مطالعه تطبیقی مقادیر برآورد شده تبخیر- تعرق با استفاده از روش تشت تبخیر و مدل FAO۵۶-PM واسنجی شده برمبنای مؤلفه تابش

زهرا آقاشریعتمداری [۱]*
نرگس اطمینان**
فائزه رفیعی فر***

چکیده

تابش خورشید منبع نخستین انرژی برای کلیه فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیکی در سطح زمین و یکی از مهمترین عوامل محیطی تأثیرگذار بر رشد و نمو گیاهان زراعی است. در هواشناسی کشاورزی داشتن مقادیر تابش دریافتی از خورشید به‌ویژه برای محاسبه تبخیر-تعرق و نیاز آبی گیاهان ضروری است. باتوجه به ضرورت آگاهی از مقادیر تابش خورشیدی در فرآیند مدل‌سازی واکنش‌های زیست شناختی و در نتیجه مدیریت کارآمد و بهره‌برداری بهینه از منابع کشاورزی، برآورد میزان انرژی دریافتی از خورشید در هرمنطقه با استفاده از داده‌های همدیدی و بکار بردن مدلی که بهترین نتیجه را داشته باشد امری ضروری است. هدف از این مطالعه ارزیابی تأثیر واسنجی مؤلفه تابش مدل FAO۵۶_PM در مقادیر برآورد شده تبخیر-تعرق و همچنین بررسی میزان همبستگی نتایج حاصل از مدل های برآورد تبخیر- تعرق با برآوردهای حاصل از تشت تبخیر می‌باشد. برای این منظور داده‌های روزانه هواشناسی مورد نیاز مربوط به سال های ۲۰۰۳-۲۰۰۲ ایستگاه کرج پس از کنترل کیفی و آزمون همگنی مورد استفاده قرار گرفتند. در اولین مرحله مؤلفه تابش طول موج کوتاه خورشیدی بر اساس مقادیر روزانه واسنجی شد و با جایگزینی در ساختار مدل میزان حساسیت مدل به واسنجی این مؤلفه از تابش بررسی شد. نتایج نشان داد که تفاوت معنی داری بین نتایج حاصل از مدل اصلی و مدل‌های واسنجی شده FAO۵۶_PM وجود ندارد. علاوه براین با مقایسه برآوردهای تبخیر-تعرق حاصل از مدل FAO۵۶_PM و روش تشت تبخیر مشاهده شد همبستگی بین مقادیر حاصل معنی دار نبوده و مقادیر برآورد شده تبخیر-تعرق با استفاده از روش تشت تبخیر نسبت به مدل FAO۵۶_PM از اعتبار چندانی برخوردار نمی باشند.

واژگان کلیدی : مدل FAO۵۶_PM، مقیاس زمانی روزانه، تبخیر-تعرق پتانسیل، ایستگاه تحقیقاتی هواشناسی کشاورزی کرج

---

* استادیار گروه آبیاري وآبادانی، دانشکده مهندسي و فناوري کشاورزي، پردیس کشاورزي و منابع طبیعي دانشگاه تهران
** مدرس دانشگاه فنی و حرفه ای، آموزشکده کشاورزی پاکدشت
*** دانشجوي دوره کارشناسي، گروه آبیاري وآبادانی، دانشکده مهندسي و فناوري کشاورزي ، پردیس کشاورزي و منابع طبیعي دانشگاه تهران

تاریخ دریافت : ۹۰/۱۰/۸ تاریخ پذیرش :۹۱ /٤/۲۱

---

[۱] مسئول مکاتبات : زهرا آقاشریعتمداری
نشانی: تهران صندوق پستی ۱۴۶۶۵-۶۳۹
پست الکترونیک: zagha@ut.ac.ir
تلفن: ۰۲۶۱۲۲۴۱۱۱۹

۱- مقدمه

آگاهی از مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل یکی از نیازهای ضروری در برآورد نیاز آبی گیاهان، برنامه‌ریزی صحیح عملیات آبیاری، طراحی سیستم‌های آبیاری، مطالعات هیدرولوژیکی و تحقیقات زهکشی می‌باشد. با توجه به اینکه اندازه‌گیری مستقیم این متغیر در مقیاس زمانی روزانه دشوار و مستلزم صرف هزینه و زمان زیادی است، استفاده از روش‌های غیرمستقیم که مقادیر تبخیر-تعرق را بر مبنای داده‌های هواشناسی موجود برآورد می‌کنند می‌تواند به‌عنوان جایگزینی مناسب و قابل اعتماد برای مقادیر اندازه‌گیری شده به‌شمار رود (پنمن، ۱۹۴۸؛ تورنت وایت، ۱۹۴۸؛ پریستلی و تیلور، ۱۹۷۴؛ هارگریوز، ۱۹۹۴). بر همین اساس تاکنون روش‌ها و مدل‌های متعددی از جمله مدل‌های پنمن، پنمن- رایت، پنمن-فائو، پنمن-بوسینگر،پنمن-کیمبرلی، پنمن- مانتیث، فائو پنمن- مانتیث ، هارگریوز- سامانی و جنسن- هیز برای محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل ارائه شده‌اند که از میان این روش‌ها مدل فائو پنمن-مانتیث (FAO۵۶-PM) به‌عنوان روشی معتبر و مورد پذیرش در زمینه برآورد تبخیر-تعرق توسط فائو توصیه شده است. درساختار این مدل از متغیرهای مختلف هواشناسی از جمله متغیرهای دمای هوا، رطوبت نسبی، تعداد ساعات آفتابی، تابش دریافتی از خورشید در سطح زمین و سرعت باد استفاده شده است. تابش خورشید یکی از مهمترین متغیرهای موجود در ساختار این مدل است. علی‌رغم اهمیت داده‌های تابش خورشیدی در مطالعات محیطی، شبکه ایستگاه‌های اندازه‌گیری این متغیر به‌سبب محدودیت‌های فنی، مالی و سازمانی بسیار پراکنده و دارای تراکم اندکی می‌باشند. علاوه بر این، در داده‌های اندازه‌گیری شده موجود نیز خطاهای بسیاری وجود دارد، به‌صورتی که حجم زیادی از داده‌ها طی فرآیند کنترل کیفیت، از دست می‌رود. از این رو, نظر به عدم دسترسی به داده‌های جامع تابش نیاز به روشی فراگیر برای برآورد تابش به‌صورت تابعی از سایر متغیرهای رایج موجود در حال افزایش است. از این رو، بکاربردن روش‌های تجربی بر پایه روابط قانونمند بین مقادیر تابش کل خورشیدی و سایر متغیرهای هواشناسی برای شبیه‌سازی و برآورد مقدار تابش مفید است. این روش‌ها، به‌طور کلی، به گروه‌های ابرپایه (کاستن، ۱۹۸۳)، ساعات‌آفتابی مبنا (آنگستروم، ۱۹۲۴؛ پرسکات، ۱۹۴۰) و دما پایه (بریستو و کمپبل، ۱۹۸۴) تقسیم‌بندی می‌شوند. یکی از مهمترین و عامترین روابط تجربی موجود در زمینه برآورد تابش خورشیدی بر سطح افقی که در مدل FAO۵۶-PM نیز از آن استفاده می‌شود رابطه آنگستروم (۱۹۲۴) است. مدل آنگستروم بر پایه ضرایب تجربی a و b استوار است.

(۱)

$$\frac{R_S}{R_.} = a + b\frac{n}{N}$$

رابطه آنگستروم درحقیقت ارتباط خطی ساده کسر ساعات‌آفتابی ($\frac{n}{N}$) و ضریب‌گذرایی جو ($\frac{R_S}{R_.}$) مورد بررسی قرار می‌دهد. این رابطه در گروه روابط یک متغیره برآورد تابش قرار دارد. ضرایب رابطه آنگستروم بسته به شرایط جوی (وجود رطوبت، گرد و غبار) و مقدار تابش خورشیدی (عرض جغرافیایی و زمان) تغییر می‌یابد. در شرایطی که داده‌های تابش موجود نباشند و واسنجی ضرایب رابطه نیز صورت نگرفته باشد، مقادیر a و b به‌ترتیب ۰/۲۵ و ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. در سراسر جهان محققان با اصلاح رابطه آنگستروم ضرایب این رابطه را برای مناطق مورد مطالعه خود واسنجی کرده‌اند (سامبو، ۱۹۸۵؛ فیبنل، ۱۹۹۰؛ یعقوبی و جعفرپور، ۱۹۹۰؛ آواچی و اوکک، ۱۹۹۰؛ سایی، ۱۹۹۳؛ اودو، ۲۰۰۲؛ آکپابیو و همکاران، ۲۰۰۴؛ سرم و کورنتیپ، ۲۰۰۴؛ احمد و الفت، ۲۰۰۴؛ السبایی و ترابا، ۲۰۰۵؛ فالایی و روبیو، ۲۰۰۵؛ سکیکر، ۲۰۰۶؛ لیو و همکاران، ۲۰۰۹) با این‌حال کاربرد روابط تجربی که در سایر نقاط دنیا آزمون شده است در اقلیم کشور ایران اکثراً کارایی لازم را ندارد و ضرایب و عوامل در ساختار این روابط با ضرایب و عوامل موثر در اقلیم ایران متفاوت می‌باشند. برهمین اساس ضرایب مدل آنگستروم-پرسکات با هدف افزایش کارایی رابطه در برآورد مقادیر تابش دریافتی از خورشید در گستره ایران نیز واسنجی شده است که از جمله کارهای انجام گرفته در

این زمینه می‌توان به مطالعات خلیلی و رضایی صدر (۱۹۹۷) و آقاشریعتمداری و همکاران (۱۳۹۰) اشاره نمود.

یکی از اهدف از این مطالعه بررسی میزان حساسیت مدل FAO۵۶-PM به واسنجی ضرایب رابطه آنگستروم است. در راستای دستیابی به این هدف ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی کرج به‌عنوان ایستگاه نمونه مطالعاتی انتخاب و رابطه آنگستروم-پرسکات براساس آمار روزانه این ایستگاه در فاصله زمانی سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۰۲ در مقیاس زمانی روزانه واسنجی شد. در گام دوم روابط واسنجی شده تابش در ساختار مدل FAO۵۶-PM جایگزین رابطه اصلی آنگستروم-پرسکات ($a = ۰.۲۵, b = ۰.۵$) شد و در نهایت مقادیر برآورد شده تبخیر-تعرق با یکدیگر مقایسه شدند. در آزمونی دیگر مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل با اعمال ضریب تشت بر مقادیر تبخیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه برآورد گردید و میزان همبستگی برآوردها با مقادیر حاصل از مدل FAO۵۶-PM مورد بررسی قرار گرفت و امکان استفاده از داده‌های تشت تبخیر در برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل با فرض پذیرش برتری رابطه FAO۵۶-PM آزمون گردید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- داده‌های مطالعاتی

داده‌های هواشناسی ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی کرج در مقیاس روزانه و در فاصله زمانی سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۰۲ ماده اصلی تحلیل‌های انجام گرفته در این بررسی را تشکیل می‌دهند. این ایستگاه در عرض جغرافیایی ´۵۵ °۳۵ شمالی، طول جغرافیایی ´۵۴ °۵۰ شرقی و ارتفاع ۱۳۱۲/۵ متر از سطح دریا واقع شده است. در نخستین گام، داده‌های روزانه ایستگاه شامل داده‌های تابش کل خورشید، متغیرهای دمای هوا، بارندگی، تعداد ساعات آفتابی، رطوبت نسبی، فشار بخار آب، نقطه شبنم و تبخیر ایستگاه در مقیاس روزانه از سازمان هواشناسی دریافت شد و بانک اطلاعاتی داده‌های مورد بررسی تشکیل گردید. کنترل کیفیت داده‌ها به‌عنوان نخستین گام برای استفاده از داده‌های موجود انجام شد. فرآیند کنترل کیفیت داده‌های تابش ایستگاه بر مبنای الگوریتم کنترل کیفیت مرادی (مرادی، ۲۰۰۹) که مبتنی بر سه سطح آزمون است اجرا شد. آزمون‌های سطح یک و دو مربوط به مقادیر کمینه و بیشینه ممکن تابش روزانه دریافتی از خورشید بر رویه افقی در سطح زمین و تعداد ساعات آفتابی است. سطح سوم الگوریتم، مجموعه‌ای از آزمون‌های تدوام است که رابطه بین تابش دریافتی از خورشید و کسر ساعات آفتابی را بکار می‌برد (آنگستروم، ۱۹۲۴؛ آنگستروم، ۱۹۵۶). در نهایت پس از اعمال آزمون کنترل کیفیت درحدود ۳۹۵ روز داده به عنوان ماده اصلی بررسی، انتخاب شده و ۳۰ درصد از آمار موجود جهت آزمون کارایی و ۷۰ درصد از آمار برای اعتبارسنجی مدل‌ها اختصاص داده‌شد.

۲-۲- روش‌های برآورد تبخیر-تعرق

مبنای اصلی این بررسی مدل پیشنهادی پنمن-مانتیث برای برآورد تبخیر تعرق روزانه است (رابطه ۲).

$$ET_{۰} = \frac{۰.۴۰۸\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{۹۰۰}{T+۲۷۳} U_۲ (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(۱ + ۰.۳۴U_۲)} \qquad (۲)$$

که در آن $ET_{۰}$ تبخیر-تعرق پتانسیل ($mmday^{-۱}$)، R_n تابش خالص بر سطح پوشش گیاهی ($MJm^{-۲}day^{-۱}$)، G چگالی شار جریان خاک ($MJm^{-۲}day^{-۱}$)، T دمای هوا در ارتفاع دو متر از سطح زمین ($°C$)، $U_۲$ سرعت باد در ارتفاع دو متر از سطح زمین ($m/\sec$)، e_s فشاربخار اشباع (kPa)، γ شیب منحنی فشار بخار ($kPa.°C^{-۱}$) و γ ثابت سایکرومتری ($kPa.°C^{-۱}$) است. این مدل با در نظر گرفتن جنبه‌های ترمودینامیک و آئرودینامیک روشی مناسب جهت برآورد تبخیر-تعرق در اقلیم‌های مرطوب و خشک است و بسیاری از محققین از آن به‌عنوان روشی استاندارد برای اصلاح مدل‌های برآورد تبخیر-تعرق که در ساختار آن داده‌های هواشناسی کمتری بکار برده شده است استفاده می کنند (رایت و همکاران، ۲۰۰۰؛ تمسجن و همکاران، ۲۰۰۵). فرآیند تبخیر-تعرق تابعی از انرژی موجود برای تبخیر آب است که بخش اعظم این انرژی از تابش خورشید دریافت می‌شود. بنابراین متغیر تابش خورشید یکی از مهمترین مؤلفه‌های مورد نیاز برای برآورد تبخیر-تعرق است که در مدل FAO۵۶-PM تابش طول موج کوتاه خورشیدی با استفاده برمبنای مدل آنگستروم-پرسکات محاسبه می‌شود (رابطه ۱) که در آن R_s و $R_{۰}$

به‌ترتیب تابش کلی دریافتی از خورشید بر سطح افقی در بالای جو و تابش کلی دریافتی از خورشید برسطح افقی در سطح زمین، n طول مدت حقیقی ساعات آفتابی، N طول مدت نظری ساعات آفتابی و a و b ضرایب تجربی هستند. از جمله مقادیر اساسی مورد نیاز در مطالعات تابش خورشیدی مقدار تابش کل دریافتی از خورشید در بالای اتمسفر (R_a) و تعداد ساعات نظری تابش خورشید (N) می‌باشند که با استفاده از روابط نجومی برای تمامی روزهای سال برآورد می‌گردند (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) :

$$R_a = ۳۷.۶ d_r \left(W_s \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \sin W_s\right) \quad (۳)$$

$$d_r = ۱ + ۰.۳۳ \cos\left(\frac{۲\pi}{۳۶۵} J\right) \quad (۴)$$

$$\delta = ۰.۴۰۹۳ \sin\left(\frac{۲\pi}{۳۶۵} J - ۱.۳۹\right) \quad (۵)$$

$$W_s = \arccos\left(-\tan\varphi \tan\delta\right) \quad (۶)$$

$$N = \frac{۲۴}{\pi} W_s \quad (۷)$$

که در آن d_r فاصله نسبی زمین تا خورشید، W_s زاویه ساعتی خورشید (رادیان)، φ عرض جغرافیایی (رادیان) و δ زاویه میل خورشیدی (رادیان)، و J شماره روز ژولیوسی است. در راستای اهداف این مطالعه ابتدا ضرایب رابطه آنگستروم-پرسکات با استفاده از آمار روزانه تابش کل دریافتی و ساعات آفتابی در دو مقیاس زمانی روزانه و متوسط ماهانه واسنجی شد و سپس با جایگذاری روابط واسنجی شده بر مبنای داده‌های اندازه‌گیری شده روزانه ایستگاه کرج و رابطه ماهانه ارائه شده توسط آقاشریعتمداری و همکاران (۱۳۹۰) مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل بااستفاده از مدل FAO۵۶-PM برآورد گردید و نتایج حاصل به‌منظور تعیین حساسیت مدل به برآورد مؤلفه تابش طول موج کوتاه خورشیدی با استفاده از سنجه‌های آماری مورد مقایسه قرار گرفتند.

در آزمونی دیگر مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل با اعمال ضریب تشت تبخیر بر مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر در ایستگاه مورد بررسی برآورد گردید و با فرض پذیرش مدل FAO۵۶-PM به‌عنوان مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر-تعرق با نتایج حاصل از این مدل مقایسه شد.

۲-۳- سنجه‌های آماری مقایسه مدل‌ها

برای تعیین میزان کارایی مدل‌ها و مقایسه نتایج حاصل از هریک از پنج سنجه آماری متعارف به‌شرح زیر استفاده شد. رایج‌ترین سنجه‌های آماری معرف کارایی مدل، خطای انحراف متوسط (MBE [۲]) و ریشه دوم متوسط مربعات خطا ($RMSE$ [۳]) می‌باشند که برای مجموعه داده‌ای شامل n داده به صورت زیر تعریف می شوند:

$$MBE = \left[\sum_{۱}^{n} \left(y_{ci} - y_{mi}\right)\right] / n \quad (۱۰)$$

$$RMSE = \left\{\left[\sum_{۱}^{n} \left(y_{ci} - y_{mi}\right)^{۲}\right] / n\right\}^{\frac{۱}{۲}} \quad (۱۱)$$

که دراین بررسی y_{mi} و y_{ci} به ترتیب مقادیر برآورد شده متغیر با استفاده از رابطه اصلی FAO۵۶-PM و مقادیر برآورد شده با جایگذاری روابط واسنجی شده تابش می‌باشند. ضریب تبیین ($R^{۲}$) شاخص بسیار خوبی از چگونگی برازش یک مدل است که می‌تواند مقادیر بین صفر و یک را اختیار کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان دهنده مطلوب‌تر بودن نتایج برازش است که با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$R^{۲} = ۱ - \frac{RMSE^{۲}}{\sigma^{۲}} \quad (۱۲)$$

علاوه بر سنجه‌های MBE، $RMSE$ و $R^{۲}$ که رایج ترین سنجه‌های ارزیابی مدل می‌باشند، آماره‌های دیگری همچون خطای مطلق متوسط (MAE [۴]) و درصد خطای مطلق متوسط ($MAPE$ [۵]) نیز در مقایسه مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت که بزرگی آنها با کارایی مدل نسبت عکس دارد (بادسکو، ۲۰۰۸).

$$MAE = \frac{۱}{n} \sum_{۱}^{n} \left|y_{ci} - y_{mi}\right| \quad (۱۳)$$

$$MAPE = \frac{۱}{n} \left[\sum_{۱}^{n} \left|y_{ci} - y_{mi}\right| \Big/ \sum_{۱}^{n} y_{mi}\right] \quad (۱۴)$$

MAE یک اندازه خطی است که بزرگی متوسط

---

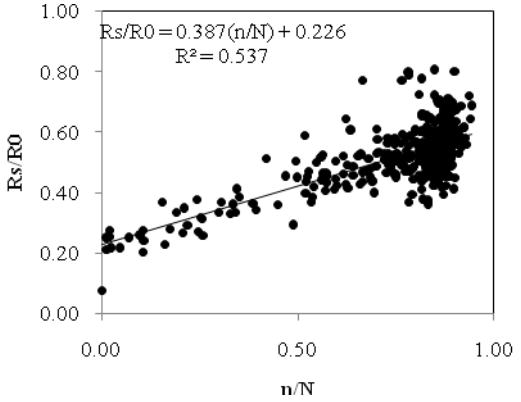
[۲] Mean Bias Error
[۳] Root Mean Square Error
[۴] Mean Absolute Error
[۵] Meam Absolute Persentage Error

خطاها را صرفنظر از علامت آنها تعیین می‌کند و تمامی خطاها در محاسبه این سنجه دارای وزن یکسان درنظر گرفته می‌شوند.

۳- نتایج

۳-۱- واسنجی مدل آنگستروم-پرسکات بر مبنای داده‌های اندازه‌گیری شده روزانه

در مقیاس زمانی روزانه نمودار پراکنش با تعداد ۳۹۵ روز داده ترسیم شد (شکل۱). پس از برازش خط همبستگی ($R^2 = ۰.۵۳۷$) بین مقادیر ($\frac{R_S}{R_.}$) و ($\frac{n}{N}$)، ضرایب a و b به ترتیب ۰/۲۲۶ و ۰/۳۸۷ بدست آمد که همبستگی حاصل در سطح یک درصد معنی‌دار است.



شکل ۱- نمودار پراکنش ضریب گذرایی جو و کسر ساعات آفتابی برمبنای داده‌های روزانه (ایستگاه تحقیقاتی هواشناسی کشاورزی کرج)

۳-۲- برآورد تبخیر-تعرق با استفاده از مدل FAO۵۶-PM بر مبنای مدل‌های اصلی و واسنجی شده آنگستروم-پرسکات

در این مرحله مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل با تأکید بر مؤلفه تابش طول موج کوتاه خورشیدی بر مبنای سه رابطه آنگستروم-پرسکات ارائه شده توسط فائو، رابطه آنگستروم-پرسکات واسنجی شده بر مبنای متوسط‌های ماهانه (آقاشریعتمداری و همکاران، ۱۳۹۰) و رابطه آنگستروم-پرسکات واسنجی شده برمبنای داده‌های اندازه-گیری شده روزانه در ایستگاه (جدول ۱) با هدف تعیین میزان حساسیت مدل به تغییر مؤلفه تابش برآورد گردید.

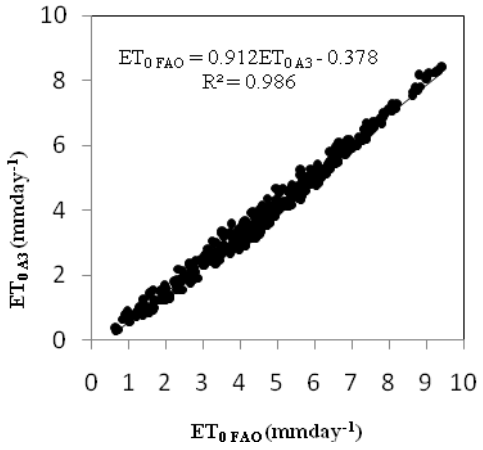
جدول۱- مدل‌های برآورد مؤلفه تابش طول موج کوتاه در برآورد تبخیر-تعرق ایستگاه کرج

ID	نام مدل	رابطه مدل
A۱	رابطه اصلی آنگستروم	$\frac{R_s}{R_.} = ۰.۲۵ + ۰.۵\frac{n}{N}$
A۲	رابطه آنگستروم واسنجی شده بر مبنای متوسط‌های ماهانه	$\frac{R_s}{R_.} = ۰.۴۱۵ + ۰.۲۰۵\frac{n}{N}$
A۳	رابطه آنگستروم واسنجی شده بر مبنای داده‌های روزانه	$\frac{R_s}{R_.} = ۰.۲۲۶ + ۰.۳۸۷\frac{n}{N}$

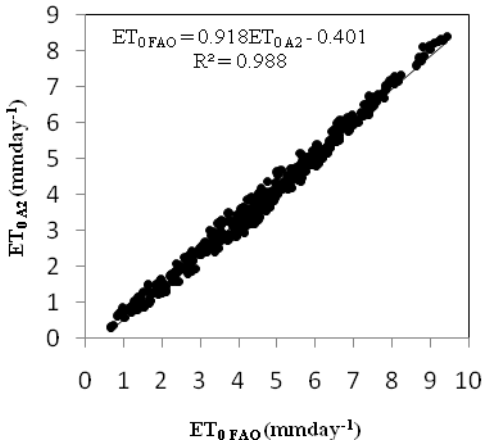
به‌منظور برآورد میزان حساسیت مدل FAO۵۶-PM به مؤلفه تابش طول موج کوتاه خورشیدی سنجه‌های مقایسه آماری مقادیر برآورد شده با استفاده از روابط A۲, A۳ با مبنا قرار دادن داده‌های برآورد شده از مدل اصلی FAO۵۶-PM در ایستگاه محاسبه شد (جدول ۲، شکل‌های ۲و۳).

جدول۲- سنجه‌های مقایسه آماری برآوردهای حاصل از مدل اصلی FAO۵۶-PM و مدل‌های واسنجی شده براساس مؤلفه تابش

ID	R^2	MAE ($mmday^{-1}$)	MPAE (%)	MBE ($mmday^{-1}$)	RMSE ($mmday^{-1}$)
A۲،۱	۰/۹۸۸	۰/۷۹۰	۰/۰۴۲	۰/۷۹۰	۰/۸۳۷
A۳،۱	۰/۹۸۶	۰/۷۸۶	۰/۰۴۲	۰/۷۸۶	۰/۸۲۶



شکل ۲- نمودار پراکنش برآوردهای حاصل از مدل اصلی FAO۵۶-PM و مدل‌های واسنجی شده روزانه براساس مؤلفه تابش

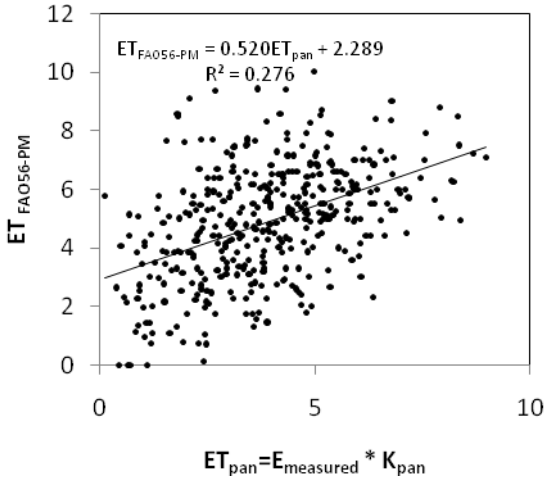


شکل ۳- نمودار پراکنش برآوردهای حاصل از مدل اصلی FAO۵۶-PM و مدل‌های واسنجی شده ماهانه براساس مؤلفه تابش

مقادیر سنجه‌های مقایسه آماری محاسبه شده (جدول ۲) نشان می‌دهند که آزمون آماری A۱،۳ نسبت به آزمون A۲،۱ خطای آماری (MAPE=۰/۷۸۶)، جذر مربعات خطا (RMSE=۰/۸۲۶) و MBE (=۰/۷۸۶) کمتری دارد اما با این حال اختلاف بین سنجه‌های آماری دو مدل اندک است. اگرچه تفاوت سنجه‌های آماری بسیار ناچیز و قابل صرفنظرکردن می‌باشد اما مقادیر سنجه‌های RMSE، MBE، MAPE و MAE بیانگر آن است که مقادیر تبخیر-تعرق برآورد شده بر مبنای مدل واسنجی شده ماهانه تابش از لحاظ آماری همبستگی بیشتری با مقادیر حاصل از مدل FAO۵۶-PM دارد که این امر می‌تواند به‌علت ماهیت اقلیمی رابطه اصلی آنگستروم باشد که براساس داده‌های بلند مدت متوسط ماهانه ارائه شده است. با این وجود با توجه به اختلاف ناچیز مقادیر سنجه‌های آماری می‌توان نتیجه گرفت که حساسیت مدل نسبت به مؤلفه تابش طول موج کوتاه دریافتی در سطح زمین در ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی کرج اندک است و در نتیجه می‌توان رابطه اصلی FAO۵۶-PM را با دقت خوبی در این ایستگاه بکار برد.

۳-۳- مقایسه تبخیر-تعرق برآورد شده با استفاده از داده‌های تشت تبخیر و مدل FAO۵۶-PM

در ادامه بررسی، مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل بااستفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده تبخیر حاصل از تشت تبخیر کلاسA در ایستگاه با اعمال ضریب تشت مربوط به هر روز که با توجه به سرعت باد، رطوبت نسبی و فاصله از پوشش گیاهی تعیین می‌شود برآورد گردید و مقادیر بدست آمده با برآوردهای مدل FAO۵۶-PM مقایسه شد (شکل ۴). همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود و سنجه‌های مقایسه آماری نیز نشان می‌دهند (MBE=-۱،۰ $mmday^{-1}$، RMSE=۱۷/۲ $mmday^{-1}$) برآوردهای حاصل از دو روش از همبستگی خوبی برخوردار نیستند و مقدار خطای آماری برآوردها زیاد است (۴۳/۸۳ درصد). بنابراین با توجه به این‌که مدل FAO۵۶-PM به‌عنوان روشی استاندارد جهت برآورد تبخیر-تعرق استفاده می‌شود و در ساختار آن تأثیر عوامل مختلف هواشناسی درنظر گرفته شده است لذا داده‌های حاصل از تشت تبخیر نسبت به این مدل از اعتبار چندانی برخوردار نمی‌باشد.



شکل ۴- نمودار پراکنش برآوردهای حاصل از مدل FAO۵۶-PM و روش تشت تبخیر

بحث و نتیجه‌گیری

یکی از اهدف از این مطالعه بررسی میزان حساسیت مدل FAO۵۶-PM به واسنجی ضرایب رابطه آنگستروم است. در راستای دستیابی به این هدف ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی کرج به‌عنوان ایستگاه نمونه مطالعاتی انتخاب و رابطه آنگستروم-پرسکات براساس آمار روزانه این ایستگاه در فاصله زمانی سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۰۲ در مقیاس زمانی روزانه واسنجی شد. در گام دوم روابط واسنجی شده تابش در ساختار مدل FAO۵۶-PM جایگزین رابطه اصلی آنگستروم-پرسکات ($a = ۰.۲۵, b = ۰.۵$) شد و در نهایت مقادیر برآورد شده تبخیر-تعرق با یکدیگر مقایسه شدند. مقادیر سنجه‌های مقایسه آماری محاسبه شده (جدول ۲) نشان داد که حساسیت مدل FAO۵۶-PM نسبت به مؤلفه تابش طول موج کوتاه دریافتی در سطح

زمین در ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی کرج اندک است و درنتیجه می‌توان رابطه اصلی FAO۵۶-PM را با دقت نسبتاً خوبی در این ایستگاه بکار برد. نکته قابل توجه در این بررسی برتری رابطه آنگستروم به عنوان ساده‌ترین و کاراترین رابطه برآورد تابش در ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی کرج می باشد. مدل آنگستروم مدل مبنا و مورد استناد در برآوردهای نیاز آبی گیاهان و تبخیر-تعرق است که علی‌رغم سادگی ساختار با گذشت زمان همچنان اعتبار خود را حفظ نموده است و در پژوهش‌های علمی متعدد در همچنان مورد بررسی قرار می‌گیرد (لیو، ۲۰۱۰).

در آزمونی دیگر مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل با اعمال ضریب تشت بر مقادیر تبخیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه برآورد گردید و میزان همبستگی برآوردها با مقادیر حاصل از مدل FAO۵۶-PM مورد بررسی قرار گرفت و امکان استفاده از داده‌های تشت تبخیر در برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل با فرض پذیرش برتری رابطه FAO۵۶-PM آزمون گردید و مشاهده شد که برآوردهای حاصل از دو روش از همبستگی خوبی برخوردار نیستند و مقدار اختلاف آماری برآوردها زیاد است. بنـابراین با توجه به این‌که مدل FAO۵۶-PM به‌عنوان روشی استاندارد برای برآورد تبخیر-تعرق استفاده می‌شود و در ساختار آن تأثیر عوامل مختلف هواشناسی درنظر گرفته شده است لذا داده‌های حاصل از تشت تبخیر که تنها براساس متغیر تبخیر محاسبه می‌شوند نسبت به این مدل از اعتبار چندانی برخوردار نمی‌باشد.

مراجع

آقاشریعتمداری، ز.، ۱۳۹۰. ارزیابی مدل‌های مختلف برآورد تابش کلی خورشیـد بر سطح افقی بر اسـاس داده‌های هواشناسی و با تأکید بر مدل آنگستروم در گستره ایران، رساله دکتری. دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

Ahmad, F., Ulfat, I., ۲۰۰۴. Empirical models for the correlation of monthly average daily solar radiation with hours of sunshine on a horizontal surface at Karachi, Pakistan. Turkish Journal of Physics, ۲۸: ۳۰۱-۳۰۷.

Akpabio, L. E., Udo, SO., Etuk, SE., ۲۰۰۴. Empirical correlation of global solar radiation with meteorological data for Onne, Nigeria. Turkish Journal of Physics. ۲۸: ۲۲۲-۲۲۷.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., ۱۹۹۸. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper ۵۶, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Angstrom, A., ۱۹۲۴. Solar and terrestrial radiation. Quarterly Journal of the royal meteorological society, ۵۰: ۱۲۱-۱۲۶.

Angstrom, A., ۱۹۵۶. On the computation of global solar radiation from records of sunshine. Arkiv Geof. ۲, ۴۷۱-۴۷۹.

Awachi, A., Okeke, C. ۱۹۹۰. New empirical model and its use in predicting global solar irradiation. Nigerian Journal of Solar Energy, ۹: ۱۴۳-۱۵۶.

Badescu, V., ۲۰۰۸. Modeling soalr radiation at the earth surface. Verlag Berlin Heidelberg. Springer.

Bristow K., and Campbell G.S. ۱۹۸۴. On the relation between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. Agricultural and forest meteorology, ۳۱: ۱۵۹ -۱۶۶.

El-Sebaii, A., Trabea, A. ۲۰۰۵. Estimation of global solar radiation on horizontal surface over Egypt, Egypt Journal of Solids. ۲۸, ۱۶۳-۱۷۵.

Falayi, E., Robiu, A. ۲۰۰۵. Modeling global solar radiation using sunshine duration data, Nigerian journal of Physics. ۱۷S, ۱۸۱-۱۸۶.

Faybenle, R. ۱۹۹۰. Estimation of total solar radiation in Nigeria using meteorological data. Nigerian Journal of Solar Energy, ۱۴: ۱-۱۰.

Hargreaves, G.H., ۱۹۹۴. Defining and using reference evapotranspiration., Journal

stimating models. Solar Energy, ۵۱: ۲۸۹-۲۹۱.

Serm, J., Korntip, T. ۲۰۰۴. A model for the estimation of global solar radiation from sunshine duration in Thailand. The joint international conference on Suitable energy and Environment (SSE), pp: ۱۱-۱۴.

Skeiker, K. ۲۰۰۶. Correlation of global solar radiation with common geographical and meteorological parameters for Damascus province, Syria, Energy Conversion and Management, ۴۷: ۳۳۱-۳۴۵.

Temesgen, B., Eching, S., Davidoff, B. and Frame, K. ۲۰۰۵. Comparision of some reference evapotranspiration equations for California. Journal of Irrigation and drainage engineering, ۱۳۱(۱): ۷۳-۸۴.

Thornthwaite, C. W., ۱۹۴۸. An approach toward a rational classification of climate. Georgr. Rev., ۳۸: ۵۵-۹۴.

Thornton P.E., and Running S.W. ۱۹۹۹. An improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperatures, humidity and precipitation. Agricultural and forest meteorology, ۹۳: ۲۱۱-۲۲۸.

Udo, S. ۲۰۰۲. Contribution to the relationship between solar radiation of sunshine duration to the tropics, A case study of experimental data at IIorin , Turkish Journal of Physics, ۲۶: ۲۲۹-۲۳۶.

Wright, J.L., Allen, R.G. and Howell, T.A. ۲۰۰۰. Conversion between evapotranspiration references and methods. In: proceedings of the ۴th National Irrigation Symposium. ASAE, Phoenix, AZ.

Yaghubi, M. A., Jafarpour, K. ۱۹۹۰. Global solar radiation in fars province. Iranian Journal of Science & Technology, ۱۴: ۴۷-۶۲.

Yin, Y., Wu, S., Zheng, D. and Yang, Q. ۲۰۰۸. Radiation calibration of FAO۵۶ Penman-Monteith model to estimate reference crop evapotranspiration in china. Agricultural water management, ۹۵: ۷۷-۸۴.

of Irrigation and drainage engineering. ASCE., ۱۲۰(۶): ۱۱۳۲-۱۱۳۹.

Kasten F. ۱۹۸۳. Parametriserung der globalstrahlung durch bedekungsgrad und trubungsfactor. Ann. Meteorol, ۲۰:۴۹-۵۰.

Khalili, A., Rezaeisadr, H., ۱۹۹۷. Estimation of global solar radiation based on climatological data over Iran. Geographical Research Journal. ۸۴: ۱۵-۳۵ (In Persian)

Liu, X., Mei, X., Li, Y., Porter. J. R., Wang, Q., Zhang, Y., ۲۰۱۰. Choice of the Angstrom-Prescott coefficients: Are time-dependent ones better than fixed ones in modeling global solar irradiance? Energy Conversion and management,۵۱: ۲۵۶۵-۲۵۷۴.

Liu, X., Mei, X., Li, Y., Zhang, Y., Wang, Q., Jensen, J. R., Porter. J. R., ۲۰۰۹. Calibration of the Angstrom-Prescott coefficients (a,b) under different time scales and their impacts in estimating global solar radiation in the Yellow River basin. Agricultural and forest meteorology, ۱۴۹: ۶۹۷-۷۱۰.

Moradi, I., ۲۰۰۹. Quality Control of global solar radiation using sunshine duration hours. Energy, ۳۴: ۱-۶.

Pennman, H. L. ۱۹۴۸. Natural Evaporation from open water, bare soil and grass. Royal Society of London. A۱۹۳, ۱۲۰-۱۴۶.

Prescott, J. A., ۱۹۴۰. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. Transactions of The Royal Society of South Australia, ۶۴: ۱۱۴-۱۱۸.

Priestley, G.H.B. and Taylor, R.J. ۱۹۷۲. On the assessment of the surface of the heat flux and evaporation using large scale parameters. Monthly Weather Review, ۱۰۰(۲): ۸۱-۹۲.

Sambo, A. S. ۱۹۸۵. Soalr radiation in Kano, Acorrelation with meteorological Data. Nigerian Journal of Solar Energy, ۴: ۵۹-۶۴.

Sayigh, A. A. ۱۹۹۳. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation