روشی نوین جهت پیش بینی کلی تابش خورشیدی بر روی سطح افقی

هاجر باقری طولابی [۱]، محمدحسن مرادی [۲]، سحر باقری طولابی [۳]

تاریخ دریافت مقاله:
۱۳۹۱/۱۲/۱۳
تاریخ پذیرش مقاله:
۱۳۹۲/۰۳/۳۰

چکیده:

میزان تابش خورشید، مهم ترین پارامتر جهت طراحی و توسعه سیستم های مختلف انرژی خورشیدی است. به منظور برآورد تابش خورشیدی، مدل های مختلفی توسط محققان پیشنهاد شده اند که لزوم نصب تجهیزات گران قیمت را در ایستگاه های هواشناسی مرتفع می سازند. معروفترین این مدل ها مدل انگسترم است. به دلیل ساختار غیرخطی و وابسته به پارامترهای محیطی این مدل ها، تکنیک های حل قدرتمندی مورد نیاز است. در این مقاله، روش جدیدی جهت برآورد متوسط روزانه تابش خورشیدی در ماه بر روی سطح افقی، بر مبنای مدل آنگسترم و با استفاده از الگوریتم زنبورها با برنامه نویسی در محیط نرم افزار MATLAB معرفی شده است. ضرایب تجربی مدل آنگسترم برای چهار منطقه آب و هوایی مختلف ایران در محیط نرم افزار محاسبه شده و مقدار متوسط روزانه تابش کلی خورشید تخمینی با روش پیشنهادی در ماه برای مناطق نمونه ارائه شده است . مقایسه بین نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی و روش های دیگر، کارایی تکنیک پیشنهادی را برای پیدا کردن تابش خورشیدی برای هر چهار منطقه نمونه ایران ثابت می‌کند.

کلمات کلیدی:
الگوریتم زنبورها، تابش کلی خورشیدی ، معادله آنگسترم، تکنیک های رگرسیون آماری ، تکنیک های هوشمند

۱) عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد (نویسنده مسئول) hajar.bagheri@ieee.org
۲) عضو هیئت علمی دانشگاه بوعلی سینا mh-moradi@yahoo.co.uk
۳) دانشگاه تربیت مدرس

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

مقدمه

میزان تابش کلی خورشیدی[1] (GSR)، مهم‌ترین پارامتر جهت طراحی و توسعه سیستم های مختلف انرژی خورشیدی است [24]. مفهوم میزان تابش کلی به این معناست که در طول یک دوره زمانی خاص، چه مقدار از انرژی خورشید در برخورد با یک سطح افقی در یک منطقه جذب می شود [26 ,1]. در کشورهای در حال توسعه، اندازه گیری مستقیم GSR معمولا در سایت های اندکی انجام می‌شود، زیرا در این کشورها تعداد ایستگاه های هواشناسی محدود است و علاوه بر آن، تجهیزات گران قیمتی جهت حصول مستقیم میزان تابش خورشیدی مورد نیاز می باشد [9].

به منظور غلبه بر این مشکل، تاکنون مطالعات بسیاری با هدف پیش بینی میزان تابش خورشیدی با استفاده از پارامترهای جغرافیایی و هواشناسی از قبیل حداقل و حداکثر دما، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی، ارتفاع، میزان بارش باران، سرعت باد و غیره، توسط محققان انجام شده است [6]. این مطالعات منجر به ارائه مدل های مختلفی به منظور ارزیابی تابش خورشیدی گردیده است[2]. آنگسترم [3] اولین رابطه تجربی را برای برآورد GSR بر اساس ساعات آفتابی در مدت زمان طولانی پیشنهاد داد. پرسکات [19] مدل آنگسترم را ارتقاء داد و مدل پیشنهادی او تحت عنوان مدل آنگسترم–پرسکات شناخته می شود. پیج [16] ضرایب مدل آنگسترم –پرسکات را به نحوی ارائه کرد که در همه جای دنیا قابل استفاده باشد. بهل و همکارانش [4] یک رابطه کلی را بر اساس داده های تابش و ساعات آفتابی برای ۴۸ ایستگاه ، با شرایط جغرافیایی و هواشناسی مختلف در سراسر جهان توسعه دادند. یک مدل جدید وابسته به زمان نیز توسط یاباوا و همکارش [28] در سال ۱۹۹۰مطرح شد. در پژوهش نینومیا [14] اثر روزهای بارانی نیز در نظر گرفته شده است. بوهاری و همکارانش [7] یک مدل برآورد تابش خورشیدی را با ضرایب رگرسیون خاص برای منطقه بوچی مورد استفاده قرار دادند. شاندل و همکارانش [8] مدلی را بر اساس درجه حرارت پیشنهاد کردند. چندین مدل چند پارامتری دیگر نیز توسط توربی و همکارانش[25] ، اوجز و کاملوف [15]، و گارگ و گارگ[10] ارائه شده اند.

با توجه به ماهیت پیچیده ، غیرخطی و وابسته به پارامترهای جوی تابش خورشیدی، تکنیک های حل قدرتمندی مورد نیاز است. به طورکلی، این راه حل‌ها را می توان در دو گروه طبقه بندی نمود: تکنیک های رگرسیون آماری[2] (SRTs) و روش های هوشمند. در رده راه حل های مبتنی بر رگرسیون آماری، زابارا [29]، ساموئل [20]، نیولند[13]، یزدان پناه [27]، شیومداهوی و ساموئل [22] به برآورد تابش خورشیدی بر اساس مدل های تجربی ذکر شده در بالا و یا مدل های پیشنهادی جدید در مناطق مختلف جهان پرداختند. در گروه تکنیک های هوشمند، ملیت و همکارانش [12] یک مدل شبکه عصبی مصنوعی برای پیش بینی داده های تابش خورشیدی را با کاربرد سایزینگ سیستم فتوولتائیک

1) Global Solar Radiation
2) Statistical Regression Techniques

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

مستقل ارائه کردند. مطالعات دیگر در این رده شامل یک مدل فازی برای پیش بینی تابش خورشیدی [11]، بهینه سازی الگوریتم ژنتیک شبکه عصبی موجک برای پیش بینی روزانه تابش خورشیدی [26] و یک مدل جدید برای پیش بینی GSR با استفاده از تکنیک بهینه سازی اجتماع ذرات[1] (PSO) [5] می باشند.

در این مطالعه، از ترکیب الگوریتم زنبورها[2] (BA) به عنوان یک تکنیک هوشمند اکتشافی جدید و مدل تجربی آنگسترم، به منظور برآورد GSR متوسط روزانه در ماه بر روی سطح افقی استفاده شده است و برنامه تهیه شده در محیط نرم افزار مطلب بر روی چهار شهر با وضعیت های آب و هوایی مختلف در کشور ایران آزمایش شده است. در ادامه، به معرفی الگوریتم زنبورها و جزئیات روش پیشنهادی به منظور محاسبه ضرایب تجربی مدل آنگسترم پرداخته خواهد شد و در انتها، نتایج بدست آمده حاصل از اعمال تکنیک جدید پیشنهادی بر روی مناطق نمونه و مقایسه های لازم ارائه خواهند شد.

الگوریتم زنبورها

در طبیعت، مجموعه ای از زنبورهای عسل می توانند خود را به فواصل دور رسانده و در جهت های مختلف و به طور همزمان ازمنابع غذایی استفاده کنند. این مجموعه با فرستادن زنبورهای جستجوگر به سمت منابع مناسب تر گسترش می‌یابد. دراین فرایند، گل‌های با شهد بالا میزبان زنبورهای بیشتر و گل های با شهد کمتر شاهد زنبورهای کمتری خواهند بود . زنبورهای بازرس آغازگر فرایند جستجو در یک مجموعه هستند. زنبورهای بازرس به صورت تصادفی از یک گلزار به سمت گلزار دیگر حرکت کرده و پس از کسب اطلاعات از آنها، به کندو برگشته و شروع به تبادل اطلاعاتی از قبیل جهت گلزار و مسافت کندو تا گلزار می کنند[18 ,17].

الگوریتم زنبورها یک الگوریتم جستجوی جدید بر مبنای جمعیت می‌باشد که در سال ۲۰۰۵ توسعه یافت. این الگوریتم از رفتار مجموعه زنبورهای عسل در جستجوی غذا الهام گرفته شده است و نوعی جستجوی همسایگی تصادفی را انجام می دهد که در مسائل بهینه سازی مورد استفاده قرار می گیرد[21]. مراحل یافتن جواب بهینه توسط الگوریتم زنبورعسل به شرح زیر خلاصه شده است:

- ایجاد مجموعه جواب اولیه.
- بررسی برازندگی مجموعه جواب های اولیه.
- تکرار حلقه زیر تا حصول شرط توقف:

1) Particle Swarm Optimization
2) Bees Algorithm

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

- ایجاد یک مجموعه جدید همسایگی به منظور یافتن جواب های جدید.
- انتخاب مکان ها برای جستجوی همسایگی.
- استخدام زنبورها برای مکان های انتخاب شده.
- انتخاب بهترین زنبور (به لحاظ برازندگی) از هر بسته.
- اضافه نمودن زنبورهای باقیمانده برای جستجوی تصادفی و بررسی برازندگی آنها و مقایسه جواب های قدیم و جدید.
- پایان حلقه.

الگوریتم با وارد کردن n زنبور بازرس به صورت تصادفی در فضای جستجو شروع می شود. برازندگی مکان های رویت شده توسط n زنبور بازرس بررسی می گردد. زنبورهای با بالاترین مقادیر برازندگی به عنوان زنبورهای منتخب انتخاب شده و مکان های مشاهده شده توسط آنها جهت جستجوی همسایگی مشخص می گردند. در مراحل بعد، الگوریتم عملیات جستجو را به همسایگی مکان های انتخاب شده هدایت می‌کند. همان طور که ذکر گردید زنبورها بر اساس میزان برازندگی مکانه ای رویت شده توسط آنها انتخاب می شوند و الگوریتم از مقادیر برازندگی مربوطه جهت بررسی مکان های برتر استفاده می‌کند [18, 21].

پارامترهای موجود در این الگوریتم عبارتند از:

n: تعداد زنبورهای بازرس.

m: تعداد مکان های منتخب از میان مکان های مشاهده شده توسط زنبورهای بازرس.

e: تعداد مکان های برتر از میان m مکان منتخب.

nep: تعداد زنبورهای استخدام شده برای e مکان منتخب.

nsp: تعداد زنبورهای استخدام شده برای m-e مکان باقیمانده.

ngh: اندازه بسته گل (شعاع همسایگی در جستجوی تصادفی).

روش جدید پیشنهادی بر مبنای مدل انگسترم و الگوریتم زنبورها

در این مقاله، با برنامه نویسی در نرم افزار MATLAB، از الگوریتم زنبورها به منظور برآورد متوسط روزانه GSR در ماه بر روی سطح افقی و محاسبه ضرایب مدل آنگسترم استفاده شده است. ایران یک کشور وسیع با آب و هوای متنوع است و بر این اساس، انتخاب چهار شهر از مناطق مختلف آن جهت آزمایش روش ارائه شده ، می تواند یک معیار مناسب به منظور ارزیابی روش پیشنهادی باشد. این مناطق نمونه عبارتند از: تبریز، همدان، خور–بیابانک و مشهد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

موقعیت جغرافیایی چهار منطقه مورد نظر بر روی نقشه ایران در شکل ۱ نشان داده شده است. همه داده های مورد نیاز این چهار شهر شامل حداقل و حداکثر دما، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی، ارتفاع و ...، از سازمان هواشناسی ایران تهیه شده است. جدول (۱) پاره ای از اطلاعات چهار شهر در نظر گرفته شده در این مطالعه را نشان می دهد. در این جدول، اطلاعات مربوط به طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و بازه زمانی جمع آوری داده ها برای چهار منطقه نمونه ارائه شده اند. اطلاعات جمع آوری شده به دو گروه دوره گردآوری و دوره اعتبارسنجی تفکیک شده اند که در این مقاله به ترتیب داده های نوع ۱ و نوع ۲ نامیده می شوند. اطلاعات هر دو بازه جمع آوری داده ها در جدول (۱) ارائه شده اند. همان طور که در این جدول دیده می شود، محدوده جمع آوری داده ها برای رسیدن به نتایج معنی دار به اندازه کافی بزرگ است. هدف از این مطالعه، محاسبه ضرایب مدل آنگستروم و پیش بینی متوسط روزانه GSR در ماه بر روی یک سطح افقی، برای مناطق نمونه با کمک الگوریتم زنبورها و پیاده سازی آن در محیط نرم افزار مطلب است. مدل تابش خورشیدی آنگستروم [3] در معادله (۱) ارائه شده است.

جدول ۱) اطلاعات مناطق نمونه

نام شهر	طول جغرافیایی ° E	عرض جغرافیایی ° N	ارتفاع(m)	بازه زمانی جمع آوری داده نوع ۱	بازه زمانی جمع آوری داده نوع ۲
همدان	48.53	34.87	1741.5	1985 -2001	2002-2005
خور- بیابانک	55.08	33.78	845.0	1988-2001	2002-2005
مشهد	59.63	36.27	999.2	1980-2000	2001-2003
تبریز	46.28	38.08	1361.0	1987 -2001	2002-2005



شکل ۱) موقعیت جغرافیایی چهار شهر نمونه بر روی نقشه ایران

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

$$\frac{H}{H_O} = A + B(\frac{S}{S_O}) \quad (۱)$$

که در آن:

H : متوسط تابش روزانه در هرماه بر روی سطح ،

H_o :تابش متوسط ماهانه در خارج از جو،

S : متوسط ماهانه ساعات آفتابی روزانه ،

S_o: میانگین ماهانه حداکثر ساعات آفتابی (در طول روز) ، در یک مکان خاص ، (جهت مطالعه در مورد چگونگی محاسبه H_o و S_o به [23] رجوع شود).

A و B نیز ضرایب تجربی مدل آنگسترم می باشند که با یافتن مقادیر بهینه برای آنها میزان تابش خورشیدی در منطقه مورد نظر با دقت بیشتری پیش بینی خواهد شد. در این مقاله، بهینه ترین ضرایب تجربی A و B معادله آنگسترم مبتنی بر داده های واقعی و با استفاده از الگوریتم زنبورها، برنامه نویسی شده در محیط نرم افزار مطلب بر مبنای حداقل‌سازی تابع هدف ارائه شده در معادله (۲) جهت دست یابی به حداقل خطا در پیش بینی، محاسبه شده اند. شکل (۳) مراحل اعمال تکنیک پیشنهادی را بر اساس الگوریتم زنبورها در قالب یک نمودار جریانی جهت پیدا کردن ضرایب تجربی مبتنی بر مدل آنگسترم بر مبنای داده های واقعی نشان می دهد. (پارامترهای $\frac{H}{H_O}$ و $\frac{S}{S_O}$ به طور جداگانه برای هر دو انواع داده‌ها در تمام شهرها اندازه گیری شده و شکل (۲) مقادیر اندازه گیری شده این پارامترها را در هر چهار شهر همدان، تبریز، خور- بیابانک و مشهد برای داده های نوع ۱ و نوع ۲ نشان می دهد.) همان طور که در نمودار جریانی شکل (۳) دیده می‌شود، ابتدا داده های نوع ۱، به عنوان ورودی اولیه به الگوریتم اعمال می شوند، پس از اعمال الگوریتم پیشنهادی مطابق با مراحل نشان داده شده در نمودار جریانی، جمعیت زنبورها شکل گرفته، مکان های مناسب به عنوان پاسخ توسط زنبورهای بازرس انتخاب می شوند، برازندگی جواب های حاصل بررسی شده و در صورت عدم ارضای شرط توقف، فضای جستجوی همسایگی جهت تولید جواب های جدید تولید می گردد ، برازندگی جواب های جدید و قدیم با یکدیگر مقایسه و نتایج مناسب تر انتخاب می‌شوند، این فرایند تا ارضای شرط توقف (در این مطالعه، تعداد دفعات تکرار به عنوان شرط توقف الگوریتم در نظر گرفته شده است) ادامه می یابد. در نهایت، خروجی های بهینه با داده های نوع ۲ (که جهت اعتبار سنجی در نظر گرفته شده اند) در قالب تابع هدف تعریف شده در معادله (۲) مقایسه شده و در صورت حصول انطباق مناسب، فرایند تولید جواب به پایان می رسد. در غیر این صورت، مجدداً و با جمعیت جدیدی از زنبورها الگوریتم آغاز و این مراحل تا حصول پاسخ های مناسب تکرار می گردد. بهینه ترین ضرایب A و B برای معادله آنگسترم جهت پیش بینی مقدار مناسب پیش بینی شده GSR *متوسط* روزانه در ماه بر اساس به حداقل رسیدن مقدار تابع هدف تعریف

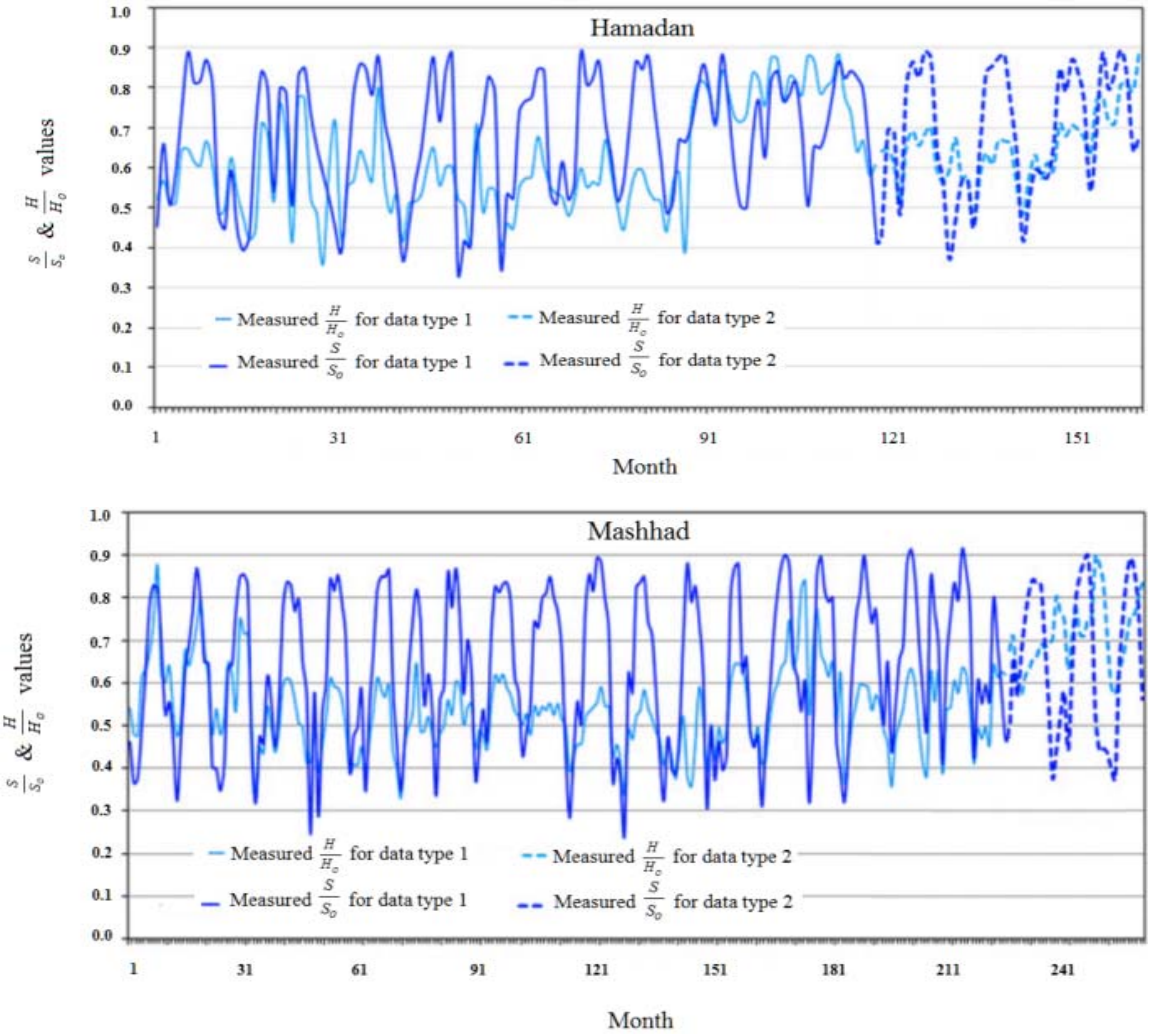
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

شده با معادله (۲) انتخاب می شوند:

$$OF = \sum_{i=1}^{L} (Y_i - X_i)^2 \qquad (۲)$$

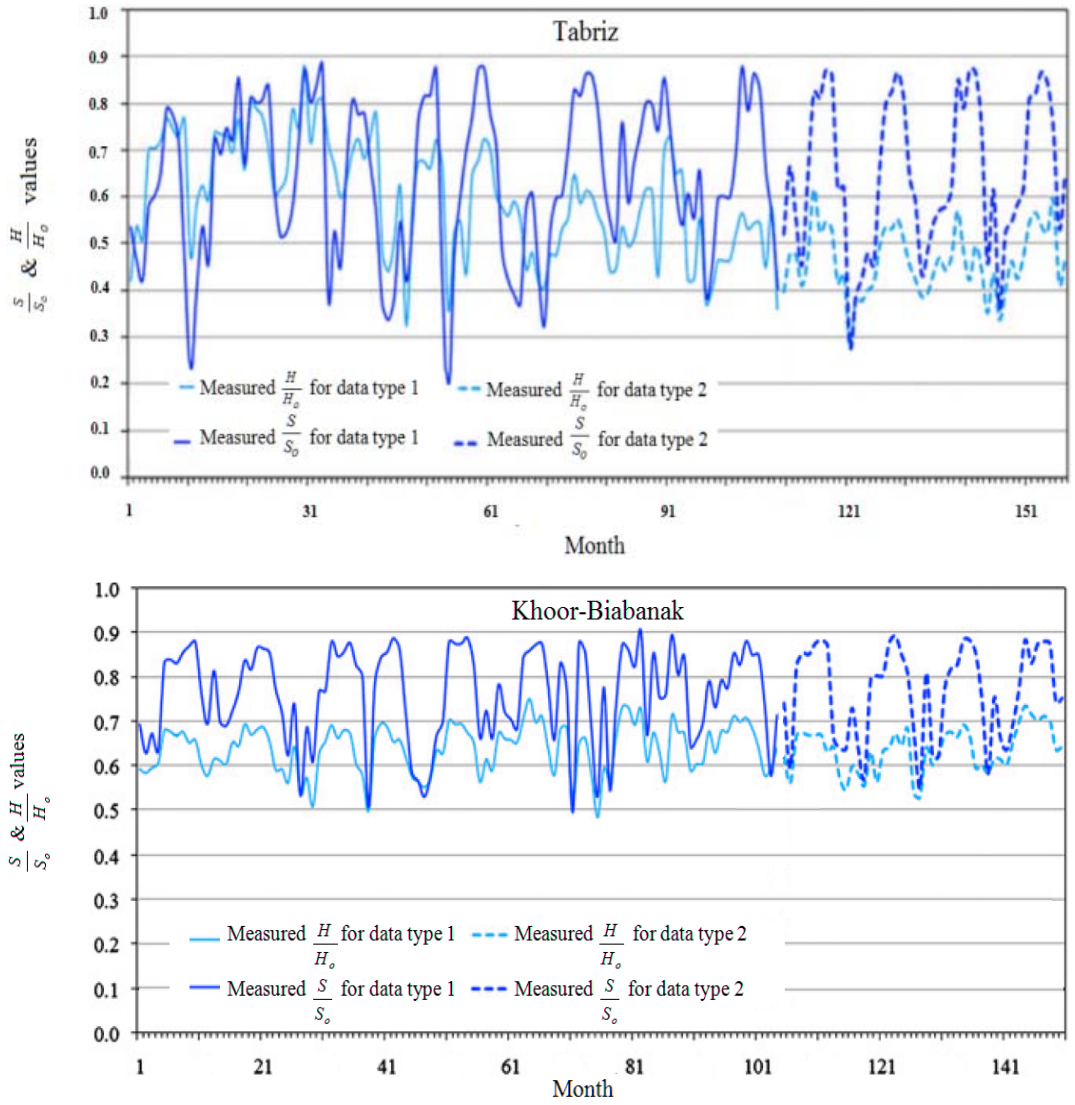
که در آن:

$Y_i = (\frac{H}{H_O})real_i$ و $X_i = (\frac{H}{H_O})suggested_i$ به ترتیب مقادیر واقعی و پیش بینی شده GSR روزانه بر روی سطح افقی در یک ماه و n بازه اطلاعات رصد شده است.



شکل ۲) مقادیر اندازه گیری شده $\frac{H}{H_O}$ و $\frac{S}{S_O}$ برای هر دو نوع داده در چهار شهر نمونه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

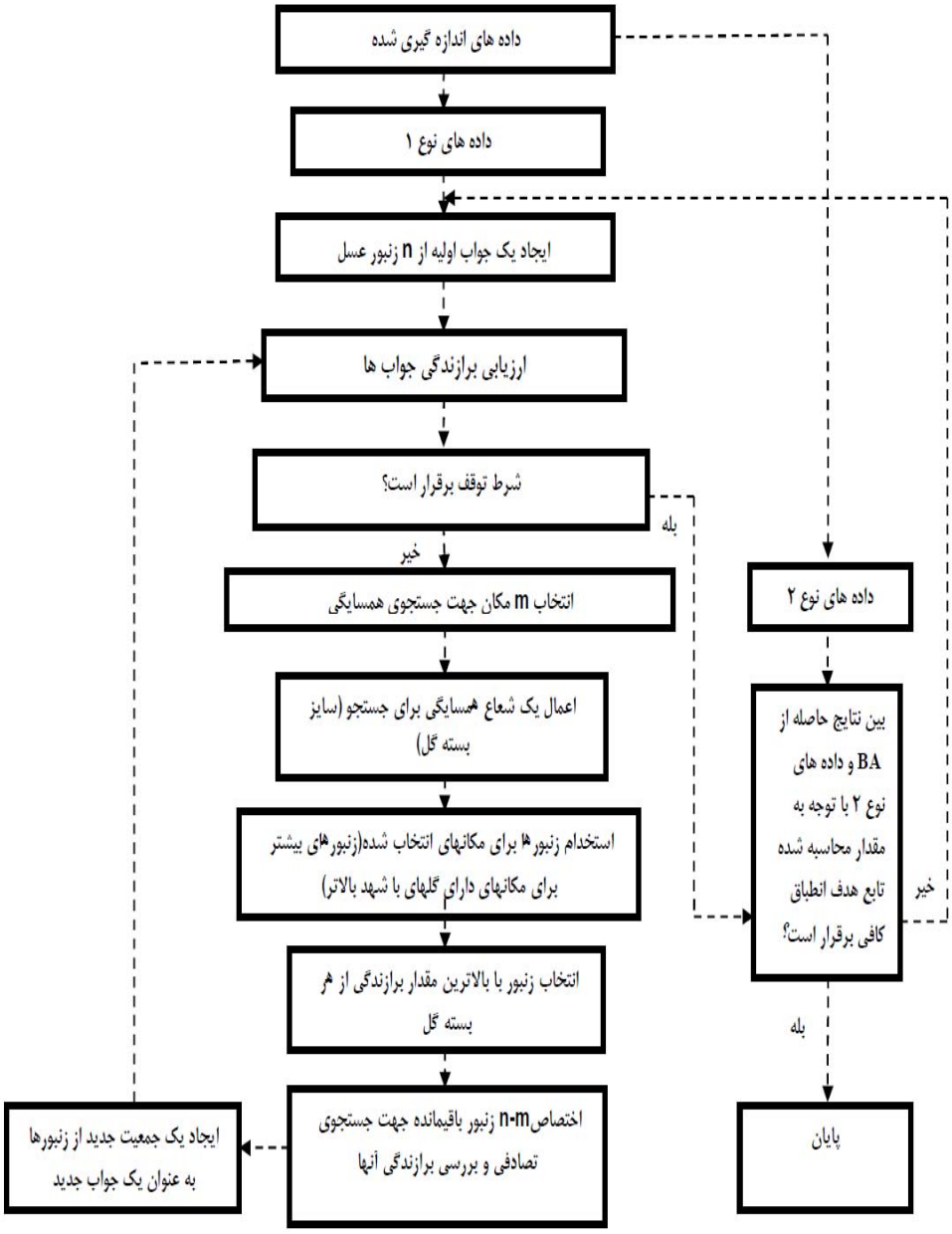


شکل ۲) مقادیر اندازه گیری شده $\frac{H}{H_O}$ و $\frac{S}{S_O}$ برای هر دو نوع داده در چهار شهر نمونه

میزان دقت ضرایب پیشنهادی BA با استفاده از دو شاخص آماری R^{2}[1] و ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE^2$) بررسی شده اند. R^2 و $RMSE$ توسط معادلات (۳) و (۴) به ترتیب در زیر تعریف شده اند:

1) Absolute Fraction Of Variance
2) Root Mean Square Error

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]



شکل ۳) مراحل اعمال الگوریتم جدید پیشنهادی جهت یافتن مقادیر ضرایب تجربی مدل آنگسترم و GSR متوسط روزانه در ماه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(X_i)^2} \quad (۳)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2 \Big/ n} \quad (۴)$$

(تمامی متغیرهای تعریف شده در دو معادله اخیر در رابطه (۲) معرفی شده اند.)

نتایج و بحث

با برنامه نویسی در محیط نرم افزار مطلب و اعمال الگوریتم مورد نظر بر اساس الگوی ارائه شده در بالا، عملکرد تکنیک پیشنهادی بر روی چهار شهر نمونه مورد بررسی قرار گرفت. جدول (۲) مقادیر پارامترهای مناسب انتخاب شده جهت عملکرد رضایت بخش BA را برای همه شهرها در این مطالعه نشان می دهد. جدول (۳) ضرایب تجربی بدست آمده A و B را بر اساس مدل آنگسترم با استفاده از الگوریتم زنبورها و همچنین نتایج ارزیابی میزان صحت این ضرایب را با کمک شاخص های R^2 و $RMSE$ برای هر چهار شهر نشان می دهد. نتایج بدست آمده برای چهار منطقه جغرافیایی نمونه به این شرح است:

- همدان با اقلیم سرد، A= 0.36710 ،B=0.30821 با R^2=0.9912 و $RMSE$= 0.0011
- خور- بیابانک با اقلیم بیابانی، A= 0.3329 ،B=0.39008 با R^2=09908 و $RMSE$= 0.0014
- تبریز با اقلیم سردسیر، A= 0.33372 ،B=0.42148 با R^2=0.9745 و $RMSE$=0.0194
- مشهد با اقلیم نیمه گرم و خشک، A= 0.32846 ،B=0.30162 با R^2=0.9786 و $RMSE$=. 0.0175

همان طور که مشاهده می شود، ضرایب تجربی پیشنهاد شده برای هر چهار شهر میزانR^2 بیش از ۹۷ درصد و $RMSE$ کمتر از ۰،۰۲ دارند. بنابراین، نتایج پیشنهادی BA دارای انطباقی مناسب با داده های اندازه گیری شده واقعی هستند. در عین حال، از آنجائی که کمترین و بیشترین انحراف از صحت به ترتیب برای همدان و تبریز که هر دو از مناطق سردسیر هستند مشاهده شده است، می توان حدس زد که تکنیک پیشنهادی مزبور بر مبنای مدل آنگسترم (وابسته به ساعات آفتابی)، مستقل از اقلیم منطقه عمل می کند. علاوه بر این، ضرایب تجربی بدست آمده توسط BA ، تکنیک های رگرسیون آماری و مقادیر R^2 متناظر برای هر چهار منطقه در جدول (۴) مقایسه شده‌اند. همان طور که از این جدول دیده می‌شود، همه ضرایب تجربی ارائه شده از روش جدید دارای دقت بیشتری در مقایسه با نتایج تکنیک های رگرسیون

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

آماری(SRT) هستند. حداکثر تفاوت بین دو مقدار R^2 از دو تکنیک ۸,۸۴ درصد برای تبریز و حداقل آن برای همدان برابر ۲,۵۸ درصد است. در نهایت، مقادیر GSR متوسط روزانه در ماه پیش بینی شده توسط BA و مقادیر واقعی آن (در دوره اعتبارسنجی) در شکل (۴) برای همه شهرها با یکدیگر مقایسه شده اند.

جدول ۲) پارامترهای منتخب جهت عملکرد نامناسب الگوریتم زنبورها

پارامتر	مقدار
n:	70
m:	8
e:	2
nep:	26
nsp:	6
ngh:	5
دفعات تکرار	300

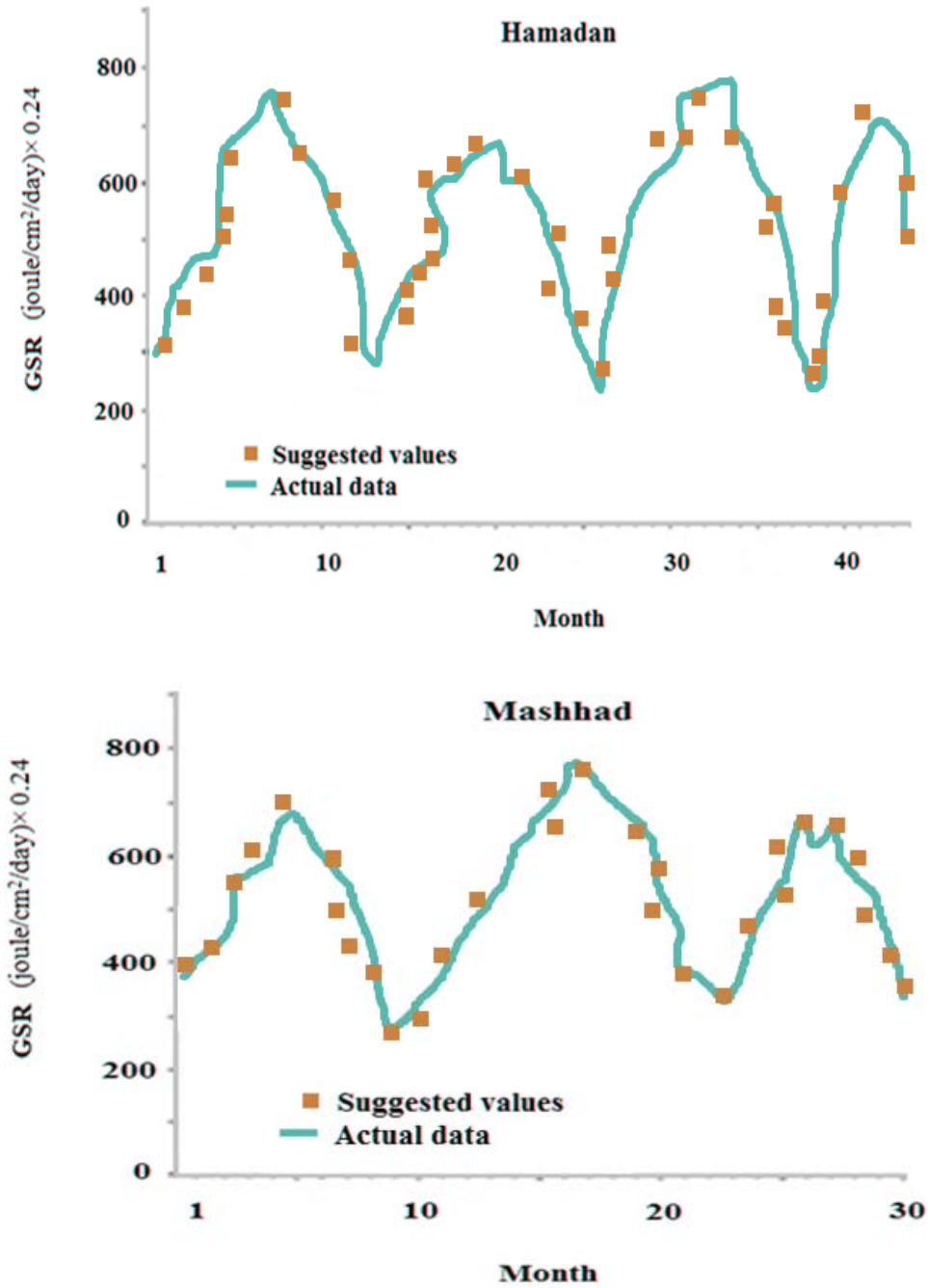
جدول ۳) ضرایب پیشنهادی BA و مقادیر R^2 و RMSE مربوط به آن

نام شهر	A	B	R^2	RMSE
همدان	0.36710	0.30821	0.9912	0.0011
خور- بیابانک	0.3329	0.39008	09908	0.0014
مشهد	0.32846	0.30162	0.9786	0.0175
تبریز	0.33372	0.42148	0.9745	0.0194

جدول ٤) مقایسه بین خروجی های BA و SRT

نام شهر	روش	A	B	R^2	اختلاف بین مقادیر R^2 (%)
همدان	BA	0.36710	0.30821	0.9912	2.58
	SRT	0.38250	0.24580	0.9662	
مشهد	BA	0.32846	0.30162	0.9786	7.06
	SRT	0.32200	0.31100	0.9140	
تبریز	BA	0.33372	0.42148	0.9745	8.84
	SRT	0.33870	0.42140	0.8953	
خور-بیابانک	BA	0.3329	0.39008	0.9908	4.81
	SRT	0.4101	0.3154	0.9453	

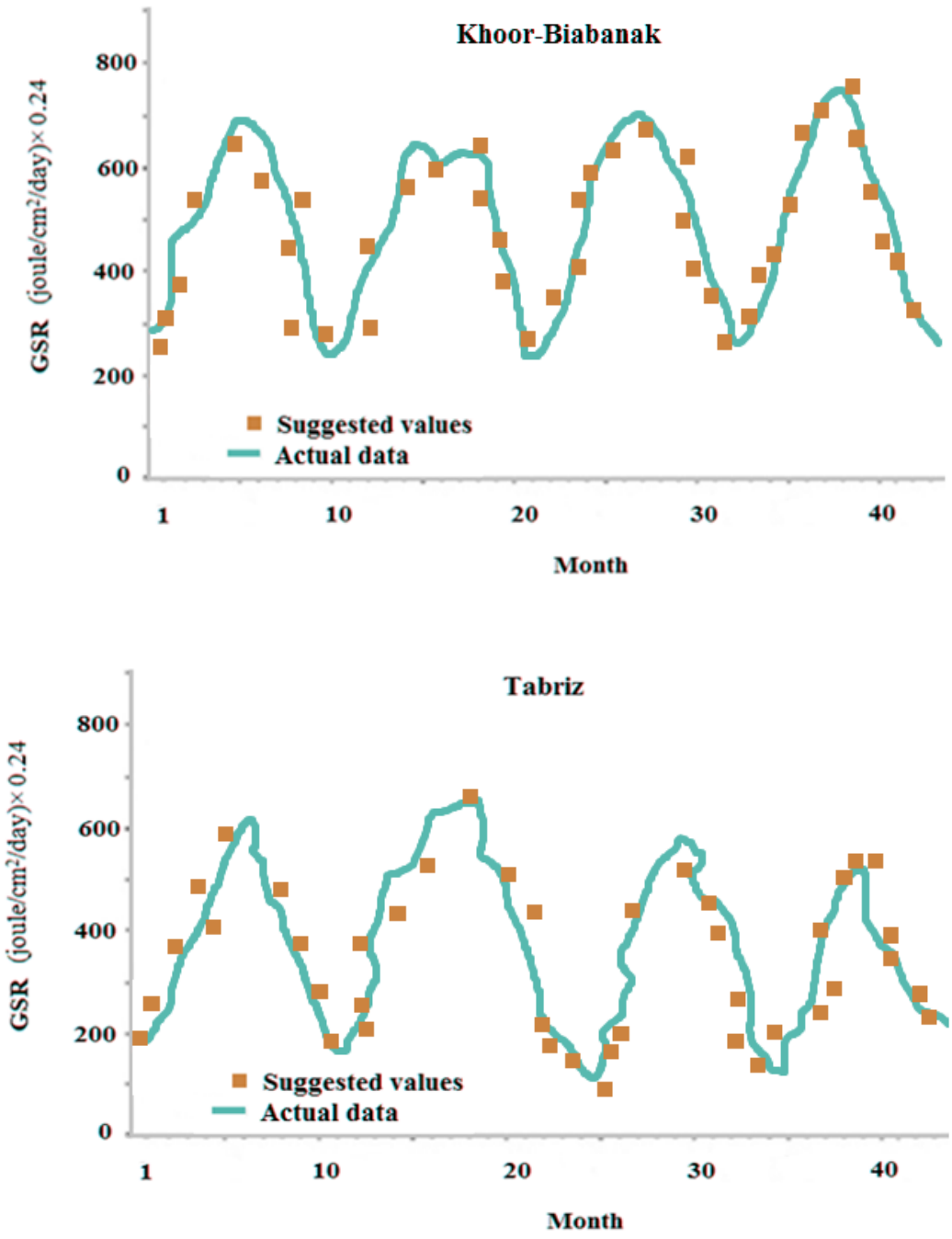
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]



شکل ٤) مقایسه بین مقادیر GSR متوسط روزانه در ماه پیش بینی شده توسط BA

و مقادیر واقعی در چهار شهر نمونه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]



شکل ٤) مقایسه بین مقادیر GSR متوسط روزانه در ماه پیش بینی شده توسط BA

و مقادیر واقعی در چهار شهر نمونه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

نتیجه گیری

در این مقاله، روشی جدید جهت برآورد متوسط روزانه تابش کلی خورشیدی در ماه بر روی سطح افقی، بر مبنای مدل آنگسترم و با استفاده از الگوریتم زنبورها با برنامه نویسی در محیط نرم افزار MATLAB معرفی شده است. به کمک روش پیشنهادی، ضرایب تجربی مدل آنگسترم برای چهار منطقه آب و هوایی مختلف ایران محاسبه و بر این مبنا مقادیر تابش کلی متوسط روزانه در ماه پیش بینی شده اند. عملکرد الگوریتم زنبورها برای تعیین ضرایب تجربی با استفاده از دو شاخص آماری R^2 و $RMSE$ مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که برای تمام نتایج پیشنهادی توسط الگوریتم زنبورها مقادیر R^2 بیش از ۹۷ درصد و $RMSE$ کمتر از ۰٫۰۲مشاهده شد، عملکرد این الگوریتم برای برآورد تابش خورشیدی بر روی سطح افقی برای هر چهار منطقه نمونه تایید می شود. همچنین مقایسه ای بین ضرایب تجربی بدست آمده توسط الگوریتم زنبورها و روش های آماری رگرسیون برای هر چهار منطقه انجام شده است. نتایج این مقایسه ها نشان می‌دهد که ضرایب پیشنهادی تجربی با استفاده از روش جدید منجر به پیش بینی تابش دقیق تری در مقایسه با تکنیک‌های رگرسیون آماری مرسوم در مناطق مورد نظر خواهند شد.

منابع

[1] Almorox, J., and Hontoria, C., 2004. “Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain”, Energy Conversion and Management journal, Vol. 45, pp. 1529-1535.

[2] Almorox, j., 2011. “Estimating global solar radiation from common meteorological data in Aranjuez, Spain”, Turkish journal of physics, Vol. 35, pp. 53-64.

[3] Angstrom, A., 1924. “Solar and terrestrial radiation”, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol. 50, pp. 121-126.

[4] Bahel, V., Baksh, H., and Shrinivasan, R., 1987. “A correlation for estimation of global solar radiation”, Journal of Energy, Vol. 12, pp. 131-135.

[5] 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”, Journal of Energy, Vol. 36, pp.3036-3049.

[6] Bristow, K.L., and Campbell, G.S., 1984. “On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature”, Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 31, pp. 150-166.

[7] Burari, F.W., Sambo, A.S., and Mshelia, E.D., 2001. “Estimation of Global Solar Radiation in Bauchi Nig”, J. Renewable Energy, Vol. 9, pp. 34 - 36.

[8] Chandel, S.S., Aggarwal, R.K., and Pandey, A.N., 2005. “New correlation to estimate global solar radiation on horizontal surface using sunshine hour and temperature data for Indian

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

sites", Journal of Solar Energy Engineering, ASME, Vol. 127, pp. 417-420.

[9] Chen, R., Ersi, K., Yang, J. and Lu, S., and Zhao, W., (2004). "Validation of five global radiation models with measured daily data in China". Energy Conversion and Management, Vol. 45, pp. 1759-1769.

[10] Garg, H.P., and Garg, S.T., 1982. "Prediction of global solar radiation from bright sunshine hours and other meteorological parameters: Solar-India", Proceedings of the National Solar Energy Convention, New Delhi, Allied Publishers, pp. 1.004-1.007.

[11] Iqdour, R., and Zeroual, A., 2006. "A rule based fuzzy model for the prediction of solar radiation", Revue des Energies Renouvelables, Vol. 9, pp. 113 – 120.

[12] Mellit, A., Benghanem, M., and Bendekhis, M., (2005). "Artificial Neural Network Model for Prediction Solar Radiation Data: Application for Sizing Stand-alone Photovoltaic Power System", IEEE Power Engineering Society General Meeting, Vol. 1, pp. 40-44.

[13] Newland, F. J., 1988. "A study of solar radiation models for the coastal region of South China", Solar Energy journal, Vol. 31, pp. 227-235.

[14] Ninomiya, H., 1994. "Study on application of AMeDAS meteorological data to the simulation of building heat environment", Ph.D Thesis,University of Tokyo.

[15] Ojosu, J.O., and Komolafe, L.K., 1987. "Models for estimating solar radiation availability in South Western Nigeria", Nigerian Journal of Solar Energy, Vol. 16, pp. 69-77.

[16] Page, J.K., (1961). "The estimation of monthly mean values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40^0 N -40 ^{0}S", Proceedings of UN Conference on new sources of energy, Vol. 4, pp. 378-390.

[17] Pham, D.T., Ghanbarzadeh, A., Koc, E., Otri, S., Rahim, S. and Zaidi, M., 2005. "The Bees Algorithm. Technical Note, Manufacturing Engineering Centre, Cardiff University, UK.

[18] Pham, D.T., Ghanbarzadeh, A., Koc, E., Otri, S., Rahim, S. and Zaidi, M., (2006). "The Bees Algorithm, A Novel Tool for Complex Optimisation Problems", Proceedings in 2nd Int Virtual Conf on Intelligent Production Machines and Systems, pp. 454-459.

[19] Prescott, J.A., 1940. "Evaporation from a water surface in relation to solar radiation", Transactions of Royal Society, South Australia, Vol. 64, pp. 114-118.

[20] Samuel, T.D.M.A., 1991. "Estimation of global radiation for Sri Lanka", Solar Energy journal, Vol. 47, pp. 333-337.

[21] Seeley, T.D., 1996. "The Wisdom of the Hive: The Social Physiology of Honey Bee Colonies", Massachusetts:Harvard University Press, Cambridge.

[22] Sivamadhavi, V., and Samuel Selvaraj, R., 2012. "Robust regression technique to estimate the global radiation". Indian Journal of Radio & Space Physics (IJRSP), Vol. 41, pp. 17-25.

[23] Spencer, .J.W., 1971. "Fourier series representation of position of the sun", Search, Vol. 2, n.25, pp. 172.

[24] Tiris, M., Tiris, C., and Erdalli, Y., 1997. "Water heating system by solar energy", Marmara research centre, Institute of Energy systems and environmental research, NATO-TU-COA TlNG, Gebze, Turkey.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

[25] Trabea, A.A., and Mosalam Shaltout, M.A., 2000. “Correlation of global solar radiation with meteorological parameters over Egypt”, Renewable Energy, Vol. 21, pp. 297-308.

[26] Wang, J., Xie, Y., Zhu, C., and Xu, X., (2011). “Daily Solar Radiation Prediction Based on Genetic Algorithm Optimization of Wavelet Neural Network”, International Conference on Electrical and Control Engineering, September, Yichang, China, pp. 16 – 18.

[27] Yazdanpanah, H., Mirmojarabian, R., and Barghi, H., 2010. “Estimation of solar global radiation on horizontal surface in Isfahan”, Journal of geography and environmental planning (Persian), Vol. 37, pp. 95-104.

[28] Yeboah-Amankwah, D., and Agyeman, K., 1990. “Differential Angstrom model for prediction insolation from hours of sunshine”, Solar Energy, Vol. 45, pp. 371–377.

[29] Zabara, K., 1986. “Estimation of global solar radiation in Greece”, Solar Wind Technology journal, Vol. 7, pp. 267-272.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]