نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۶، ص. ۳۳۰-۳۲۱

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 1, Mar.-Apr. 2017, p. 321-330

واسنجی و ارزیابی مدل‌های مختلف تخمین تابش خورشیدی روزانه در مقیاس‌های زمانی فصلی و سالانه در منطقه شیراز

حمید رضا فولادمند[1*] - فرزانه کریمی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۳۰

چکیده

تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین دارای کاربرد بسیار وسیعی در مسایل هیدرولوژی، کشاورزی و هواشناسی می‌باشد. تابش خورشیدی از پارامترهای مهم مدل های برآورد تبخیرتعرق پتانسیل گیاه مرجع مانند معادله پنمن- ماتیت می باشد، اما اندازه گیری آن در تعداد کمی از ایستگاه‌های هواشناسی ایران انجام می‌شود. با توجه به آن‌که اندازه گیری این پارامتر پرهزینه است، تاکنون مدل‌های متعددی جهت برآورد آن در اقلیم‌های مختلف پیشنهاد شده است. در این تحقیق از داده‌های اندازه‌گیری شده روزانه تابش خورشیدی در ایستگاه شیراز استفاده شد. از آمار سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷ برای واسنجی و از آمار سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۸۹ برای ارزیابی چهارده مدل مختلف برآورد تابش خورشیدی در مقیاس‌های زمانی فصلی و سالانه استفاده شد. مدل‌های استفاده شده در این تحقیق شامل سه دسته وابسته به ساعات آفتابی، وابسته به دمای هوا و وابسته به ترکیب ساعات آفتابی و دمای هوا بودند. برای ارزیابی مدل‌های مختلف تخمین تابش خورشیدی از ترکیب فرمول‌های آماری و همبستگی خطی استفاده شد و مقدار میانگین مربع انحراف (MSD) محاسبه گردید. متوسط مقدار MSD برای چهارده مدل انتخابی در فصل‌های بهار تا زمستان به ترتیب برابر ۲۴/۱۶، ۲۰/۴۲، ۴/۰۸ و ۱۶/۱۹ و در مقیاس سالانه برابر ۱۵/۴۰ شد. لذا نتایج نشان داد که در مجموع استفاده از تخمین تابش خورشیدی برای فصل پاییز و مقیاس زمانی سالانه مناسب‌تر است. از طرف دیگر متوسط مقدار MSD برای مدل‌های وابسته به ساعات آفتابی، وابسته به دمای هوا و وابسته به ترکیب ساعات آفتابی و دمای هوا در مقیاس سالانه به ترتیب برابر ۱۴/۸۲، ۱۷/۴۰ و ۱۴/۸۸ شدند. لذا نتایج نشان داد که مدل‌های وابسته به دمای هوا برای تخمین تابش خورشیدی در منطقه شیراز مناسب نیستند و استفاده از ساعات آفتابی برای تخمین تابش خورشیدی در این منطقه ضرورت دارد.

واژه‌های کلیدی: تابش خورشیدی، دمای هوا، ساعات آفتابی، شیراز

مقدمه

تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین (R_s) از پارامترهای مهم در توازن حرارتی سیستم جو- زمین است و در مسائل مربوط به انرژی، هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژی و بسیاری از علوم دیگر کاربرد دارد و برآورد صحیح مقدار آن در محاسبات تبخیرتعرق و نیاز آبی گیاه نیز دارای اهمیت بوده و از ارکان مهم معادله پنمن- مانتیت (۶) برای محاسبه تبخیرتعرق پتانسیل گیاه مرجع می‌باشد. برای اندازه‌گیری R_s در ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی معمولاً از پیرانومتر استفاده می‌شود، اما به دلیل کمبود امکانات اندازه‌گیری آن در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی ایران انجام نمی‌شود. از این‌رو پژوهشگران زیادی روش‌های تخمینی این پارامتر را ارائه نموده‌اند که به طور کلی می‌توان آن‌ها را به سه دسته تقسیم نمود که عبارتند از: روش‌های وابسته به دمای هوا، روش‌های وابسته به ساعات آفتابی و روش‌های ترکیبی وابسته به دمای هوا و ساعات آفتابی. به عنوان نمونه از مهم‌ترین و ساده‌ترین معادله‌های تخمین R_s معادله آنگستروم (۷) است که تنها به ساعات آفتابی وابسته است و ریتولد (۲۵) نیز معادله ساده دیگری را برمبنای ساعات آفتابی ارائه نمود. هارگریوز و سامانی (۱۵) و هارگریوز و همکاران (۱۴) نیز دو معادله ساده برمبنای دمای هوا برای تخمین R_s ارائه نمودند. تحقیقات موسوی بایگی و همکاران (۲۲) برای منطقه مشهد نشان داد که معادله ساده آنگستروم (۷) برای تخمین R_s مناسب‌تر از سایر معادله‌ها است و دو ضریب این معادله برای منطقه مشهد نیز توسط علیزاده و خلیلی (۵) برابر ۰/۲۳ و ۰/۴۴ و توسط خلیلی و رضایی‌صدر (۱۷) برابر

۱- دانشیار گروه آبیاری، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت
(*- نویسنده مسئول: Email: hrfoolad@miau.ac.ir)
۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه آبیاری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز

DOI: 10.22067/jsw.v31i1.50566

Archive of SID
www.SID.ir

۰/۳ و ۰/۳۷ گزارش شده است. تحقیقات خلیلی اقدام و سلطانی (۱۸) در منطقه گرگان نشان داد که برای تخمین R_s استفاده هم‌زمان از ساعات آفتابی و دمای هوا مناسب می‌باشد. زندپاسا و همکاران (۲۶) و مجنونی هریس و بهادری (۲۰) برای منطقه باجگاه در استان فارس شرایط ابرناکی منطقه را وارد معادله آنگستروم (۷) نمودند و معادله فوق را برای منطقه ذکر شده اصلاح نمودند. فولادمند و هادی‌پور (۱۱) نیز برای منطقه رشت با توجه به زیاد بودن روزهای ابری در این منطقه، معادله‌های مختلف تخمین R_s را برای روزهای ابری و غیر ابری به طور جداگانه واسنجی و ارزیابی نمودند و معادله آنگستروم (۷) را برای روزهای غیر ابری توصیه نمودند و برای روزهای ابری نشان دادند که کلیه معادله‌های ارائه شده نامناسب هستند. کمالی و همکاران (۱۶) و نوریان و همکاران (۲۳) نیز در دو تحقیق مختلف مدل‌های تخمین تابش را به ترتیب برای مقیاس‌های زمانی روزانه و ساعتی در منطقه کرج مورد بررسی قرار دادند. همچنین قهرمان و بختیاری (۱۳) برای شش ایستگاه سینوپتیک اصفهان، تبریز، زنجان، کرمان، مشهد و همدان با استفاده از آمار سال‌های ۲۰۰ تا ۲۰۰۲ اقدام به تخمین تابش خورشیدی روزانه برمبنای داده‌های باران و دمای روزانه نمودند.

با توجه به اهمیت منطقه شیراز در استان فارس از نظر کشاورزی، بررسی مدل‌های مختلف تخمین R_s برای آن دارای اهمیت زیادی است. از این‌رو هدف از این تحقیق واسنجی و ارزیابی مدل‌های مختلف تخمین تابش خورشیدی روزانه بر مبنای داده‌های روزانه دمای هوا و ساعات آفتابی در ایستگاه سینوپتیک شیراز در مقیاس‌های زمانی فصلی و سالانه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

شیراز مرکز استان فارس با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و با میانگین ارتفاع ۱۵۰۰ متر از سطح دریا دارای میانگین بارش سالانه ۳۳۷ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (۳). برای انجام این تحقیق از داده های اندازه گیری شده روزانه تابش خورشیدی (R_s)، ساعات آفتابی (n)، حداقل دمای هوا (T_{min})، حداکثر دمای هوا (T_{max}) و میانگین دمای هوا (T_{mean}) ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شیراز طی سال‌های ۱۳۸۵تا ۱۳۸۹ استفاده شد. از آمار سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷ برای واسنجی معادله‌ها و از آمار سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ برای ارزیابی نتایج استفاده گردید. همچنین معادله‌های مختلف تخمین تابش به طور جداگانه برای چهار فصل سال و کل مقیاس سالانه مورد واسنجی و ارزیابی قرار گرفتند. به علاوه مقادیر تابش ماورای جوی (R_a) و حداکثر ساعات روشنایی روزانه (N) که وابسته به عرض جغرافیایی محل و شماره روز سال بر مبنای تقویم میلادی می‌باشند، از روابط ارائه شده توسط آلن و همکاران (۶) محاسبه شدند.

در این تحقیق از چهارده مدل مختلف برای تخمین تابش خورشیدی استفاده شد که در جدول ۱ ارائه شده‌اند. در معادله‌های فوق R_s و R_a برحسب مگاژول بر مترمربع بر روز، n و N برحسب ساعت و کلیه دماهای هوا برحسب درجه سانتی‌گراد می‌باشند. ضرایب ثابت هر مدل نیز با حروف مختلف نشان داده شده‌اند. همچنین معادله‌های E1 تا E5 وابسته به ساعات آفتابی، معادله‌های E6 تا E8 وابسته به دمای هوا و معادله‌های E9 تا E14 وابسته به ترکیب ساعات آفتابی و دمای هوا می‌باشند.

معادله E1 همان معادله معروف آنگستروم (۷) است که در صورت مشخص نبودن ضرایب آن در نیم‌کره شمالی به ترتیب اعداد ۰/۲۵ و ۰/۵ برای a و b منظور می شوند (۶) و برای بدست آوردن ضرایب معادله از رگرسیون خطی بین مقادیر $\frac{n}{N}$ به عنوان x و $\frac{R_s}{R_a}$ به عنوان y استفاده شد. معادله E2 توسط ریتولد (۲۵) پیشنهاد شده است که ضرایب آن از منوی Solver نرم افزار Excel با تکنیک حداقل کردن اختلافات بین مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین‌زده شده تابش خورشیدی تعیین گردید. معادله‌های E3 و E4 به ترتیب توسط آکین اوغلو و اسویت (۴) و عبدالله (۱) پیشنهاد شده‌اند که ضرایب آن‌ها از منوی Solver نرم افزار Excel بدست آمدند. معادله E5 توسط الاجیب و مانسل (۱۰) پیشنهاد شده است که با گرفتن لگاریتم طبیعی از طرفین معادله و با استفاده از رگرسیون خطی بین مقادیر $\frac{n}{N}$ به عنوان x و $\mathrm{Ln}\frac{R_s}{R_a}$ به عنوان y ضرایب آن قابل تعیین می‌باشند. هارگریوز و سامانی (۱۵) معادله E6 را پیشنهاد کرده‌اند که در مواقع در دسترس نبودن ساعات آفتابی می‌توان از آن استفاده نمود که از کاربردی‌ترین مدل‌های مبتنی بر دمای هوا است. ضریب این معادله بین ۰/۱۶ تا ۰/۱۹ متغیر می‌باشد (۶). برای تعیین ضریب معادله از رگرسیون خطی با عرض از مبدأ صفر بین مقادیر $\sqrt{T_{max}-T_{min}}$ به عنوان x و $\frac{R_s}{R_a}$ به عنوان y استفاده شد. هارگریوز و همکاران (۱۴) معادله E7 را پیشنهاد کرده‌اند که برای بدست آوردن ضرایب آن از رگرسیون خطی بین مقادیر $\sqrt{T_{max}-T_{min}}$ به عنوان x و $\frac{R_s}{R_a}$ به عنوان y استفاده گردید. معادله E8 توسط بریستو و کمپبل (۸) ارائه شده است که برای بدست آوردن ضرایب آن از منوی Solver نرم افزار Excel استفاده شد. معادله‌های E9 تا E13 توسط توسط فولادمند و هادی‌پور (۱۱) گزارش شده‌اند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- مدل‌های تخمین تابش خورشیدی

Table 1- Models of solar radiation estimation

علامت اختصاری. Abbreviations	معادله. Equation
E1	$R_s = R_a(a + b\frac{n}{N})$
E2	$R_s = R_a\left[(a + b\frac{n}{N}) + (c + d\frac{n}{N})\frac{n}{N}\right]$
E3	$R_s = R_a\left[a + b\frac{n}{N} + c(\frac{n}{N})^2\right]$
E4	$R_s = R_a\left[a + b\frac{n}{N} + c(\frac{n}{N})^2 + d(\frac{n}{N})^3\right]$
E5	$R_s = R_a(a)\exp(b\frac{n}{N})$
E6	$R_s = R_a(a)\sqrt{T_{max} - T_{min}}$
E7	$R_s = R_a(a\sqrt{T_{max} - T_{min}} + b)$
E8	$R_s = R_a(a)\left[1 - \exp\left\langle - b(T_{max} - T_{min})^c\right\rangle\right]$
E9	$R_s = R_a(a + b\sqrt{T_{max} - T_{min}} + c\frac{n}{N})$
E10	$R_s = R_a(a + bT_{mean} + c\frac{n}{N})$
E11	$R_s = R_a\left[a + b(T_{max} - T_{min}) + c\frac{n}{N}\right]$
E12	$R_s = R_a(a + b\sqrt{T_{max} - T_{min}} + cT_{mean} + d\frac{n}{N})$
E13	$R_s = R_a\left[(a + b\sqrt{T_{max} - T_{min}} + c\frac{n}{N}) + (d + e\sqrt{T_{max} - T_{min}} + f\frac{n}{N})\frac{n}{N}\right]$
E14	$R_s = R_a\left[(a)Ln(T_{max} - T_{min}) + b(\frac{n}{N})^c + d\right]$

برای بدست آوردن ضرایب معادله‌های E9 تا E12 از رگرسیون خطی چند متغیره استفاده گردید به گونه‌ای که مقدار $\frac{R_s}{R_a}$ به عنوان متغیر وابسته و سایر پارامترها به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. ضرایب معادله E13 نیز از منوی Solver نرم افزار Excel تعیین شدند. معادله E14 نیز توسط چن و همکاران (۹) پیشنهاد شده است و برای تعیین ضرایب آن از منوی Solver نرم افزار Excel استفاده شد.

از طرف دیگر برای ارزیابی مدل‌های مختلف تخمین تابش خورشیدی از ترکیب فرمول‌های آماری و همبستگی خطی استفاده شد که در جدول ۲ ارائه شده‌اند (۱۹). در روابط جدول فوق x_i و y_i به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری و تخمین زده شده تابش، x_m و y_m به ترتیب میانگین مقادیر اندازه‌گیری و تخمین زده شده تابش، m تعداد داده‌ها، RMSE ریشه میانگین مربع خطا، MD انحراف از میانگین، SB مربع تفاوت میانگین‌ها، SD_m و SD_s به ترتیب انحراف معیار مقادیر اندازه‌گیری و تخمین زده شده، R همبستگی خطی بین مقادیر اندازه‌گیری و تخمین زده شده، SDSD مربع تفاوت بین انحراف معیار مقادیر اندازه‌گیری و تخمین زده شده، LCS عدم همبستگی انحراف استاندارد مقادیر اندازه‌گیری و تخمین زده شده و MSD میانگین مربع انحراف می‌باشد. چنانچه در روابط فوق مشاهده می‌شود مقدار R

Archive of SID

www.SID.ir

در مقدار LCS نقش دارد و مقدار LCS نیز در مقدار MSD نقش دارد. ضریب R نشان دهنده مقدار برازش داده‌های اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده بر یکدیگر است، اما MSD نشان‌دهنده انحراف مقادیر تخمین زده شده نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد، بطوریکه هر چه مقدار MSD کمتر باشد مقادیر تخمین زده شده به اندازه‌گیری نزدیک‌تر می‌باشد و مناسب‌تر است. در صورتی که R افزایش یابد (به یک نزدیک شود) مقدار LCS کاهش یافته و در نتیجه MSD نیز کم می‌شود، اما LCS تنها یک جزء از MSD است و ممکن است با افزایش R و در نتیجه کاهش LCS مقدار MSD زیاد کاهش پیدا نکند، زیرا ممکن است عوامل دیگر معادله MSD یعنی SDSD و SB نقش مهم‌تری داشته باشند. در مجموع هر مدلی که مقدار MSD کمتری داشته باشد مناسب‌تر است (۱۲).

جدول ۲- روابط بکار رفته برای ارزیابی نتایج

Table 2- Used equations for evaluating the results

معادله Equation	معادله Equation
$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{m}(x_i - y_i)^2}{m}\right]^{0.5}$	$MD = \frac{\sum_{i=1}^{m}(x_i - y_i)}{m}$
$SD_m = \left[\frac{\sum_{i=1}^{m}(x_i - x_m)^2}{m}\right]^{0.5}$	$SD_s = \left[\frac{\sum_{i=1}^{m}(y_i - y_m)^2}{m}\right]^{0.5}$
$SB = (x_m - y_m)^2$	$R = \frac{\frac{\sum_{i=1}^{m}(x_i - x_m)(y_i - y_m)}{m}}{SD_m SD_s}$
$SDSD = (SD_s - SD_m)^2$	$LCS = 2SD_s SD_m (1 - R)$
$MSD = SB + SDSD + LCS$	

نتایج و بحث

در جدول ۳ ضرایب بدست آمده معادله‌های مختلف در مرحله واسنجی همراه با مقدار R^2 هر معادله برای مقیاس زمانی سالانه ارائه شده است و به دلیل زیاد بودن ضرایب برای ماه‌های مختلف سال آورده نشده‌اند.

لازم به ذکر است که اعداد صفر گزارش شده در جدول ۳ به دلیل گرد کردن اعداد تا دو رقم اعشار می‌باشد. همچنین در تحقیقات متعددی ضرایب بعضی از مدل‌های بکار رفته در این تحقیق تعیین شده‌اند که به دلیل زیاد بودن مطالعات و همچنین معادله‌های بکار رفته در این تحقیق، تنها به نتایج گزارش شده توسط مجنونی‌هریس و همکاران (۲۱) برای منطقه باجگاه در ۱۶ کیلومتری شمال شیراز که در مقیاس سالانه بدست آمده‌اند اشاره می‌شود. ضرایب معادله آنگستروم (معادله E1) در مقیاس سالانه برای شیراز به ترتیب برابر ۰/۲۵ و ۰/۵۳ بدست آمده و برای منطقه باجگاه به ترتیب برابر ۰/۳۱ و ۰/۶۰ گزارش شده است (۲۱) که با یکدیگر اختلاف قابل توجهی ندارند. ضرایب معادله E2 در مقیاس سالانه برای شیراز به ترتیب برابر ۰/۲۵، ۰/۱۹، ۰/۸۱ و ۰/۱۱- بدست آمده و برای منطقه باجگاه به ترتیب برابر ۰/۲۶، ۰/۴۳، ۰/۴۳ و ۰/۲۵- گزارش شده است (۲۱) و چنانچه مشاهده می‌شود تنها ضریب اول معادله در دو منطقه به یکدیگر نزدیک است. ضریب k معادله E6 در تمام فصول و مقیاس سالانه برای شیراز برابر ۰/۱۶ بدست آمده و این ضریب برای منطقه باجگاه برابر ۰/۱۷۱۵ گزارش شده (۲۱) که ضمن نزدیکی با هم، هر دو در محدوده توصیه شده این ضریب (بین ۰/۱۶ تا ۰/۱۹) می‌باشد. ضرایب معادله E7 در مقیاس سالانه برای شیراز به ترتیب برابر ۰/۱۶ و ۰/۰۳ بدست آمده و برای منطقه باجگاه به ترتیب برابر ۰/۱۵۵ و ۰/۰۷۳ گزارش شده است (۲۱) که با یکدیگر اختلاف قابل توجهی ندارند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- ضرایب معادله‌های E1 تا E14 در مقیاس سالانه

Table 3- The coefficients of equations E1 to E14 in yearly time step

معادله Equation	a	b	c	d	e	f	R^2
E1	0.25	0.53					0.63
E2	0.25	0.19	0.81	-0.11			0.88
E3	0.25	0.62	-0.11				0.88
E4	0.26	0.54	0.10	-0.13			0.88
E5	0.24	1.26					0.54
E6	0.16						0.31
E7	0.16	0.03					0.31
E8	0.71	0.03	1.60				0.79
E9	0.18	0.02	0.49				0.63
E10	0.23	0.00	0.52				0.63
E11	0.23	0.00	0.50				0.63
E12	0.19	0.02	0.00	0.50			0.63
E13	-0.24	0.18	0.48	0.38	-0.20	0.27	0.89
E14	0.08	0.43	0.95	0.10			0.88

در جدول ۴ مقدار MSD معادله‌های مختلف در مرحله ارزیابی نتایج برای گام‌های زمانی فصلی و سالانه ارائه شده است. در این جدول میانگین مقدار MSD کلیه معادله‌ها برای هر گام زمانی نیز آورده شده است و چنانچه مشاهده می‌شود در فصل پاییز مقادیر MSD کلیه معادله‌ها بسیار کمتر از سایر فصول می‌باشد، لذا دقت تخمین تابش خورشیدی از مدل‌های ارائه شده برای فصل پاییز بسیار زیاد است، اما برای سایر فصل‌های سال نتایج چندان مناسبی بدست نیامده است. به گونه‌ای که دقت تخمین معادله‌های تابش در مقیاس سالانه از فصل‌های زمستان، بهار و تابستان بیشتر است. از این‌رو استفاده از نتایج بدست آمده در مقیاس سالانه برای تخمین تابش خورشیدی در منطقه شیراز بیشتر توصیه می‌شود، چنانچه در اکثر تحقیقات انجام شده نیز از مقیاس سالانه برای برآورد معادله‌های تابش استفاده شده است. البته تحقیقات آقاشریعتمداری و همکاران (۲) برای تخمین تابش از معادله آنگستروم (۷) در شمال تهران (اقدسیه) نشان داد که استفاده از معادله فوق در مقیاس زمانی ماهانه مناسب‌تر از مقیاس زمانی روزانه می‌باشد. بنابراین نتایج این تحقیق و تحقیق آقاشریعتمداری و همکاران (۲) بیانگر آن است که تخمین معادله‌های تابش در مقیاس زمانی بلند مدت‌تر مناسب‌تر از مقیاس زمانی کوتاه‌مدت می‌باشد.

جدول ٤- مقدار MSD معادله‌های E1 تا E14 در مقیاس‌های فصلی و سالانه

Table 4- The MSD values of equations E1 to E14 in monthly and yearly time steps

معادله Equation	بهار Spring	تابستان Summer	پاییز Autumn	زمستان Winter	سالانه Annual
E1	23.95	17.29	3.93	14.65	14.53
E2	22.73	16.98	3.78	14.03	14.24
E3	22.76	17.00	3.77	14.06	14.27
E4	22.88	17.03	3.78	14.20	14.40
E5	28.03	17.32	4.54	19.10	16.68
E6	24.75	19.87	5.02	20.03	17.38
E7	25.65	19.23	5.01	17.76	17.63
E8	22.92	20.54	4.66	19.89	17.19
E9	23.52	17.58	3.92	15.29	15.00
E10	23.97	36.66	3.70	15.43	14.89
E11	29.21	17.40	3.81	15.42	14.62
E12	22.07	34.65	3.64	15.88	15.23
E13	22.34	17.14	3.67	15.86	15.04
E14	23.47	17.12	3.85	15.10	14.48
میانگین Average	**24.16**	**20.42**	**4.08**	**16.19**	**15.40**

Archive of SID

www.SID.ir

در جدول ۵ میانگین مقدار MSD معادله‌های هم خانواده یعنی معادله‌های E1 تا E5 (وابسته به ساعات آفتابی)، معادله‌های E6 تا E8 (وابسته به دمای هوا) و معادله‌های E9 تا E14 (وابسته به ترکیب ساعات آفتابی و دمای هوا) ارائه شده است.

جدول ۵- میانگین مقدار MSD معادله‌های هم خانواده در در مقیاس‌های فصلی و سالانه

Table 5- The mean MSD values for all family equations in monthly and yearly time steps

معادله‌های هم خانواده Family equation	بهار Spring	تابستان Summer	پاییز Autumn	زمستان Winter	سالانه Annual
وابسته به ساعات آفتابی Based on sunshine hours	24.07	17.12	3.96	15.21	14.82
وابسته به دمای هوا Based on air temperature	24.44	19.88	4.90	19.23	17.40
وابسته به ساعات آفتابی و دمای هوا Based on sunshine hours and air temperature	24.10	23.43	3.77	15.50	14.88

با توجه به داده‌های ارائه شده در جدول‌های ۴ و ۵ نتایج زیر قابل استنتاج می‌باشند:

الف- برای فصل بهار معادله‌های E12 (وابسته به ساعات آفتابی و دمای هوا)، E13 (وابسته به ساعات آفتابی و دمای هوا) و E2 (وابسته به ساعات آفتابی) مناسب‌تر می‌باشند و معادله‌های خانواده وابسته به ساعات آفتابی و وابسته به ساعات آفتابی و دمای هوا هر دو مناسب می‌باشند، اما در مجموع استفاده از معادله‌های وابسته به ساعات آفتابی و دمای هوا (به خصوص معادله‌های E12 و E13) مناسب‌ترین گزینه می‌باشند.

ب- برای فصل‌های تابستان و زمستان معادله‌های E2، E3 و E4 که همگی وابسته به ساعات آفتابی هستند، مناسب می‌باشند و لذا برای این دو فصل معادله‌های خانواده وابسته به ساعات آفتابی مناسب‌تر از دو خانواده دیگر هستند.

ج- برای فصل پاییز معادله‌های E12، E13 و E10 که همگی وابسته به ساعات آفتابی و دمای هوا هستند، مناسب می‌باشند و لذا برای این فصل معادله‌های خانواده وابسته به ساعات آفتابی و دمای هوا مناسب‌تر از دو خانواده دیگر هستند.

د- در مقیاس سالانه معادله‌های E2، E3 و E4 که همگی وابسته به ساعات آفتابی هستند، مناسب می‌باشند، اما خانواده معادله‌های وابسته به ساعات آفتابی و دمای هوا نیز نتایج قابل قبولی دارند به طوری که اختلاف میانگین MSD دو خانواده بسیار کم است (۱۴/۸۲ و ۱۴/۸۸).

ه- معادله ساده آنگستروم (۷) برای منطقه شیراز چندان مناسب نیست که این موضوع به عنوان مثال عکس نتایج گزارش شده توسط فولادمند و هادی‌پور (۱۱) برای روزهای غیرابری در منطقه رشت می‌باشد. از جمله دلایل قابل توجه در این اختلاف می‌توان به اقلیم کاملا متفاوت دو منطقه شیراز و رشت اشاره نمود.

ه- نتایج فصلی و سالانه بیانگر آن است که مدل‌های وابسته به دمای هوا برای تخمین تابش خورشیدی در منطقه شیراز مناسب نیستند و استفاده از ساعات آفتابی برای تخمین تابش خورشیدی در این منطقه ضرورت دارد که این موضوع با نتایج گزارش شده توسط مجنونی‌هریس و همکاران (۲۱) برای منطقه باجگاه در ۱۶ کیلومتری شمال شیراز مطابقت دارد. موسوی‌بایگی و همکاران (۲۲) برای منطقه مشهد و رحیمی‌خوب و همکاران (۲۴) برای منطقه پاکدشت در جنوب تهران نیز استفاده از مدل‌های وابسته به ساعات آفتابی را برای تخمین تابش خورشیدی مناسب‌تر از مدل‌های وابسته به دمای هوا گزارش نموده‌اند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق برای منطقه شیراز نشان داد که در مجموع تفکیک فصلی تخمین تابش روزانه به جزء فصل پاییز منجر به بهبود تخمین این پارامتر هواشناسی نخواهد شد و لذا در مجموع استفاده از تخمین تابش روزانه در مقیاس سالانه مناسب‌تر است که این موضوع با عدم تفکیک زمانی تخمین تابش در بسیاری از تحقیقات انجام شده مطابقت دارد (۵، ۱۱، ۱۸، ۲۱ و ۲۲). از طرف دیگر نتایج نشان داد که مدل‌های تنها وابسته به دمای هوا برای تخمین تابش خورشیدی روزانه مناسب نیستند که این موضوع نیز با بعضی از تحقیقات انجام شده مطابقت دارد (۲۱، ۲۲ و ۲۴). لذا نقش ساعات آفتابی بر روی تخمین تابش خورشیدی بسیار قابل توجه است، چنانچه در متداول‌ترین معادله تخمین تبخیرتعرق پتانسیل گیاه مرجع یعنی معادله پنمن- مانتیت (۶) نیز برای تخمین تابش خورشیدی از معادله ساده آنگستروم (۷) که وابسته به ساعات آفتابی است، استفاده می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی این تحقیق آن است که برای منطقه شیراز در فصل پاییز از معادله E12 و برای کل سال از معادله E2 استفاده شود

Archive of SID

www.SID.ir

که با توجه به ضرایب بدست آمده در جدول ۶ ارائه شده‌اند.

جدول ٦- مناسب‌ترین معادله تخمین تابش برای منطقه شیراز در مقیاس فصلی پاییز و سالانه

Table 6- The best equation for solar radiation estimation in Shiraz region in autumn and yearly time steps

تفکیک زمانی Time step	معادله مناسب Appropriate equation
پاییز Autumn	$R_s = R_a\left[0.14 + 0.02\sqrt{T_{max} - T_{min}} + 0.49\frac{n}{N}\right]$
سالانه Annual	$R_s = R_a\left[(0.25 + 0.19\frac{n}{N}) + (0.81 - 0.11\frac{n}{N})\frac{n}{N}\right]$

منابع

1- Abdallah Y.A.G. 1994. New correlation of global solar radiation with meteorological parameters for Bahrain. Solar Energy, 16:111-120.

2- Aghashariatmadary Z., Khalili A., Irannejad P., and Liaghat A. 2011. Calibration and annual changes of the coefficients of the Angstrom-Prescott (A-P) equation (a and b) in different time scales. (Case study: Tehran north station (Aghdasieh)). Journal of Water and Soil, 25(4):905-911. (in Persian with English abstract)

3- Ahmadi M., Ashorlo D., and Narangifard M. 2015. Spatial analysis temperatures the sity of Shiraz in the warm seasons and cold using statistical analysis and satellite images. Geographical Research, 117:147-160. (in Persian with English abstract)

4- Akinoglu B.G., and Ecevit A. 1990. Construction of a quadratic model using modified Angstrom coefficients to estimate global solar radiation. Solar Energy, 45(2):85-92.

5- Alizadeh A., and khalili N. 2009. Estimation of Angstrom coefficient and developing a egression equation for solar radiation estimation (Case study: Mashhad). Journal of Water and Soil, 23(1):229-238. (in Persian with English abstract)

6- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. No. 56, FAO, Rome.

7- Angstrom A. 1924. Solar and terrestrial radiation. Quartile Journal of Royal Meteorological Society, 50:121-125.

8- Bristow K.L., and Campbell G.S. 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature, Agricultural and Forest Meteorology, 31:159-166.

9- Chen R., Ersi K., Yang J., Lu S., and Zhao W. 2004. Validation of five global radiation models with measured daily data in china. Energy Conversion and Management, 45:1759-1769.

10- Elagib N.A., and Mansell M.G. 2000. New approaches for estimating global solar radiation across Sudan. Energy Conversion and Management, 41(5):419-434.

11- Fooladmand H.R., and Hadipour S. 2.13. Calibration and validation of different methods for estimation of daily solar radiation (Case study: Rasht). Geographical Research, 109:1-12. (in Persian with English abstract)

12- Fooladmand H.R., Torabi R., and Amindin E. 2009. Application of Statistics in Soil and Water. Marvdasht Islamic Azad University. First edition. 201pp. (in Persian)

13- Ghahraman N., and Bakhtiari B. 2009. Solar radiation estimation from rainfall and temperature data in arid and semi-arid climates of Irad. Desert (Biaban). 14(2):141-150.

14- Hargreaves G.L., Hargreaves G.H., and Riley P. 1985. Irrigation water requirement for the Senegal River Basin. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 111:265-275.

15- Hargreaves, G.H., and Samani Z.A. 1982. Estimating potential evapotranspiration. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 108 :225-230.

16- Kamali Gh. A., Moradi I., and Khalili A. 2006. Estimating solar radiation on tilted surfaces with various orientations: a study case in Karaj (Iran). Theoretical and applied Climatology, 84(4):235-241.

17- Khalili A., and Rezai sadr H. 1997. Solar radiation estimation across Iran using climatic data. Gographical Research, 46:15-35. (in Persian with English abstract)

18- Khaliliaqdam N., and Soltani A. 2012. Quality control and Methods for modeling daily global solar radiation (Case study: Gorgan, Iran). International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 4(14):971-978.

19- Kobayashi, K., and Salam M.U. 2000. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. Agronomy Journal, 92:345-352.

20- Majnooni-Heris A., and Bahadori H. 2014. Calibration of the modified Angstrom global solar radiation models for different seasons in South of Iran. International Journal of Biosciences, 4(3):53-60.

Archive of SID

www.SID.ir

21- Majnooni-Heris A., Zand-Parsa Sh., Sepaskhah A.R., and Nazemosadat, M.J. 2008. Development and evaluation of meteorological data based solar radiation equations. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 46B:491-499. (in Persian with English abstract)
22- Mousavi-Baygi M., Ashraf B., and Miyanabady A. 2010. The investigation of different models of estimating solar radiation to recommend the suitable model in a semi-arid climate. Journal of Water and Soil, 26(4):836-844. (in Persian with English abstract)
23- Noorian A.M., Moradi I., and Kamali Gh.A. 2008. Evaluation of 12 models to estimate hourly diffuse irradiation on inclined surfaces. Renewable Energy, 33(6):1406-1412.
24- Rahimi Khob A., Behbahani M., and Jamshidi M. 2010. Evaluation of two empirical methods and artificial neural network models used for estimation of solar radiation intercepted at the earth's surface: A case study in southeast of Tehran. Water and Soil Science, 50:53-62. (in Persian with English abstract)
25- Rietveld M.R. 1978. A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine. Agricultural Meteorology, 19:243-252.
26- Zand-Parsa Sh., Majnooni-Heris A., Sepaskhah A.R., and Nazemosadat M.J. 2011. Modification of Angstrom model for estimation of global solar radiation in an intermountain region of southern Iran. Energy and Environment, 22:911-924.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 1, Mar.-Apr. 2017, p. 321-330

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۶، ص. ۳۳۰-۳۲۱

Calibration and Evaluation of Different Estimation Models of Daily Solar Radiation in Seasonally and Annual Time Steps in Shiraz Region

H.R. Fooladmand[*1] - F. Karimi[2]

Received: 07-11-2015
Accepted: 18-04-2016

Introduction: Solar radiation on the earth surface has a wide range of applications in hydrology, agriculture and meteorology. Solar radiation is an important parameter of estimated models of reference crop potential evapotranspiration such as the Penman–Monteith equation. Also, total sunshine hours are one of the most important factors affecting climate and environment, and its long-term variation is of much concern in climate studies. Reference crop potential evapotranspiration is one of the most important parts of water cycle in the nature but, direct measurement of this crop parameter is so difficult and not practical. Therefore, equations that can estimate the value of evapotranspiration only by using meteorological data are necessary. As mentioned before, the Penman–Monteith equation can be used for estimating reference crop potential evapotranspiration, however this equation needs solar radiation data, and the measurement of solar radiation is done in a limited numbers of weather stations in Iran, and also in Fars province, south of Iran. Since, the measurement of solar radiation is expensive, therefore many models have been derived for its estimation in different climates of the world., Many investigators also have been tried to estimate solar radiation for different locations of the world based on more simple measured weather data such as air temperature (minimum, maximum or mean) and sunshine hours. Hence, the derived equations for estimating solar radiation based on other weather data can be used for estimating reference crop potential evapotranspiration with the Penman–Monteith equation.

Materials and Methods: In this study, solar radiation was estimated in Shiraz, central part of the Fars province in south of Iran. For this purpose, the daily measured of solar radiation data in Shiraz synoptic station were used. Also, other needed weather data were used. All available data was for the years 2006 to 2010. Measured data of years 2006 to 2008 were used for calibrating fourteen estimated models of solar radiation in seasonally and annual time steps and the measured data of years 2009 and 2010 were used for evaluating the obtained results. The equations were used in this study divided into three groups contains: 1) The equations based on only sunshine hours. 2) The equations based on only air temperature. 3) The equations based on sunshine hours and air temperature together. On the other hand, statistical comparison must be done to select the best equation for estimating solar radiation in seasonally and annual time steps. For this purpose, in validation stage the combination of statistical equations and linear correlation was used, and then the value of mean square deviation (MSD) was calculated to evaluate the different models for estimating solar radiation in mentioned time steps.

Results and Discussion: The mean values of mean square deviation (MSD) of fourteen models for estimating solar radiation were equal to 24.16, 20.42, 4.08 and 16.19 for spring to winter respectively, and 15.40 in annual time step. Therefore, the results showed that using the equations for autumn enjoyed high accuracy, however for other seasons had low accuracy. So, using the equations for annual time step were appropriate more than the equations for seasonally time steps. Also, the mean values of mean square deviation (MSD) of the equations based on only sunshine hours, the equations based on only air temperature, and the equations based on the combination of sunshine hours and air temperature for estimating solar radiation were equal to 14.82, 17.40 and 14.88, respectively. Therefore, the results indicated that the models based on only air temperature were the worst conditions for estimating solar radiation in Shiraz region, and therefore, using the sunshine hours for estimating solar radiation is necessary.

Conclusions: In this study for estimating solar radiation in seasonally and annual time steps in Shiraz region, three groups of equations were used (1: based on only sunshine hours. 2: based on only air temperature, and 3: based on sunshine hours and air temperature). Final results of this study for estimating solar radiation in Shiraz region were: 1) For autumn season the best equation was based on the extraterrestrial radiation, the ratio

1- Associated Professor of Irrigation and Drainage, Department of Irrigation, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran
(*-Corresponding Author Email: hrfoolad@miau.ac.ir)
2- Former M. S. Student of Irrigation and Drainage, Department of Irrigation, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

Archive of SID

www.SID.ir

of daily actual sunshine hours to daily maximum sunshine hours, and minimum and maximum air temperatures. 2) For annual time step the best equation was based on the extraterrestrial radiation and the ratio of daily actual sunshine hours to daily maximum sunshine hours.

Keywords: Air temperature, Shiraz Solar radiation, Sunshine hours

Archive of SID

www.SID.ir