



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون  
پرديس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران  
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



## ارزیابی عملکرد مدل‌های تجربی برآورد تابش خورشیدی مبتنی بر ساعات آفتابی (مطالعه موردی: ایستگاه بندرعباس)

زهرا فرجی مهباری<sup>۱</sup>، خدیجه فرجی مهباری<sup>۲</sup>، مجید خانعلی<sup>۳\*</sup>

۱- دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تهران- پردیس کشاورزی و منابع طبیعی

۲- مربی، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد شهرری

۳- استادیار، دانشگاه تهران- پردیس کشاورزی و منابع طبیعی

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: [khanali@ut.ac.ir](mailto:khanali@ut.ac.ir)

### چکیده

تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین یکی از پرکاربردترین پارامترهای مورد استفاده در پروژه‌ها و مدل‌سازی‌های هیدرولوژی، کشاورزی، هواشناسی و اقلیمی می‌باشد. با توجه به هزینه بالای اندازه‌گیری این پارامتر، تاکنون مدل‌های متعددی جهت برآورد آن در اقلیم‌های مختلف توسط محققان پیشنهاد شده است. در این پژوهش، یازده مدل برآورد تابش کل خورشیدی پیشنهادی توسط اگلمن، ساموئل، نیولند، بکرسی، آلرمکس و هانتوریا، سن، الاجیب و مانسل و بهرنگ جهت انتخاب و معرفی مناسب‌ترین مدل در شهر بندرعباس مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج مقایسه مقادیر محاسبه شده با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط پیرانومتر، نشان داد که بر اساس مقدار ضریب تعیین، مدل‌های ۳، ۹، ۱۰ و ۱۱ (به ترتیب برابر ۰/۸۹۷۵، ۰/۹۰۹۴، ۰/۸۹۸۳ و ۰/۹۱۱۷) بیشترین همبستگی را با مقادیر واقعی تابش نشان می‌دهند. اما با توجه به تفاوت بسیار ناچیز  $R^2$  این مدل‌ها و مقادیر کمتر شاخص‌های RMSE، MPE و MBE (به ترتیب برابر ۰/۰۳۴۶، ۰/۴۳۱۹ و ۰/۱۱۹۶) در مدل ۹ پیشنهاد شده توسط بهرنگ، می‌توان این مدل را به عنوان مناسب‌ترین مدل برآورد تابش خورشیدی در این شهر معرفی نمود.

واژه‌های کلیدی: تابش کل خورشیدی، مدل تجربی، ساعات آفتابی، بندرعباس.



## مقدمه

امروزه استفاده از انرژی‌های نو یکی از کارهای اساسی در زمینه بهره‌برداری بهینه از توانایی‌های اقلیمی هر پهنه جغرافیایی به شمار می‌آید و تابش کل خورشیدی یکی از سازه‌های بنیادی هر گستره اقلیمی است. از این روی، شناخت ویژگی‌ها و نیز پیش‌بینی این سازه، در برنامه‌ریزی و گرداندگی جستارهای وابسته به انرژی اهمیت ویژه‌ای دارد. در بسیاری از پهنه‌های کوهستانی که برق‌رسانی آسان نیست، نیروی بدست آمده از تابش خورشیدی می‌تواند جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی باشد. به ویژه اینکه کاربرد این سرچشمه انرژی عاری از مشکلاتی همچون آلودگی‌های زیستی است. از دیگر سو، داده‌های تابش خورشیدی در بسیاری از کاربردهای صنعتی، کشاورزی و زیست‌محیطی (نظیر مدل‌های رشد گیاهان، برآورد نرخ تبخیر، طراحی سیستم‌های فتوولتائیک، طراحی کلکتورهای خورشیدی، خشک کردن محصولات کشاورزی با استفاده از نور خورشید و طراحی ساختمان‌ها) نیز به کار می‌روند.

برآورد مقادیر تابش کل خورشیدی در نقاط مختلف زمین به دو صورت میسر است: روش اول که بهترین و قابل اعتمادترین روش می‌باشد، دسترسی به داده‌های اندازه‌گیری شده تابش کل خورشیدی توسط پیرانومتر و روش دوم بر مبنای استفاده از یک سری روابط و مدل‌های ریاضی استوار است. متأسفانه اندازه‌گیری مستقیم تابش کل خورشیدی به لحاظ هزینه گزاف، نگهداری و نیاز به واسنجی تجهیزات فقط در تعداد معدودی از ایستگاه‌های هواشناسی ایران انجام می‌شود و در برخی موارد اندازه‌گیری‌ها از کیفیت مطلوب برخوردار نیست. علاوه بر این، تفاوت زیاد عرض جغرافیایی در ایران عامل مهمی در تفاوت قابل ملاحظه تابش خورشیدی در گستره کشور به شمار می‌آید. از این رو مدل‌های نظری برای برآورد تابش کل خورشیدی پیشنهاد شده است. اغلب این مدل‌ها از روابط تجربی بین مقدار تابش کل خورشیدی و سایر مشخصات هواشناسی، آب و هوایی و جغرافیایی که اندازه‌گیری آن‌ها آسان‌تر است بهره می‌گیرند.

به طور کلی، معادلات تجربی برآورد تابش خورشیدی را می‌توان به سه دسته تقسیم‌بندی کرد: اول، معادلاتی که مبنای آن‌ها ساعات آفتابی است؛ دوم، معادلاتی که مبنای آن‌ها دمای هواست و سوم، معادلاتی که بر مبنای ابرناکی<sup>۱</sup> محاسبه می‌شوند. از آنجا که اطلاع از شدت تابش خورشیدی رسیده به سطح نسبت به ساعات آفتابی اهمیت بیشتری دارد، لذا شناسایی روش‌های تخمین شدت تابش خورشیدی رسیده به سطح، از آمار موجود (ساعات آفتابی) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

تا کنون مطالعات مختلفی برای برآورد متوسط ماهانه تابش کل خورشیدی در ایران انجام شده است. خراسانی‌زاده و محمدی (۲۰۱۳)، به کمک داده‌های تابش کل خورشیدی در بلند مدت و دیگر مشخصات هواشناسی و بر اساس ۱۱

<sup>۱</sup> Cloudy



مدل تجربی بدست آمده در سایر تحقیقات، متوسط ماهانه تابش کل خورشیدی روزانه در شش شهر بزرگ ایران را محاسبه کردند.

بهرنگ و همکاران (۲۰۱۱) از تکنیک‌های بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)<sup>۱</sup> برای پیش‌بینی شاخص وضوح در شهرهای مختلف ایران بهره گرفتند. برای این منظور یازده مدل، شامل پنج مدل جدید و شش مدل بدست آمده در سایر تحقیقات، انتخاب شد. ضرایب تجربی مدل‌ها با استفاده از روش‌های PSO و رگرسیون آماری برای تمام شهرها محاسبه شد. نتایج نشان داد که ضرایب تجربی بدست آمده به روش PSO نسبت به روش رگرسیون آماری دقیق‌تر است.

رحیمی خوب (۲۰۱۰) از روش‌های شبکه عصبی برای برآورد تابش خورشیدی کل در شهر اهواز به کمک پارامترهای بیشینه و کمینه دما و میزان تابش خارج از جو بهره گرفت. قهرمان و بختیاری (۲۰۰۹) از هشت مدل تجربی مبتنی بر دمای هوا و بارش روزانه برای برآورد تابش خورشیدی روزانه در شش ایستگاه هواشناسی ایران شامل مشهد، تبریز، اصفهان، کرمان، همدان و زنجان استفاده کردند. ایستگاه‌های مورد نظر از مناطق خشک و نیمه خشک کشور انتخاب شدند.

سبزی‌پرور (۲۰۰۸) از مشخصات مختلف هواشناسی برای پیش‌بینی متوسط ماهانه تابش کل خورشیدی در برخی مناطق خشک مرکزی ایران استفاده کرد. همچنین در مطالعه دیگری، سبزی‌پرور و شتایی (۲۰۰۷) پس از بررسی شش مدل رایج برای برآورد تابش در مناطق خشک و نیمه خشک شرق و غرب ایران، یک مدل جدید برای این مناطق ارائه دادند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که مدل‌های مبتنی بر ابرناکی برآورد دقیق‌تری از تابش را در ایران ارائه می‌دهند.

به این ترتیب با توجه به اهمیت تابش رسیده به سطح زمین و کاربرد گسترده آن در پروژه‌ها و مطالعات مختلف هواشناسی، اقلیم‌شناسی، هیدرولوژی و کشاورزی در این پژوهش، یازده مدل تجربی مختلف را برای برآورد تابش خورشیدی در شهر ساحلی بندرعباس مورد بررسی قرار می‌دهیم و پس از مقایسه نتایج آن‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط پیرانومتر، مناسب‌ترین مدل در این منطقه انتخاب خواهد شد.

## مواد و روش‌ها

### داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

در این مقاله از داده‌های ایستگاه هواشناسی بندرعباس با عرض جغرافیایی ۲۷°۱۳' شمالی، طول جغرافیایی ۵۶°۲۲' شرقی و ارتفاع ۹/۸ متر از سطح دریا استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده شامل تابش خورشیدی، ساعت

<sup>۱</sup> Particle Swarm Optimization



آفتابی، میانگین، کمینه و بیشینه دمای هوا و میانگین درصد رطوبت نسبی به صورت روزانه برای سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۸۷ (میلادی) از سازمان هواشناسی جمهوری اسلامی ایران تهیه گردید.

پس از پردازش و مرتب‌سازی داده‌ها، به منظور افزایش دقت محاسبات، مقادیر پرت را حذف و فقط از داده‌های قابل قبول در ادامه مسیر استفاده می‌کنیم. در مرحله اول مقادیر تابش خورشیدی فرازمینی با مقادیر تابش کل رسیده به سطح افقی در دو شرایط کاملاً آفتابی و کاملاً ابری مقایسه شدند. بدین منظور، از شاخص وضوح روزانه،  $K_T$ ، استفاده شد که از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌شود. بر این اساس داده‌هایی که به ازای آن‌ها  $1 \leq K_T \leq 0.15$  باشد قابل قبول بوده؛ در غیر این صورت داده پرت محسوب می‌شوند. همچنین، ماه‌هایی که فاقد اطلاعات بیش از ۵ روز هستند به طور کامل حذف شدند. میزان داده‌های مفقود و نامعتبر به اندازه کافی کوچک بود (در حدود ۲/۶۳٪ کل داده‌ها). پس از فرآیند کنترل کیفیت داده‌ها، متوسط ماهانه داده‌های اندازه‌گیری شده بدست آمد.

#### مدل‌های برآورد تابش خورشیدی

در تحقیقات به عمل آمده، مدل‌های تجربی مختلفی برای مناطق مختلف جهان معرفی شده است. در این پژوهش، ۱۱ مدل مبتنی بر ساعت آفتابی، انتخاب شد (Behrang et al., 2011; Besharat et al., 2013) که فهرست آن‌ها در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مدل‌های تجربی مورد استفاده در این مقاله.

شماره مدل	نام مدل	مدل تجربی
۱	اگلمن <sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۸۴)	$H/H_0 = a + b(S/S_0) + c(S/S_0)^2$
۲	ساموئل <sup>۲</sup> (۱۹۹۱)	$H/H_0 = a + b(S/S_0) + c(S/S_0)^2 + d(S/S_0)^3$
۳	نیولند <sup>۳</sup> (۱۹۸۸)	$H/H_0 = a + b(S/S_0) + c \log(S/S_0)$
۴	بکرسی <sup>۴</sup> (۲۰۰۹)	$H/H_0 = a + b(S/S_0) + c \exp(S/S_0)$
۵	آلمورکس <sup>۵</sup> و هانتوریا <sup>۶</sup> (۲۰۰۴)	$H/H_0 = a + b \exp(S/S_0)$
۶	سن <sup>۷</sup> (۲۰۰۷)	$H/H_0 = a + b(S/S_0)^c$
۷	بکرسی (۲۰۰۹)	$H/H_0 = a(S/S_0)^b$
۸	الاجیب <sup>۱</sup> و مانسل <sup>۲</sup> (۲۰۰۰)	$H/H_0 = a \exp(b(S/S_0))$

<sup>۱</sup> Ogelman

<sup>۲</sup> Samuel

<sup>۳</sup> Newland

<sup>۴</sup> Bakirci

<sup>۵</sup> Almorox

<sup>۶</sup> Hontoria

<sup>۷</sup> Sen



$H/H_0 = a + b \cos(c(S/S_0)) + d \sin(c(S/S_0)) + e \cos(2c(S/S_0)) + f \sin(2c(S/S_0))$	بهرنگ و همکاران (۲۰۱۱)	۹
$H/H_0 = a \sin(b(S/S_0) + c) + d \sin(e(S/S_0) + f) + g \sin(h(S/S_0) + i)$	بهرنگ و همکاران (۲۰۱۱)	۱۰
$H/H_0 = a + b \sin(c(S/S_0) + d) + e \sin(f(S/S_0) + g) + h \sin(i(S/S_0) + j)$	بهرنگ و همکاران (۲۰۱۱)	۱۱

شاخص وضوح روزانه،  $K_t$ ، نیز با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود و برای محاسبه میانگین ماهانه تابش فرازمینی روزانه،  $H_0$ ، می‌توانیم از رابطه (۲) استفاده کنیم (Duffie and Beckman, 2006):

$$K_t = \frac{H}{H_0} \quad (1)$$

$$H_0 = \frac{24 \times 3600}{\pi} I_{sc} \left[ 1 + 0.033 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right] \left[ \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin \varphi \sin \delta \right] \quad (2)$$

که در آن  $n$ ، شماره ژولپوسی (شماره روزهای سال، از اول ژانویه  $n = 1$  تا ۳۱ دسامبر  $n = 365$ ) است. ثابت خورشیدی،  $I_{sc}$ ، معادل ۱۳۶۷ وات بر متر مربع در نظر گرفته شده است.  $\varphi$ ، عرض جغرافیایی محل مورد نظر و  $\delta$  زاویه میل خورشیدی نسبت به استوا است که مقدار آن را می‌توان از رابطه (۳) بر حسب درجه محاسبه نمود (Cooper, 1969):

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360(284 + n)}{365} \right] \quad (3)$$

$\omega_s$ ، زاویه ساعتی خورشید در هنگام غروب و  $S_0$ ، میانگین ماهانه طول روز به ترتیب با استفاده از رابطه‌های (۴) و (۵) محاسبه می‌شوند.

$$\omega_s = \arccos(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (4)$$

$$S_0 = \frac{2}{15} \omega_s \quad (5)$$

در این پژوهش، ضرایب ثابت در هریک از مدل‌ها به کمک روابط رگرسیونی بین مقادیر  $S/S_0$  و  $H/H_0$  محاسبه می‌شود. مقادیر  $S$  و  $H$  از آمار ایستگاه‌های هواشناسی برای دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۰۵ بدست می‌آید.

#### شاخص‌های خطاسنجی

عملکرد مدل‌ها توسط چهار شاخص آماری ریشه میانگین مربع خطا ( $RMSE, MJ/m^2$ )، خطای اریبی ( $MBE, MJ/m^2$ )، درصد میانگین خطا ( $MPE, \%$ )، و ضریب تعیین ( $R^2$ ) بر اساس مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده

<sup>۱</sup> Elagib

<sup>۲</sup> Mansell



**H** مورد بررسی قرار می‌گیرد. این شاخص‌ها اغلب برای مقایسه مدل‌های برآورد تابش خورشیدی به کار می‌روند و به صورت روابط (۹)–(۶) تعریف می‌شوند (Behrang et al., 2011):

$$MPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(H_{i,p} - H_{i,m})}{H_{i,m}} \times 100 \quad (6)$$

$$MBE = \sum_{i=1}^N (H_{i,p} - H_{i,m}) / N \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N (H_{i,p} - H_{i,m})^2 / N} \quad (8)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (H_{i,m} - H_{i,p})^2}{\sum_{i=1}^N (H_{i,m} - H_{m,avg})^2} \quad (9)$$

در روابط فوق،  $N$  تعداد کل مشاهدات، اندیس  $i$ ،  $i$  امین مقدار تابش خورشیدی کل و اندیس  $p$  و  $m$  به ترتیب به مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده تابش خورشیدی کل اشاره دارند.  $H_{m,avg}$  مقدار میانگین تابش خورشیدی کل اندازه‌گیری شده است. لازم به ذکر است که فرآیند تجزیه و تحلیل رگرسیونی مدل‌های مذکور و تعیین شاخص‌های آماری آن‌ها در نرم‌افزار متلب R2014a انجام شده است.

## نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل رگرسیونی برای یازده مدل در شهر بندرعباس و با استفاده از مقادیر متوسط ماهانه اندازه‌گیری شده تابش کل خورشیدی انجام شد. ضرایب رگرسیون مدل‌های ارائه شده در جدول ۱، محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- ضرایب ثابت بدست آمده برای مدل‌های تجربی مورد استفاده در این پژوهش

شماره مدل	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
۱	۰/۰۳۳۵	۰/۶۳۵۵	۰/۱۳۷۹	—	—	—	—	—	—	—
۲	-۰/۰۰۰۹	۰/۸۴۵۰	-۰/۲۲۷۰	۰/۱۹۷۳	—	—	—	—	—	—
۳	-۰/۱۹۴۸	۱/۰۰۰۸	-۰/۱۱۵۱	—	—	—	—	—	—	—
۴	-۰/۰۹۸۵	۰/۵۸۹۵	۰/۱۱۵۷	—	—	—	—	—	—	—
۵	-۰/۲۶۳۱	۰/۴۰۰۷	—	—	—	—	—	—	—	—
۶	۰/۰۷۴۴	۰/۷۳۲۰	۱/۲۳۳۴	—	—	—	—	—	—	—
۷	۰/۸۰۱۴	۱/۰۴۱۸	—	—	—	—	—	—	—	—
۸	۰/۱۹۴۰	۱/۴۶۵۵	—	—	—	—	—	—	—	—
۹	۰/۵۰۱۴	۰/۱۵۹۶	۶/۲۳۵۹	۰/۰۵۸۷	-۰/۱۴۳۹	۰/۰۰۲۷	—	—	—	—
۱۰	۱/۱۴۶۴	۰/۹۴۸۴	۰/۸۰۵۸	۰/۷۴۴۷	۱/۵۹۸۸	-۲/۰۴۵۳	-۰/۰۰۱۴	۸۴/۴۱۶۰	-۰/۲۳۰۲	—
۱۱	۰/۸۲۷۸	۲/۴۴۴۸	۰/۳۲۱۵	-۰/۳۳۸۹	-۰/۰۲۰۵	-۱۶۰/۱۱۸۲	۹/۸۴۱۴	۰/۰۱۹۵	-۲۱/۰۴۴۴	۱/۰۴۴۹

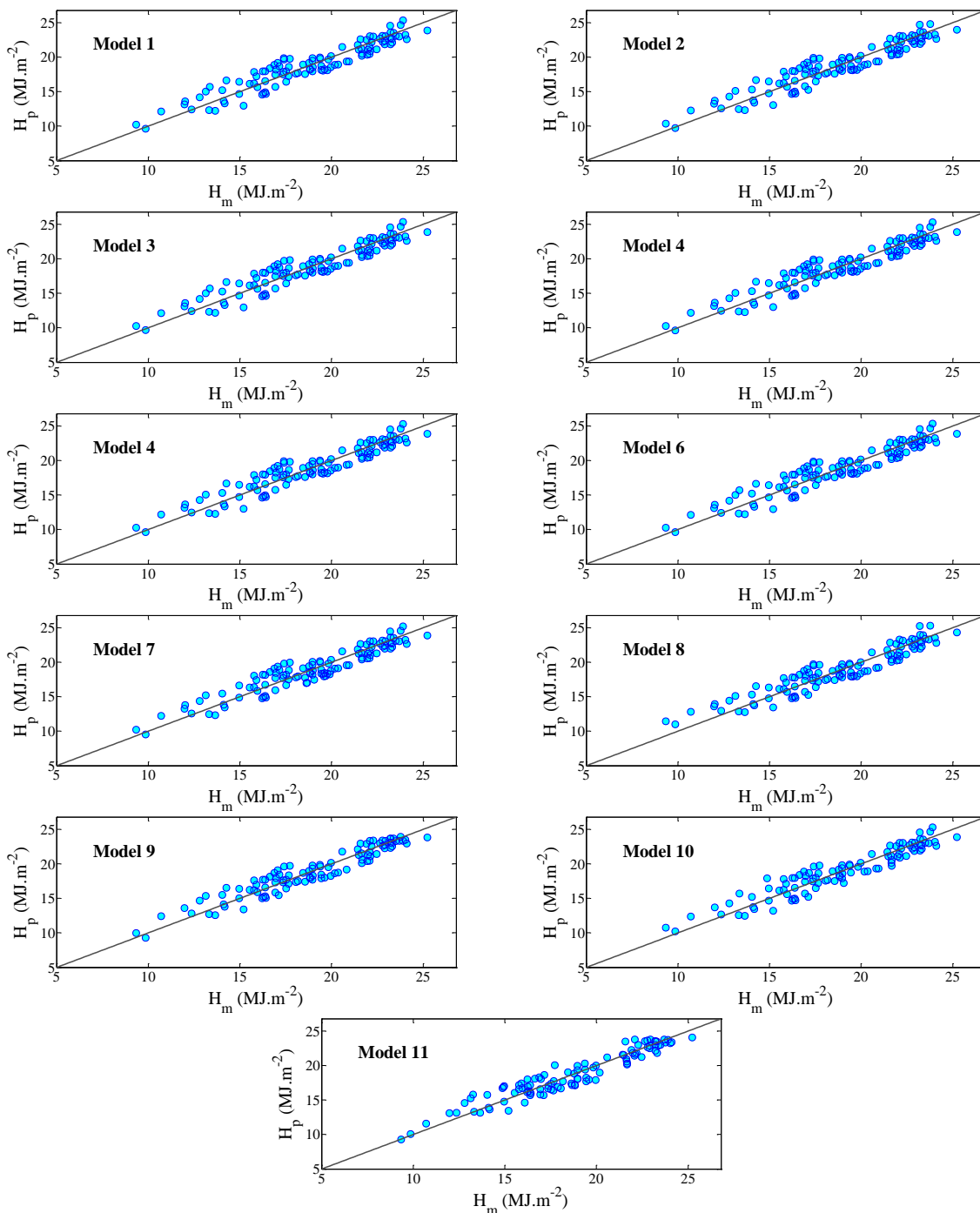


در جدول ۳ مقادیر شاخص‌های آماری  $R^2$ ، RMSE، MPE و MBE نشان داده شده است که در نتیجه مقایسه مقادیر برآورد شده تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین با استفاده از یازده مدل مختلف معرفی شده در این پژوهش و نیز مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده تابش خورشیدی بدست آمده‌اند.

جدول ۳- شاخص‌های آماری محاسبه شده

شماره مدل	$R^2$ (MJ/m <sup>2</sup> )	RMSE (MJ/m <sup>2</sup> )	MPE (%)	MBE (MJ/m <sup>2</sup> )
۱	۰/۸۹۳۱	۰/۰۳۷۲	۰/۴۹۲۰	۰/۵۶۳۰
۲	۰/۸۹۱۹	۰/۰۳۷۰	۰/۴۹۰۳	-۰/۵۰۳۹
۳	۰/۸۹۷۵	۰/۰۳۶۵	۰/۴۸۱۹	۰/۴۱۲۴
۴	۰/۸۹۴۷	۰/۰۳۶۷	۰/۴۷۱۶	-۰/۲۴۹۵
۵	۰/۸۹۳۶	۰/۰۳۶۷	۰/۵۴۱۳	۰/۱۲۰۴
۶	۰/۸۹۳۱	۰/۰۳۷۲	۰/۴۹۳۱	۱/۰۸۰۳
۷	۰/۸۹۲۵	۰/۰۳۵۹	۰/۴۷۴۶	۴/۰۱۵۵
۸	۰/۸۸۶۵	۰/۰۳۷۵	۰/۶۴۵۹	۹/۴۹۴۹
۹	۰/۹۰۹۴	۰/۰۳۴۶	۰/۴۳۱۹	۰/۱۱۹۶
۱۰	۰/۸۹۸۳	۰/۰۳۷۵	۰/۵۳۴۱	۳/۱۵۲۱
۱۱	۰/۹۱۱۷	۰/۰۳۵۱	۰/۴۵۸۸	-۶/۱۲۴۰

به طور کلی هر چه مقدار شاخص‌های خطاسنجی، پایین‌تر بوده و میزان شاخص  $R^2$  بالاتر باشد، مدل مربوطه دقیق‌تر و مناسب‌تر است. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، بر اساس مقدار ضریب تعیین، مدل‌های ۳، ۹، ۱۰ و ۱۱ (به ترتیب برابر ۰/۸۹۷۵، ۰/۹۰۹۴، ۰/۸۹۸۳ و ۰/۹۱۱۷) بیشترین همبستگی را با مقادیر واقعی تابش نشان می‌دهند. شکل ۱، میزان همبستگی مدل‌ها با مقدار اندازه‌گیری شده تابش توسط پیرانومتر (تابش واقعی) را نشان می‌دهد.



شکل ۱- میزان همبستگی مدل‌ها.

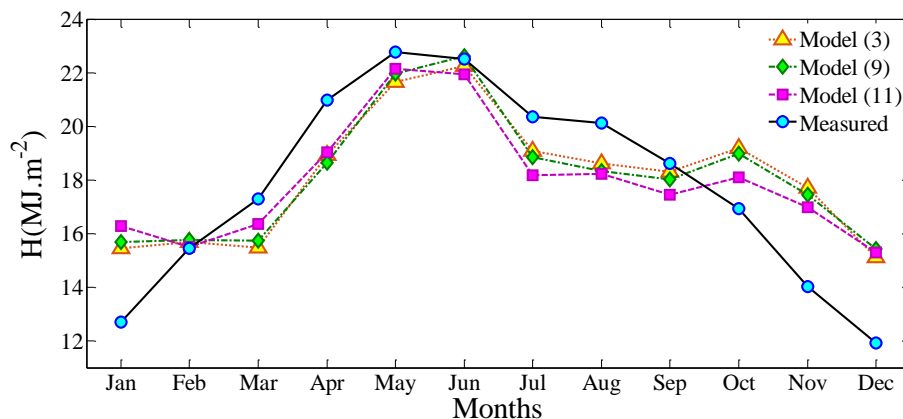
اگر مقدار MBE مثبت باشد، یعنی مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل از مقدار واقعی بیشتر است و اگر مقدار MBE منفی باشد، یعنی مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل از مقدار واقعی کمتر است. با توجه به جدول ۳ می‌توان دریافت





که برخی مدل‌ها بالاتر از حد و برخی پایین‌تر از حد برآورد داشته‌اند. در بین مدل‌ها، مدل ۸، بیشترین حد و مدل ۱۱، کمترین حد ممکن را برآورد کرده‌اند.

به ترتیب مدل‌های ۹، ۱۱، ۷ و ۳ کمترین مقادیر RMSE و مدل‌های ۹، ۱۱، ۴، ۷ و ۳ کمترین مقادیر MPE را دارا هستند. اما با توجه به تفاوت بسیار ناچیز R2 در این مدل‌ها و مقادیر کم‌تر شاخص‌های RMSE، MPE و MBE (به ترتیب برابر ۰/۰۳۴۶، ۰/۴۳۱۹ و ۰/۱۱۹۶) در مدل ۹ می‌توان این مدل را به عنوان مناسب‌ترین مدل برآورد تابش خورشیدی در شهر بندرعباس معرفی نمود. بعد از آن، به ترتیب مدل‌های ۳ و ۱۱ برآورد دقیق‌تری از تابش خورشیدی در شهر بندرعباس دارند. شکل ۲، نمودار ماهانه مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر برآورد شده تابش خورشیدی توسط سه مدل برتر نشان داده شده است.



شکل ۲- مقایسه مقادیر ماهانه اندازه‌گیری شده و برآورد شده تابش خورشیدی برای سه مدل برتر

## نتیجه‌گیری

دانستن مقدار تابش کل خورشیدی در هر محل برای بسیاری از مسائل کاربردی از جمله استفاده از انرژی خورشیدی اهمیت فراوان دارد. شهر بندرعباس به دلیل شرایط اقلیمی، دارای ظرفیت بالای انرژی خورشیدی می‌باشد؛ به همین دلیل، در این تحقیق تلاش شده تا از بین یازده مدل تجربی مختلف، یک مدل بهینه برای محاسبه تابش کل خورشیدی در شهر بندرعباس انتخاب گردد. داده‌های هواشناسی برای شهر بندرعباس از سازمان هواشناسی کشور دریافت و مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. ضرایب رگرسیونی برای هر یک از مدل‌ها محاسبه شد. از طریق مقایسه مقادیر واقعی با مقادیر برآورد شده، مدل‌هایی که بیشترین مقدار ضریب تعیین را داشتند، انتخاب شدند. مقایسه شاخص‌های آماری نشان داد که مدل‌های پیشنهاد شده توسط بهرنگ، برآورد دقیق‌تری از تابش کل خورشیدی ارائه می‌دهند.



## مراجع

- [1] Behrang, M.A., Assareh, E., Noghrehabadi, A.R., and Ghanbarzadeh, A. 2011. New sunshine-based models for predicting global solar radiation using PSO (particle swarm optimization) technique. *Energy* 36: 3036–3049.
- [2] Besharat, F., Dehghann, A.A., and Faghih, A.R. 2013. Empirical models for estimating global solar radiation: A review and case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 21: 798–821.
- [3] Cooper, P.I., 1969. The absorption of radiation in solar stills. *Solar Energy* 12(3): 333–346.
- [4] Duffie, J.A. and Beckman, W.A. 2006. *Solar engineering of thermal processes*. 3rd ed., John Wiley & Son, New York, 2006.
- [5] Ghahreman, N., and Bakhtiari, B. 2009. Solar Radiation Estimation from Rainfall and Temperature Data in Arid and Semi-arid Climates of Iran. *DESERT* 14: 141–150.
- [6] Khorasanizadeh, H., and Mohammadi, K. 2013. Introducing the best model for predicting the monthly mean global solar radiation over six major cities of Iran. *Energy* 51: 257–266.
- [7] Rahimkhoob, A. 2010. Estimating global solar radiation using artificial neural network and air temperature data in a semi-arid environment. *Renewable Energy* 35: 2131–2135.
- [8] Sabziparvar, A.A., and Shetaee, H. 2007. Estimation of global solar radiation in arid and semi-arid climates of East and West Iran. *Energy* 32(5): 649–655.
- [9] Sabziparvar, A.A. 2008. A simple formula for estimating global solar radiation in central arid deserts of Iran. *Renew Energy* 33(5): 1002–1010.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



## Evaluation of the performance of empirical sunshine-based models for predicting the daily global solar radiation (case study: Bandar Abbas station)

### Abstract

The solar radiation received by earth surface is one of the most applicable parameter that is usable in projects and hydrology, agriculture, Meteorology and climatological modeling. Since very expensive instrument for measuring the radiation, had been suggested many different experimental equations by researchers to estimate this parameter in different climate. In this study, by using global solar radiation data, 11 empirical sunshine-based models suggested by Ogelman, Samuel, Newland, Bakirci, Almorox and Hontoria, Sen, Elagib and Mansell, and Behrang were investigated to recommend the suitable model for Bandarabass Iran. Results of comparing calculated amounts of these models whit amounts of measured by piranometr shows that by using coefficient of determination, the models of 3, 9, 10 and 11 (equal 0.8975, 0.9094, 0.8982 and 0.9117 respectively) have higher correlation with actual amounts. But because of a little different of  $R^2$  between these models and less amounts of RMSE, MPE and MBE indexes (equal 0.0346, 0.4319 and 0.1196 respectively) in model 9 suggested by Behrang, can recommend this model as the suitable model of estimate of solar radiation in this climate.

**Keywords:** Global Solar Radiation, Empirical Models, Sunshine Duration, Bandarabass.