



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

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



تخمین میانگین ماهانه تابش خورشیدی کل بر اساس داده‌های هواشناسی در شهر بندرعباس

زهرا فرجی مهیاری^۱، خدیجه فرجی مهیاری^۲، مجید خانعلی^{۳*}

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

چکیده

با توجه به کمبود داده‌های اندازه‌گیری شده تابش خورشیدی در ایران و همچنین هزینه زیاد نصب تجهیزات و اندازه‌گیری مستقیم آن، نیاز به مدل‌هایی است تا بتوان تابش خورشید را با دقت لازم برای کاربردهای مختلف پیش‌بینی کرد. تا کنون مدل‌های متعددی جهت برآورد تابش خورشیدی در اقلیم‌های مختلف توسط محققان پیشنهاد شده است. در این مقاله، از نه مدل تجربی جهت برآورد میانگین ماهانه تابش خورشیدی کل در ایستگاه هواشناسی شهر بندرعباس طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۸۷ (میلادی) استفاده شده است. این مدل‌ها در سه گروه دسته‌بندی می‌شوند: (۱) مدل‌های مبتنی بر ساعت آفتابی؛ (۲) مدل‌های مبتنی بر دما و ساعت آفتابی؛ (۳) مدل‌های مبتنی بر رطوبت نسبی، ساعت آفتابی و یا دما. از شاخص آماری R^2 ، RMSE، MPE و MBE برای مقایسه عملکرد مدل‌های تجربی استفاده شده است. همچنین، بهترین مدل از هر دسته انتخاب شد. هرچند که مدل‌های دسته دوم در مقایسه با سایر مدل‌ها عملکرد بهتری داشتند. علاوه بر این، نتایج ارزیابی مدل‌های تجربی نشان داد که مدل ۹ (پیشنهاد شده توسط الصبایی و همکاران) از دسته سوم که فاقد متغیر ساعت آفتابی است، برآورد مناسبی از تابش خورشیدی ندارد.

واژه‌های کلیدی: تابش کل خورشیدی، ساعت آفتابی، دما، رطوبت نسبی، 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 به عنوان بهترین و قابل اعتمادترین روش شناخته می‌شود، 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 محاسبه می‌شوند.

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 مدل تجربی بدست آمده در سایر تحقیقات، متوسط ماهانه تابش کل خورشیدی روزانه در شش شهر بزرگ ایران (اصفهان، کرج، مشهد، شیراز، تبریز و تهران) را محاسبه کردند. مدل‌های مورد استفاده در سه دسته قرار داشتند. مدل‌های بر اساس ساعت آفتابی، مدل‌های بر اساس ساعت آفتابی، رطوبت نسبی و میانگین دمای محیط، و مدل‌های



بر اساس ساعت آفتابی، رطوبت نسبی و میانگین، بیشینه و کمینه دمای محیط. بهرنگ و همکاران (۲۰۱۱) از تکنیک‌های بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)^۱ 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 شتابی (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 مقاله، میانگین تابش کل خورشیدی روزانه در شهرستان بندرعباس محاسبه می‌شود. برای این منظور از مدل‌های تجربی مبتنی بر داده‌های مختلف از قبیل ساعت آفتابی، رطوبت نسبی و دما مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سپس با مقایسه نتایج بدست آمده از هر مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط پیرانومتر، مناسب‌ترین مدل برای شهر بندرعباس انتخاب خواهد شد.

مواد و روش‌ها

داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

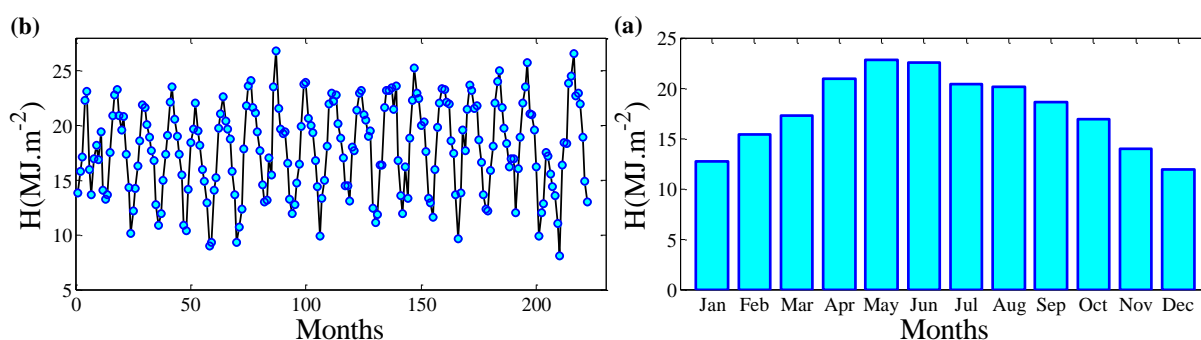
در این مقاله از داده‌های ایستگاه هواشناسی بندرعباس با عرض جغرافیایی $27^{\circ}13'$ شمالی، طول جغرافیایی $56^{\circ}22'$ شرقی و ارتفاع $9/8$ متر از سطح دریا استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده شامل تابش خورشیدی، ساعت

^۱ 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 $0.15 \leq K_T \leq 1$ 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. توزیع متوسط ماهانه تابش کل خورشیدی روزانه اندازه‌گیری شده برای شهر بندرعباس در سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۸۷ در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- توزیع متوسط ماهانه تابش کل خورشیدی روزانه اندازه‌گیری شده برای شهر بندرعباس در سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۸۷

مدل‌های برآورد تابش خورشیدی

در تحقیقات به عمل آمده، مدل‌های تجربی مختلفی برای مناطق مختلف جهان معرفی شده است. در این پژوهش، نه مدل مبتنی بر ساعت آفتابی، دمای هوا و رطوبت نسبی انتخاب شد که فهرست آن‌ها در جدول ۱ آمده است.

این مدل‌ها، H متوسط ماهانه تابش خورشیدی روزانه را بر اساس H_0 متوسط ماهانه تابش خورشیدی فرازمینی (بر حسب $J.m^{-2}$)، S متوسط ماهانه ساعت آفتابی روزانه، S_0 متوسط ماهانه ماکزیمم ساعت آفتابی روزانه (طول روز)، T متوسط ماهانه دما (بر حسب $^{\circ}C$) و R_h رطوبت نسبی (بر حسب درصد) برآورد می‌کنند. در ضمن، مدل‌های مورد استفاده را می‌توان بر اساس پارامترهای ورودی آن‌ها به سه دسته تقسیم نمود: دسته اول، مدل‌های مبتنی بر ساعت

نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی



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



آفتابی (شامل مدل‌های ۱، ۲ و ۳)؛ دسته دوم، مدل‌های مبتنی بر دما و ساعت آفتابی (شامل مدل‌های ۴، ۵ و ۶)؛
و دسته سوم، مدل‌های مبتنی بر رطوبت نسبی، ساعت آفتابی و یا دما (شامل مدل‌های ۷، ۸ و ۹).

جدول ۱- مدل‌های تجربی مورد استفاده در این مقاله.

شماره مدل	نام مدل	مدل تجربی
۱	آنگستروم ^۱ ، پرسکات ^۲ (۱۹۲۴)، پرسکات ^۲ (۱۹۴۰)	$H/H_0 = a + b(S/S_0)$
۲	اگلمن ^۳ و همکاران (۱۹۸۴)	$H/H_0 = a + b(S/S_0) + c(S/S_0)^2$
۳	باهل ^۴ و همکاران (۱۹۸۷)	$H/H_0 = a + b(S/S_0) + c(S/S_0)^2 + d(S/S_0)^3$
۴	الصبايي ^۵ و همکاران (۲۰۰۹)	$H/H_0 = a + b(S/S_0) + cT$
۵	مجنونی هریس ^۶ (۲۰۱۴)	$H/H_0 = a + b(S/S_0) + cT + (a + b(S/S_0) + cT)(S/S_0)$
۶	کاراكتی ^۷ و همکاران (۲۰۱۲)	$H/H_0 = a + b(S/S_0) + c(S/S_0)^2 + dT$
۷	الصبايي و همکاران (۲۰۰۹)	$H/H_0 = a + b(S/S_0) + cR_h$
۸	کاراكتی و همکاران (۲۰۱۲)	$H/H_0 = a + b(S/S_0) + c(S/S_0)^2 + dR_h$
۹	الصبايي و همکاران (۲۰۰۹)	$H/H_0 = a + bT + cR_h$

شاخص وضوح روزانه، K_t مطابق رابطه (۱) تعریف می‌شود و همچنین، H_0 بر اساس رابطه (۲) محاسبه می‌شود
(Duffie & 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 ژولیبوسی (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. φ عرض جغرافیایی محل مورد نظر و δ

¹ Angström

² Prescott

³ Ogelman

⁴ Bahel

⁵ El-Sebaii

⁶ Majnooni-Heris

⁷ Karakoti



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

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



زاویه میل خورشیدی نسبت به استوا است که می‌توان مقدار آن را بر حسب درجه از معادله تقریبی ارائه شده توسط کوپر^۱ (۱۹۶۹) که به صورت رابطه (۳) است محاسبه نمود.

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

زاویه ساعتی خورشید در هنگام غروب، ω_s ، نیز با استفاده از رابطه (۴) قابل محاسبه است:

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

S_0 میانگین ماهانه بیشینه ساعات آفتابی (طول روز) است که مقدار آن از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

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

در مرحله بعد ضرایب ثابت در هریک از مدل‌های ذکر شده در جدول ۱ محاسبه می‌شود. مقادیر S ، T و R_p از آمار ایستگاه هواشناسی برای دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۸۷ 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 H مورد بررسی قرار می‌گیرد. این شاخص‌ها اغلب برای مقایسه مدل‌های برآورد تابش خورشیدی به کار می‌روند (Li et al., 2011; Robaa, 2009)، و به شرح زیر می‌باشند:

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

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

^۱ Cooper



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

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

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 نه مدل تجربی ارائه شده در جدول ۱ و در سه دسته مختلف با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده تابش کل خورشیدی روزانه برای شهر بندرعباس انجام شد. ضرایب تجربی مدل‌ها محاسبه و در جدول ۲ گزارش شده است. شکل ۲، مقایسه این نه مدل را بر اساس مقادیر $RMSE$ ، MBE ، MPE و R^2 نشان می‌دهد.

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 شکل ۲ (b) مشاهده می‌شود، بالاترین مقادیر R^2 مربوط به مدل‌های دسته دوم (مبتنی بر ساعت آفتابی و دما) است و مدل‌های دسته سوم و اول به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. در شکل ۳، میزان همبستگی مدل‌ها با مقدار اندازه‌گیری شده تابش خورشیدی نشان داده شده است.

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. از مقایسه مقادیر میانگین MBE در شکل ۲ (c) در می‌یابیم که مدل (۳) بالاتر از حد برآورد داشته است. همچنین، مدل (۵) مقدار تابش خورشیدی کل را کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده است. در این بین، مدل‌های دسته سوم کمترین مقادیر و مدل‌های دسته دوم بیشترین مقادیر MBE را به خود اختصاص داده‌اند.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

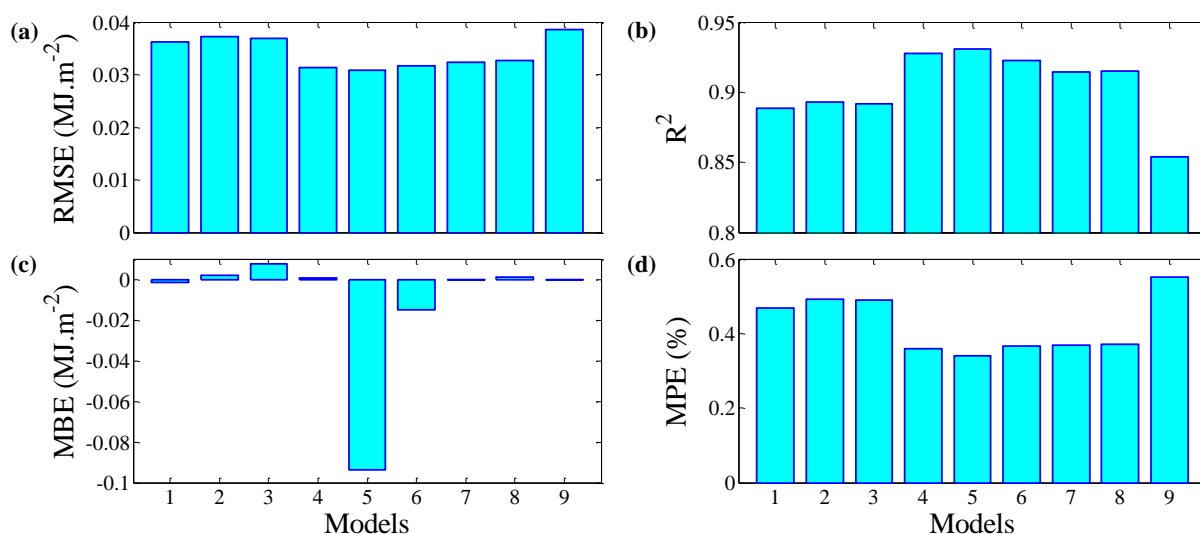
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



مقدار **MPE** برای همه مدل‌ها کمتر از ۰/۶ درصد بوده و مدل‌های ۵، ۴ و ۶ (به ترتیب برابر با ۰/۳۴۱۰، ۰/۳۵۸۷ و ۰/۳۶۷۵) مربوط به دسته دوم کمترین درصد خطا را داشته‌اند. مقایسه شاخص **RMSE** نیز نشان داد که کمترین مقدار آن متعلق به همین دسته است (شکل ۲).

جدول ۲- ضرایب ثابت بدست آمده برای نه مدل تجربی مورد استفاده در شهر بندرعباس

شماره مدل	a	b	c	d
۱	-۰/۰۱۹۴	۰/۸۱۹۳	-	-
۲	۰/۰۳۳۵	۰/۶۳۵۵	۰/۱۳۷۹	-
۳	-۰/۰۰۰۹	۰/۸۴۵۰	-۰/۲۲۷۰	۰/۱۹۷۳
۴	-۰/۰۶۸۸	۰/۵۴۶۳	۰/۰۰۸۸	-
۵	۰/۰۸۲۲	۰/۱۴۲۷	۰/۰۰۵۱	-
۶	۰/۳۳۲۳	-۰/۶۱۹۶	۰/۷۹۴۹	۰/۰۰۹۲
۷	-۰/۴۳۸۷	۰/۹۵۱۴	۰/۰۰۴۸	-
۸	-۰/۳۷۶۷	۰/۷۶۶۵	۰/۱۴۴۶	۰/۰۰۴۷
۹	۰/۳۵۷۹	۰/۰۱۴۱	-۰/۰۰۲۸	-



شکل ۲- عملکرد آماری نه مدل در شهر بندرعباس

مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده تابش خورشیدی توسط همه مدل‌های تحت مطالعه در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، در مقایسه با سایر مدل‌ها، مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل‌های دسته دوم با مقادیر اندازه‌گیری شده تطبیق بیشتری دارند. بزرگترین و بدترین شاخص‌های آماری بدست آمده مربوط به مدل ۹ است. که علت آن نیز وجود تفاوت قابل توجه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده است. از این رو می‌توان نتیجه گرفت مدل‌های مبتنی بر دما و رطوبت نسبی در برآورد تابش خورشیدی عملکرد خوبی



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

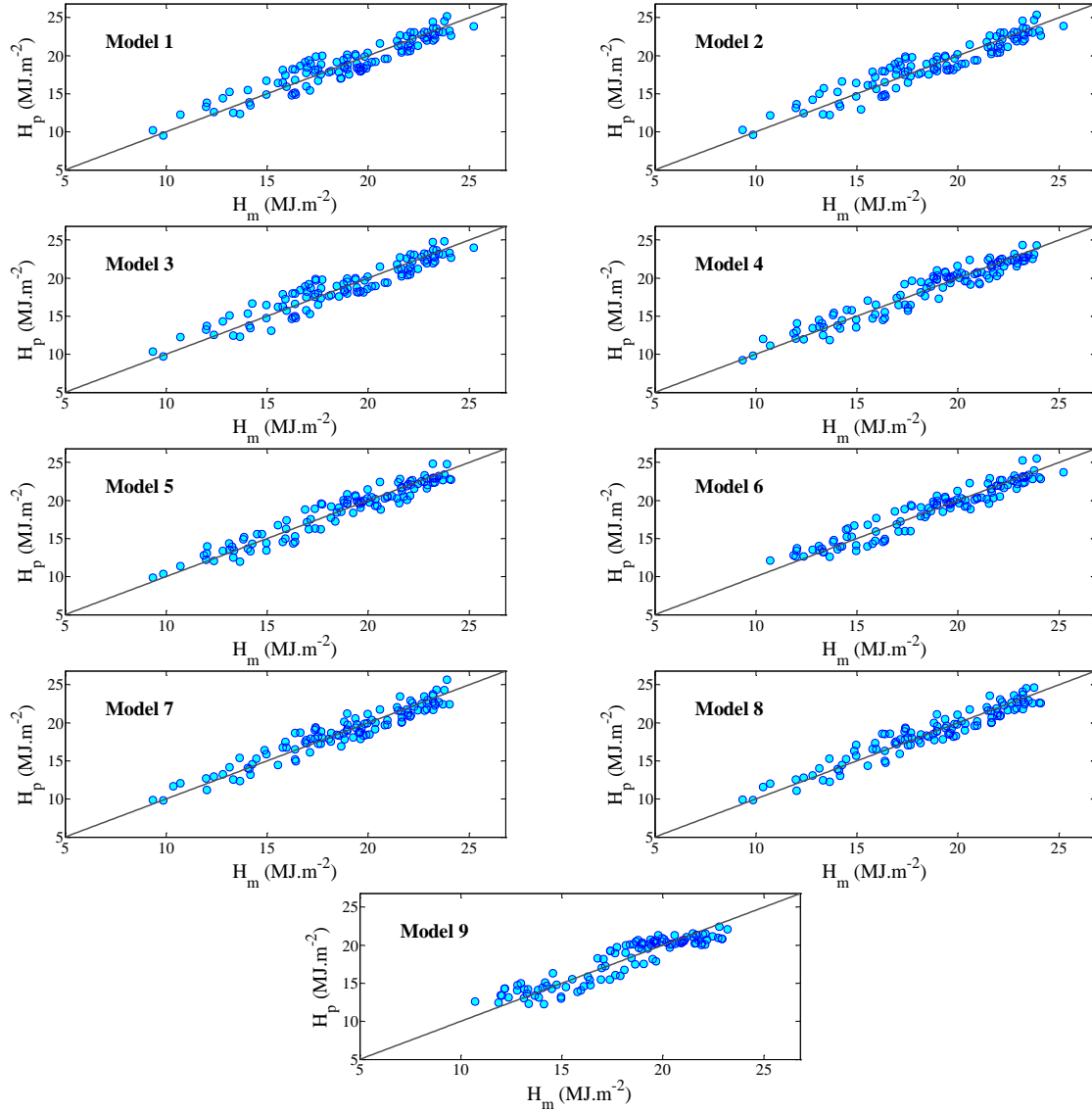
پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج

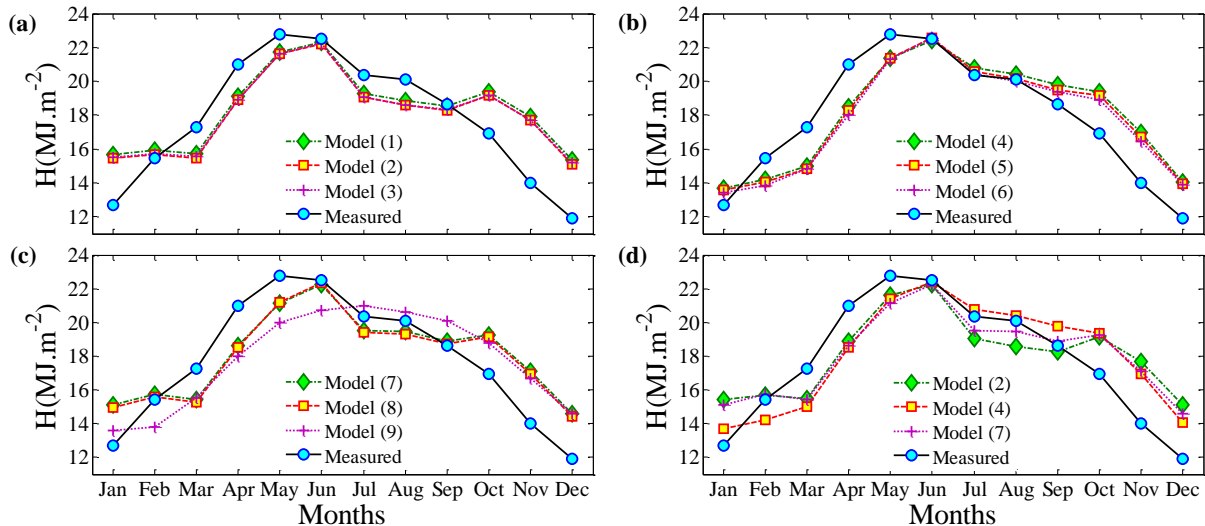


ندارند. در تحقیقات مشابه نیز همین نتیجه در مورد شهرهای دیگری از ایران بدست آمده است (Khorasanizadeh & Mohammadi, 2013).

برای شهر بندرعباس مدل ۲، با مقادیر $MPE = 0/4920\%$ ، $MBE = -0/00066 MJ/m^2$ و $RMSE = 0/0362 MJ/m^2$ به عنوان بهترین مدل در مدل‌های دسته اول انتخاب شد. علاوه بر این، مدل ۴ با مقادیر $MPE = 0/3587\%$ ، $MBE = 0/00031 MJ/m^2$ و $RMSE = 0/0314 MJ/m^2$ بهترین نتیجه را در دسته دوم و مدل ۷ با مقادیر $MPE = 0/3696\%$ ، $MBE = -0/00012 MJ/m^2$ و $RMSE = 0/0323 MJ/m^2$ بهترین نتیجه را در دسته سوم ارائه دادند. مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده تابش خورشیدی توسط این مدل‌ها در شکل ۴ (d) نشان داده شده است.



شکل ۳- میزان همبستگی مدل‌ها.



شکل ۴- مقایسه اندازه‌گیری شده تابش خورشیدی و مقادیر ماهانه برآورد شده در سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۰۵ (a) مبتنی بر ساعت آفتابی، (b) مبتنی بر ساعت آفتابی و دما، (c) مبتنی بر ساعت آفتابی، دما و رطوبت نسبی، (d) توسط بهترین مدل‌ها

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، نه مدل ارائه شده در منابع علمی در سه دسته مختلف طبقه‌بندی شد. پس از انجام تجزیه و تحلیل رگرسیونی و ارزیابی مدل‌ها، با توجه به داده‌های اندازه‌گیری شده توسط سازمان هواشناسی برای شهر بندرعباس، بهترین مدل در هر یک از دسته‌ها انتخاب شد. نتایج تحلیل رگرسیونی و مقایسه شاخص‌های آماری مختلف نشان داد مدل ۹، که فاقد پارامتر ساعت آفتابی است، برآورد مناسبی از تابش خورشیدی را در این شهر ندارد. با این حال، در بهترین مدل‌هایی که برای این شهر انتخاب شدند از ساعت آفتابی به عنوان یک متغیر استفاده شده است. در ضمن مدل‌های دسته‌های دوم (مبتنی بر دما و ساعت آفتابی) دقت بیشتری داشتند.

مراجع

1. Angström, A. 1924. Solar and terrestrial radiation. *Quart J Roy Met Soc* 50: 121-5.
2. Bahel, V., Bakhsh, H., and Srinivasan, R. 1987. A correlation for estimation of global solar radiation. *Energy* 12: 131-5.
3. 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.
4. Cooper, P.I. 1969. The absorption of radiation in solar stills. *Solar Energy* 12(3): 333-346.
5. Duffie, J.A., and Beckman, W.A. 2006. *Solar engineering of thermal processes*. 3rd ed., John Wiley & Son, New York.
6. El-Sebaii, A.A., Al-Ghamdi, A.A., Al-Hazmi, F.S., and Faidah, A.S. 2009. Estimation of global solar Radiation on horizontal surfaces in Jeddah, Saudi Arabia. *Energy Policy* 37: 3645-9.



7. 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.
8. Karakoti, I., Das, P.K., and Singh, S.K. 2012. Predicting monthly mean daily diffuse radiation for India. *Applied Energy* 91: 412–425.
9. 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.
10. Li, H., Ma, W., Lian, Y., Wang, X., and Zhao, L. 2011. Global solar radiation estimation with sunshine duration in Tibet, China. *Renewable Energy* 36(11): 3141–3145.
11. Majnooni-Heris A. 2014. Development of new models to estimate global solar radiation in northwest of Iran. *Journal of current research in science (ISSN 2322-5009)* 2(3): 390–394.
12. Ogelman H., Ecevit A., and Tasdemiroglu E. 1984. A new method for estimating solar radiation from bright sunshine data. *SolarEnergy* 33: 619–25.
13. Prescott, J.A. 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Trans R Soc Sci Austr* 64: 114–25.
14. Rahimikhoob, A. 2010. Estimating global solar radiation using artificial neural network and air temperature data in a semi-arid environment. *Renewable Energy* 35: 2131–2135.
15. Robaa, S. M. 2009. Validation of the existing models for estimating global solar radiation over Egypt. *Energy Conversion and Management* 50(1): 184–193
16. 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.
17. 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



Estimation of monthly mean global solar radiation using meteorological parameters in Bandar Abbas

Abstract

There is a need for models that solar radiation can be predicted with sufficient accuracy for various applications, because of measured data shortage of solar radiation and high cost of installing the equipment and its direct measurement. So far, numerous models have been proposed by researchers for estimating solar radiation in different climates. In this study, by using 19 years (1987-2005) global solar radiation data and other meteorological parameters, 9 empirical models taken from the literature were tested for prediction of monthly mean daily global solar radiation in Bandar Abbas city of Iran. The models are from 3 categories: (1) Only function of sunshine duration; (2) Function of ambient temperature and sunshine duration; (3) Function of relative humidity as well as sunshine duration and or ambient temperature. The models were evaluated using the statistical indicators of MPE, MBE, RMSE and R^2 ; hence the best model in each category was recognized. However, the best models were from categories (2). And also, the results of this study show that the model 9 (suggested by El-Sebaii) from category 3, in which relative sunshine duration is not considered, are not suitable to present the solar data for Bandar Abbas city.

Keywords: Global solar radiation, Sunshine duration, Temperature, Relative humidity, Bandar Abbas.