

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

محمدحسین جهانگیر<sup>۱</sup>، کیوان سلطانی<sup>۲</sup>

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 هر یک 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 هر یک از آنها، با انجام آزمون‌های متعارف و با استفاده از کمیت‌هایی نظیر درصد متوسط خطا، متوسط خطای مینا، جذر میانگین مربعات خطا، خطای استاندارد تخمین و ضریب همبستگی صورت پذیرفت. بدین ترتیب، کلیه ارقام مقایسه‌ای محاسبه شده در جدولی طبقه‌بندی شدند. 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

mh.jahangir@ut.ac.ir  
keyvan.soltani@ut.ac.ir

(۱) استادیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران. (نویسنده مسئول)  
(۲) دانشجوی ارشد مهندسی طبیعت، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

## 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، در صورت 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 هم 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]. پیچ (Page) و دیگران روشی برای تخمین میزان تابش روزانه خورشید بر روی سطح افقی نسبت به تابش فرازمینی پیشنهاد کردند که به صورت زیر بیان می‌گردد [۹]:

$$\frac{H}{H_0} = a + b \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (1)$$

که در آن،  $H$  متوسط ماهانه تابش کلی خورشید در یک روز،  $H_0$  متوسط ماهانه تابش فرازمینی،  $S$  متوسط ساعات تابش روزانه در ماه،  $S_0$  متوسط طول یک روز در ماه و همچنین  $a$  و  $b$  ضرایب تجربی هستند. میزان متوسط ماهانه تابش فرازمینی در یک روز ( $H_0$ ) را می‌توان با استفاده از معادله (۲) محاسبه نمود [۷]:

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

که در آن،  $I_{sc}$  ثابت آفتاب ( $1353 \text{ Wm}^{-2}$ )،  $\varphi$  عرض جغرافیائی سایت،  $\delta$  زاویه انحراف خورشید،  $\omega_s$  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 به ترتیب توسط روابط زیر قابل محاسبه می‌باشند [۱]:

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360(D+248)}{365} \right] \quad (3)$$

$$\omega_s = \cos^{-1} [-\tan(\delta) \tan(\varphi)] \quad (4)$$

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

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

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]. مدل ۱: گلاور و مک کولچ<sup>۱</sup> رابطه‌ای را پیشنهاد کردند که به عرض جغرافیائی محل بستگی دارد و برای  $\varphi < 60^\circ$  معتبر است [۴۳]. مدل ۲: پیچ<sup>۲</sup> برای مدل اصلاح شده آنگستروم ضرایبی را ارائه نمود و معتقد بود که برای هر مکانی در جهان قابل استفاده است [۴۲]. مدل ۳: ریتولد<sup>۳</sup> نیز چندین مقدار نظیر روابط زیر را برای ضرایب  $a$  و  $b$  تجربه نمود [۷]. مدل ۴: ایکبال<sup>۴</sup> نیز از داده‌های بدست آمده از سه مکان مختلف در کانادا رابطه عددی را پیشنهاد نمود [۳۰]. مدل ۵: باخیرچی<sup>۵</sup> برای مدل پایه آنگستروم، روابطی به شکل خطی، درجه دوم و درجه پنج بین مقادیر متوسط ماهانه ( $H/H_o$ ) و ( $S/S_o$ ) ارائه نمود [۱]. مدل ۶: کیلیک و اوزترک<sup>۶</sup> نیز ضرایب  $a$  و  $b$  را به صورت تابعی از زاویه انحراف تابش ( $\delta$ ) و هر دو مقدار  $\varphi$  و  $Z$ ، توسط روابطی تعیین کردند [۳۵]. مدل ۷: لوئیز<sup>۷</sup> رابطه خطی برازش داده شده را برای تخمین تابش روزانه خورشید برای سه ایستگاه در زیمباوه به دست آورد [۲۷]. مدل ۸: خولاگی و همکاران<sup>۸</sup> رابطه‌ای را از اطلاعات اندازه‌گیری شده در سه ایستگاه مختلف در یمن به دست آوردند [۲۶]. مدل ۹: دونیاکس و

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

لموین<sup>۱</sup> روابطی را پیشنهاد کردند که براساس آن ضرایب رگرسیون  $a$  و  $b$  به شکل تابعی از متوسط متغیر  $\rho$  در هر ماه، به نظر می‌رسد، لذا می‌توان برای هر ماه از سال یک رابطه مستقل ارائه نمود [۲۹، ۳۰]. مدل ۱۰: پِنسون و همکاران<sup>۲</sup> براساس کمیت‌های آب و هوایی، دو رابطه متفاوت برای دو بازه زمانی در یک سال پیشنهاد کردند [۳۹]. مدل ۱۱: اوگلمن و همکاران<sup>۳</sup> ارتباط کمیت  $H/H_0$  با  $S/S_0$  را توسط رابطه چند جمله‌ای از مرتبه دوم برقرار کردند [۱۲]. مدل ۱۲: ابراهیم<sup>۴</sup> ابراهیم<sup>۴</sup> روابط زیر را جهت پیش‌بینی انتشار روزانه تابش خورشید برای قاهره در مصر به دست آورد [۲۱]. مدل ۱۳: باهیل و همکاران<sup>۵</sup> نیز رابطه عددی را برای برآورد شدت تابش پیشنهاد کردند [۴۰]. مدل ۱۴: زابارا<sup>۶</sup> 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 ( $S_0$ ) در هر ماه پیشنهاد نمود [۵۸]. مدل ۱۵: چین<sup>۷</sup> 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]. مدل ۱۶: السعد<sup>۸</sup> از معادله آنگستروم برای پیش‌بینی متوسط ماهانه تابش کلی خورشید در یک روز برای امان در اردن به شکل زیر استفاده نمود [۱۴]. مدل ۱۷: همچنین باهیل براساس ساعات تابش آفتاب از داده‌های ۴۸ ایستگاه در سرتاسر جهان با شرایط جوی متفاوت و توزیع جغرافیایی گسترده، یک معادله کلی ارائه داد [۱۶، ۴۷]. مدل ۱۸: گوپیناتان<sup>۹</sup> معتقد بود که ضرایب  $a$  و  $b$  تابعی از کمیت  $S/S_0$  و عرض جغرافیایی سایت ( $Z$ ) می‌باشد [۱۵]. مدل ۱۹: گوپیناتان رابطه‌ای را نیز براساس کمیت  $Z$  ارائه نمود که در آن،  $Z$  ارتفاع از سطح دریا برحسب کیلومتر است [۲]. مدل ۲۰: گوپیناتان روابط داده‌های تجربی برای سه ایستگاه در هند به دست آورد [۱۴]. مدل ۲۱: چین و چین<sup>۱۰</sup> با استفاده از معادله بدست آمده، میزان تابش کلی خورشید بر هشت محل در زامبیا را پیش‌بینی نمود [۳۲، ۳۳]. مدل ۲۲: نیولند<sup>۱۱</sup> نیز رابطه‌ای لگاریتمی برای محاسبه شدت تابش پیشنهاد نمود [۱۹]. مدل ۲۳: سولر<sup>۱۲</sup> برای هر ماه یک معادله نظیر مدل آنگستروم ارائه داد [۴۱]. مدل ۲۴: لوانگا و آندرینگا<sup>۱۳</sup> مدلی جهت این برآورد پیشنهاد دادند [۳]. مدل ۲۵: راجا و توویدل<sup>۱۴</sup> روابطی را با استفاده از اطلاعات پنج در پاکستان و با در نظر گرفتن اثر عرض جغرافیایی  $\rho$ ، تهیه کردند [۱۰، ۵۴]. مدل ۲۶: آکین‌اوغلو و اِکویت<sup>۱۵</sup> 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

چندجمله‌ای درجه دوم برای ترکیه به دست آوردند [۱۱]. مدل ۲۷: چین<sup>۱</sup> نتایج تحلیل برازش خطی حاصل از داده‌های اندازه‌گیری شده برای سه محل<sup>۲</sup> شرح داد [۲۵]. مدل ۲۸: ساموئل<sup>۳</sup> نسبت تابش کلی خورشید به تابش فرازمینی را به صورت به صورت تابعی از نسبت مدت زمان تابش بیان کرد [۴۹]. مدل ۲۹: تاس‌دمیراوغلو و سیور<sup>۴</sup> روابطی را برای کل ترکیه ارائه کردند [۴۸]. مدل ۳۰: همچنان<sup>۵</sup> روابطی بین تاس‌دمیراوغلو و سیور رابطه‌ای بین  $(H/H_0)$  و  $(S/S_0)$  از نوع چندجمله‌ای مرتبه دوم برای شش مکان مختلف در ترکیه<sup>۶</sup> پیشنهاد کردند [۲۸]. مدل ۳۱: لوچ و همکاران<sup>۷</sup> مدلی را برای تخمین تابش کلی آفتاب ارائه نمودند [۴۸، ۵۰]. مدل ۳۲: لوئیز<sup>۸</sup> یک معادله خطی و یک معادله چند جمله‌ای درجه سه بین مقادیر متوسط ماهانه  $(H/H_0)$  و  $(S/S_0)$  برای مکان‌هایی در ایالت تینیسی آمریکا پیشنهاد کرد [۳۳]. مدل ۳۳: گوپیناتان و سولر یک معادله خطی برای مکان‌هایی با عرض جغرافیایی مابین  $60^\circ N$  و  $70^\circ N$  ارائه کردند [۴۴]. مدل ۳۴: ویبران و کومار<sup>۹</sup> رابطه‌ای خطی برای تخمین مقدار متوسط ماهانه تابش کلی خورشید در دو منطقه استوائی<sup>۱۰</sup> در هند به دست آوردند [۲۰]. مدل ۳۵: ایبلدیز و اوز<sup>۱۱</sup> با کمک اطلاعات اندازه‌گیری شده از پنج ایستگاه در مکان‌های متفاوت در ترکیه، رابطه زیر را ارائه دادند [۳۸]. مدل ۳۶: تیریس و همکاران<sup>۱۱</sup> نیز روابط عددی را ارائه کردند [۵۰]. مدل ۳۷: آکسوی<sup>۱۲</sup> 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  $(H/H_0)$  و  $(n/N)$  برای آنکارا، آنتالیا، سمسان، کونیا، اورفا و ازمیر در ترکیه به دست آورد [۲]. مدل ۳۸: تیریس و تیریس<sup>۱۳</sup> روابط زیر را از اطلاعات مورد سنجش در قیز<sup>۱۴</sup> واقع در ترکیه برای یک دوره از ژانویه ۱۹۸۴ تا دسامبر ۱۹۹۲ استخراج کردند [۵۱]. مدل ۳۹: سعید و همکاران<sup>۱۵</sup> معادلاتی را برای پیش‌بینی متوسط ماهانه تابش و انتشار آفتاب بر روی یک سطح افقی در تریپولی<sup>۱۶</sup> واقع در لیبی، به دست آوردند [۳۱]. مدل ۴۰: امپراتوم و دورولو<sup>۱۷</sup> 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

سیب (Seeb) در عمان پیشنهاد کردند [۱۰] مدل ۴۱: طغرل و اونات<sup>۱</sup> روابطی را برای پیش‌بینی متوسط تابش خورشید در یک ماه ( $H$ ) برای ایلازیگ<sup>۲</sup> در ترکیه ارائه دادند [۳۲]. مدل ۴۲: اولجین و اوزبالتا<sup>۳</sup> معادلات خطی و درجه دومی را برای ازمیر<sup>۴</sup> در ترکیه پیشنهاد دادند [۳۷]. مدل ۴۳: یرتکین و یالدیز<sup>۵</sup> یک رابطه چندجمله‌ای برای شهر آنتالیا در ترکیه پیشنهاد کردند [۵۶]. مدل ۴۴: ایلاجیب و مانسیل<sup>۶</sup> امکان برقراری رابطه‌ای برای تعیین میزان ماهانه تابش کلی آفتاب در سودان را ارزیابی کردند. این محققین بهترین معادلات عملی را به ازای هر ماه ارائه نمودند [۳۲، ۵۳]. مدل ۴۵: کچار و کیسانی<sup>۷</sup> دو مدل جهت ارزیابی متوسط ماهانه تابش بر روی یک سطح افقی در طول یک روز، پیشنهاد کردند [۸]. مدل ۴۶: اولجین و هپباسلی<sup>۸</sup> روابط تجربی زیر را جهت تخمین  $H$  برای شهر ازمیر در ترکیه ارائه نمودند [۱۸]. مدل ۴۷: طغرل و طغرل<sup>۹</sup> معادلاتی را پیشنهاد کردند که از رابطه بین  $H/H_0$  و  $S/S_0$  به وسیله اعمال انواع برازش‌های متفاوت برای آنکارا، ازمیر، آیدین، آدانا و ایلازیگ<sup>۱۰</sup> در ترکیه به دست آمده‌اند [۵۱، ۵۲، ۵۵]. مدل ۴۸: آکپابو و اتوک<sup>۱۱</sup> با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده نظیر تابش کلی خورشید و مدت زمان تابش آفتاب در دوره زمانی ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۹ در منطقه جنوبی نیجریه، یک رابطه از نوع معادله آنگستروم ارائه کردند [۱۳]. مدل ۴۹: اولجین و هپباسلی<sup>۱۲</sup> معادلاتی را به صورت روابط خطی و چندجمله‌ای درجه سوم برای آنکارا، استامبول و ازمیر در ترکیه پیشنهاد کردند [۴۸ و ۵۰]. مدل ۵۰: آلموروکس و هونتوریا<sup>۱۳</sup> نیز رابطه‌ای نمایی را پیشنهاد نمودند [۱۹]. مدل ۵۱: احمد و اُلفت<sup>۱۴</sup> برای کراچی در پاکستان معادلاتی به صورت چندجمله‌ای از مرتبه اول و دوم پیشنهاد دادند [۵]. مدل ۵۲: باخیرچی<sup>۱۵</sup> معادلاتی جهت تخمین تابش کلی خورشید برحسب ساعات آفتابی در اورزورم<sup>۱۶</sup>، ارائه نمود [۱۳]. مدل ۵۳: آلموروکس و همکاران<sup>۱۷</sup> معادلاتی برای محاسبه تابش کلی خورشید برحسب ساعات آفتابی برای تولید در اسپانیا ارائه نمودند [۵]. مدل ۵۴: تاهران و ساری<sup>۱۸</sup> دو مدل برای پیش‌بینی تابش خورشید بر روی منطقه دریای سیاه در ترکیه به صورت عبارات چندجمله‌ای از درجات دو و سه ارائه کرده‌اند [۴۵]. مدل ۵۵:

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) Elazig

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) Tahrán and Sari

چین و همکاران<sup>۱</sup> 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]. مدل ۵۶: آراس و همکاران<sup>۲</sup> معادلاتی خطی و چندجمله‌ای جهت استفاده عمومی برای دوازده منطقه در محدوده آناتولی مرکزی در ترکیه ارائه کردند [۶]. مدل ۵۷: رن‌شنگ و همکاران<sup>۳</sup> برپایه مدل آنگستروم و مدل باهل، 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]. مدل ۵۸: 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 به صورت 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 به صورت 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 پیچ 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 کاملاً 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

### 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 اقلیم‌شناسی 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 طوری که 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 [۶۲-۷۴]. درصد متوسط خطا (MPE)، متوسط خطای مینا (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 به شرح 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	-۰/۱۵۰	-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	۱۳/۳۴۹
R	-۰/۸۹۲	-۰/۸۹۱	-۰/۸۹۸۹	-۰/۱۳۲	-۰/۰۲۳	-۰/۸۲۲	-۰/۹۰۰	-۰/۸۸۰	-۰/۸۹۸۵

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	۱۵/۱۲۳	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

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	۱۳/۱۷۲	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	۱۳/۲۲۳	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

جدول (۱۰) مقادیر محاسبه شده 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
<i>MPE</i>	-۰/۵۸۷	-۰/۶۰۸	-۰/۴۰۰	-۰/۸۰۳	-۰/۸۰۶	-۰/۵۷۶	-۰/۳۸۷	-۰/۵۴۷	-۰/۴۴۳
<i>MBE</i>	۸/۷۶۴	۹/۱۳۷	۶/۰۳۵	۱۲/۳۷۵	۱۲/۳۵۴	۸/۷۶۴	۲۱/۲۲۳	۸/۳۰۹	۲۲/۱۰۹۹
<i>RMSE</i>	۹/۱۸۰	۹/۵۹۸	۶/۶۵۲	۱۲/۹۹۶	۱۳/۰۹۷	۹/۴۱۰	۲۲/۰۴۱	۸/۹۳۷	۲۲/۹۷۸
<i>SEE</i>	۱۰/۰۵۶	۱۰/۵۱۴	۷/۲۸۶	۱۴/۲۳۷	۱۴/۳۴۸	۱۰/۳۰۸	۲۴/۱۴۵	۹/۷۹۰	۲۵/۱۷۱
<i>R</i>	-۰/۹۰۱	-۰/۹۰۰	-۰/۸۸۸	-۰/۸۸۵	-۰/۸۸۴	-۰/۸۸۶	-۰/۸۹۵	-۰/۸۸۷	-۰/۸۹۳

جدول (۱۱) مقادیر محاسبه شده 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
<i>MPE</i>	-۰/۴۱۱	-۱/۷۸۱	-۰/۷۷۸	-۰/۷۸۷	-۰/۷۷۴	-۰/۷۳۱	-۰/۶۱۴	-۰/۷۱۱	-۱/۲۴۸
<i>MBE</i>	۶/۰۹۳	۲۷/۶۵۷	۱۱/۸۱۷	۱۱/۹۸۶	۱۱/۷۰۹	۱۱/۱۵۳	۹/۳۴۹	۱۰/۸۲۸	۱۹/۰۹۳
<i>RMSE</i>	۶/۵۶۰	۲۹/۱۳۴	۱۲/۳۹۵	۱۲/۵۹۴	۱۲/۲۴۶	۱۱/۸۰۴	۹/۹۷۹	۱۱/۴۶۴	۱۹/۸۵۸
<i>SEE</i>	-۰/۸۱۰	۳۱/۹۱۵	۱۳/۵۷۸	۱۳/۷۹۶	۱۳/۴۱۴	۱۲/۹۳۰	۱۰/۹۳۲	۱۲/۵۵۹	۲۱/۷۵۳
<i>R</i>	-۰/۸۹۷	-۰/۸۷۳	-۰/۸۹۵	-۰/۸۹۳	-۰/۸۹۵	-۰/۸۸۸	-۰/۸۸۷	-۰/۸۸۹	-۰/۸۹۴

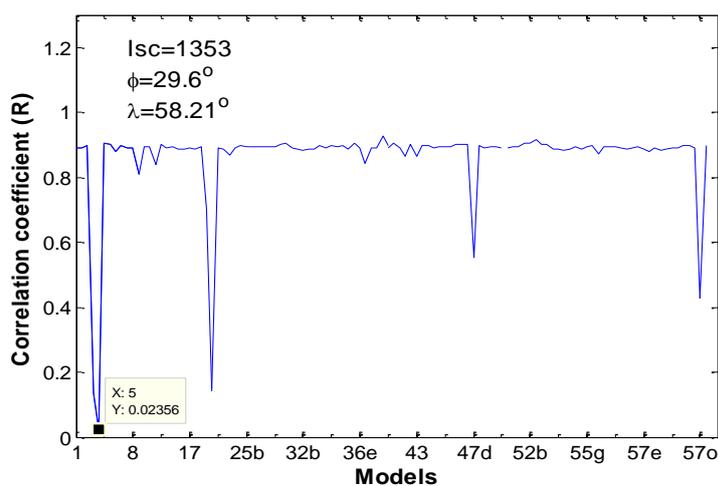
جدول (۱۲) مقادیر محاسبه شده ضرایب رگرسیون برای مدل‌های تابشی ۵۷ (هـ) الی ۵۷ (م)

شماره مدل	۵۷ هـ	۵۷ و	۵۷ ز	۵۷ ح	۵۷ ط	۵۷ ی	۵۷ ک	۵۷ ل	۵۷ م
<i>MPE</i>	-۰/۵۹۷	-۰/۷۱۷	-۰/۸۲۹	-۰/۵۸۰	-۰/۳۷۶	-۰/۶۱۶	-۰/۷۹۷	-۰/۳۳۳	-۰/۳۶۰
<i>MBE</i>	۹/۰۷۸	-۱۱/۲۲۶	۱۲/۶۵۰	۸/۸۴۵	۲۱/۲۰۱	۹/۲۸۸	۱۲/۱۷۰	۲۰/۴۲۲	۲۰/۸۲۶
<i>RMSE</i>	۹/۷۰۸	۱۱/۷۱۹	۱۳/۳۰۰	۹/۵۰۸	۲۲/۱۹۷	۱۰/۰۳۵	۱۲/۸۳۵	۲۱/۲۳۱	۲۱/۶۴۲
<i>SEE</i>	۱۰/۶۳۵	۱۲/۸۳۸	۱۴/۵۶۹	۱۰/۴۱۵	۲۴/۳۱۶	۱۰/۹۹۳	۱۴/۰۶۰	۲۳/۲۵۸	۲۳/۷۰۸
<i>R</i>	-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

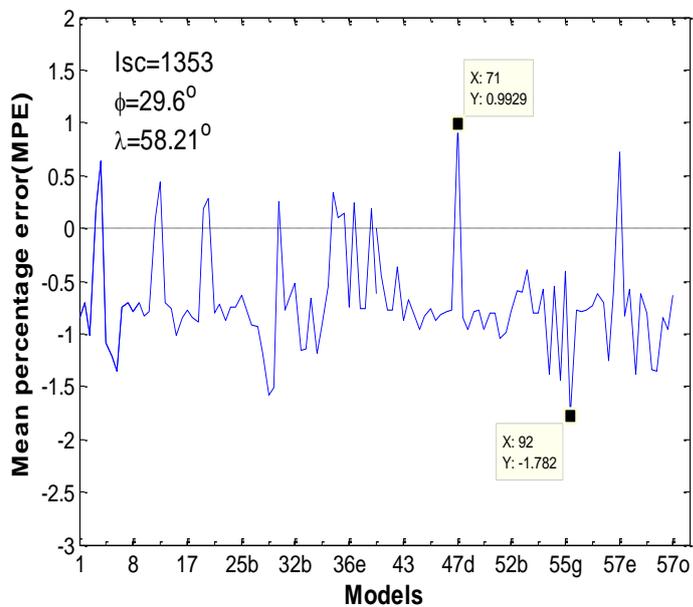
شماره مدل	۵۷ ن	۵۸
<i>MPE</i>	-۰/۸۵۱	-۰/۶۳۱
<i>MBE</i>	۱۲/۹۹۹	۹/۵۳۲
<i>RMSE</i>	۱۳/۶۷۰	۱۰/۰۳۶
<i>SEE</i>	۱۴/۹۷۵	۱۰/۹۹۴
<i>R</i>	-۰/۸۸۹	-۰/۸۹۸

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

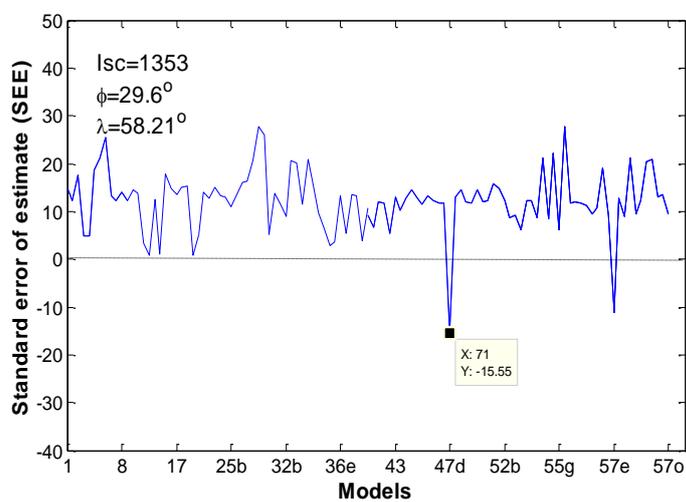


شکل (۱) مقادیر ضریب همبستگی محاسبه شده برای مدل‌ها برای پارامترهای مشخص شده

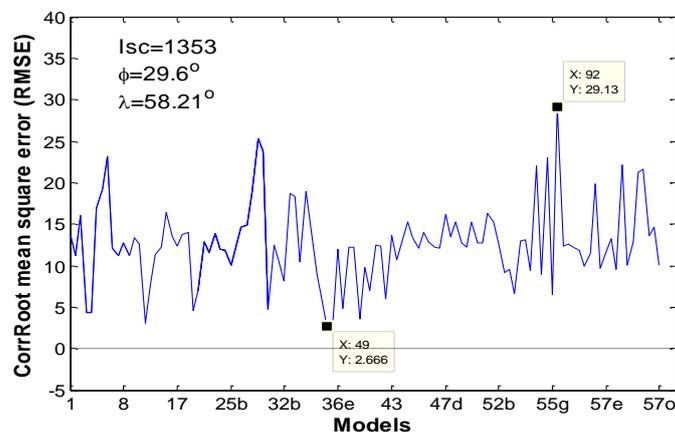
مطابق شکل فوق، درصد خطای استاندارد (R) برای کلیه مدل‌های ارائه شده برای شدت تابش خورشیدی متناظر با رابطه تجربی پیشنهادی نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد برای مدل‌هایی که به طور مستقل برای هر ماه یک رابطه مجزا ارائه شده، نتایج بهتری به دست آمده است و برای سایر مدل‌ها مقدار خطای محاسباتی از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



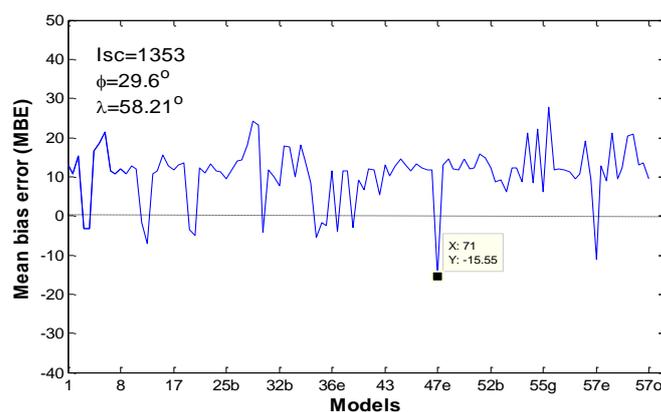
شکل ۲) مقادیر تفاضلی درصد متوسط خطای محاسبه شده برای مدل‌ها (MPE)



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



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



شکل ۵) مقادیر متوسط خطای مینا (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 همستگی جهت بهتر نمایش دادن نمودارها حذف گردیده است.

### نتیجه‌گیری

همان‌طور که 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 بزم 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 مینا ( $MBE$ ) 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 ( $RMSE$ )

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 به دفعات 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 جمع مقادیر ضرایب محاسبه شده برای ۵۸ مدل مطروحه، برای ارزیابی کمی شدت تابش خورشیدی در شهرستان بم، به ترتیب مدل‌های ۳۹(ج)، ۳۰، ۴۱، ۱۲(ب)، ۳۶(ب)، ۳۶(ج)، ۵۴(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 Angstrom-PreScott equation 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.

- [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 coefficients 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 coefficients 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 Angstrom-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.

- [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. Tahrn S, 2005. ". Model selection for global and diffuse radiation over the Central Black Sea (CBS) region of Turkey.," *Energy Conversion and Management* , 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.

- [50] T. C. T. I. Tiris M, 1996. "Tiris M, Tiris C, Ture IE Correlations 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.