

## ارزیابی و مقایسه مدل‌های برآورد تابش خورشیدی در مقیاس روزانه در شهرستان اهواز

زهرا شیرمحمدی علی‌اکبر خانی<sup>۱\*</sup>، رضا شجاعی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی کشاورزی و دامپروری تربت‌جام، خراسان رضوی، ایران

<sup>۲</sup> کارشناس مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی کشاورزی و دامپروری تربت‌جام، خراسان رضوی، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۷/۱۳ ، تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۱۸

### چکیده

استفاده از تابش خورشیدی (Rs) در بسیاری از علوم مخصوصاً کشاورزی و آبیاری کاربرد فراوانی دارد. یکی از راه‌های تخمین تابش خورشیدی استفاده از مدل‌های تجربی هست. در این تحقیق از ۶ مدل انگستروم-پرسکات پیشنهادی توسط فائو، انگستروم-پرسکات واسنجی شده توسط سپاسخواه و کاشفی پور، انگستروم-پرسکات واسنجی شده هست. در این مطالعه، مدل گلور-مک کلوت، روش هارگریوز و سامانی و روش لی و همکاران جهت تعیین بهترین روش برای شهرستان اهواز استفاده شد. داده‌های هواشناسی موردنیاز در طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ از ایستگاه هواشناسی اهواز دریافت گردید. عملکرد مدل‌ها توسط چهار شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، درصد میانگین خطا (MPE) و ضریب همبستگی (CC) و شاخص ناش (NSCE) برای ارزیابی ۶ مدل تعیین تابش خورشیدی ذکر شده مورد استفاده قرار گرفت. نتایج مقایسه مقادیر محاسباتی این مدل‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی نشان داد که روش انگستروم-پرسکات واسنجی شده در این مطالعه، انگستروم-پرسکات پیشنهادی توسط فائو، روش انگستروم-پرسکات واسنجی شده توسط کاشفی پور و سپاسخواه، مدل گلور-مک کلوت و روش هارگریوز و سامانی با داشتن ضریب همبستگی به ترتیب مساوی با ۰/۹۷۵، ۰/۹۷۲، ۰/۹۷۱، ۰/۹۷۱ و ۰/۹۰۱ بالاترین همبستگی را با مقادیر واقعی داشتند؛ اما به دلیل اختلاف اندک ضریب همبستگی در این مدل‌ها با استفاده از شاخص ناش و کمترین ریشه میانگین مربعات خطا و درصد میانگین خطا روش انگستروم-پرسکات واسنجی شده در این مطالعه و روش انگستروم-پرسکات واسنجی شده توسط کاشفی پور و سپاسخواه، به‌عنوان بهترین روش تعیین تابش خورشیدی در مقیاس روزانه در این منطقه توصیه می‌شوند.

کلمات کلیدی: انگستروم-پرسکات، تخمین تابش، گلور-مک کلوت، هارگریوز سامانی

Ghalhari and Shakeri, 2017; Seyedian et al, 2017; Bakirci, 2009; Ghabayi Soogh et al, 2012; Erfanian and Babayi Hesar, 2013; Piriet al, 2013; Katiyar and Pandey, (2010; Khalil et al, 2018).

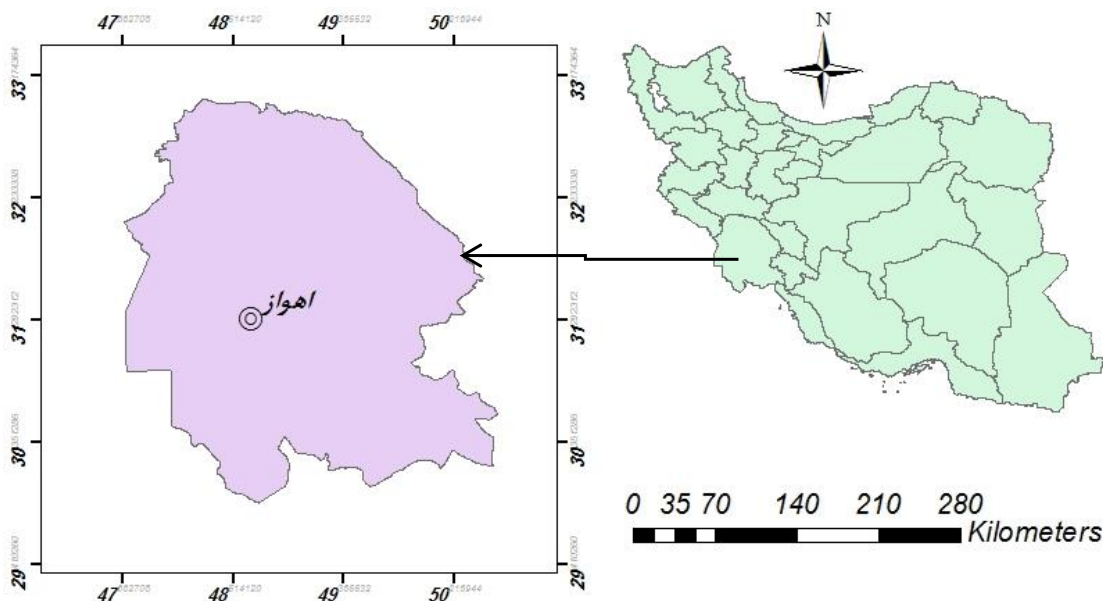
اما در شهرستان اهواز در این زمینه کاری صورت نگرفته است. هدف از این تحقیق انتخاب بهترین مدل تجربی برای تخمین SR در شهرستان اهواز هست.

### مواد و روش‌ها

شهر اهواز با وسعت حدود ۷۹۲۵ کیلومترمربع و موقعیت جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۱ دقیقه طول شرقی تا ۳۱ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی در استان خوزستان و در جنوب غرب ایران واقع است. میزان بارندگی سالانه اهواز به‌طور متوسط ۲۱۳ میلی‌متر و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۲ متر است. بر اساس طبقه‌بندی دومارتن که متکی به دو متغیر میانگین بارندگی و میانگین دماست، شهرستان اهواز در گروه اقلیم خشک قرار دارد. شایان‌ذکر است اقلیم خشک برای مناطقی به کار می‌رود که میزان ریزش‌های جوی در آن کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر در سال باشد و یا میزان تبخیر و تعرق پتانسیل بیش از بارش باشد.

برای انجام این تحقیق از داده‌های اندازه‌گیری شده روزانه تابش خورشیدی (RS)، دمای کمینه (Tmin)، دمای بیشینه (Tmax)، TMean (میانگین دمای روزانه هوا برحسب درجه سانتی‌گراد) و ساعات آفتابی (n) ایستگاه هواشناسی سینوپتیک اهواز طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ استفاده شد از داده‌های سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۳ برای واسنجی معادله‌ها و از داده‌های سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۵ برای ارزیابی معادله‌ها استفاده شد. ابتدا داده‌ها مورد بررسی قرار گرفته و روزهایی که داده‌های ناقص داشتند در آزمون مورد استفاده قرار نگرفتند سپس کیفیت داده‌های تحقیق توسط آزمون ران (بررسی تجانس و همگن بودن داده) مورد بررسی قرار گرفت. به دلیل وجود مدل‌های تجربی بسیار زیاد جهت تخمین تابش

امروزه استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر امری ضروری است که علاوه بر تأمین بخشی از انرژی مورد نیاز، دارای آلودگی کمتر و دسترسی آسان می‌باشند. در اکثر کشورها دسترسی هرچه سریع‌تر و بهتر به این منابع و استفاده از آن‌ها به یکی از شاخص‌های پیشرفت توسعه پایدار تبدیل شده است. در میان انرژی‌های تجدید پذیر، انرژی خورشیدی یکی از منابع در دسترس، پایان‌ناپذیر و بدون آلودگی است که می‌تواند در زمینه‌های مختلف مورد بهره‌برداری قرار گیرد. برآورد دقیق تابش خورشیدی کل رسیده به یک سطح، کاربردهای زیادی در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی برای محاسبات مربوط به میزان مصرف انرژی دارد. بهترین راه اندازه‌گیری انرژی خورشید نصب پیرانومترها در ایستگاه‌ها و خواندن اطلاعات ضبط‌شده توسط آن‌ها هست. در نبود دستگاه‌های اندازه‌گیری، اطلاعات صحیح و دقیق از میزان انرژی خورشید در دسترس نیست، از طرفی میزان متوسط خطا در دستگاه‌های اندازه‌گیری گاه به ۳۰ درصد می‌رسد که مهم‌ترین علت آن عدم کالیبراسیون دستگاه‌ها و وجود گردوغبار در آن‌ها هست، پس می‌توان گفت مدل‌های تجربی که بر پایه‌ی برآورد انرژی خورشیدی طراحی شده‌اند، در نبود دستگاه‌های اندازه‌گیری می‌توانند مفید واقع شوند. مدل‌های تجربی متعددی برای تخمین میزان تابش خورشیدی با استفاده از داده‌های هواشناسی توسعه یافته‌اند. نظر به اینکه داده‌های هواشناسی تغییرات مکانی و زمانی زیادی دارند و فرمول‌های تجربی در محل توسعه مدل از دقت بالایی برخوردار است بنابراین برای استفاده از این مدل‌ها باید اعتبار این مدل‌ها در منطقه مورد نظر بررسی گردد. تحقیقات متعددی در زمینه بررسی مدل‌های تجربی تابش در اقلیم‌های مختلف در دنیا و ایران انجام گرفته است (Samuel, 1991; Soltani and Morid, 2005; Majnooni Heris et al, 2008; Ebrahimpour et al, 2009; Alizadeh and khalili, 2009; Moeini et al, 2010; Mousavi-Baygi et al, 2010; Fooladmand and Hadipoor, 2013;



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران

است:

$$R_s = R_a \left( a + b \frac{n}{N} \right) \quad (1)$$

که در این رابطه  $R_s$  تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین (مگا ژول بر مترمربع بر روز)،  $R_a$  تابش فرازمینی (مگا ژول بر مترمربع بر روز)،  $n$  ساعات واقعی آفتابی،  $N$  ساعات آفتابی حداکثر و  $a$  و  $b$  ضرایب ثابتی هستند که برای هر منطقه قابل محاسبه است.

۲- مدل آنگستروم-پرسکات واسنجی شده توسط کاشفی پور و سپاسخواه

این رابطه در واقع همان رابطه آنگستروم-پرسکات هست که در سال ۱۳۷۶ توسط کاشفی پور و سپاسخواه برای منطقه ملاثانی استان خوزستان ضرایب  $a$  و  $b$  را به ترتیب برابر ۰/۲۲ و ۰/۴۱ پیشنهاد نمودند (Kashefipour and Sepaskhah, 1998).

$$R_s = R_a \left( 0.22 + 0.41 \frac{n}{N} \right) \quad (2)$$

۳- مدل گلور-مک کلوت

گلور و مک کلوت ضریب  $a$  در رابطه آنگستروم-

خورشیدی، در انتخاب روش‌ها در این تحقیق اولویت با مدل‌های شناخته‌شده و غیر پیچیده و همچنین مدل‌های مورد استفاده در دیگر تحقیقات با تخمین قابل قبول بود. همچنین واسنجی مدل‌ها توسط نرم‌افزار MATLAB صورت گرفت.

مدل‌های برآورد تابش خورشیدی

۱- مدل آنگستروم-پرسکات پیشنهادی توسط فائو

مدل آنگستروم-پرسکات توسط آنگستروم (۱۹۲۴) معرفی و توسط پرسکات (۱۹۴۰) اصلاح گردید (Angstrom, 1924; Prescott, 1940). در نشریه فائو ۵۶ با استفاده از پارامتر ساعت آفتابی رابطه زیر توسط آلن (۱۹۹۸) ارائه گردید (Allen et al, 1998)، محققین فائو ضرایب  $a$  و  $b$  را به ترتیب برابر ۰/۲۵ و ۰/۵ پیشنهاد نمودند. این مدل به دلیل سادگی، کاربرد گسترده‌ای در محاسبه تابش رسیده به سطح زمین دارد و در برآورد تبخیر-تعرق به روش پنمن-مانتیتش - فائو برای مناطقی که روش مناسبی جهت محاسبه تابش آن‌ها ارائه نشده و یا مقادیر تابش آن‌ها اندازه‌گیری نمی‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل به صورت زیر ارائه شده

پرسکات را به عرض جغرافیایی ( $\Phi$ ) ارتباط داده و رابطه زیر را ارائه نمودند:

$$\frac{R_s}{R_a} = \left( 0.29\Phi + 0.52 \frac{n}{N} \right) \quad (3)$$

۴- مدل آنگستروم آنگستروم-پرسکات واسنجی شده توسط داده‌های منطقه مورد مطالعه

در رابطه ۱ مدل آنگستروم-پرسکات آورده شده است که سپس با استفاده از داده‌های هواشناسی در منطقه مورد مطالعه ضرایب  $a$  و  $b$  در این منطقه به ترتیب مقدار  $0.203$  و  $0.49$  به دست آمد

۵- مدل هارگریوز-سامانی

هارگریوز و سامانی برای تخمین  $R_s$  بجای استفاده از نسبت  $n$  به  $N$  از پارامتر دمای هوا استفاده نمودند.

$$\frac{R_s}{R_a} = k \sqrt{T_{max} - T_{min}} \quad (4)$$

در معادله فوق  $T_{max}$  و  $T_{min}$  به ترتیب حداکثر و حداقل دما برحسب درجه‌ی سانتی‌گراد و  $K$  ضریب ثابت معادله است که معمولاً بین  $0.16$  تا  $0.19$  متغیر است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). از مزایای این روش سادگی و امکان تلفیق آسان آن با مدل‌های هیدرولوژیکی است.

۶- لی و همکاران در سال ۲۰۱۴، روش هارگریوز و سامانی در برآورد تابش خورشیدی را اصلاح و مدل زیر را ارائه کردند (Lee et al, 2014).

$$\frac{R_s}{R_a} = a + (b + cT_{mean}) \sqrt{T_{max} - T_{min}} \quad (5)$$

که در این مدل‌ها،  $R_a$  تابش فرازمینی برحسب مگا ژول بر مترمربع بر روز و  $N$  حداکثر ساعات آفتابی محاسبه شده به روش آلن و همکاران (۱۹۹۸)،  $n$  ساعات آفتابی واقعی  $T_{mean}$  برابر با دمای متوسط روزانه و  $T_{max}$  و  $T_{min}$  به ترتیب حداکثر و حداقل دما روزانه برحسب درجه سانتی‌گراد می‌باشند.

از میان مدل‌های مورد استفاده مدل آنگستروم

پرسکات، مدل هارگریوز و سامانی و مدل لی و همکاران برای تخمین تابش خورشیدی در منطقه مورد استفاده نیاز به واسنجی دارند. که با استفاده از داده‌های هواشناسی ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۳ به کمک نرم‌افزار متلب نسخه R2013a واسنجی مدل‌های مذکور انجام گردید. پس از انجام واسنجی مقدار ضریب ثابت در مدل هارگریوز و سامانی برابر با  $0.1503$  به دست آمد. همچنین ضرایب ثابت مدل لی و همکاران،  $a$ ،  $b$  و  $c$  پس از واسنجی به ترتیب  $0.091$ ،  $0.145$  و  $0.0064$  - به دست آمد.

### ≡ آنالیزهای آماری

عملکرد مدل‌ها توسط چهار شاخص آماری ریشه میانگین مربع خطا (RMSE)، درصد میانگین خطا (MPE) ضریب همبستگی (CC) و شاخص ناش (NSCE) بر اساس مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده RS مورد بررسی قرار می‌گیرد (جدول ۱). این شاخص‌ها اغلب برای مقایسه مدل‌های برآورد تابش خورشیدی به کار می‌روند و به شرح زیر می‌باشند:

همچنین به منظور بررسی وجود معنی‌داری بین روش‌های تجربی و مقادیر اندازه‌گیری واقعی تابش خورشیدی از آزمون کای اسکور استفاده گردید. این آزمون که یکی از معتبرترین آزمون‌های آماری در نیکویی برازش هست، این آزمون که با استفاده از رابطه ۶ به دست می‌آید با دو فرض آغاز می‌گردد، فرض صفر و فرض مقابل در این روش به شرح ذیل هست:

فرض صفر: بین مقادیر به دست آمده با استفاده از روش‌های تجربی محاسبه تابش خورشیدی و مقادیر اندازه‌گیری تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

فرض مقابل: بین مقادیر به دست آمده با استفاده از روش‌های تجربی محاسبه تابش خورشیدی و مقادیر اندازه‌گیری تفاوت معنی‌داری وجود دارد.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(H_{i,m} - H_{i,p})^2}{H_{i,p}} \quad (6)$$

که در این رابطه،  $H_{i,m}$  مقادیر روزانه تابش

جدول ۱. شاخص‌های آماری مورد استفاده در پژوهش به منظور ارزیابی روش‌های مختلف تابش خورشیدی

مقدار مطلوب	معادله مربوطه	شاخص‌های آماری
۰	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (H_{i,p} - H_{i,m})^2}$	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)
۰	$MPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(H_{i,p} - H_{i,m})}{H_{i,m}} \times 100\%$	درصد میانگین خطا (MPE)
۱	$CC = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (H_{i,p} - \overline{H_{i,p}})(H_{i,m} - \overline{H_{i,m}})}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (H_{i,p} - \overline{H_{i,p}})^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (H_{i,m} - \overline{H_{i,m}})^2}}$	ضریب همبستگی (CC)
۱	$NSCE = 1 - \frac{\sum_{n=1}^N (H_{i,m} - H_{i,p})^2}{\sum_{n=1}^N (H_{i,m} - \overline{H_{i,m}})^2}$	شاخص ناش (NSCE)

که در آن n تعداد داده‌ها، مقادیر Hp مقدار تابش خورشیدی تخمینی به وسیله مدل‌ها و Hm مقادیر اندازه‌گیری شده تابش خورشیدی

جدول ۲. مقادیر شاخص‌های آماری مورد استفاده در پژوهش به منظور ارزیابی روش‌های مختلف تابش خورشیدی

رتبه‌بندی مدل‌ها	شاخص‌های آماری				مدل
	NSCE	CC	MPE	RMSE	
۳	۰/۶۷۵	۰/۹۷۲	۲۸/۴۱	۲/۹۰۶	آنگستروم-پرسکات پیشنهادی توسط فائو
۲	۰/۹۱۶	۰/۹۷۱	۱۴/۰۹	۱/۴۷۹	آنگستروم-پرسکات واسنجی شده توسط کاشفی پور و سپاسخواه
۱	۰/۹۰۶	۰/۹۷۵	۱۵/۳۲	۱/۵۶۳	آنگستروم-پرسکات واسنجی شده در این مطالعه
۴	۰/۲۰۷	۰/۹۷۱	۴۶/۹۶	۴/۵۳۴	گلور-مک کلوت
۵	۰/۷۰۵	۰/۹۰۱	۲۵	۲/۷۶۶	هارگریوز-سامانی
۶	-۲/۸۳۷	۰/۸۹۷	۱۰۷/۸۷	۹/۹۷۹	لی و همکاران

رتبه سوم و روش هارگریوز سامانی و مدل لی و همکاران در رتبه‌های چهارم و پنجم قرار گرفتند. تحقیقات رحیمی خوب و همکاران (2010) در منطقه پاکدشت در جنوب شرق تهران نشان داد که مدل‌های مبتنی بر ساعات آفتابی نسبت به مدل‌های مبتنی بر دما برای تخمین تابش مناسب‌تر هستند (Rahimi Khob et al, 2010)؛ که این با یافته‌های پژوهش مشابه است.

در جدول ۳ مقادیر کای اسکور روش‌های مختلف تخمین تابش خورشیدی آورده شده است. مقدار کای اسکور بحرانی در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد و درجه آزادی محاسبه شده برابر با ۳۲۰/۷۸ به دست آمد. همان‌طور که در جدول ۶ آورده شده است. در روش‌های

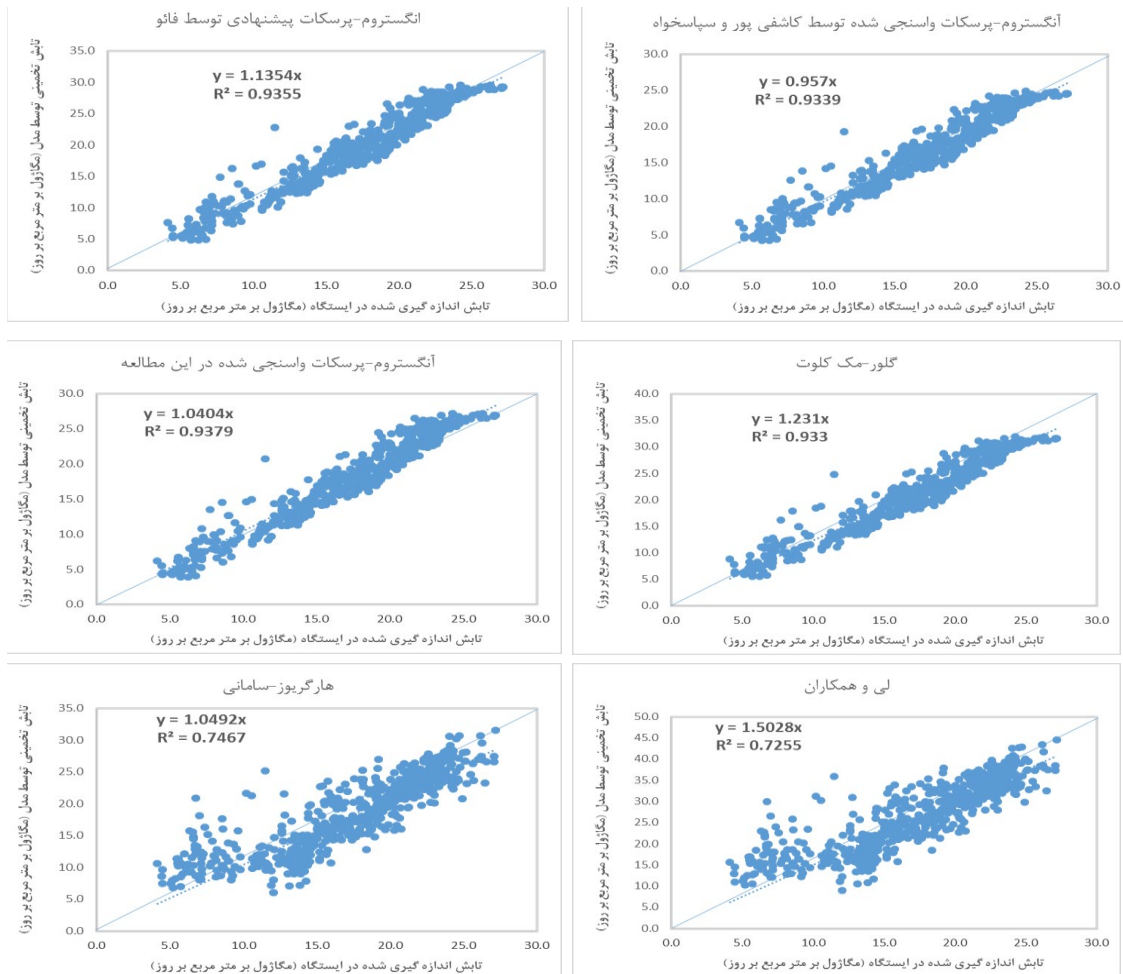
خورشیدی اندازه‌گیری شده و  $H_{i,p}$  مقادیر برآورد شده تابش خورشیدی با روش‌های تجربی هست.

### بحث و نتیجه‌گیری

در جدول ۲ مقادیر شاخص‌های آماری و رتبه‌بندی این مدل‌ها بر اساس شاخص‌های آماری برای مقایسه مدل‌های مختلف تابش خورشیدی آورده شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌گردد مدل آنگستروم پرسکات واسنجی شده در منطقه و همچنین مدل آنگستروم پرسکات واسنجی شده توسط کاشفی پور و سپاسخواه با داشتن شاخص‌های آماری قابل قبول به ترتیب در رتبه‌های اول و دوم، مدل آنگستروم پرسکات پیشنهادی توسط فائو در

۳. مقادیر کای اسکوتر محاسبه شده به منظور بررسی معنی داری روش‌های مختلف تابش خورشیدی

روش	انگستروم-پرسکات پیشنهادی توسط فائو	انگستروم-پرسکات شده توسط کاشفی پور و سپاسخواه	انگستروم-پرسکات واسنجی شده در این مطالعه	گلور-مک کلوت	هارگریوز- سامانی	لی و همکاران
کای اسکوتر محاسبه شده	۱۳۴/۸۰	۵۹/۴۹	۴۹/۵۶	۳۰۳/۸۹	۱۶۴/۷۴	۱۲۲۵/۸۶



شکل ۲. مقایسه مقادیر اندازه گیری شده تابش خورشیدی در ایستگاه مورد مطالعه و مقادیر تخمینی تابش خورشیدی به وسیله مدل‌های مورد مطالعه

وجود ندارد و مقادیر تابش تخمین زده شده به وسیله این روش‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده تابش مشابه هست. اما بین مقادیر اندازه‌گیری شده تابش خورشیدی و روش لی و همکاران اختلاف معنی دار وجود دارد.

در شکل ۲ مقادیر تابش اندازه‌گیری شده در ایستگاه مورد مطالعه و مقادیر تخمینی توسط مدل‌های مورد مطالعه و مقایسه آن‌ها با خط یک‌به‌یک آورده شده است. همچنان

انگستروم-پرسکات واسنجی شده در این مطالعه، انگستروم-پرسکات واسنجی شده توسط کاشفی پور و سپاسخواه، انگستروم-پرسکات پیشنهادی توسط فائو، هارگریوز-سامانی و گلور-مک کلوت مقادیر کای اسکوتر محاسبه شده کمتر از کای اسکوتر بحرانی هست که نشان می‌دهد اختلاف معنی داری در سطح ۹۵ درصد بین مقادیر اندازه‌گیری شده تابش خورشیدی با این روش‌ها

که در نتایج مشاهده می‌گردد مدل انگستروم پرسکات واسنجی شده برای منطقه مورد مطالعه از ضریب تعیین بالاتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار است.

### نتیجه‌گیری

تاکنون برای محاسبه تابش خورشیدی مدل‌های مختلفی توسعه یافته‌اند. که هر کدام از آن‌ها برای مناطق با ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی مشخصی پیشنهاد شده است (Nwokolo and Ogbulezie, 2018). تاکنون مدلی که بتواند برای تمامی شرایط اقلیمی و جغرافیایی مناسب باشد معرفی نشده است. ضرایب رگرسیون هر کدام از مدل‌ها از مکانی به مکان دیگر متفاوت هست که این تغییرات ممکن است به دلیل تغییرات محلی و فصلی در نوع و ضخامت پوشش ابر، اثرات سطوح پوشیده از برف، غلظت آلاینده‌ها و تفاوت در عرض جغرافیایی مناطق به وجود آید (Almorox and Hontoria, 2004; Besharat et al, 2013; Nwokolo and Ogbulezie, 2018). در این مطالعه ۶ مدل تجربی محاسبه تابش خورشیدی شامل انگستروم-پرسکات پیشنهادی توسط فائو، انگستروم-پرسکات واسنجی شده توسط سپاسخواه و کاشفی پور، انگستروم-پرسکات واسنجی شده در این مطالعه، مدل گلو-مک کلوت، روش هارگریوز و سامانی و روش لی و همکاران از طریق آنالیزهای آماری مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. نتایج مقایسه مقادیر محاسباتی این مدل‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی نشان داد که روش انگستروم-پرسکات واسنجی شده در این مطالعه، انگستروم-پرسکات پیشنهادی توسط فائو، روش انگستروم-پرسکات واسنجی شده توسط کاشفی پور و سپاسخواه، مدل گلو-مک کلوت و روش هارگریوز و سامانی با داشتن ضریب همبستگی به ترتیب مساوی با ۰/۹۷۵، ۰/۹۷۲، ۰/۹۷۱، ۰/۹۷۱ و ۰/۹۰۱ بالاترین همبستگی را با مقادیر واقعی داشتند؛ اما به دلیل اختلاف اندک ضریب همبستگی در این مدل‌ها با استفاده از

شاخص ناش و کمترین ریشه میانگین مربعات خطا و درصد میانگین خطا مساوی ۰/۹۰۶، ۱/۵۶۲ و ۱۵/۳۲ در روش انگستروم-پرسکات واسنجی شده در این مطالعه و ۰/۹۱۶، ۱/۴۷۹ و ۱۴/۰۹ در روش انگستروم-پرسکات واسنجی شده توسط کاشفی پور و سپاسخواه، این دو روش به‌عنوان بهترین روش تعیین تابش خورشیدی در مقیاس روزانه در این منطقه توصیه شدند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در اقلیم خشک روش‌های محاسبه تابش خورشیدی مبتنی بر ساعات آفتابی نتایج بهتری را به دست آوردند.

### سپاس‌گزاری

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده از محل اعتبارات معاونت پژوهشی مجتمع آموزش عالی کشاورزی و دامپروری تربت‌جام هست. بدین‌وسیله از حمایت مالی این مجتمع تقدیر و تشکر می‌گردد.

### مراجع

1. Alizadeh, A., khalili, N. 2009. Estimation of Angstrom Coefficient and Developing a Regression Equation for Solar Radiation Estimation (Case study: Mashhad). Journal of Water and Soil, Vol. 23, No. 1, Spring : p.229-238. (In Farsi)
2. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. United Nations Food and Agriculture Organization, Rome.
3. Almorox, J., C. Hontoria. 2004. Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. Energy Conversion and Management 45:1529-35
4. Angstrom, A. 1924. Solar and terrestrial radiation. Report to the international commission for solar research on actinometric investigations of solar and atmospheric. Radiation QJR Meteorological Society 50:121-126.
5. Bakirci, K. 2009. Correlations for estimation of daily global solar radiation with hours of bright sunshine in Turkey. Energy; 34: 485-501.
6. Besharat, F., A. Dehghan, A.R. Faghieh. 2013. Empirical models for estimating global solar radiation: a review and case study. Renewable Sustainable Energy Rev. 21, 798-821.

7. Ebrahimpour, A. S., Maerefat, M., Naiyeri, H. 2009. A New Method to Estimate the Global Solar Radiation in Different Climates of Iran. *Geographic Space*, (Issue 25). (In Farsi)
8. Erfanian, M., Babayi Hesar, S. 2013. Evaluation of hybrid models to estimate daily solar radiation on the number of stations measuring radiation Iran. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology)* 158(1):16-27. (In Farsi)
9. Fooladmand, H., Hadipoor, S. 2013. Calibration and validation of different methods for estimation of daily solar radiation (Case study: Rasht) . *geores*. 28 (2) :1-12. (In Farsi)
10. Ghabayi Soogh, M., Mosaedi, A., Dehghani, A. A. 2012. Intelligent Modeling solar radiation using gamma and compared to empirical equations calibrated in Kermanshah. *Journal of Water and Soil Conservation* 18(4):185-208. (In Farsi)
11. Ghalhari, F., Shakeri, F. 2017. Calibration of Angstrom- Prescott Coefficients for Selected Stations of Khorasan-e Razavi Province. *Journal of Water and Soil Science*. 26( 3: 2) p. 229-241. (In Farsi)
12. Hargreaves, G.H., Z. A. Samani. 1982. Estimating potential evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE* 108(3):223-230.
13. Kashefipour, S. M., Sepaskhah, A. R. 1998. Determination of Local Radiation Coefficients for the Mollasani Area in Khozestan Province. *Journal of Plant Productions (Scientific Journal of Agriculture)*, 20, 17-26. (In Farsi)
14. Katiyar, A.K., C.K. Pandey. 2010. Simple correlation for estimating the global solar radiation on horizontal surfaces in India. *Energy*:1-6.
15. Khalil, S. A., A. M. Shaffie, and H. A. S. A l y. 2018. Comparative and Evaluate of Empirical Models for Estimation Global Solar Radiation in Al-Baha, KSA. *Journal of Earth Science & Climatic Change*. 9(9).
16. Lee, M., C. Koo, T. Hong, and H. S. Park. 2014. Framework for the mapping of the monthly average daily solar radiation using an advanced case-based reasoning and a geostatistical technique, *Environmental Science and Technology* 48(8): 4604-4612. <https://doi.org/10.1021/es405293u>.
17. Majnooni Heris, A., Zand Parsa, Sh., Sepaskhah, A., Nazemosadat, M.J. 2008. Development and evaluation of global solar radiation models based on sunshine hours and meteorological information. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 12(46):491-499. (In Farsi)
18. Moeni, S., Javadi, Sh., Kokabi, M., Dehghan Menshadi, M. 2010. Iran's estimate of solar radiation using an optimal model. *Iran Energy Journal* 13(2):1-10. (In Farsi)
19. Mousavi-Baygi, M., Ashraf, B., 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*, Vol. 24, No. 4, Sep-Oct 2010, p. 836-844. (In Farsi)
20. Nwokolo, S. Ch., J. C. Ogbulezie. 2018. A quantitative review and classification of empirical models for predicting global solar radiation in West Africa. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*. 7( 4): 367-396.
21. Piri, J., Ansari, H., Faridhosseini, A. 2013. Modeling of solar radiation by using experimental models and ANFIS (Case Study: Zahedan and Bojnoord stations). *Iran Energy Journal* 16(3):37-58. (In Farsi)
22. Prescott, J. A. 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia* 64: 114-125.
23. Rahimi Khob, A., Behbahani, M., 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. *JWSS*. 13 (50) :53-62. (In Farsi)
24. Samuel, TDMA. 1991. Estimation of global radiation for Sri Lanka. *Solar Energy*, 47:333-7.
25. Seyedian, S.M., Farasati, M., Rouhani, H., Heshmatpour, A. 2017. Solar radiation prediction using metrological parameters. *Iran-Water Resources Research*. Volume 13, No. 1: 88-100. (In Farsi)
26. Soltani, S., Morid, M. 2005. Comparative estimation of global solar radiation using Hargeavessamani and artificial neural network methodologies, *Journal of Science of Agriculture*, 15: 69-77. (In Farsi)



## Evaluate and Comparative of daily solar radiation models in Ahvaz city

Zahra Shirmohammadi-Aliakbarkhani<sup>1\*</sup> Reza Shojaei<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Water Engineering, High Educational Complex of Torbat-e Jam, Khorasan Razavi, Iran

<sup>2</sup> Department of Water Engineering, High Educational Complex of Torbat-e Jam, Khorasan Razavi, Iran

\*Corresponding Author Email: [mshirmohamady@yahoo.com](mailto:mshirmohamady@yahoo.com)

Received: 5 October 2018, accepted: 8 January 2019

### ABSTRACT

The knowledge of the global solar radiation is of particular significance in reliable evaluation of the solar energy potential in a given locality. Utilization of solar radiation (Rs) is widely used in many sciences, especially agriculture and irrigation. A number of correlation models have been reported in literature for estimating global solar radiation in the world. One of the estimating solar radiation methods is to use empirical models. In this research, six models of estimate of short wave solar radiation including, the model of Angstrom–Prescott suggested by FAO, the calibrated model of Angstrom–Prescott by Kashifipour and Sepaskhah, the calibrated model of Angstrom–Prescott in this study, Glover & McCulloch model, Hargreaves and Samani method and Lee et al method, were investigated to recommend the suitable model for Ahvaz city. The required meteorological data has obtained from Ahvaz Weather Station during 2014–2017. Indicators, root mean squared error (RMSE), mean percentage error (MPE), Correlation Coefficient (CC), Nash–Sutcliffe efficiency (NSCE) were used to evaluate the performance of solar radiation estimations by the above-mentioned six methods. Results of comparing calculated amounts of these models with amounts of measured in meteorological station shows that by using Correlation Coefficient, the models of the calibrated model of Angstrom–Prescott in this study, the model of Angstrom–Prescott suggested by FAO, the calibrated model of Angstrom–Prescott by Kashifipour and Sepaskhah, Glover & McCulloch model and Hargreaves and Samani method (equal 0.975, 0.972, 0.971, 0.971 and 0.901 respectively) have higher correlation with actual amounts. Therefore because of a little Correlation Coefficient and Nash–Sutcliffe efficiency (NSCE) and less amounts of RMSE, MPE indexes between these models, the calibrated model of Angstrom–Prescott in this study and the calibrated model of Angstrom–Prescott by Kashifipour and Sepaskhah, can recommend as the suitable model radiation in this climate.

**Keywords:** Angstrom–Prescott, Radiation estimation, Glover & McCulloch, Hargreaves-Samani

#### HOW TO CITE THIS ARTICLE

Shirmohammadi-Aliakbarkhani Z., Shojaei R.; (2019). Evaluate and Comparative of daily solar radiation models in Ahvaz city. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 1(4): 343-350.

#### COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

