

## اعتبارسنجی مدل‌های تجربی و نیمه تجربی برآورد تابش خالص روزانه با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده در اقلیم سرد و نیمه خشک

علی اکبر سبزی پرور<sup>1\*</sup> - بهناز ختار<sup>2</sup>

تاریخ دریافت: 1392/11/09

تاریخ پذیرش: 1395/06/24

### چکیده

مطالعه تابش خالص خورشیدی در بسیاری از زمینه‌ها از جمله کشاورزی، هواشناسی و آب‌شناسی دارای اهمیت بسزایی است. تابش خالص خورشیدی یکی از مؤلفه‌های مهم و تأثیرگذار در شار حرارتی خاک، شدت تبخیر - تعرق و چرخه هیدرولوژیکی می‌باشد. در این تحقیق سعی شد تابش خالص روزانه با استفاده از 12 مدل تابش خالص، در منطقه سرد و نیمه‌خشک همدان برآورد و نتایج بدست آمده از هر روش با تابش خالص اندازه‌گیری شده در ایستگاه کلیماتولوژی دانشگاه بوعلی سینا در طول دوره 92-1390 مقایسه و مدل بهینه تابش خالص همدان معرفی گردد. در پژوهش حاضر مدل‌های تابش در طول دوره آماری مورد مطالعه به تفکیک در مقیاس فصلی و سالانه مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بدست آمده از مدل‌های تجربی نشان داد که مدل‌های بهینه در فصل بهار، تابستان و پاییز مدل رگرسیون مینا و در فصل زمستان مدل ایرماک می‌باشد. همچنین در مقیاس سالانه مدل رگرسیون مینا به‌عنوان مدل بهینه در اقلیم سرد نیمه خشک همدان - معرفی گردید. در مجموع، مدل‌های رگرسیون مینا کمترین مقدار خطا را در بین 12 مدل جهت برآورد تابش خالص روزانه در اقلیم سرد و نیمه خشک همدان به خود اختصاص دادند.

**واژه‌های کلیدی:** برآورد تابش خالص روزانه، مدل‌های رگرسیون مینا، مقیاس فصلی و سالانه، همدان

### مقدمه

یک جزء کلیدی در تابش سطح است و از رابطه زیر به دست می‌آید

(7):

$$R_n = (S_{Wi} - S_{Wo}) + (L_{Wi} - L_{Wo}) \quad (1)$$

$R_n$ : تابش خالص،  $S_{Wi}$ : تابش موج کوتاه ورودی،  $S_{Wo}$ : تابش موج کوتاه خروجی،  $L_{Wi}$ : تابش موج بلند ورودی،  $L_{Wo}$ : تابش موج بلند خروجی.

اندازه‌گیری تابش خالص به دلیل مشکلات کالیبراسیون (واسنجی) دشوار می‌باشد. این پارامتر بیشتر به وسیله اندازه‌گیری‌های تابش موج کوتاه خورشیدی، فشار بخار و دمای هوا پیش‌بینی می‌شود. این پیش‌بینی به طور کلی دقیق و قابل اطمینان می‌باشد (5). به دلیل مشکلات ذکر شده این پارامتر اغلب از مدل‌های تجربی تخمین زده می‌شود، تعداد زیادی مدل تجربی وجود دارد که با توجه به اقلیم هر منطقه می‌توان در تخمین تابش خالص از آن‌ها استفاده نمود.

کارسکو و همکاران (8) برای ارزیابی مدل تابش خالص در تاکستان‌های اسپانیا از دو مدل تخمینی تابش خالص استفاده نمودند. یافته‌های آن‌ها مقادیر کم MAE و RMSE را نشان دادند. همچنین

داده‌های تابش خالص<sup>3</sup> در بسیاری از زمینه‌ها از جمله کشاورزی، هواشناسی و آب‌شناسی دارای اهمیت بسزایی است. یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار در تبخیر و تعرق تابش خورشیدی است. تابش خورشیدی متغیر هواشناسی است که بر بسیاری از فرآیندهای آب و خاک از جمله نیاز آبی گیاهان اثر می‌گذارد. اما علی‌رغم اهمیت آن اندازه‌گیری آن به صورت محدود انجام می‌شود (21).

از عوامل دیگر که فرآیند تبخیر - تعرق را کنترل می‌نماید و در مدل‌های تخمین تبخیر - تعرق نیاز است، تابش خالص است. تابش خالص تفاوت بین تابش ورودی و خروجی در طول موج‌های بلند و کوتاه می‌باشد. تابش خالص بیلان بین انرژی جذب، بازتاب و منتشر شده توسط سطح زمین و یا تفاوت بین تابش موج کوتاه خالص ورودی و  $R_{ns}$  و تابش موج بلند خالص خروجی می‌باشد. تابش خالص

1 و 2- استاد هواشناسی و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

\* - نویسنده مسئول:

(Email: swsabzi@basu.ac.ir

DOI: 10.22067/jsw.v30i6.30934

3- Net radiation

تابش خالص در منطقه همدان واسنجی شوند تا بهترین مدل تابش خالص برای این منطقه معرفی گردد.

شهر همدان با ارتفاع متوسط 1800 متر از سطح دریا در منطقه غرب ایران قرار گرفته است. اقلیم همدان با توجه به طبقه‌بندی اقلیمی کوپن جزء مناطق سرد و نیمه خشک تقسیم‌بندی می‌شود. با توجه با نزدیکی دو ایستگاه مورد استفاده و تفاوت کم ارتفاع آنها از یکدیگر، اقلیم دو ایستگاه فرودگاه و دانشگاه مشابه فرض شده است. از داده‌های تابش خالص اندازه‌گیری شده توسط دستگاه لاگر تابش خالص واقع در ایستگاه اقلیم شناسی دانشکده کشاورزی بوعلی سینا همدان با طول جغرافیایی 48 درجه و 28 دقیقه و عرض جغرافیایی 34 درجه و 48 دقیقه استفاده شد. پارامترهای دیگر هواشناسی از ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان با طول جغرافیایی 48 درجه و 32 دقیقه و عرض جغرافیایی 34 درجه و 51 دقیقه اخذ شد. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها در شکل (1) ارائه شده است. برای این منظور از داده‌های روزانه هواشناسی 18 ماه از دسامبر 2011 (آذر 1390) تا ژوئن 2013 (تیر 1392) استفاده گردید. دستگاه لاگر تابش خالص، با 4 سنسور بالا سو و پایین سو بطور همزمان تابش خالص را هر 8 دقیقه اندازه‌گیری گزارش می‌کند.

سامانه کامپیوتری تابش خالص دارای دو سنسور موج بلند و دو سنسور موج کوتاه خورشیدی است. این سنسورها که ساخت کارخانه Hukseflux کشور هلند می‌باشند، با محدوده طیفی بین 300 تا 2800 (طیف کوتاه) و 4500 تا 42000 نانومتر (طیف بلند) تابش‌های ورودی و خروجی را دریافت می‌کنند. شکل (2) نمایی از لاگر تابش خالص را نشان می‌دهد. برای محاسبه تابش خالص روزانه تجمعی، از کل داده‌های اندازه‌گیری شده با توجه به فاصله‌های زمانی ثبت شده توسط لاگر، از طلوع تا غروب افتاب انتگرال‌گیری شد.

#### مدل‌های تابش خالص

12 مدل تجربی و نیمه تجربی جهت اعتبارسنجی و انتخاب مدل بهینه منطقه همدان مورد بررسی قرار گرفت که در زیر ارائه شده است:

#### پنمن مانیتیت فائو<sup>4</sup> 56

این مدل توسط آلن و همکاران (3) ارائه و در نشریه شماره 56 آبیاری و زهکشی سازمان خوار و بار جهانی کشاورزی<sup>4</sup> (فائو) به چاپ رسیده است.

$$R_n(D) = (1 - \alpha)R_s - \left[ \sigma \frac{(T_{\max} + T_{\min})}{2} \right] (0.34 - 0.14\sqrt{e_d}) \left( 1.35 \frac{R_s}{R_{s0}} - 0.35 \right) \quad (2)$$

این تحقیق ثابت کرد که دمای آسمانه‌گیاه<sup>1</sup> اثری در افزایش تابش خالص ندارد. آلروکروس و همکاران (4) مدلی را بر مبنای رگرسیون خطی - پریسکات جهت تابش کل خورشیدی توسط ساعات آفتابی در 7 ایستگاه ونزوئلا پیش‌بینی کردند و نشان دادند در مناطقی که داده‌های ساعت آفتابی وجود دارد این مدل‌ها بسیار مناسب می‌باشند. سنتل‌هاس و گیل‌اسپی (19) تابش خالص ساعتی را به‌منظور مدت زمان نگهداشت رطوبت برگ، با استفاده از مدل پنمن مانیتیت برآورد نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد، استفاده از داده‌های ساعتی، دقت تخمین تابش خالص را بهبود می‌بخشد. بلون کوئیست همکاران (7) جهت تخمین تابش خالص از مدل‌های ساعتی و روزانه استفاده کردند و مقادیر اندازه‌گیری شده را با مقادیر محاسباتی مقایسه نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقدار تابش خالص توسط مدل‌های ساعتی بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده بود در حالی که مقدار تابش خالص روزانه محاسبه شده به مقادیر اندازه‌گیری نزدیک تر بود.

ایرماک و همکاران (12) برای پیش‌بینی تابش خالص روزانه دو مدل تجربی را ارائه کردند که به کمترین داده‌های اقلیمی نیاز داشت. در این تحقیق معادلات در مکان‌های مختلف اقلیمی شامل مناطق مرطوب، خشک، ساحلی و غیر ساحلی در ایالات متحده ارزیابی شدند. مقادیر تابش خالص در هر دو مدل روزانه محاسبه شدند و با مقایسه با تابش خالص روزانه محاسبه شده توسط معادله پنمن مانیتیت فائو<sup>2</sup> 56 دارای خطای استاندارد نسبتاً پایین و ضرایب تعیین بالایی بود. مقایسه نتایج این دو مدل با هم نشان دادند که معادلات پیشنهادی به خوبی و یا حتی بهتر از مدل پنمن مانیتیت فائو<sup>2</sup> 56 تابش خالص را تخمین بزند. آلدوس و همکاران (2) ارتباط بین تابش خالص و تابش کل خورشیدی را در منطقه نیمه خشک اسپانیا بررسی کردند. آنها نتایج نشان داد که مدل‌هایی که بر اساس پرتو موج کوتاه می‌باشد در تخمین تابش خالص مناسب تر می‌باشند.

با توجه به اهمیت تابش خالص در تعیین میزان دقیق نیاز آبی و کمبود داده‌های میدانی این پارامتر در ایران در تحقیق حاضر به دنبال واسنجی روابط تجربی و نیمه تجربی و مدل‌های تابش خالص موجود و انتخاب بهترین مدل تجربی تابش خالص در شرایط اقلیمی سرد و نیمه خشک همدان هستیم. لذا هدف از انجام این پژوهش انتخاب و معرفی مناسب‌ترین مدل تجربی<sup>3</sup> (ENRM) موجود تابش خالص است که سازگار با اقلیم سرد و نیمه‌خشک همدان باشد.

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مورد مطالعه

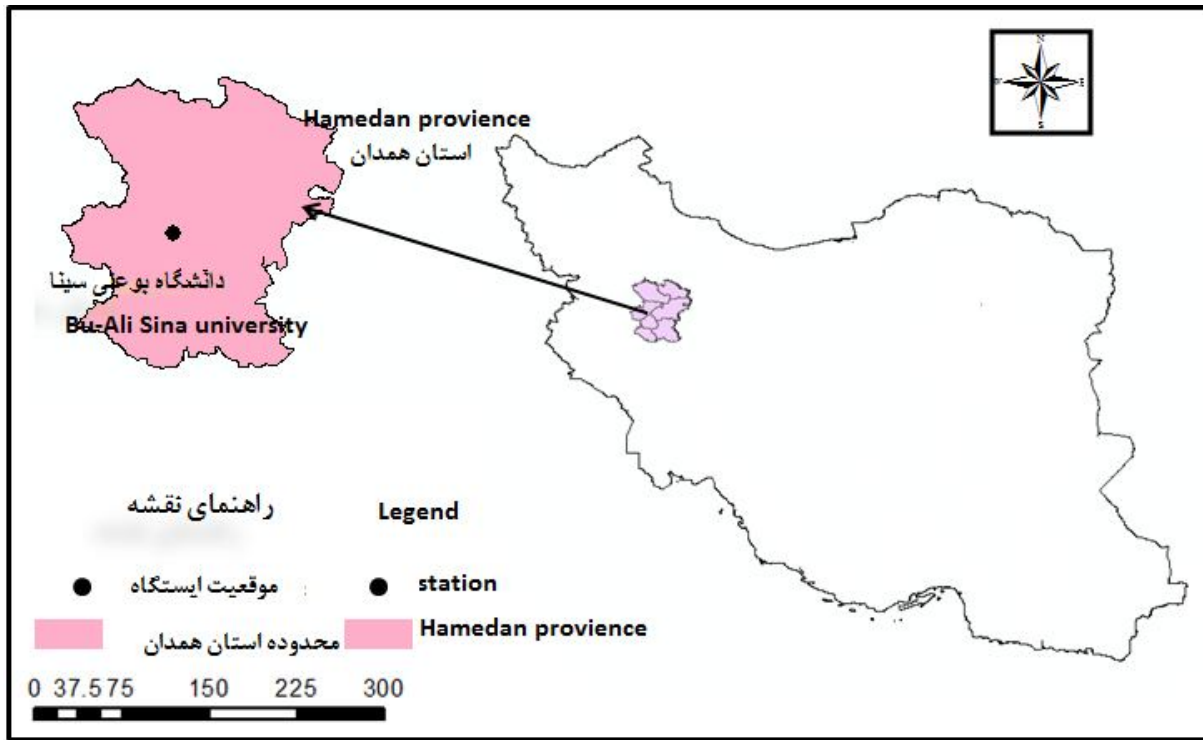
در این تحقیق سعی شد مدل‌های تجربی و نیمه تجربی تخمین

1- Canopy

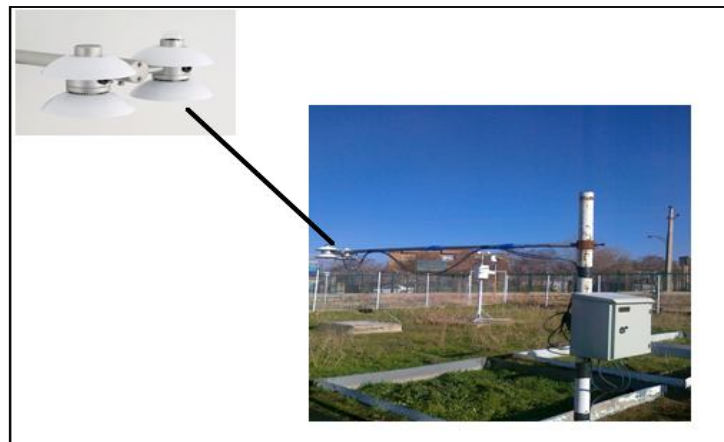
2- PMF-56

3- Empirical Net Radiation Models

4- Food and Agriculture Organization; (FAO)



شکل 1- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های مورد استفاده  
Figure 1- Geographical location of the study area and the weather site



شکل 2- نمایی از دستگاه لاگر تابش خالص و سنسورهای مربوطه واقع در ایستگاه کليما تولوژی دانشگاه بوعلی سینا  
Figure 2- Net radiation logger and the attached sensors as located at climatology station of Bu-Ali Sina University

$$(4.903 \times 10^{-9} \text{MJm}^{-2} \text{day}^{-1} \text{k}^{-4})$$

در این رابطه:

$T_{\max k}$ ,  $T_{\min k}$ : بیشینه و کمینه دمای هوای روزانه (درجه کلوین)،  $e_d$ : متوسط روزانه فشار بخار واقعی (KPa)،  $R_{so}$ : تابش طول موج کوتاه آسمان صاف،  $R_s$ : تابش کل خورشیدی ( $\text{Mj.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$ )  
 $\sigma$ : ثابت استفان-بولتزمن

رایت (22)<sup>1</sup>

$$R_{n(w)} = (1 - \alpha)R_s - \left[ \sigma \frac{(T_{\max k} + T_{\min k})}{2} \right] (a_1 -$$

نامبردگان این مدل را برای دو منطقه دشت (Bremgarten) و دامنه کوه (Geiersnest) کالیبره کرده و به صورت معادلات زیر ارائه کردند:

$$R_{n(ERM-1)} = 0.82[(1 - \alpha)R_s] - 0.027 \sigma T_a^4 - 37 \quad (12)$$

$$R_{n(ERM-2)} = 0.855[(1 - \alpha)R_s] - 0.028 \sigma T_a^4 - 38.4 \quad (13)$$

در تحقیق حاضر مدلی هم از میانگین مدل‌های بالا استخراج و به عنوان مدل جدید (رابطه 14) در محاسبات مورد استفاده قرار گرفت:

$$R_{n(ERM-m)} = 0.837[(1 - \alpha)R_s] - 0.027 5\sigma T_a^4 - 37.7 \quad (14)$$

#### مدل لیناکر<sup>4</sup>

لیناکر (15) با میانگین گرفتن از ضرایب a و b از 23 مدل تجربی تخمین  $R_n$ ، از معادلات شاو<sup>5</sup> (20) برای آیوا<sup>6</sup>، کلوتیر<sup>7</sup> (20) برای نیوزلند، هو و لیم<sup>8</sup> (11) برای مالزی و مانیتیت زیس (17) برای انگلستان و همچنین 19 ایستگاه دیگر، یک مدل رگرسیونی مبنا برای تخمین تابش خالص خورشیدی روی چمن پیشنهاد کرد.

$$R_{n(L)} = 0.66R_s - 28 \quad (15)$$

پارامترهای این مدل مشابه مدل رگرسیونی مبنا تعریف می‌شود.

#### مدل برلیند

برلیند (6) طی انجام تحقیق در سرتاسر جهان یک مدل رگرسیونی مبنا به صورت زیر را ارائه داد:

$$R_{n(B)} = 0.63R_s - 40 \quad (16)$$

#### مدل ایرماک<sup>9</sup>

ایرماک و همکاران (12) مدلی را جهت تخمین تابش خالص با داده‌های اندازه‌گیری شده در ایالت متحده آمریکا ارائه کردند:

$$R_{n(I)} = -0.054T_{max} + 0.11T_{min} + 0.462R_{s\_Measurement} - 49.243d_f + 50.831 \quad (17)$$

که در آن:

$R_n$ : تابش خالص خورشیدی ( $Mj.m^{-2}.day^{-1}$ )،  $T_{min}$  و  $T_{max}$ : به ترتیب دمای کمینه و دمای بیشینه روزانه ( $C^0$ )،

$$b_1 \sqrt{e_d} \left( \dot{a} \frac{R_s}{R_{so}} + \dot{b} \right) \quad (3)$$

$$a_1 = 0.26 + 0.1 \exp[-0.0154(J - 180)^2] \quad (3)$$

$$b_1 = -0.139 \quad (4)$$

$$\begin{cases} \dot{a} = 1.26, \dot{b} = -0.07 \rightarrow \frac{R_s}{R_{so}} > 0.7 \\ \dot{a} = 1.017, \dot{b} = -0.06 \rightarrow \frac{R_s}{R_{so}} \leq 0.7 \end{cases} \quad (4) \text{ و } (5)$$

مشخصات همه پارامترهای رابطه فوق مشابه مدل پنمن-فائو می‌باشند.

#### مدل رگرسیونی مبنا<sup>1</sup> (BRM)

مانیتیت و زایس (19 و 17) پیشنهاد کردند که تابش خالص تابعی خطی از تابش کل رسیده به زمین است.

$$R_{n(BRM)} = aR_s + b \quad (6)$$

این تحقیق برای سه منطقه دشت (Bremgarten)، دامنه (Geiersnest) و کوهستان (Feldberg) در آلمان انجام و 3 معادله به صورت زیر ارائه گردید:

$$R_{n(BRM-1)} = 0.6R_s - 23.23 \quad (7)$$

$$R_{n(BRM-2)} = 0.61R_s - 30.3 \quad (8)$$

$$R_{n(BRM-3)} = 0.57R_s - 32.62 \quad (9)$$

در تحقیق حاضر مدلی جدیدی که میانگین مدل‌های بالا بود استخراج (رابطه 10) و مورد استفاده قرار گرفت:

$$R_{n(BRM-m)} = 0.593R_s - 28.72 \quad (10)$$

$R_s$ : تابش کل رسیده به زمین ( $Wm^{-2}$ )،  $R_n$ : تابش خالص دریافتی در سطح زمین ( $Wm^{-2}$ ).

#### مدل رگرسیونی توسعه یافته<sup>2</sup> (ERM)

آیزوایمون<sup>3</sup> و همکاران (13) بیان داشتند که علاوه بر تابش کل رسیده به زمین، تابش زمینی مؤثر در محاسبه تابش خالص نیز تأثیر دارد و به همین دلیل مدل رگرسیونی توسعه یافته را به صورت زیر ارائه داد:

$$R_{n(ERM)} = \dot{a}(1 - \alpha)R_s + \dot{b}\sigma T_a^4 + \dot{c} \quad (11)$$

$\dot{a}$ ،  $\dot{b}$  و  $\dot{c}$ : ضرایب ثابت،  $R_s$ : تابش کل رسیده به زمین ( $Wm^{-2}$ )،  $R_n$ : تابش خالص ( $Wm^{-2}$ )،  $\sigma$ : ثابت استفان-بولتزمن ( $5.675 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$ )،  $T_a$ : متوسط روزانه دمای هوا ( $K$ ).

4- Linacre

5- Shaw

6- Iowa

7- Clothire

8- Hu and Lim

9- Irmak

1- Basic Regression Model

2- Extended Regression Model

3- Iziomon

این تحقیق سعی شد تا مدل منتخب (بهینه) تابش خالص در هر ایستگاه در مقیاس فصلی به طور جداگانه نیز مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به نتایج به دست آمده از کلیه مدل‌های تجربی تابش خالص، مدل بهینه در فصل بهار را می‌توان مدل رگرسیون مینا (4) معرفی کرد. تغییرات و همبستگی تابش خالص و مدل بهینه در فصل بهار به ترتیب در شکل‌های (3) و (4) ارائه شده است. در فصل‌های تابستان و پاییز مدل رگرسیون مینا (3) به عنوان مدل بهینه انتخاب شد. همانطور که ملاحظه می‌شود در جدول (1) تا (3) مدل‌های رگرسیون مینا دارای کمترین مقدار خطا در بین مدل‌های تجربی دیگر بودند.

نتایج تحقیق نشان داد که بر خلاف بقیه فصول، در فصل زمستان مدل ایرماک بهتر از سایر مدل‌ها در تخمین تابش خالص در منطقه سرد و نیمه خشک همدان عمل می‌کند. لازم به توضیح است که در ساختار فیزیکی مدل ایرماک تابش خالص با دمای بیشینه رابطه معکوس دارد. این بدین معناست که با افزایش دمای بیشینه هوا تابش خالص در سطح زمین کاهش می‌یابد و در روزهای گرم که دمای بیشینه اتفاق می‌افتد، سهم تابش خالص دریافتی کاهش می‌یابد. لذا در روزهایی که دمای بیشینه هوا افزایش می‌یابد سهم تابش خالص سطح زمین کمتر در نظر گرفته می‌شود.

در همین راستا میرگلوی بیات (15) مدل رایب را به عنوان مدل بهینه سالانه در تخمین تبخیر- تعرق مرجع روزانه برای مناطق سرد و نیمه خشک معرفی نمود. علت این اختلاف ممکن است به دلیل دوره‌ی آماری بلندتر تحقیق مذکور نسبت تحقیق حاضر یا عدم استفاده از داده‌های اندازه‌گیری تابش خالص در تحقیق نامبرده باشد.

با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان گفت که با گرم شدن تدریجی هوا مقدار تابش خالص اندازه‌گیری شده به مقدار تابش خالص پیش‌بینی شده از مدل‌های تجربی، بیشتر به هم نزدیک می‌شوند. با نزدیک شدن به انقلاب تابستانه اختلاف تابش خالص اندازه‌گیری شده و مدل بهینه افزایش می‌یابد. آیزوایمون و همکاران (13) نیز در ارزیابی مدل رگرسیون مینا در منطقه غرب آلمان نشان دادند که در فصل تابستان این مدل، فراب‌آورد و در زمستان فرورآوردی را نسبت به داده‌های تابش خالص اندازه‌گیری شده ارائه می‌کند. همچنین با توجه به همبستگی بالای تابش خالص و تابش کل خورشیدی در اغلب روزهای سال 2011 و 2012 در همدان (شکل 11) مدل‌هایی که در آن‌ها تابش کل ضریب بیشتری را به خود اختصاص داده است، پیش‌بینی بهتری را نسبت به مدل‌های دیگر دارند. مدل‌های رایب و پنمن مانیتیت در اغلب روزها فرا برآورد را به همراه داشته‌اند. میرگلوی بیات (15) در تحقیق خود بیان داشت که مدل پنمن مانیتیت در تخمین تابش خالص در منطقه همدان از دقت لازم برخوردار نیست.

RS-Measurements: تابش اندازه‌گیری شده  $(M_j \cdot m^{-2} \cdot day^{-1})$ ، dr: ضریب فاصله زمین تا خورشید.

$$dr = 1 + 0.033 \left[ \frac{2\pi J}{365} \right] \quad (18)$$

J: روز ژولوسی (J=1، اول ژانویه)

برای اعتبارسنجی مدل‌ها از آماره‌های خطاسنجی زیر استفاده گردید:

الف- ریشه دوم میانگین مربعات خطا<sup>1</sup>

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (o_i - s_i)^2}{n}} \quad (19)$$

که O و S به ترتیب مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده تابش و n تعداد داده‌ها است.

پایین بودن نمایه میانگین مربعات خطا نشانه نزدیک بودن داده‌های شبیه‌سازی شده به داده‌های مشاهده شده و در نتیجه خوب بودن عملکرد مدل است. نمایه میانگین مربعات خطا حساسیت زیادی به وجود مقادیر حدی در سری داده‌ها نشان می‌دهد زیرا به صورت توان دوم اختلافات بیان می‌شود (12).

### ب- نمایه میانگین خطای اریب<sup>2</sup>

نمایه میانگین خطای اریب (MBE) می‌تواند منفی، مثبت و یا صفر باشد ولی بهترین مقدار آن صفر است (15)

$$MBE = \sum_{i=1}^n \left( \frac{s_i - o_i}{n} \right) \quad (20)$$

که O و S به ترتیب مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده تابش و n تعداد داده‌ها است.

### ج- متوسط درصد خطا<sup>3</sup>

این آماره درصد خطای واقعی و اختلاف بین مدل مینا (اندازه-گیری) و مدل مورد نظر را نشان می‌دهد و مقادیر بیشتر آن معرف خطای زیاد در مدل مورد نظر است. مقادیر مثبت MPE خطای فراب‌آورد و مقادیر منفی آن خطای فرو برآورد را نشان می‌دهد (15).

$$MPE\% = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{s_i - o_i}{o_i} \right) * 100}{n} \quad (21)$$

که در آن O و S به ترتیب مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده تابش هستند و n تعداد داده‌ها است.

## نتایج و بحث

### معرفی مدل‌های بهینه فصلی

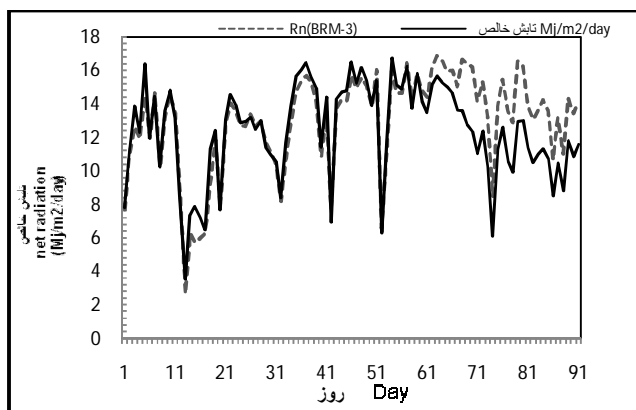
با توجه به اهمیت تعیین مقدار نیاز آبی و تغییرات قابل ملاحظه این پارامتر در طول دوره‌های مختلف فصل رشد گیاهان زراعی، در

1- Root-Mean-Square Error  
2- Mean Bias Error  
3- Mean Percentage Error

جدول 1- مقایسه آماره‌های خطا سنجی مدل‌های مورد مطالعه (فصل بهار)

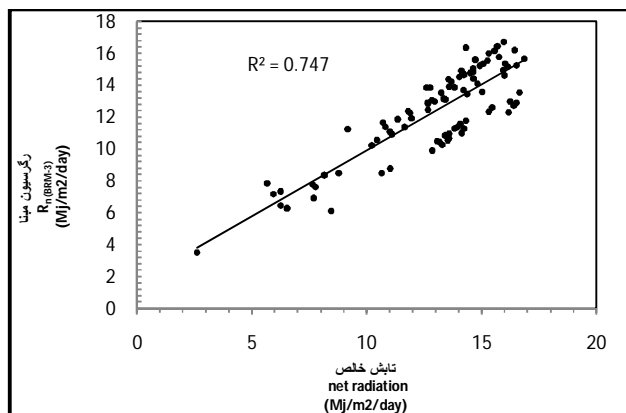
Table 1- Comparison of statistical errors as resulted from studied models (spring)

Statistical Model	آماره مدل	RMSE (Mj.m <sup>-2</sup> .day <sup>-1</sup> )	MPE (%)	MBE (Mj.m <sup>-2</sup> .day <sup>-1</sup> )
Irmak	ایرماک	4.7	-37	-4.5
Brlind	برلیند	2.52	16	1.9
Linacer	لیناگر	3.16	21	2.6
Wright	رایت	8.7	68	8.3
FAO	پنمن مانتیث	8.8	67	8.4
Basic Regression Model 1	رگرسیون مینا 1	2	10	1.2
Basic Regression Model 2	رگرسیون مینا 2	2.2	12	1.5
Basic Regression Model 3	رگرسیون مینا 3	1.9	15	1.2
Basic Regression Model 4	رگرسیون مینا 4	1.9	9	1.1
Extended Regression Model 1	رگرسیون توسعه یافته 1	4.8	36	4.4
Extended Regression Model 2	رگرسیون توسعه یافته 2	5.5	42	5.1
Extended Regression Model 3	رگرسیون توسعه یافته 3	5.1	39	4.7



شکل 3- مقایسه تغییرات زمانی تابش خالص اندازه‌گیری شده با مدل بهینه (فصل بهار)

Figure 3- Temporal comparison of the best fitted model versus the measured net radiation data (spring)



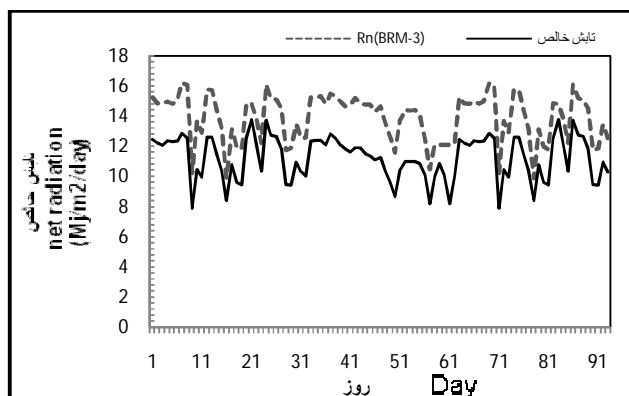
شکل 4- همبستگی تابش خالص اندازه‌گیری شده با مدل بهینه (فصل بهار)

Figure 4- Correlation between the measured net radiation data and the best selected model (spring)

جدول 2- مقایسه آماره‌های خطا سنجی نتایج مدل‌های مورد مطالعه (فصل تابستان)

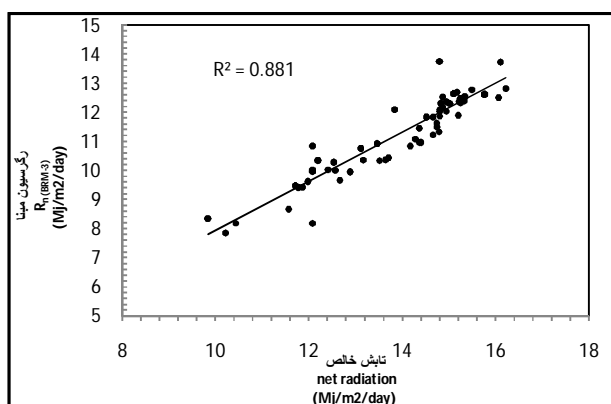
Table 2- Comparison of statistical errors as resulted from the studied models (summer)

Statistical	آماره	RMSE ( $Mj.m^{-2}.day^{-1}$ )	MPE (%)	MBE ( $Mj.m^{-2}.day^{-1}$ )
Model	مدل			
Irmak	ایرماک	9.2	45	5.2
Brlind	برلیند	4.1	37	4.1
Linacer	لیناگر	4.9	43	4.8
Wright	رایت	10	96	10
FAO	پنمن مانیتث	10	95	10.7
Basic Regression Model 1	رگرسیون مینا 1	3.4	30	3.4
Basic Regression Model 2	رگرسیون مینا 2	3.6	32	3.6
Basic Regression Model 3	رگرسیون مینا 3	2.7	24	2.6
Basic Regression Model 4	رگرسیون مینا 4	3.2	29	3.2
Extended Regression Model 1	رگرسیون توسعه یافته 1	8.4	66	7.4
Extended Regression Model 2	رگرسیون توسعه یافته 2	8.2	73	8.2
Extended Regression Model 3	رگرسیون توسعه یافته 3	7.8	69	7.8



شکل 5- مقایسه تغییرات زمانی تابش خالص اندازه‌گیری شده با مدل بهینه (تابستان)

Figure 5- Temporal comparison of the best fitted model versus the measured net radiation data (summer)



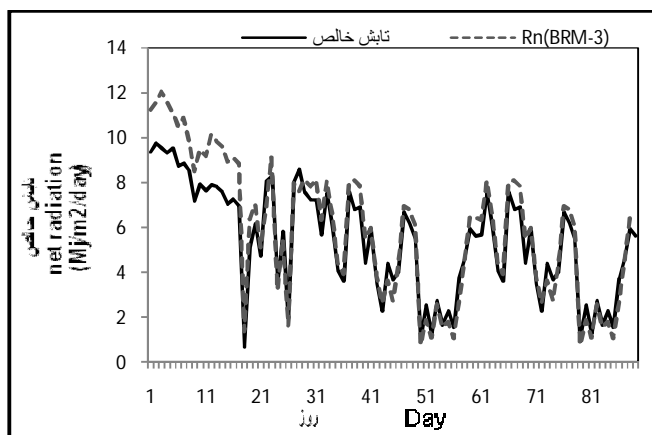
شکل 6- همبستگی تابش خالص اندازه‌گیری شده و مدل بهینه (فصل تابستان)

Figure 6- Correlation between the measured net radiation data and the best selected model (summer)

جدول 3- مقایسه آماره‌های خطا سنجی نتایج مدل‌های مورد مطالعه (فصل پاییز)

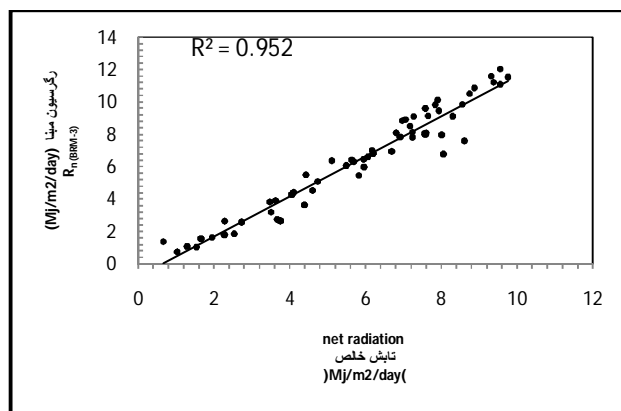
**Table 3- Comparison of statistical errors as resulted from the studied models (fall)**

Statistical	آماره	RMSE ( $Mj.m^{-2}.day^{-1}$ )	MPE (%)	MBE ( $Mj.m^{-2}.day^{-1}$ )
Model	مدل			
Irmak	ایرماک	8.4	-219	-8.4
Brlind	برلیند	1.5	16	1.1
Linacer	لیناگر	1.9	22	1.4
Wright	رایت	4.7	68	4
FAO	پنمن مانتیث	3.5	50	3
Basic Regression Model 1	رگرسیون مینا 1	1.2	11	0.8
Basic Regression Model 2	رگرسیون مینا 2	1.3	13	0.9
Basic Regression Model 3	رگرسیون مینا 3	0.9	5	0.5
Basic Regression Model 4	رگرسیون مینا 4	1.2	9	0.7
Extended Regression Model 1	رگرسیون توسعه یافته 1	1.8	21	0.3
Extended Regression Model 2	رگرسیون توسعه یافته 2	2.1	26	1.6
Extended Regression Model 3	رگرسیون توسعه یافته 3	2	23	1.5



شکل 7- مقایسه تغییرات زمانی تابش خالص اندازه‌گیری شده با مدل بهینه (پاییز)

Figure 7- Temporal comparison of the best fitted model versus the measured net radiation data (Fall)



شکل 8- همبستگی تابش خالص اندازه‌گیری شده و مدل بهینه (فصل پاییز)

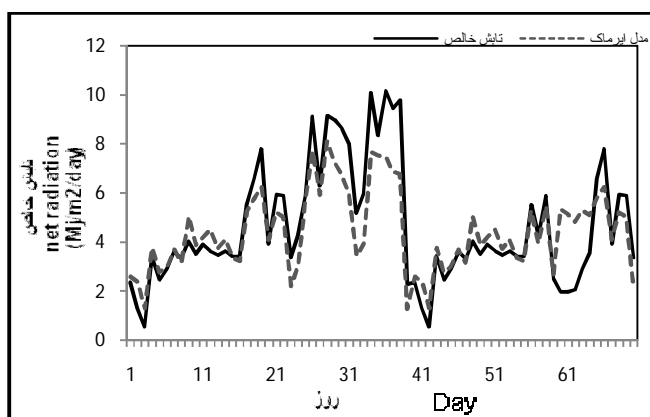
Figure 8- Correlation between the measured net radiation data and the best selected model (Fall)



جدول 4- مقایسه آماره‌های خطا سنجی نتایج مدل‌های مورد مطالعه (فصل زمستان)

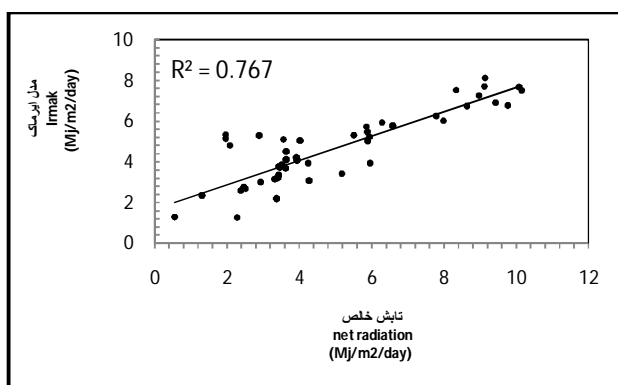
Table 4- Statistical comparison of the Models results (Winter)

Statistical	آماره	RMSE (Mj.m <sup>-2</sup> .day <sup>-1</sup> )	MPE (%)	MBE (Mj.m <sup>-2</sup> .day <sup>-1</sup> )
Model	مدل			
Irmak	ایرماک	2.2	25	2
Brind	برلیند	3.3	80	8
Linacer	لیناکر	3.7	89	5.3
Wright	رایت	7.2	162	8.8
FAO	پنمن ماتیتث	7.2	162	8.85
Basic Regression Model 1	رگرسیون مینا 1	3	72	4.5
Basic Regression Model 2	رگرسیون مینا 2	3.1	75	4.6
Basic Regression Model 3	رگرسیون مینا 3	2.7	63	4.1



شکل 9- مقایسه تغییرات زمانی تابش خالص اندازه‌گیری شده با مدل بهینه (زمستان)

Figure 9- Temporal comparison of the best fitted model, versus the measured net radiation data (Winter)



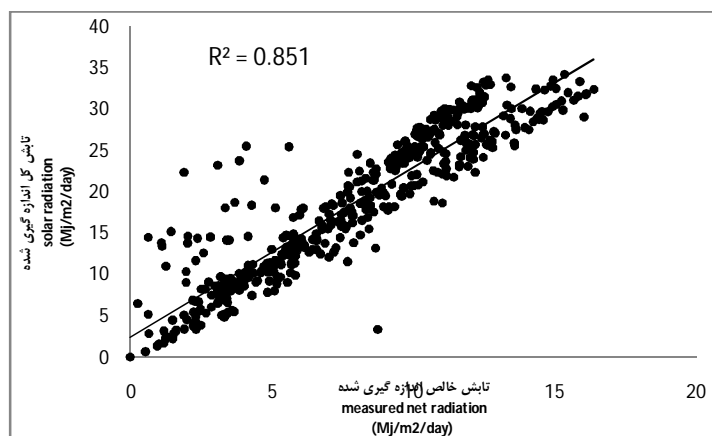
شکل 10- همبستگی تابش خالص اندازه‌گیری شده و مدل بهینه (فصل زمستان)

Figure 10- Correlation between the measured net radiation data and the best selected model (Winter)

دقیق‌ترین تخمین را در منطقه سرد و نیمه خشک همدان ارائه می‌کند.

معرفی مدل بهینه سالانه

نتایج تحلیل در مقیاس سالانه (جدول 5) حاکی از این واقعیت بود که مشابه نتایج تابستان و پاییز، مدل رگرسیون مینا (3) بهترین و



شکل 11- نمایش خط برازش بهینه تابش خالص روزانه با تابش کل روزانه (اندازه‌گیری شده)

Figure 11- The best fitted line between the daily net solar radiation and total global radiation (measured)

کوهستانی آلمان به عنوان مدل منتخب معرفی نمودند. لازم به ذکر است که منطقه مورد مطالعه در این تحقیق (همدان) نیز کوهستانی و مرتفع است، که می‌تواند دلیلی برصحت همخوانی نتایج در این دو تحقیق باشد. همچنین می‌توان اشاره نمود طبق آماره متوسط درصد خطا (MPE) کلیه مدل‌های مورد مطالعه به غیر از مدل ایرماک مقادیر بیش برآوردی را نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده تابش خالص تخمین زدند (رابطه 21).

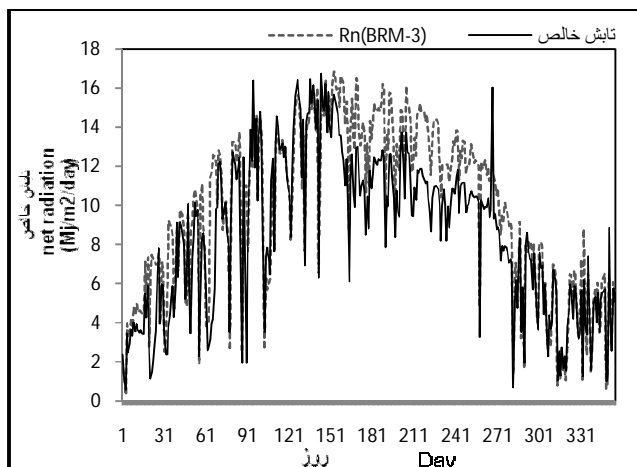
در تحقیقی که توسط میرگلوی بیات (15) در معرفی مدل منتخب تابش خالص انجام شد، مدل رگرسیون مینا به عنوان دقیق‌ترین مدل در مقیاس سالانه برای میانگین کشوری معرفی گردید. لازم به ذکر است که پژوهش نامبرده بدون استفاده از داده‌های اندازه‌گیری تابش خالص و با هدف تخمین تبخیر - تعرق انجام شد.

با محاسبه آماره‌های خطاسنجی در مقیاس سالانه نیز مدل رگرسیون مینا (3) به‌عنوان مدل بهینه سالانه در منطقه همدان انتخاب گردید. مانیت و زایس (16) نیز این مدل را برای منطقه

جدول 5- مقایسه آماره‌های خطاسنجی نتایج مدل‌های مورد مطالعه در مقیاس سالانه

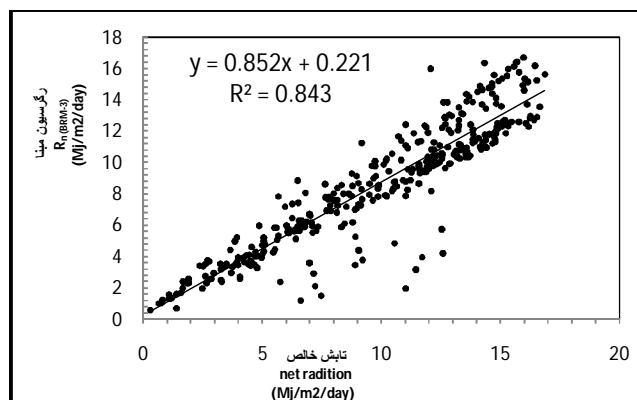
Table 5- Comparison of statistical errors as resulted by the studied models in annual scale

Statistical	آماره	RMSE ( $Mj.m^{-2}.day^{-1}$ )	MPE (%)	MBE ( $Mj.m^{-2}.day^{-1}$ )
Model	مدل			
Irmak	ایرماک	6.7	-68	-3.6
Brlind	برلیند	2.9	32	2.2
Linacer	لیناگر	3.4	39	2.7
Wright	رایت	7.9	91	7
FAO	پنمن مانیت	7.5	68	4.7
Basic Regression Model 1	رگرسیون مینا 1	2.5	26	41.7
Basic Regression Model 2	رگرسیون مینا 2	2.6	28	1.9
Basic Regression Model 3	رگرسیون مینا 3	2.1	19	1.2
Basic Regression Model 4	رگرسیون مینا 4	2.4	24	1.6
Extended Regression Model 1	رگرسیون توسعه یافته 1	4.6	50	3.8
Extended Regression Model 2	رگرسیون توسعه یافته 2	5.2	57	4.3
Extended Regression Model 3	رگرسیون توسعه یافته 3	4.9	53	4.1



شکل 12- مقایسه تغییرات زمانی تابش خالص اندازه‌گیری شده با مدل بهینه در مقیاس سالانه

Figure 12- Comparison of the temporal variations of the best fitted model versus the measured net radiation data in annual scale



شکل 13- همبستگی تابش خالص اندازه‌گیری شده و مدل بهینه در مقیاس سالانه

Figure 13- Correlation between the measured net radiation data and the best selected model in annual scale

### نتیجه‌گیری

ملاحظه در رژیم رطوبتی هوا، رطوبت زمین، ابرناکی و ساعات آفتابی مدل ایرماک مناسب تشخیص داده شد.

در مقیاس سالانه، مشابه فصول تابستان و پاییز، مدل رگرسیون مبنای نوع  $R_{n(BRM-3)}$  از دقت بالاتری در پیش‌بینی تابش خالص برخوردار بود. مدل‌های رایج و پنمن مانیتیت مقادیری بیش از مقدار تابش خالص اندازه‌گیری شده را در تمامی روزها نشان دادند و لذا جهت برآورد تابش خالص روزانه در اقلیم سرد و نیمه خشک همدان مناسب تشخیص داده نشدند. در مجموع، مدل‌های رگرسیون مبنای جهت تخمین تابش خالص روزانه در منطقه همدان عملکرد قابل قبولی در مقایسه با سایر مدل‌ها دارند. به منظور حصول نتایج دقیق‌تر، به کارگیری دوره آماری طولانی‌تر از داده‌های میدانی جهت تحقیقات بعدی پیشنهاد می‌گردد.

در این تحقیق برآورد تابش خالص روزانه در اقلیم سرد و نیمه-خشک منطقه همدان، با 12 مدل تجربی و نیمه‌تجربی مورد بررسی قرار گرفت و دقت هر یک از مدل‌های ذکر شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده توسط لاگر تابش خالص در ایستگاه کلیماتولوژی واقع در دانشگاه بوعلی سینا در طی دوره 18 ماهه از دسامبر 2011 (آذر 1390) الی ژوئن 2013 (تیر 1392) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که در فصل تابستان و پاییز مدل رگرسیون مبنای نوع  $R_{n(BRM-3)}$  بهترین تخمین را برای تابش خالص روزانه ارائه می‌نماید. در فصل بهار، مدل رگرسیون مبنای نوع  $R_{n(BRM-4)}$  با داشتن دقت بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها، مدل منتخب می‌باشد. استثنائاً در فصل زمستان به دلیل تغییر قابل

## منابع

- 1- Addiscott T. M., and Whitmore A.P. 1987. Computer simulation of changes in soil mineral nitrogen and crop nitrogen during autumn, winter and spring. *J. Agric. Sci. (Cambr)*, 109:141-157.
- 2- Alados I., Foyo-Moreno B., Olmoa F.J., and Alados-Arboledas L. 2003. Relationship between net radiation and solar Radiation for semi-arid shrub-land. *Agricultural and Forest Meteorology*, 116: 221–227
- 3- Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., and Smith M. 1998. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirement*". FAO Irrig. and Drain. Rome, 56: 3-12.
- 4- Almorox J., Benito M., and Hontorio C. 2008. Estimation of global solar radiation in Venezuela *Interciencia*. Abri. 33: 280-285
- 5- Asce-Ewri. 2005. The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Report of the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, USA.
- 6- Berliand T.A. 1970. Solar radiation and radiation balance data. Hydro. Publish. Hou. Leningrad.
- 7- Blonquist J., Allen R., and Bugbee B. 2010. An evaluation of the net radiation sub-model in the ASCE standardized reference evapotranspiration equation: Implications for evapotranspiration prediction. *Agricultural Water Management*, 97: 1026-1038.
- 8- Carrasco M., and Ortega-Farias S. 2008. Evaluation of a model to simulate net radiation over a vineyard cv. Cabernet Sauvignon. *Chilean Journal of Agriculture Research*, 68: 156-165.
- 9- Clothier B.E., Kerr J. P., Talbot J.S., and Scotter D. R. 1982. Measured and estimated evapotranspiration from well-watered crops. *New Zealand, J. Agric. Res*, 25: 301–307.
- 10- Fox D. 1981. Judging air quality model performance: a summary of the AMS workshop on dispersion models performance. *Bull. Am. Meteorol. Soc*, 62: 599-609.
- 11- Hu H. C., and Lim J. T. 1983. Solar and net radiation in Peninsular Malaysia *J. Clim*, 3: 271-283.
- 12- Irmak M., Asce A., Irmak J., Jones W., Howell M., Asce J., Jacobs R. G., Allen M., and Hoogenboom G. 2003. Predicting Daily Net Radiation Using Minimum Climatologically Data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131, 4:389-413.
- 13- Izoimon M. G., Mayer H., and Matzarakis A. 2000. Empirical models for estimating radiative flux: A case study for three mid-Latitude sites with orographic variability. *J. Irrig. Drain. Eng. ASCE*, 117(5): 758-773.
- 14- Linacre E. 1992. *Climate Data and Resources, a Reference and Guide*. RoutledgePress, London, 92–96: 149–185.
- 15- Mirgaloybayat R. 2011. Evaluation of some selected net solar radiation (Rn) models in FAO Penman Monteith 56 (PMF-56) method for more accurate estimation of daily reference evapotranspiration (ET<sub>0</sub>), Thesis of Master of Science in Irrigation and Drainage. Bu-Ali Sina University Faculty of Agriculture.
- 16- Monteith J., and Szeicz G. 1961. The radiation balance of bare soil and vegetation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 87: 159-170
- 17- Monteith J., and Szeicz G. 1962. Radioactive temperature in the heat balance of natural surface. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 88: 496-507.
- 18- Sabziparvar A. A., Mirgaloybayat R., Marofi S., Zare-Abyaneh H., and Khodamorad Pour M. 2016. Evaluation of some net radiation models for improving daily reference evapotranspiration estimation in Iran. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 040160511-518.
- 19- Sentelhas P., and Gillespie T. 2008. Estimating hourly net radiation for leaf wetness duration using the Penman-Monteith equation. *Theor. Appl. Climatol*, 91: 205–215.
- 20- Shaw R. H. 1956. A comparison of solar and net radiation. *Bull. Am. Met. Soc*, 37: 205–206.
- 21- Soltani S., and Moraid S. 2006. Comparison of solar radiation from Hargeaves-Samani model against ANN method. *AgricultureScience*, 15:69-77.
- 22- Wright J. L. 1996. New Evapotranspiration Crop Coefficients. *Journal of Irrigation and Drainage Division. ASCE*, 108: 57-74.



## Validation of Empirical and Semi-empirical Net Radiation Models versus Observed Data for Cold Semi-arid Climate Condition

A.A. Sabziparvar\*<sup>1</sup>- B. Khatar<sup>2</sup>

Received: 29-01-2014

Accepted: 14-09-2016

**Introduction:** Solar Net Radiation ( $R_n$ ) is one of the most important component which influences soil heat flux, evapotranspiration rate and hydrological cycle. This parameter ( $R_n$ ) is measured based on the difference between downward and upward shortwave (SW) and longwave (LW) irradiances reaching the Earth's surface. Field measurements of  $R_n$  are scarce, expensive and difficult due to the instrumental maintenance. As a result, in most research cases,  $R_n$  is estimated by the empirical, semi-empirical and physical radiation models. Almorox et al. (2008) suggested a net radiation model based on a linear regression model by using global solar radiation ( $R_s$ ) and sunshine hours. Alados et al. (2003) evaluated the relation between  $R_n$  and  $R_s$  for Spain. They showed that the models based on shortwave radiation works perfect in estimating solar net radiation. In another work, Irmak et al. (2003) presented two empirical  $R_n$  models, which worked with the minimum numbers of weather parameters. They evaluated their models for humid, dry, inland and coastal regions of the United States. They concluded that both  $R_n$  models work better than FAO-56 Penman-Monteith model. Sabziparvar et al. (2016) estimated the daily  $R_n$  for four climate types in Iran. They examined various net radiation models namely: Wright, Basic Regression Model (BRM), Linacre, Berliand, Irmak, and Monteith. Their results highlighted that on regional averages, the linear BRM model has the superior performance in generating the most accurate daily ETO. They also showed that for 70% of the study sites, the linear  $R_n$  models can be reliable candidates instead of sophisticated nonlinear  $R_n$  models. Having considered the importance of  $R_n$  in determining crop water requirement, the aim of this study is to obtain the best performance  $R_n$  model for cold semi-arid climate of Hamedan.

**Materials and Methods:** We employed hourly and daily weather data and  $R_n$  data, which were measured during December 2011 to June 2013 in climatology station of Bu-Ali Sina University. This experiment was performed for the cold semi-arid site of Hamedan (Iran). The study site (Hamedan) is a mountainous research station (1860 meters above sea-level) which is located at the eastern side of central Zagros Mountain Range. The net radiation fluxes were measured by four SW (300-2800 nm) and LW (4500-42000 nm). Hukseflux Thermal Sensors mounted on an automatic logger system. The logger reported four upward and downward solar components in every 8-minute intervals. In this study, total daily net radiation was estimated by 12 empirical and semi-empirical  $R_n$  models including: Basic Regression Models (BRM), Extended Regression Models (ERM), Linacre, Berliand, Wright and FAO-56 Penman-Monteith. The model performances were evaluated by  $R^2$ , RMSE, MBE and MPE criteria and the best model was selected accordingly.

**Results and Discussion:** In this research, the model calculations were done for seasonal and annual time scales. The results indicate that Basic Regression Model  $R_{n(BRM-4)}$  performs the best estimates in spring time. Further, for summer and autumn seasons,  $R_{n(BRM-3)}$  was superior for the cold semi-arid climate of Hamedan. Therefore, with the exception of winter, the BRM models performed the best estimates. Unlike the other seasons, for winter, Irmak presented the most accurate results. This is due to the fact that net radiation as estimates by Irmak Model is mainly dependent on daily maximum ( $T_{max}$ ) and minimum temperatures. For Irmak model, as the  $T_{max}$  is increased,  $R_n$  will be reduced proportionally. For this reason, Irmak does not perform good estimates for warm months. In annual time scale, the Basic Regression Model of  $R_{n(BRM-3)}$  presented the most accurate estimates of net radiation. The study of Monteith and Szeicz (1961) and MirgaloyBayat (2011) also showed that  $R_{n(BRM-3)}$  model can generated the best  $R_n$  estimate in annual scale for mountain regions.

**Conclusion:** Unlike the recommendation of FAO for using Penman-Monteith and Wright approaches in evapotranspiration models, it was found that the aforesaid  $R_n$  models are not suitable for cold semi-arid regions such as Hamedan. This result is in good agreement with the findings of Izoimon et al. (2000) and MirgaloyBayat (2011). In general, for cold climate condition of Hamedan, the Basic Regression Models are more reliable than the other  $R_n$  models. This study was performed based on 18-month field data and 12- $R^n$  models. To achieve

1 and 2- Professor in Meteorology and Former Master Student of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan

(\* - Corresponding Author Email: swsabzi@basu.ac.ir)

more accurate results, using a longer term experimental data and examining more  $R_n$  models are suggested as the future works. To achieve a regional  $R_n$  zoning, inclusion of satellite-based dataset is also recommended.

**Keywords:** Basic Regression Models, Daily net radiation, Hamedan, Penman-Monteith model, Seasonal and annual estimates