مقایسه الگوهای محاسباتی انرژی تابشی خورشید با استفاده از شاخص‌های آماری (مطالعه موردی: شهر بم)

محمدحسین جهانگیر [۱]، کیوان سلطانی [۲]

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۷/۱۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۱/۲۵

چکیده:

میزان تابش رسیده از جو به سطح زمین به‌عنوان اصلی‌ترین ورودی در مسیر استفاده از انرژی خورشیدی در طراحی و مدل‌سازی تجهیزات مربوطه می‌باشد. همچنین شدت تابش خورشیدی بر سایر پدیده‌های موجود در طبیعت مانند تبخیر سطحی، سیلاب، بارندگی، آلودگی زیست محیطی و ... نیز اثری مستقیم دارد. به دلیل اهمیت این موضوع، مدل‌های بسیاری برای محاسبه کمی این پارامتر ابداع شده است که متناسب با جغرافیا و اقلیم هر منطقه تفاوت‌هایی با یکدیگر دارند. در این پژوهش، با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در بین سال‌های ۱۹۵۷ تا ۲۰۰۵ در شهرستان بم واقع در استان کرمان، میزان تابش رسیده به زمین بر اساس مدل‌های ارائه شده از قبیل آنگستروم و پیچ واسنجی شدند. رابطه‌های مورد نظر برای منطقه بم تعمیم یافت و منحنی تغییرات شدت تابش برای هریک از آنها نسبت به تابش‌های واقعی اندازه‌گیری شده که از سایت سازمان هواشناسی ایران استخراج گشته‌اند، ترسیم شد. پس از آن، مقادیر اندازه‌گیری شده با میزان محاسباتی توسط مدل‌ها با هم مقایسه گردید و مدلی که بیشترین همخوانی را با مقادیر ثبت شده برای ایستگاه مورد بحث داشت، به‌عنوان مدل بهینه برای منطقه بم انتخاب گردید. بررسی دقت رابطه‌ها و برآورد میزان خطای هریک از آنها، با انجام آزمون‌های متعارف و با استفاده از کمیت‌هایی نظیر درصد متوسط خطا، متوسط خطای مبنا، جذر میانگین مربعات خطا، خطای استاندارد تخمین و ضریب همبستگی صورت پذیرفت. بدین ترتیب، کلیه ارقام مقایسه‌ای محاسبه شده در جداولی طبقه‌بندی شدند. و بر اساس آنها، مدل بهینه برای شهرستان بم انتخاب گشت. در نتیجه، با استفاده از روابط پیشنهادی برای شهرستان بم، امکان مدل‌سازی برای برآورد شدت تابش خورشید در هر زمان از سال امکان پذیر خواهد بود.

کلمات کلیدی:

شدت تابش خورشیدی، مدل آنگستروم، متوسط ماهانه تابش فرازمینی، ضریب همبستگی، شهر بم

۱) استادیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران.(نویسنده مسئول) mh.jahangir@ut.ac.ir
۲) دانشجوی ارشد مهندسی طبیعت، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران keyvan.soltani@ut.ac.ir

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-27]

مقدمه

با توجه به اینکه کشور ما از نظر آب و هوایی در اقلیم گرم و خشک قرار گرفته است و از نظر تابش خورشیدی و دریافت انرژی خورشیدی در شرایط مطلوب قرار دارد، می‌توان با استفاده مناسب از این انرژی در زمینه‌های مختلف، از یکی از سرمایه‌های بالقوه موجود در جغرافیای پهناور ایران پرده برداشت. با توجه به اینکه منابع فسیلی از قبیل نفت، گاز محدود می‌باشد، ارائه راهکار مناسب جهت استفاده بهینه از این انرژی ضروری می‌باشد. در مطالعه کاربردی انرژی خورشیدی، اطلاع از میزان و چگونگی تابش روزانه آفتاب در هر مکان بسیار اهمیت دارد. در این بخش، روابط تجربی موجود جهت محاسبه متوسط ماهانه تابش کلی خورشید در طول یک روز بر روی یک سطح افقی در یک منطقه خاص به طور نسبتاً مفصلی ارائه شده است. در این راستا، رابطه‌های زیادی برای محاسبه میزان انرژی تابشی خورشید به روش تجربی به دست آمده است. لذا به دلیل تطابق خوب نتایج حاصل از این معادلات با مشاهدات ثبت شده در هر منطقه، درصورت عدم دسترسی به معادل‌های مناسب برای منطقه مورد مطالعه، استفاده از این روابط جهت تعیین میزان انرژی تابشی خورشید با توجه به شرایط آب و هوایی آن منطقه توصیه می‌گردد. با استفاده از برآورد انرژی تابش خورشیدی و ارائه رابطه مناسب برای محاسبه این انرژی می‌توان کمک بسیاری به توسعه صنعت و ایجاد کشاورزی پایدار و اعمال کارکردهای مناسب در راستای کاهش تبخیر و تعرق در شهرستان مورد نظر نمود [۵]. در ادامه، ضمن معرفی مدل‌های تابش خورشیدی محققین مختلف، به انطباق آنها با شرایط منطقه بم نیز پرداخته می‌شود.

مدل‌های تابش خورشیدی

مدل‌های ارائه شده در این بخش، همگی اشکال متنوعی از معادله ساده و اصلاح شده آنگستروم می‌باشند که برای محاسبه متوسط ماهانه تابش خورشید بر روی یک سطح افقی در مکان‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل اصلی آنگستروم به مدت زمان تابش بدون واسطه خورشید در طول یک‌روز بستگی دارد که این میزان در هر منطقه متفاوت است [۲۲]. پیج (Page) و دیگران روشی برای تخمین میزان تابش روزانه خورشید بر روی سطح افقی نسبت به تابش فرازمینی پیشنهاد کردند که به‌صورت زیر بیان می‌گردد [۹]:

$$\frac{H}{H_o}=a+b\left(\frac{S}{S_o}\right) \qquad (۱)$$

که در آن، H متوسط ماهانه تابش کلی خورشید در یک روز، H_o متوسط ماهانه تابش فرازمینی، S متوسط ساعات تابش روزانه در ماه، S_o متوسط طول یک روز در ماه و همچنین a و b ضرایب تجربی هستند. میزان متوسط ماهانه تابش فرازمینی در یک روز (H_o) را می‌توان با استفاده از معادله (۲) محاسبه نمود [۷]:

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-27]

$$H_o=\frac{24}{\pi}I_{SC}(1+0.033\cos\frac{360D}{365})\times\left(\cos\varphi\cos\delta\sin\omega_s+\frac{2\pi\omega_s}{360}\sin\varphi\sin\delta\right) \quad (۲)$$

که در آن، I_{SC} ثابت آفتاب ($1353\ \mathrm{Wm^{-2}}$)، φ عرض جغرافیائی سایت، δ زاویه انحراف خورشید، ω_s متوسط ماهانه زاویه خورشید هنگام غروب و D تعداد روزهای سپری شده از اول ماه ژانویه است. زاویه انحراف خورشید و زاویه خورشید هنگام غروب به‌ترتیب توسط روابط زیر قابل محاسبه می‌باشند [۱]:

$$\delta=23.45\sin\left[\frac{360(D+248)}{365}\right] \quad (۳)$$

$$\omega_s=\cos^{-1}\left[-\tan(\delta)\tan(\varphi)\right] \quad (۴)$$

در یک ماه مشخص، حداکثر مدت ممکن تابش آفتاب (S_o)، با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۴۳]:

$$S_o=\frac{2}{15}\omega_s \quad (۵)$$

مطابق با مدل کلی آنگستروم، مدل‌های رگرسیون بسیاری توسط محققین برای مناطق مختلف ارائه شده است که در ادامه به طور مفصل به آنها پرداخته می‌شود [۱]. مدل۱: گلاوِر و مک‌کولچ [1] رابطه‌ای را پیشنهاد کردند که به عرض جغرافیائی محل بستگی دارد و برای $\varphi<60^\circ$ معتبر است [۴۳]. مدل۲: پیج [2] برای مدل اصلاح شده آنگستروم ضرایبی را ارائه نمود و معتقد بود که برای هر مکانی در جهان قابل استفاده است [۴۲]. مدل۳: ریتولد [3] نیز چندین مقدار نظیر روابط زیر را برای ضرایب a و b تجربه نمود [۷]. مدل۴: ایکبال [4] نیز از داده‌های بدست آمده از سه مکان مختلف در کانادا رابطه عددی را پیشنهاد نمود [۳۰]. مدل۵: باخیرچی [5] برای مدل پایه آنگستروم، روابطی به‌شکل خطی، درجه دوم و درجه پنج بین مقادیر متوسط ماهانه (H/H_c) و (S/S_o) ارائه نمود [۱]. مدل۶: کیلیک و اوزترک [6] نیز ضرایب a و b را به‌صورت تابعی از زاویه انحراف تابش (δ) و هر دو مقدار φ و Z، توسط روابطی تعیین کردند [۳۵]. مدل۷: لوئیز [7] رابطه خطی برازش داده شده را برای تخمین تابش روزانه خورشید برای سه ایستگاه در زیمباوه به دست آورد [۲۷]. مدل۸: خولاگی و همکاران [8] رابطه‌ای را از اطلاعات اندازه‌گیری شده در سه ایستگاه مختلف در یمن به دست آوردند [۲۶]. مدل۹: دونیاکس و

1) Glover and McCulloch
2) Page
3) Rietveld
4) Iqbal
5) Bakirci
6) Kilic and Ozturk
7) Lewis
۸) Kholagi et al

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-27]

لموین[1] روابطی را پیشنهاد کردند که براساس آن ضرایب رگرسیون a و b به‌شکل تابعی از متوسط متغیر φ در هر ماه، به نظر می‌رسد، لذا می‌توان برای هر ماه از سال یک رابطه مستقل ارائه نمود [۲۹، ۳۰]. مدل۱۰: بِنسون و همکاران[2] براساس کمیت‌های آب و هوائی، دو رابطه متفاوت برای دو بازه زمانی در یک سال پیشنهاد کردند[۳۹]. مدل۱۱: اوگِلمن و همکاران[3] ارتباط کمیت H/H_o با S/S_o را توسط رابطه چند جمله‌ای از مرتبه دوم برقرار کردند [۱۲]. مدل۱۲: ابراهیم[4] ابراهیم[4] روابط زیر را جهت پیش‌بینی انتشار روزانهٔ تابش خورشید برای قاهره در مصر به دست آورد [۲۱]. مدل۱۳: باهِل و همکاران[5] نیز رابطه عددی را برای برآورد شدت تابش پیشنهاد کردند [۴۰]. مدل۱۴: زابارا[6] مقادیر a و b از مدل آنگستروم آنگستروم اصلاح شده را به صورت تابع درجه سوم از حداکثر مدت ممکن تابش آفتاب (S) و طول روز (S_o) در هر ماه پیشنهاد نمود [۵۸]. مدل۱۵: جِین[7] معادله آنگستروم را با استفاده از روش حداقل مربعات بر میانگین ماهانه تابش کلی خورشید در یک روز و داده‌های مدت زمان تابش آفتاب برای ۳۱ محل در ایتالیا منطبق کرد. [۱۳]. مدل۱۶: السعد[8] از معادله آنگستروم برای پیش‌بینی متوسط ماهانه تابش کلی خورشید در یک روز برای امان در اردن به‌شکل زیر استفاده نمود [۱۴]. مدل۱۷: همچنین باهِل براساس ساعات تابش آفتاب از داده‌های ۴۸ ایستگاه در سرتاسر جهان با شرایط جوی متفاوت و توزیع جغرافیائی گسترده، یک معادله کلی ارائه داد [۱۶، ۴۷]. مدل۱۸: گوپیناتان[9] معتقد بود که ضرایب a و b تابعی از کمیت S/S_o و عرض جغرافیائی سایت (Z) می‌باشد [۱۵]. مدل۱۹: گوپیناتان رابطه‌ای را نیز براساس کمیت Z ارائه نمود که در آن، Z ارتفاع از سطح دریا برحسب کیلومتر است [۲]. مدل۲۰: گوپیناتان روابط داده‌های تجربی برای سه ایستگاه در هند به دست آورد [۱۴]. مدل۲۱: جِین و جِین[10] با استفاده از معادله بدست آمده، میزان تابش کلی خورشید بر هشت محل در زامبیا را پیش‌بینی نمود [۳۲، ۲۳]. مدل۲۲: نیولند[11] نیز رابطه‌ای لگاریتمی برای محاسبه شدت تابش پیشنهاد نمود [۱۹]. مدل۲۳: سولر[12] برای هر ماه یک معادله نظیر مدل آنگستروم ارائه داد [۴۱]. مدل۲۴: لوآنگا و آندرینگا[13] مدلی جهت این برآورد پیشنهاد دادند [۳]. مدل۲۵: راجا و توویدِل[14]روابطی را با استفاده از اطلاعات پنج در پاکستان و با درنظر گرفتن اثر عرض جغرافیائی φ، تهیه کردند [۱۰، ۵۴]. مدل۲۶: آکین‌اوغلو و اِکویت[15] رابطه

1) Dogniaux and Lemoine
2) Benson et al
3) Ogelman et al
4) Ibrahim
5) ahel et al
6) Zabara
7) Jain
8) Alsaad
9) opinathan
10) Jain and Jain
11)Newland
12) Soler
13) Luhanga and Andringa
14) Raja and Twidell
15) Akinoglu and Ecevit

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-27]

چندجمله‌ای درجه دوم برای ترکیه به دست آوردند [۱۱]. مدل۲۷: جِین[1] نتایج تحلیل برازش خطی حاصل از داده‌های اندازه‌گیری شده برای سه محل[2]شرح داد [۲۵]. مدل۲۸: ساموئل[3] نسبت تابش کلی خورشید به تابش فرازمینی را به‌صورت به‌صورت تابعی از نسبت مدت زمان تابش بیان کرد [۴۹]. مدل۲۹: تاس‌دِمیراوغلو و سِوِر[4] روابطی را برای کل ترکیه ارائه کردند [۴۸]. مدل۳۰: همچنین تاس‌دِمیراوغلو و سِوِر رابطه‌ای بین (H/H_o) و (S/S_o) از نوع چندجمله‌ای مرتبه دوم برای شش مکان مختلف در ترکیه[5] پیشنهاد کردند [۲۸]. مدل۳۱: لوچ و همکاران[6] مدلی را برای تخمین تابش کلی آفتاب ارائه نمودند [۴۸، ۵۰]. مدل۳۲: لوئیز[7] یک معادله خطی و یک معادله چند جمله‌ای درجه سه بین مقادیر متوسط ماهانه (H/H_o) و (S/S_o) برای مکان‌هایی در ایالت تِنِسی آمریکا پیشنهاد کرد[۳۳]. مدل۳۳: گوپیناتان و سولر یک معادله خطی برای مکان‌هایی با عرض جغرافیائی مابین 60° N و 70° N ارائه کردند[۴۴]. مدل۳۴: وییران و کومار[8]رابطه‌ای خطی برای تخمین مقدار متوسط ماهانه تابش کلی خورشید در دو منطقهٔ استوائی[9] در هند به دست آوردند[۲۰]. مدل۳۵: ایلدیز و اوز[10] با کمک اطلاعات اندازه‌گیری شده از پنج ایستگاه در مکان‌های متفاوت در ترکیه، رابطه زیر را ارائه دادند [۳۸]. مدل۳۶: تِریس و همکاران[11] نیز روابط عددی را ارائه کردند [۵۰]. مدل۳۷: آکسوی[12] با استفاده از داده‌های موجود از سال ۱۹۹۳ تا ژولای ۱۹۹۵ در سازمان ملی هواشناسی ترکیه، به منظور برآورد متوسط ماهانه تابش کلی خورشید، یک معادله درجه دوم بین (H/H_o) و (n/N) برای آنکارا، آنتالیا، سمسان، کونیا، اورفا و ازمیر در ترکیه به دست آورد [۲]. مدل۳۸: تِریس و تِریس[13] روابط زیر را از اطلاعات مورد سنجش در قِبز[14] واقع در ترکیه برای یک دوره از ژانویه ۱۹۸۴ تا دسامبر ۱۹۹۲ استخراج کردند [۵۱]. مدل۳۹: سعید و همکاران[15] معادلاتی را برای پیش‌بینی متوسط ماهانه تابش و انتشار آفتاب بر روی یک سطح افقی در تِریپولی[16] واقع در لیبی، به دست آوردند [۳۱]. مدل۴۰: امپراتوم و دورولو[17] معادله‌ای لگاریتمی برای ایستگاه واقع در

1) Jain
2) alisbury, Bulawayo and Macerata
3) Samuel
4) Tasdemiroglu and Sever
5) Ankara, Antalya, Diyarbakir, Gebze, Izmir and Samsun
6) Louche et al
7) Lewis
8) Gopinathan
9) adras and Kodaikanal
10) Yildiz and Oz
11) Tiris et al
12) Aksoy
13) Tiris and Tiris
14) Gebze
15) aid et al
16) Tripoli
17) Ampratwum and Dorvlo

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-27]

سیب (Seeb) در عمان پیشنهاد کردند [۱۰] مدل۴۱: طغرل و اونات[۱] روابطی را برای پیش‌بینی متوسط تـابش خورشـید در یک ماه (H) برای ایلازیگ[۲] در ترکیه ارائه دادند [۳۲].مدل۴۲: اولجِن و اوزبالتا[۳] معادلات خطی و درجـه دومـی را بـرای ازمیر[۴] درترکیه پیشنهاد دادند [۳۷]. مدل۴۳: اِرتکین و یالدیز[۵] یک رابطه چندجملـه‌ای بـرای شـهرآنتالیا درترکیـه پیشـنهاد کردند [۵۶]. مدل۴۴: اِلاجیب و مانسِل[۶] امکان برقراری رابطه‌ای برای تعیین میزان ماهانه تابش کلـی آفتـاب در سـودان را ارزیابی کردند. این محققین بهترین معادلات عملی را به ازای هر ماه ارائه نمودند [۳۲، ۵۳]. مـدل۴۵: کِجـار و کیبـانی[۷] دو مدل جهت ارزیابی متوسط ماهانه تابش بر روی یک سطح افقی در طول یک روز، پیشنهاد کردند [۸]. مـدل۴۶: اولجِـن و هِپباسلی[۸] روابط تجربی زیر را جهت تخمین H برای شهر اِزمیر در ترکیه ارائـه نمودنـد [۱۸]. مـدل۴۷: طغـرل و طغـرل[۹] معادلاتی را پیشنهاد کردند که از رابطه بین H/H_o و S/S_o به وسیله اعمال انواع برازش‌های متفاوت برای آنکارا، ازمیـر، آیدین، آدانا و ایلازیگ[۱۰] در ترکیه به دست آمـده‌انـد [۵۱، ۵۲، ۵۵]. مـدل۴۸: آکپـابیو و اِتـوک[۱۱] بـا اسـتفاده از اطلاعـات اندازه‌گیری شده نظیر تابش کلی خورشید و مدت زمـان تـابش آفتـاب در دوره زمـانی ۱۹۸۴ تـا ۱۹۹۹ در منطقـه جنـوبی نیجریه، یک رابطه از نوع معادله آنگستروم ارائه کردند [۱۳]. مدل۴۹: اولجِن و هِپباسـلی[۱۲] معـادلاتی را بـه‌صـورت روابـط خطی و چندجمله‌ای درجه سوم برای آنکارا، استامبول و ازمیر در ترکیـه پیشـنهاد کردنـد [۴۸و۵۰]، مـدل۵۰: اَلمـوروکس و هونتوریا[۱۳] نیز رابطه‌ای نمایی را پیشنهاد نمودند [۱۹]. مدل۵۱: احمد و اُلفت[۱۴] برای کراچی در پاکستان معادلاتی به‌صـورت چندجمله‌ای از مرتبه اول و دوم پیشنهاد دادند[۵] مدل۵۲: باخیرچی[۱۵] معادلاتی جهت تخمین تابش کلی خورشید برحسـب ساعات آفتابی در اورزورم[۱۶] ، ارائه نمود [۱۳]. مدل۵۳: آلموروکس و همکاران[۱۷] معادلاتی برای محاسبه تابش کلی خورشید برحسب ساعات آفتابی برای تولِدو در اسپانیا ارائه نمودند [۵]. مدل۵۴: تاهران و ساری[۱۸] دو مدل بـرای پـیش‌بینـی تـابش خورشید بر روی منطقه دریای سیاه در ترکیه به صورت عبارات چندجمله‌ای از درجات دو و سه ارائه کرده‌اند [۴۵]. مدل۵۵:

18) Togrul and Onat
1) lazig
2) Ulgen and Ozbalta
3) zmir
4) Ertekin and Yaldiz
5) Elagib and Mansell
6) Chegaar and Chibani
7) Ulgen and Hepbasli
8) Togrul and Togrul
9) Elazıg
10) Akpabio and Etuk
11) Ulgen and Hepbasli
12) Almorox and Hontoria
13) hmad and Ulfat
14) Bakirci
15) Erzurum
16)Almorox et al
17) Tahran and Sarı

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-27]

جین و همکاران[1] براساس داده‌های تابش و اطلاعات جغرافیائی محل شامل عرض جغرافیائی و ارتفاع از سطح دریا برای ۶۹ ایستگاه در چین، حدود نه رابطه پیشنهاد کردند [۵۷، ۵۹]. مدل۵۶: آراس و همکاران[2] معادلاتی خطی و چندجمله‌ای جهت استفاده عمومی برای دوازده منطقه در محدوده آناتولی مرکزی در ترکیه ارائه کردند [۶]. مدل۵۷: رِنشِنگ و همکاران[3] برپایه مدل آنگستروم و مدل باهِل، با استفاده از اطلاعات تابش روزانه خورشید و ساعات آفتابی از سال ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۸ برای ۶۸ ایستگاه در چین، معادلات جدیدی پیشنهاد کردند [۴۶]. مدل۵۸: مجدداً باخیرچی معادله چند جمله‌ای زیر را نیز برای شهر اورزورم در ترکیه پیشنهاد کرد [۴، ۳۴].

در این بخش، روابط متعددی جهت محاسبه میزان متوسط ماهانه تابش خورشید بر روی یک سطح افقی در طول یک روز برای مناطق مختلفی در سراسر جهان ارائه شد. لذا با توجه به چگونگی استخراج این روابط براساس مدل پایه آنگستروم می‌توان آنها را در چهار گروه دسته‌بندی نمود: گروه اول به‌صورت مدل‌هایی خطی هستند که ضرایب تجربی a و b در آنها از نتایج تحلیل‌های رگرسیون مرتبه اول به دست می‌آید لذا مدل‌های حاصل از برازش بر این داده‌ها، معادله آنگستروم خطی نامیده می‌شوند (نظیر مدل‌های ۲، ۸، ۱۳ و ۱۶). برخی از محققین پیشنهاد کردند تا از مراتب بالاتری از معادله کلی آنگستروم برای تخمین متوسط ماهانه تابش آفتاب در طول یک روز بر روی یک سطح افقی استفاده گردد، از این‌رو، گروه دوم به‌صورت مدل‌های چندجمله‌ای ارائه شدند (نظیر مدل‌های ۲۸، ۳۰ و ۵۴). گروه سوم شامل مدل‌های زاویه‌ای هستند که براساس شکل کلی معادله آنگستروم ارائه شدند، بدین ترتیب که در آنها ضرایب تجربی a و b برحسب عرض جغرافیایی، زاویه انحراف تابش و یا ارتفاع از سطح دریا محاسبه و تعیین می‌شوند (نظیر مدل‌های ۱، ۶، ۹ و ۱۹) و بالاخره اشکال خاصی از معادله اصلاح شده آنگستروم توسط محققین برای مکان‌های مختلفی ارائه شد که در گروه چهارم قرار می‌گیرند، این موارد شامل مدل‌های لگاریتمی، غیرخطی و نمائی می‌باشند (نظیر مدل‌های ۴۷، ۵۲، ۵۵ و ۵۷).
همانگونه که ملاحظه گردید، اکثر مدل‌های ارائه شده مربوط به کشورهای با عرض جغرافیایی یکسان با ایران می‌باشند که از نظر معادله اصلی آنگستروم قابلیت تعمیم آنها برای اقلیم مناطق مرکزی ایران وجود خواهد داشت. لذا در مقاله حاضر سعی گردیده است که با شناسایی و ارزیابی عددی اکثر مدل‌های تابشی مشابه مدل پیج برای شهرستان بم که بطور متوسط دارای ۲۷۳ روز آفتابی در سال می‌باشد، مدل‌های بهینه جهت محاسبه متوسط ماهانه تابش خورشید استخراج شود، هرچند باید دقت داشت که به واسطه عدم همسانی کمیت‌های بکاررفته در شکل‌گیری معادلاتی از این دست، امکان انطباق بسیاری از این مدل‌ها برای شهرستان بم دور از واقعیت می‌نماید که در نتایج نیز به آن اشاره می‌شود. به هر حال، در انتهای کار انتظار می‌رود بتوان به مدل یا مدل‌هایی مستخرج از معادلات تجربه شده و به طور کاملا کارآمد و منطبق با اقلیم شهرستان بم به منظور محاسبه شدت تابش خورشیدی دست یافت.

18) Jin et al.
1) Aras et al
2) Rensheng et al

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-27]

معرفی منطقه مورد مطالعه

داده‌های اندازه‌گیری شده و پارامترهای مورد استفاده در این پژوهش شامل ارتفاع محل از سطح دریا و طول ساعات آفتابی و طول و عرض جغرافیایی از مرکز ملی اقلیم شناسی تهیه گردید. طول و عرض جغرافیایی ایستگاه مورد نظر به ترتیب ۵۸/۲۱ جنوبی و ۲۹/۶ شمالی و ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد ۱۰۶۶/۹ متر می‌باشد. آب و هوای بم گرم و خشک است، اما به علت مجاورت با کویر آب و هوای متغیری دارد، به طوری‌که گاهی اوقات در تابستان‌ها گرم‌ترین و در زمستان‌ها سردترین نقطه کشور گزارش شده است و میزان بارندگی سالانه آن بطور متوسط ۶۸ میلی‌متر می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

برای رسیدن به رابطه بهینه محاسبه میزان تابش خورشیدی از رابطه‌های آماری مناسب برای برآورد میزان خطا استفاده گردید [۷۴-۶۲]. درصد متوسط خطا (MPE)، متوسط خطای مبنا (MBE)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و خطای استاندارد تخمین (SEE) می‌باشد که این روابط هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد، بهتر است. برای محاسبه میزان همبستگی مقادیر محاسبه شده با مقادیر اندازه‌گیری شده از پارامتری تحت عنوان ضریب همبستگی با حرف (R) استفاده می‌شود، به طوری که هرچه مقدار آن به یک نزدیک باشد، مناسب‌تر است. با استفاده از مدل‌های بیان شده، مقادیر تابش روزانه در ماه‌های مختلف برای شهرستان بم محاسبه گردید. حال با استفاده از ضرایب آماری موجود، مقادیر اندازه‌گیری شده سازمان هواشناسی را با مقادیر محاسبه شده مقایسه شده و دقت و تناسب مدل‌های ارائه شده در جداولی به‌شرح زیر بدست آمده که برای انتخاب مدل پیشنهادی برای منطقه مورد بحث از آنها استفاده می‌شود. لازم به توضیح است در مواردی که برای یک مدل بیش از یک رابطه وجود داشته، این روابط با نامگذاری با استفاده از حروف فارسی مشخص و در جدول آورده شده است.

جدول ۱) مقادیر محاسبه شده ضرایب رگرسیون برای مدل‌های تابشی ۱ الی ۶

شماره مدل	۱	۲	۳	۴ الف	۴ ب	۵ الف	۵ ب	۵ ج	۶
MPE	-۰/۸۵۰	-۰/۷۰۰	-۱/۰۱۰	۰/۱۸۴	۰/۶۳۰	-۱/۰۹	-۱/۲۱۰	-۱/۳۵۸	-۰/۷۴۷
MBE	۱۲/۹۵	۱۰/۶۳	۱۵/۳۶	-۳/۳۴	۳/۳۴۴	۱۶/۴۶۶	۱۸/۴۸۶	۲۳/۴۰۶	۱/۴۴۱۳
RMSE	۱۳/۶۰۴	۱/۲۳۸۴	۱/۹۸۰۳	۰/۳۴۱۱	۰/۳۴۱۱	۱۶/۴۹۸	۱۹/۲۰۰	۲۳/۱۳۶	۱۲/۰۹۵
SEE	۱۴/۹۰۳	۱۲/۳۱۱	۱/۵۰۵۶	۰/۷۵۵۵	۰/۷۵۵۵	۰/۹۰۷	۲۱/۰۳۳	۲۵/۳۴۴	۱۳/۲۴۹
R	۰/۸۹۲	۰/۸۹۱	۰/۸۹۸۹	۰/۱۳۲	۰/۰۲۳	۰/۸۲۲	۰/۹۰۰	۰/۸۸۰	۰/۸۹۸۵

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-27]

جدول ۲) مقادیر محاسبه شده ضرایب رگرسیون برای مدل‌های تابشی ۷ الی ۱۴

شماره مدل	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲ الف	۱۲ ب	۱۳	۱۴
MPE	−۰/۷۰۰	−۰/۷۹۱	−۰/۷۰۴	−۰/۸۲۸	−۰/۷۸۶	۰/۰۸۸	۰/۴۳۹	−۰/۷۰۴	−۰/۷۶۳
MBE	۱۰/۶۳۸	۱۲/۰۷۱	۱۰/۶۹۲	۱۲/۶۷۷	۱۱/۹۵۷	−۱/۸۴۹	−۷/۰۸۷	۱۰/۷۳۴	۱۱/۵۹۲
RMSE	۱۱/۲۳۸	۱۲/۷۳۵	۱۱/۲۰۳	۱۳/۳۴۴	۱۲/۵۵۷	۳/۰۹۲	۷/۵۸۷	۱۱/۳۷۵	۱۲/۱۶۴
SEE	۱۲/۳۱۱	۱۳/۹۵۰	۱۲/۲۷۲	۱۴/۶۱۸	۱۳/۷۵۵	۳/۳۸۷	۰/۸۷۱	۱۲/۴۶۱	۱/۱۰۲
R	۰/۸۹۱	۰/۸۹۹	۰/۸۱۰	۰/۸۹۳	۰/۸۹۳	۰/۸۳۸	۰/۸۸۸	۰/۸۸۸	۰/۸۹۵

جدول ۳) مقادیر محاسبه شده ضرایب رگرسیون برای مدل‌های تابشی ۱۵ الی ۲۲

شماره مدل	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰ الف	۲۰ ب	۲۱	۲۲
MPE	−۱/۰۱۸	−۰/۸۴۰	−۰/۷۷۱	−۰/۸۴۷	−۰/۸۸۳	−۰/۱۸۶	۰/۲۷۹	−۰/۸۰۰	−۰/۷۱۶
MBE	۱۵/۶۰۴	۱۲/۸۴۴	۱۱/۷۵۲	۱۲/۹۷۱	۱۳/۴۳۷	−۳/۴۴۱	−۵/۱۲۳	۱۲/۱۹۶	۱۰/۹۳۸
RMSE	۱۶/۳۸۱	۱۳/۵۴۱	۱۲/۳۹۵	۱۳/۶۹۴	۱۴/۰۶۱	۴/۶۲۶	۷/۰۴۲	۱۲/۸۲۹	۱۱/۶۲۰
SEE	۱۷/۹۴۵	۱۴/۸۳۳	۱۳/۵۷۸	۱۵/۰۰۱	۱۵/۴۰۳	۰/۶۸۰	۵/۰۶۸	۱۴/۰۵۶	۱۲/۷۳۰
R	۰/۸۸۷	۰/۸۸۸	۰/۸۹۱	۰/۸۸۷	۰/۸۹۲	۰/۷۰۲	۰/۱۴۷	۰/۸۹۱	۰/۸۸۵

جدول ۴) مقادیر محاسبه شده ضرایب رگرسیون برای مدل‌های تابشی ۲۳ الی ۲۸

شماره مدل	۲۳	۲۴	۲۵ الف	۲۵ ب	۲۶	۲۷ الف	۲۷ ب	۲۷ ج	۲۸
MPE	−۰/۸۷۷	−۰/۷۴۸	−۰/۷۴۵	−۰/۶۳۰	−۰/۷۷۸	−۰/۹۱۹	−۰/۹۳۳	−۰/۱۸۳	−۰/۵۷۷
MBE	۱۳/۲۲۱	۱۱/۳۸۵	۱۱/۲۹۱	۹/۵۲۴	۱۱/۸۱۷	۱۴/۰۰۲	۱۴/۲۲۳	۱۸/۱۰۲	۲۴/۲۷۰
RMSE	۱۳/۸۱۵	۱۱/۹۹۵	۱۱/۸۳۹	۱۰/۰۵۵	۱۲/۳۹۲	۱۴/۶۴۰	۱۴/۸۷۱	۱۸/۸۷۶	۲۵/۲۸۹
SEE	۱۵/۱۳۳	۱۳/۱۴۰	۱۲/۹۶۹	۱۱/۰۱۵	۱۳/۵۷۵	۱۶/۰۳۸	۱۶/۲۹۱	۲۰/۶۷۶	۲۷/۷۰۳
R	۰/۸۶۹	۰/۸۹۲	۰/۸۹۶	۰/۸۹۵	۰/۸۹۴	۰/۸۹۴	۰/۸۹۴	۰/۸۹۲	۰/۸۹۳

جدول ۵) مقادیر محاسبه شده ضرایب رگرسیون برای مدل‌های تابشی ۲۹ الی ۳۴ (ب)

شماره مدل	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲ الف	۳۲ ب	۳۳ الف	۳۳ ب	۳۴ الف	۳۴ ب
MPE	−۱/۵۱۰	۰/۲۵۳	−۰/۷۷۸	−۰/۶۴۶	−۰/۵۲۶	−۱/۱۶۳	−۱/۱۳۸	−۰/۶۵۵	−۰/۱۸۶
MBE	۲۳/۰۵۱	−۴/۱۸۴	۱۱/۸۶۲	۹/۸۴۴	۷/۷۱۲	۱۷/۸۴۷	۱۷/۴۵۸	۹/۹۰۰	۱۸/۱۶۸
RMSE	۲۳/۸۲۱	۴/۶۹۸	۱۲/۵۰۹	۱۰/۴۹۲	۸/۱۰۵	۱۸/۷۳۳	۱۸/۲۸۱	۱۰/۴۱۱	۱۸/۹۶۷
SEE	۲۶/۰۹۴	۵/۱۴۶	۱۳/۷۰۳	۱۱/۴۹۴	۸/۸۷۸	۲۰/۵۲۱	۲۰/۰۲۶	۱۱/۴۰۴	۲۰/۷۷۷
R	۰/۹۰۱	۰/۹۰۵	۰/۸۹۰	۰/۸۸۷	۰/۸۸۳	۰/۸۸۵	۰/۸۸۷	۰/۸۹۷	۰/۸۹۰

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-27]

جدول ۶) مقادیر محاسبه شده ضرایب رگرسیون برای مدل‌های تابشی ۳۵ الی ۳۹ (الف)

شماره مدل	۳۵	۳۶ الف	۳۶ ب	۳۶ ج	۳۶ د	۳۶ هـ	۳۷	۳۸	۳۹ الف
MPE	−۰/۹۲۳	−۰/۵۵۳	−۰/۳۳۹	۰/۱۰۵	۰/۱۴۵	−۰/۷۴۷	−۰/۷۴۷	۰/۲۳۶	−۰/۷۶۱
MBE	۱۴/۰۰	۸/۳۵۶	−۵/۴۵۶	−۱/۸۱۱	−۲/۵۸۵	۱۱/۳۸۲	۱۱/۳۸۲	−۴/۰۹۲	۱۱/۵۹۹
RMSE	۱۴/۵۶۴	۸/۹۱۲	۵/۹۰۳	۲/۶۶۶	۳/۳۱۱	۱۲/۰۲۴	۱۲/۰۲۴	۴/۸۷۳	۱۲/۲۳۴
SEE	۱۵/۹۵۴	۹/۷۶۳	۶/۴۶۶	۲/۹۲۰	۳/۶۲۷	۱۳/۱۷۲	۱۲/۱۷۲	۵/۳۳۹	۱۳/۴۰۱
R	۰/۸۹۷	۰/۸۹۲	۰/۸۹۸	۰/۸۸۸	۰/۹۰۵	۰/۸۸۹	۰/۸۸۹	۰/۸۴۳	۰/۸۹۰

جدول ۷) مقادیر محاسبه شده ضرایب رگرسیون برای مدل‌های تابشی ۳۹ (ب) الی ۴۵ (الف)

شماره مدل	۳۹ ب	۳۹ ج	۴۰	۴۱	۴۲ الف	۴۲ ب	۴۳	۴۴	۴۵ الف
MPE	−۰/۷۶۰	−۰/۱۸۳	−۰/۶۱۵	−۰/۴۴۹	−۰/۷۸۱	−۰/۷۷۸	−۰/۳۶۱	−۰/۸۷۳	۰/۶۷۴
MBE	۱۱/۵۵۵	−۳/۵۸۲	۹/۲۷۶	۶/۶۲۰	۱۱/۹۰۳	۱۱/۷۹۸	۵/۴۳۹	۱۳/۰۳۰	۱۰/۲۰۷
RMSE	۱۲/۱۶۲	۳/۵۸۲	۹/۷۸۴	۶/۹۹۱	۱۲/۵۲۶	۱۲/۳۶۱	۶/۰۰	۱۳/۵۷۷	۱۰/۷۴۵
SEE	۱۳/۳۲۳	۳/۹۲۴	۱۰/۷۱۷	۷/۶۵۸	۱۳/۷۲۲	۱۳/۵۴۰	۶/۵۷۳	۱۴/۸۷۲	۱۱/۷۷۰
R	۰/۸۹۱	۰/۹۲۷	۰/۸۹۶	۰/۹۰۶	۰/۸۹۲	۰/۸۶۶	۰/۹۰۱	۰/۸۶۵	۰/۸۹۶

جدول ۸) مقادیر محاسبه شده ضرایب رگرسیون برای مدل‌های تابشی ۴۵ (ب) الی ۴۷ (و)

شماره مدل	۴۵ ب	۴۶ الف	۴۶ ب	۴۷ الف	۴۷ ب	۴۷ ج	۴۷ د	۴۷ هـ	۴۷ و
MPE	−۰/۸۳۴	−۰/۸۳۷	−۰/۷۰۹	−۰/۸۷۸	−۰/۸۱۶	−۰/۷۸۳	−۰/۷۸۱	−۰/۹۹۲	−۰/۸۵۲
MBE	۱۲/۶۶۷	۱۲/۷۵۶	۱۱/۵۱۶	۱۳/۳۶۳	۱۲/۳۴۰	۱۱/۷۶۶	۱۱/۷۱۷	−۱۵/۵۵۱	۱۲/۹۲۹
RMSE	۱۳/۲۳۳	۱۳/۳۸۶	۱۲/۰۸۵	۱۳/۹۷۹	۱۲/۸۵۴	۱۲/۲۰۰	۱۲/۱۳۹	۱/۱۲۱	۱۳/۴۹۲
SEE	۱۴/۴۹۷	۱۴/۶۶۴	۱۳/۲۳۸	۱۵/۳۱۳	۱۴/۰۸۱	۱۳/۳۶۴	۱۳/۲۹۷	۱۷/۶۶۰	۱۴/۷۸۰
R	۰/۸۹۷	۰/۸۹۲	۰/۸۹۳	۰/۸۹۴	۰/۸۹۹	۰/۹۰۱	۰/۹۰۷	۰/۵۵۲	۰/۸۹۷

جدول ۹) مقادیر محاسبه شده ضرایب رگرسیون برای مدل‌های تابشی ۴۸ الی ۵۳

شماره مدل	۴۸	۴۹ الف	۴۹ ب	۵۰	۵۱ الف	۵۱ ب	۵۲ الف	۵۲ ب	۵۳
MPE	−۰/۹۵۲	−۰/۷۹۳	−۰/۷۷۵	−۰/۹۵۲	−۰/۷۹۸	−۰/۷۹۹	−۰/۰۴۶	−۰/۹۹۰	−۰/۷۹۳
MBE	۱۴/۵۶۱	۱۲/۰۷۶	۱۱/۷۳۱	۱۴/۵۶۱	۱۲/۱۱۷	۱۲/۱۵۴	۱۵/۸۲۰	۱۴/۸۷۲	۱۲/۱۴۲
RMSE	۱۵/۲۶۷	۱۲/۶۸۸	۱۲/۲۷۲	۱۵/۲۶۷	۱۲/۶۹۴	۱۲/۷۴۳	۱۶/۳۲۷	۱۵/۲۹۱	۱۲/۷۱۷
SEE	۱۶/۷۲۵	۱۳/۸۹۹	۱۳/۴۴۳	۱۶/۷۲۵	۱۳/۹۰۵	۱۳/۹۶۰	۱۷/۸۸۵	۱۶/۷۵۰	۱۳/۹۳۱
R	۰/۸۹۰	۰/۸۹۳	۰/۸۹۵	۰/۸۹۰	۰/۸۹۵	۰/۸۹۵	۰/۹۰۵	۰/۹۰۵	۰/۹۱۵

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-27]

جدول ۱۰) مقادیر محاسبه شدهٔ ضرایب رگرسیون برای مدل‌های تابشی ۵۴ (الف) الی ۵۵ (ز)

شماره مدل	۵۴ الف	۵۴ ب	۵۵ الف	۵۵ ب	۵۵ ج	۵۵ د	۵۵ هـ	۵۵ و	۵۵ ز
MPE	−۰/۵۸۷	−۰/۶۰۸	−۰/۴۰۰	−۰/۸۰۳	−۰/۸۰۶	−۰/۵۷۶	−۰/۳۸۷	−۰/۵۴۷	−۰/۴۴۳
MBE	۸/۷۶۴	۹/۱۳۷	۶/۰۳۵	۱۲/۲۷۵	۱۲/۳۵۴	۸/۷۶۴	۲۱/۲۲۳	۸/۳۰۹	۲۲/۱۰۹۹
RMSE	۹/۱۸۰	۹/۵۹۸	۶/۶۵۲	۱۲/۹۹۶	۱۳/۰۹۷	۹/۴۱۰	۲۲/۰۴۱	۸/۹۳۷	۲۲/۹۷۸
SEE	۱۰/۰۵۶	۱۰/۵۱۴	۷/۲۸۶	۱۴/۲۳۷	۱۴/۳۴۸	۱۰/۳۰۸	۲۴/۱۴۵	۹/۷۹۰	۲۵/۱۷۱
R	۰/۹۰۱	۰/۹۰۰	۰/۸۸۸	۰/۸۸۵	۰/۸۸۴	۰/۸۸۶	۰/۸۹۵	۰/۸۸۷	۰/۸۹۳

جدول ۱۱) مقادیر محاسبه شدهٔ ضرایب رگرسیون برای مدل‌های تابشی ۵۵ (ح) الی ۵۷ (د)

شماره مدل	۵۵ ح	۵۵ ط	۵۶ الف	۵۶ ب	۵۶ ج	۵۷ الف	۵۷ ب	۵۷ ج	۵۷ د
MPE	−۰/۴۱۱	−۱/۷۸۱	−۰/۷۷۸	−۰/۷۸۷	−۰/۷۷۴	−۰/۷۳۱	−۰/۶۱۴	−۰/۷۱۱	−۱/۲۴۸
MBE	۶/۰۹۳	۲۷/۶۵۷	۱۱/۸۱۷	۱۱/۹۸۶	۱۱/۷۰۹	۱۱/۱۵۳	۹/۳۴۹	۱۰/۸۲۸	۱۹/۰۹۳
RMSE	۶/۵۶۰	۲۹/۱۳۴	۱۲/۳۹۵	۱۲/۵۹۴	۱۲/۲۴۶	۱۱/۸۰۴	۹/۹۷۹	۱۱/۴۶۴	۱۹/۸۵۸
SEE	۰/۸۱۰	۳۱/۹۱۵	۱۳/۵۷۸	۱۳/۷۹۶	۱۳/۴۱۴	۱۲/۹۳۰	۱۰/۹۳۲	۱۲/۵۵۹	۲۱/۷۵۳
R	۰/۸۹۷	۰/۸۷۳	۰/۸۹۵	۰/۸۹۳	۰/۸۹۵	۰/۸۸۸	۰/۸۸۷	۰/۸۸۹	۰/۸۹۴

جدول ۱۲) مقادیر محاسبه شده ضرایب رگرسیون برای مدل‌های تابشی ۵۷ (هـ) الی ۵۷ (م)

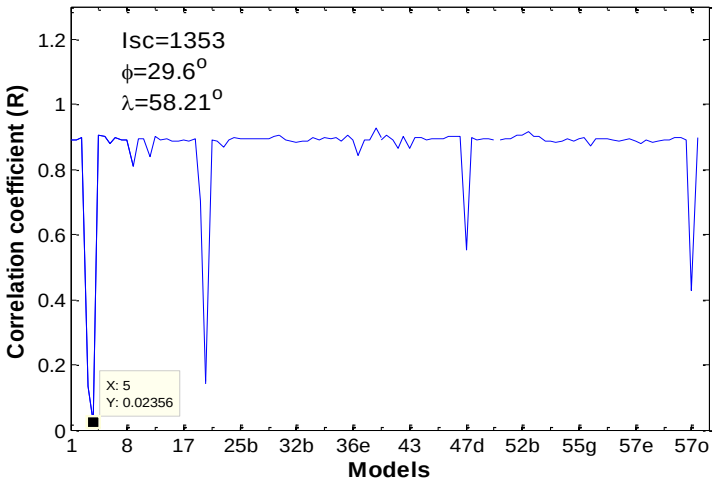
شماره مدل	۵۷ هـ	۵۷ و	۵۷ ز	۵۷ ح	۵۷ ط	۵۷ ی	۵۷ ک	۵۷ ل	۵۷ م
MPE	−۰/۵۹۷	−۰/۷۱۷	−۰/۸۲۹	−۰/۵۸۰	−۰/۳۷۶	−۰/۶۱۶	−۰/۷۹۷	−۰/۳۳۳	−۰/۳۶۰
MBE	۹/۰۷۸	−۱۱/۲۲۶	۱۲/۶۵۰	۸/۸۴۵	۲۱/۲۰۱	۹/۳۸۸	۱۲/۱۷۰	۲۰/۴۲۲	۲۰/۸۲۶
RMSE	۹/۷۰۸	۱۱/۷۱۹	۱۳/۳۰۰	۹/۵۰۸	۲۲/۱۹۷	۱۰/۰۳۵	۱۲/۸۳۵	۲۱/۲۳۱	۲۱/۶۴۲
SEE	۱۰/۶۳۵	۱۲/۸۳۸	۱۴/۵۶۹	۱۰/۴۱۵	۲۴/۳۱۶	۱۰/۹۹۳	۱۴/۰۶۰	۲۳/۲۵۸	۲۳/۷۰۸
R	۰/۸۸۷	۰/۸۷۸	۰/۸۹۱	۰/۸۸۴	۰/۸۸۶	۰/۸۸۹	۰/۸۹۲	۰/۸۹۶	۰/۸۹۶

جدول ۱۳) مقادیر محاسبه شده ضرایب رگرسیون برای مدل‌های تابشی

شماره مدل	۵۷ ن	۵۸
MPE	−۰/۸۵۱	−۰/۶۳۱
MBE	۱۲/۹۹۹	۹/۵۳۲
RMSE	۱۳/۶۷۰	۱۰/۰۳۶
SEE	۱۴/۹۷۵	۱۰/۹۹۴
R	۰/۸۸۹	۰/۸۹۸

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-27]

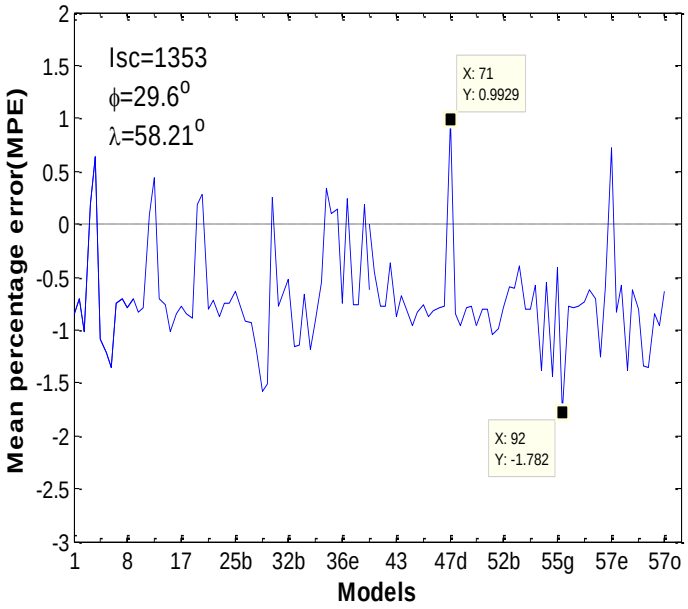
جهت مشخص شدن نوسانات میزان خطاهای محاسبه شده در این پژوهش، نمودارمربوط به هریک از این خطاها و همچنین نمودار ضریب همبستگی رسم گردید که هریک از آنها در اشکال (۱) تا (۵) آورده شده است:



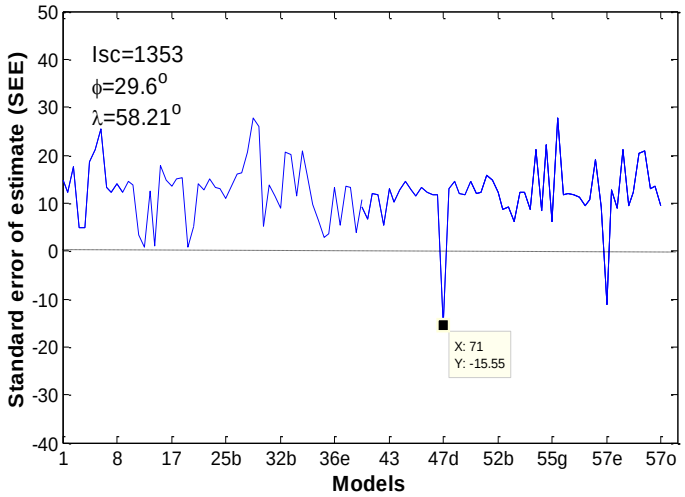
شکل ۱) مقادیر ضریب همبستگی محاسبه شده برای مدل‌ها برای پارامترهای مشخص شده

مطابق شکل فوق، درصد خطای استاندارد (R) برای کلیه مدل‌های ارائه شده برای شدت تابش خورشیدی متناظر با رابطه تجربی پیشنهادی نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد برای مدل‌هایی که به طور مستقل برای هر ماه یک رابطه مجزا ارائه شده، نتایج بهتری به دست آمده است و برای سایر مدل‌ها مقدار خطای محاسباتی از مقدار یک خیلی دورتر است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-27]

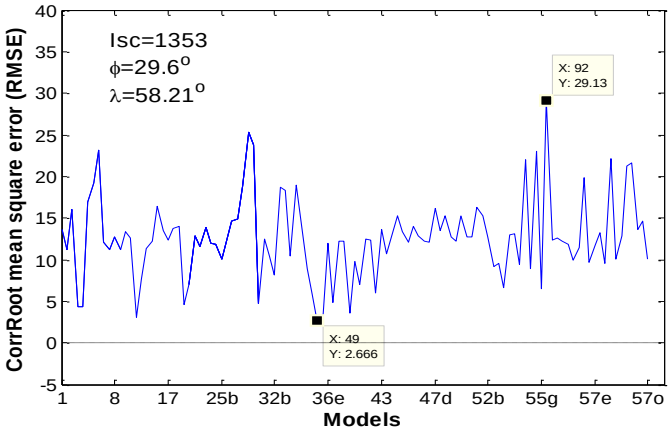


شکل ۲) مقادیر تفاضلی درصد متوسط خطای محاسبه شده برای مدل‌ها (MPE)

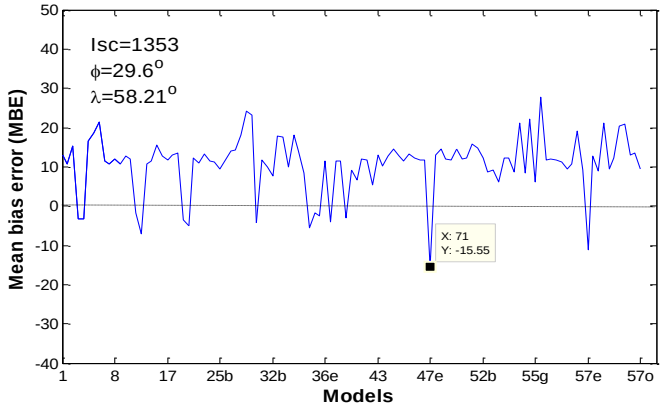


شکل ۳) مقادیر خطای استاندارد تخمین محاسبه شده برای مدل‌ها (SEE)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-27]



شکل ۴) مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا محاسبه شده برای مدل‌ها (RSME)



شکل ۵) مقادیر متوسط خطای مبنا (MBE) محاسبه شده برای مدل‌ها

در نمودارهای بالا، مدل ۴۷ هـ به دلیل به دست آوردن اعدادی که بسیار دور از مدهای دیگر بوده و بالا بودن خطا و پایین بودن ضریب همبستگی جهت بهتر نمایش دادن نمودارها حذف گردیده است.

نتیجه‌گیری

همان‌طورکه از ضرایب بدست آمده در جداول و نمودارهای رسم شده برمی‌آید، هر یک از مدل‌های مطرح شده در بخش قبل با نسبتی مشخص توانایی لازم برای پیش‌بینی رفتار تابشی در شهرستان بم را دارا هستند، لکن برخی از آنها با تقریب بسیار خوبی برای منطقه مورد نظر پیشنهاد می‌شوند. با توجه به اینکه مقادیر تفاضلی درصد متوسط خطا (MPE) و متوسط خطای مبنا (MBE) صرفنظر از علامت، برای اکثر مدل‌ها مقادیر کم و نزدیک به هم دارند، لازم است تا برای انتخاب مدل‌های بهینه، سایر ضرایب آماری نیز بررسی شود. دو کمیت آماری دیگر ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-27]

و خطای استاندارد تخمین (SEE) هستند که حتماً دارای مقادیری مثبت بوده و در صورت نزدیکی مقدار به عدد صفر، از مدل‌های مورد نظر محسوب می‌شوند. بدین ترتیب، با ملاحظه جداول برای این دو کمیت، شاخص مناسبی برای تعیین مدل‌های بهینه به دست نمی‌آید. اما شاخص مهم دیگری که به‌دفعات از آن برای برازش غیرمستقیم بر داده‌ها استفاده می‌شود، ضریب رگرسیون (R) نام دارد که در صورت نزدیکی مقدار به عدد یک، معرف مدلی مناسب خواهد بود. با این توضیحات، نظر به جمیع مقادیر ضرایب محاسبه شده برای ۵۸ مدل مطروحه، برای ارزیابی کمّی شدت تابش خورشیدی در شهرستان بم، به‌ترتیب مدل‌های ۳۹(ج)، ۳۰، ۴۱، ۱۲(ب)، ۳۶(ب)، ۳۶(ج)، ۳۶(د)، ۵۴(الف)، ۵۴(ب) و ۵۳ پیشنهاد می‌گردند. لذا از این پس با توجه به تعداد و نوع کمیت‌های لازم برای برآورد شدت تابش در منطقه بم، امکان محاسبه آن در هر ماه از سال براساس مدل‌های مذکور امکان‌پذیر خواهد بود.

منابع

[1] A. A, 1921"Solar and terrestrial radiation," *Quart J Roy Met Soc*, Vols. 50:121-5.

[2] A. B, 1997. "Estimated monthly average global radiation for Turkey and its comparison with observations.," vol. 10:625–33,

[3] . J. Luhanga PVC, 1990. " Characteristic of solar radiation at Sebele, Gaborone, Botswana.," *Solar Energy* , vol. 44:71–81,

[4] B. K, 2007. "Estimation of global solar radiation on horizontal surface.," *Journal of Thermal Science and Technology*, vol. 27(1):7–11 ,

[5] B. M. H. C. Almorox J, 2005. "Estimation of monthly Angstro¨m–Prescottequation coefficients from measured daily data in Toledo, Spain.," *Renewable Energy*, vol. 30:931–6.,

[6] B. O. H. A. Aras H, 2006. "Global solar radiation Potential. Part 1. Model Development.," *Energy Sources Part B*, vol. 1:303–15.,

[7] B. W. Duffie JA, 1991., "Solar engineering of thermal process. New York," *Wiley*, pp. 35:44-50,

[8] C. A. Chegaar M, 2001. "Global solar radiation estimation in Algeria.," vol. 42:967–73.,

[9] C. W. Wong LT, 2001. "Solar radiation model," *Appl Energy* , vol. 69:191–224.,

[10] D. A. Ampratwum DB, 1999., " Estimation of solar radiation from the number of sunshine hours.," vol. 63:161–7

[11] E. A. Akinoglu BG, 1990. "A further comparison and discussion of sunshine based models to estimate global solar radiation.," *Energy* , vol. 15:865–72.

[12] E. A. T. E. Ogelman H, 1984. "A new method for estimating solar radiation from bright sunshine data," *Solar Energy* , vol. 33:619–25, p.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-27]

[13] E. S. Akpabio LE, 2003. "Relationship between global solar radiation and sunshine duration for Onne, Nigeria.," vol. 27:161–7.

[14] G. KK,1988. "A general formula for computing the coe • cients of the correlations connecting global solar radiation to sunshine duration.," *Solar Energy* , Vols. 41:499-502.,

[15] G. KK,1988. (, "Solar and Wind Technology," vol. 5:581.

[16] G. KK, 1988., " A general formula for computing the coe • cients of the correlations connecting global solar radiation to sunshine duration.," *Solar Energy* , Vols. 41:499-502.

[17] Hutchinson MF, Booth TH, McMahon JP, Nix HA, 1984. Estimating monthly mean values of daily total solar radiation for Australia. Solar Energy 32:277–90.

[18] H. A. Ulgen K2002., "Comparison of solar radiation correlations for Izmir, Turkey.," vol. 26:413–30.

[19] H. C. Almorox J, 2004. "Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain.," vol. 45:1529–35.

[20] H. S, "Neural Networks. New York:.," *MacMillan College Publishing Company,* 1994.

[21] I. SMA, 1985., "Predicted and measured global solar radiation in Egypt," *Solar Energy* , vol. 35:185–8.

[22] J. A. Benghanem M, 2007. "Multiple correlation between different solar parameters in Medina, Saudi Arabia.," *Renew Energy,* vol. 32:2424–35.

[23] J. P. Jain S, 1988. "A comparison of the Angstro¨m-type correlations and the estimation of monthly average daily global irradiation.," *Solar Energy* , vol. 40(2):93–8.

[24] J. PC,1986. "Global radiation estimation for Italian locations.," *Solar and Wind Technology* , Vols. 3(4):32-38.

[25] J. PC, 1990. "A model for diffuse and global irradiation on horizontal surface.," *Solar Energy,* vol. 45(5):301–8.

[26] K. A, 1983. "Solar radiation over Sudan—comparison of measured and predicted data," *Solar Energy* , vol. 31:45–53.

[27] K. R. Supit I1998., " A simple method to estimate global radiation," *Solar Energy* , vol. 63:147–60.

[28] L. G, 1992. " An empirical relation for estimating global irradiation for Tennessee.," *USA Energy Conversion and Management* , vol. 33(12):1097–9.

[29] L. M. Dogniaux R, 1983. "Classification of radiation sites in terms of different indices of atmospheric transparency," *Solar energy research and development in the European Community, Series F,* Vols. 2. Dordrecht, Holland: Reidel.

[30] M. CCY, 1984. " Iqbal M. Statistical comparison of solar radiation correlations.," *Solar Energy* , Vols. 33(2):143-8.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-27]

[31] M. M. A. T. Said R, 1998. "Estimation of global and diffuse radiation at Tripoli," vol. 14(1–4):221–7.

[32] M. M. Elagib AA, 2000 " New approaches for estimating global solar radiation across Sudan.," no. 41:419–34.

[33] N. FJ, 1988. "A study of solar radiation models for the coastal region of South China.," *Solar Energy,* vol. 31:227–35.

[34] N. G. P. P. S. G. Louche A, 1991. "Solar Energy," *Correlations for direct normal and global horizontal irradiation on a French Mediterranean site.* , vol. 46:261–6.

[35] O. A. Kilic A, 1983. "Solar energy. Istanbul: Kipas Yayincilik; [in Turkish],"

[36] O. E. Togrul IT, 1999. " A study for estimating solar radiation in Elazig using geographical and meteorological data.," vol. 40:1577–84.

[37] O. N. Ulgen K, 2000. "Measured and estimated global radiation on horizontal surface for Bornova, Izmir. XII.," vol. p. 113–18.

[38] O. S. Yildiz M, 1994. " Evaluation of the solar energy potential of Turkey. In: Proceedings of the 6th National Energy Congress [in Turkish]," vol. . p. 250–60.

[39] P. M. S. J. J. C. Benson RB, 1984. "Estimation of daily and monthly direct, diffuse and global solar radiation from sunshine duration measurements," *Solar Energy,* vol. 32:523–35.

[40] R. L. R. M. Hussain M, 1999., "Techniques to obtain improved predictions of global radiation from sunshine duration," *Renew Energy* , vol. 18:263–75.

[41] S. A, " Monthly specific Rietveld's correlations. 1990.," *Solar and Wind Technology,* vol. 7:305–8.

[42] S. A, 1990. "Monthly speci®c Rietveld's correlations," *Solar and Wind Technology* , Vols. 7:305-8.

[43] S. A, 1990. "Statistical comparison for 77 European stations of 7 sunshine-based models," *Solar Energy,* Vols. 45(6):365-70.

[44] S. A. Gopinathan KK1992., " A sunshine dependent global insolation model for latitudes between 608N and 708N.," *Renewable Energy* , vol. 2(4/5):401–4.

[45] S. A. Tahran S, 2005. ". Model selection for global and diffuse radiation over the Central Black Sea (CBS) region of Turkey.," *Energy Conversion andManagement* , vol. 46:605–13.

[46] S. L. E. K. J. Y. X. J. Rensheng C, 2006. "Estimating daily global radiation using two types of revised models in China.," *Energy Conversion and Management* , vol. 47:865–78.

[47] S. R. B. H. Bahel V, 1986. "Solar radiation for Dhahran, Saudi Arabia," *Energy,* vol. 11:985–9

[48] S. R. Tasdemiroglu E1991., "Estimation of monthly average daily, horizontal diffuse radiation in Turkey.," *Energy* , vol. 16:787–90.

[49] S. TDMA, 1991. "Estimation of global radiation for Sri Lanka.," *Solar Energy* , vol. 47:333–7.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-27]

[50] T. C. T. I. Tiris M, 1996. "Tiris M, Tiris C, Ture IECorrelations of monthly-average daily global, diffuse and beam radiations with hours of bright sunshine in Gebze, Turkey.," vol. 37:1417–21.

[51] T. C. Tiris M, 1997 "Analysis of solar radiation data for Gebze, Turkey.," vol. 38:179–86.

[52] T. H. Togrul IT, 2002. "Global solar radiation over Turkey: comparison of predicted and measured data.," vol. 25:55–67.

[53] T. J. Raja IA, 1990. "Distribution of global insolation over Pakistan," *Solar Energy* , vol. 44:63–71.

[54] T. J. Raja IA, 1990. "Diurnal variation of global insolation over five locations in Pakistan.," *Solar Energy* , vol. 44:73–6.

[55] U. Ahmad F, 2002. " Empirical models for the correlation of monthly average daily global solar radiation with hours of sunshine on a horizontal surface at Karachi, Pakistan.," *Turkish Journal of Physics* , vol. 28:301–7.

[56] Y. O. Ertekin C, 2000. "Comparison of some existing models for estimating global solar radiation for Antalya (Turkey).," vol. 41:311–30.

[57] Y. W. G. Y. Jin Z, 2005. "General formula for estimation of monthly average daily global solar radiation in China.," *Energy Conversion and Management* , vol. 46:257–68.

[58] Z. K, 1986."Estimation of the global solar radiation in Greece," *7:267– Solar Wind Technol 72.*

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-27]