گرگان سبب بهبود کارایی و کاهش خطای معادلات تجربی به مقدار قابل ملاحظه‌ای شده‌است. درصد کاهش خطا برای معادلات مختلف در هر یک از سه ایستگاه مورد بررسی تقریباً از روند مشابهی برخوردار است. به‌طوری‌که معادله‌ی E_T در اثر واسنجی با میانگین ۷۱/۱ درصد بیشترین کاهش خطا را داشته‌است. هم‌چنین مقدار متوسط کاهش خطا برای معادلات E_{HS} و E_{PT} در سه ایستگاه مورد مطالعه به ترتیب ۳۷/۲۹، ۲۴/۹۰ و ۱۹/۲۶ می‌باشد. با توجه به شکل ۱، در ایستگاه‌های تهران، گرگان و کرمانشاه به ترتیب معادلات E_{HS} ، E_{PT} و E_{HS} کم‌ترین درصد بهبود خطا را به خود اختصاص داده‌اند که علت این امر آن است که مطابق نتایج حاصل از جداول ۲

الی ۴ این معادلات در دوره‌ی آماری ۱۹۹۲ الی ۲۰۰۳ به عنوان مناسب‌ترین روش برآورد ET_0 در ایستگاه-های مذکور انتخاب شدند.



شکل ۱- هیستوگرام مقادیر درصد RaRMSE معادلات مختلف واسنجی شده در دوره‌ی آماری ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۷ در ایستگاه‌های مورد بررسی

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق چهار روش مختلف برآورد تبخیر و تعرق هارگریوز-سامانی (E_{HS})، تورک (E_T)، پرستولی-تیلور (E_{PT}) و مک‌کینک (E_{MK}) را در سه ایستگاه سینوپتیک واقع شده در سه اقلیم متفاوت مدیریتانه‌ای، نیمه‌خشک و خشک با مرجع قرار دادن روش E_{PM56} در دوره‌ی آماری ۱۹۹۲ الی ۲۰۰۲ با هم مقایسه شدند. سپس با استفاده از ضرایب رگرسیون خطی دوره‌ی آماری ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۷ واسنجی و با معیارهای مختلف آماری با یکدیگر مقایسه و مناسب‌ترین روش برآورد ET_0 در هر ایستگاه انتخاب گردید. بطور کلی در منطقه گرگان (با رطوبت بالا و بارندگی زیاد) نتایج روش E_{HS} مقادیر ET_0 را کمی بیش از مقدار واقعی برآورد می‌کند. بنابراین برای چنین مناطقی باید معادلاتی که مقدار رطوبت را منظور می‌کنند استفاده شود و در مناطق با رطوبت کم و ارتفاع زیاد از سطح دریا روش هارگریوز-سامانی از نتایج خوبی برخوردار است. در این مطالعه با بررسی معادلات تجربی مختلف در سه نمونه‌ی متفاوت از شرایط اقلیمی ایران به طور کلی می‌توان تا حدودی چنین نتیجه‌گیری نمود که مدل‌های هارگریوز-سامانی و تورک برای شرایط آب و هوایی مورد بررسی در این تحقیق نسبت به مدل‌های پرستولی-تیلور و مک‌کینک دارای دقت بالاتری هستند. همچنین نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر و تعرق تا حد زیادی تابع شرایط آب و هوایی منطقه‌ی مورد بررسی است و از طرف دیگر با واسنجی معادلات تبخیر و تعرق می‌توان باعث افزایش کارایی و کاهش خطا برای مقاصد مورد نظر در منطقه‌ی طرح شد.



دانشگاه صنعتی کرمانشاه

درآمدی بر جنبه های فنی-فرهنگی منابع آب آب، انسان و اجتماع



وزارت نیرو
شرکت مدیریت منابع آب ایران

سیاسگزاری

از کارکنان محترم سازمان هواشناسی کشور که داده‌های مورد نیاز این پژوهش را به آسانی در اختیار نویسندگان قرار دادند، قدردانی می‌شود.

منابع

- بیات ورکشی، م.، سبزی‌پرور، ع. ا. و قاسمی، ع. ۱۳۸۷. ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق در دو اقلیم مختلف (مطالعه موردی: همدان، کرج و گرگان). سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، ایران.
- دین‌پژوه، ی.، فاخری‌فرد، ا.، مقدم، م.، جهانبخش، س.، صادقی، س. و تکه‌کر، ع. ۱۳۸۷. بررسی تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ایران با استفاده از روش هارگریوز. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، ایران.
- صیادی، ح.، غفاری، ا.، فعالیان، ا. و صدرالدینی، ع. ۱۳۸۸. مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی MLP و RBF در برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع. مجله دانش آب و خاک، جلد ۱۹ شماره ۱. ۱-۱۲.
- علیزاده، ا. و کمالی، غ. ۱۳۸۶. نیاز آبی گیاهان در ایران. چاپ اول. موسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی. ۲۲۸ ص.
- محمدی، م.، نوری، م. و ولیاقت، ع. م. ۱۳۸۸. ارزیابی روش فائو پنمن-مانتیث برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از داده‌های محدود آب و هوایی. کنفرانس بین‌المللی منابع آب، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران.

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, Paper no. 56. FAO, Rome.
- Dinpashoh, Y. 2006. Study of reference crop evapotranspiration in I.R. of Iran, Agricultural water management, 85. 12-26
- Jensen, M. E., Burman, R. D., Allen, R.G., 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices no. 70. American Society of Civil Engineers, NY.
- Kumar, M., Raghuvanshi, N. S., Singh, R., Wallender, W. W. and Pruitt, W. O. 2002. Estimating evapotranspiration using artificial neural network. J Irrig. Drain. Eng., 128(4), 224- 233.
- Landeras, G., Ortiz-Barredo, A. and Lopez, J. J. 2008. Comparison of artificial neural network models and empirical and semi-empirical equations for daily reference evapotranspiration estimation in the Basque Country (Northern Spain). Agricultural water management No:95, 553-565.
- Tabari H. 2009. Evaluation of reference crop evapotranspiration equations in various climates, Water Resource Management, DOI 10.1007/s11269-009-9553-8.