Archive of SID

مقاله

بررسی داده‌های تابش خورشید در ایستگاه سینوپتیک دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب

فرزاد جعفرکاظمی، استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب
f_jafarkazemi@azad.ac.ir
حسین مردی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب
hosseinmardi007@gmail.com

چکیده
هدف از این مقاله معرفی ایستگاه سینوپتیک دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب و تجهیزات به‌کار رفته در آن و مقایسه نتایج تئوری و تجربی شدت تابش خورشید بر سطوح افقی در تهران است. برای این منظور، ابتدا با استفاده از مدل دافی و بکمن و ضریب صافی بهادری نژاد و همکارانش میزان تشعشع ساعتی محاسبه شده و با استفاده از اطلاعات آماری ایستگاه سینوپتیک برای یک دوره از نهم آگوست تا سوم اکتبر ۲۰۱۱ نتایج مورد ارزیابی آماری قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: تشعشع، تابش، خورشیدی، هواشناسی، سینوپتیک.

مقدمه

ایران کشوری آفتابی است و از نظر مقدار دریافت انرژی تابشی خورشید در شمار بهترین کشورها محسوب می‌شود. با توجه به محدودیت منابع فسیلی و افزایش روز افزون تقاضای انرژی، بکارگیری تمهیداتی جهت بهره برداری بهینه از منابع سرشار انرژی خورشیدی در کشورمان امری ضروری به نظر می‌رسد. برنامه ریزی جهت بهره برداری بهینه از انرژی خورشیدی نیازمند برآورد پتانسیل آن در مناطق مختلف کشور می‌باشد. برای برآورد انرژی تابش خورشیدی یک منطقه، مدلهای ریاضی متعددی توسط پژوهشگران داخلی و خارجی پیشنهاد شده است که اکثر این مدلهای ریاضی براساس آمار هواشناسی تدوین گردیده اند.هریس و همکارانش [۱] با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده روزانه برای سالهای ۱۳۸۲و۱۳۸۳ در منطقه باجگاه استان فارس براساس نسبت ساعات آفتابی، دما و میزان ابری بودن آسمان، ضرایب مدل آنگستروم را واسنجی نمودند. نتایج به دست آمده نشان داد که با اضافه نمودن دمای هوا و ساعات آفتابی در معادله آنگستروم باعث بالا رفتن دقت تخمین شدت تابش می‌گردد. معینی و همکارانش [۲] ایران را بر اساس طبقه بندی اقلیمی کوپن به پنج منطقه اقلیمی

www.SID.ir

Archive of SID

تقسیم بندی نمودند و سپس با استفاده ازداده‌های تابشی سازمان هواشناسی به تعیین ضرایب معادله آنگسترم برای ۵ اقلیم پرداختند. نادی و همکارانش [۳] با استفاده از اطلاعات تابش کلی خورشید و تعداد ساعات آفتابی در مقیاس روزانه چند ایستگاه سینوپتیک واقع در نواحی خشک و نیمه خشک ایران شامل: کرمانشاه، اهواز و اصفهان طی دو سال متوالی (۲۰۰۰،۲۰۰۱) به بررسی تعیین ضرایب معادله آنگسترم پرداختند. شریعتمداری و همکارانش [٤] با استفاده از اطلاعات شدت تابش کل خورشیدی بر مبنای ساعات آفتابی برای ایستگاه اقدسیه تهران برای دوره ی ۱۵ ساله (۲۰۰٦-۱۹۹۲) به بررسی تعیین ضرایب مدل آنگسترم و کالیبراسیون رابطه در سه مقیاس زمانی روزانه، متوسط ماهانه، متوسط سالانه پرداختند. ابراهیم پور و همکارانش [۵] به بررسی شدت تابش کل بر روی صفحه افقی با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده میانگین ماهانه و روزانه تابش کل خورشیدی توسط سازمان هواشناسی کشور برای یک دوره١٤ساله (۲۰۰۵-۱۹۹۲) برای تعدادی از شهرهای ایران و همچنین با ارائه یک روش جدیدی برای برآورد میزان تابش کل خورشیدی رسیده به یک سطح افقی پرداختند. در این بررسی برای بدست آمدن ضریب صافی هوا با بررسی ۲ مدل دافی، بکمن (۱۹۸۰) و کولارس و همکارانش (۱۹۷۹) و همچنین برای پیش‌بینی تابش کل به بررسی ۲ مدل واتابانه و اشری (۱۹۹۵) پرداخته شده است. علیزاده و همکارانش [٦] به بررسی یک رابطه جدید برای پیش‌بینی شدت تابش کل خورشید بر روی سطح افقی پرداخته و همچنین یک مدل جدید برای شهر مشهد ارائه داده اند. خلیلی و همکارانش [۷] به بررسی تاثیر پارامترهای هواشناسی(ساعات آفتابی، دمای ماکزیمم، نقطه شبنم، رطوبت نسبی، فشار بخار آب، بارندگی و ابرناکی) بر مقادیر روزانه تابش کل دریافتی از خورشید با استفاده از اطلاعات ایستگاه تهران شمال (اقدسیه(پرداخته اند. فرزاد و همکارانش [۸] با استفاده از ۵ مدل مختلف (مدل بیرد و هولشترم، مدل پیچ، شکل درجه دوم رابطه پیچ، تاثیر ابر، مدل برآورد تابش خورشیدی با استفاده از پارامترهای هواشناسی (ساعات آفتابی ماکزیمم درجه حرارت هوا، رطوبت نسبی)) به بررسی شدت تابش انرژی خورشید بر سطح افقی در زاهدان پرداخت و نتایج حاصله را با اطلاعات آماری گرفته شده از سازمان هواشناسی استان برای سالهای ۱۹۹۷-۱۹۹۲ مورد بررسی قرار داد است. نتایج حاصله از این واسنجی نشان می‌دهد که مدل بیرد و هولشترم در مقایسه با دیگر روابط، به دلیل برآورد لحظه ای تابش‌های پخشی و مستقیم دارای دقت بالاتری می‌باشد. حق‌پرست و همکارانش [۹] یک مدل بهینه جهت محاسبه میزان تابش کلی دریافتی ازخورشید را ارائه نمودند. بطوریکه با استفاده از اطلاعات هواشناسی۲۲ ایستگاه سینوپتیک کشور به مدت۵ الی ۲۵ سال به بررسی ۸ مدل تابش که شامل مدل دانشیار، مدل اصلاح شده دانشیار، مدل صباغ، مدل اصلاح شده صباغ، مدل صمیمی، مدل پروکتور- پالتریج، مدل اصلاح شده پروکتور- پالتریج پرداختند. همچنین در این راستا با اضافه نمودن ضریبی جدید به مدل دانشیار، مدلی تحت عنوان مدل NRI معرفی نمودند.

یزدان پناه و همکارانش [۱۰] با استفاده از اطلاعات آماری هوشناسی اصفهان برای یک دوره ۲۰ ساله اقدام به یافتن ضرایب ثابت معادله آنگسترم نموده و

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

سپس با استفاده از اطلاعات ۲ ساله هواشناسی به مقایسه مدل خود و ۵ مدل دیگر شامل ترتون، مدل ریتولد، مدل فاگنل، مدل فرر، مدل امسی کلوچ[1] پرداختند.

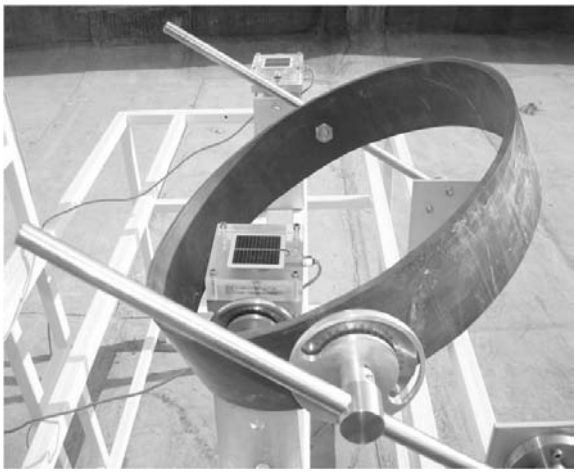
با توجه به تحقیقات انجام یافته توسط پژوهشگران مشاهده می‌شود که گروهی از پژوهشگران به بررسی تعیین ضرایب رابطه آنگسترم و گروهی با استفاده از پارامترهایی چون ضریب ابر، ساعات آفتابی، بیشترین دمای هوا، رطوبت نسبی، ارتفاع از سطح دریا و... مدلهای جدیدی را برای پیش‌بینی شدت تابش خورشیدی ارائه دادند. تعدادی از پژوهشگران نیز با بررسی مدلهای ارائه شده توسط سایر محققان بهترین مدل را برای منطقه خود پیشنهاد دادند.

هدف از این تحقیق بررسی شدت تابش خورشید بر روی سطوح افقی در تهران با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده ساعتی و روزانه درایستگاه سینوپتیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب برای یک دوره از ۹ آگوست تا ۳ اکتبر ۲۰۱۱ و همچنین معرفی ایستگاه سینوپتیک و تجهیزات بکار رفته در آن می‌باشد. بدین منظور برای بدست آوردن ضریب صافی هوا با استفاده از ضریب صافی ماهانه پیشنهادی توسط بهادری نژاد و میرحسینی[۱۱] و با بررسی مدل دافی، بکمن (۱۹۸۰) ضریب صافی ساعتی هوا بدست آمده و سپس میزان تشعشع ساعتی و روزانه محاسبه شدند. نهایتاً کلیه نتایج مورد ارزیابی آماری (RMSE,MPE, MBE, R^2) قرار گرفتند.

ایستگاه سینوپتیک و معرفی تجهیزات آن

داشتن اطلاعات و آمار دقیق درباره میزان تابش رسیده به زمین و برآورد شدت تابش کل و پراکنده بر روی سطوح افقی در طراحی کلکتورها و سیستم‌های فتوولتاتیک حائز اهمیت می‌باشد. به همین منظور با راه اندازی یک ایستگاه سینوپتیک در جنوب شرقی تهران واقع در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب و با خرید تجهیزات اندازه‌گیری تشعشع سنج(دو دستگاه)، باد سنج، دما سنج، طراحی و ساخت سایه‌انداز برای یکی از تشعشع‌سنج‌ها، طراحی و ساخت میز مخصوص برای تغییر زاویه تشعشع‌سنج‌ها این امر مهم صورت پذیرفته است. تجهیزات فوق در شکل‌های ۱ تا ٤ نشان داده شده است.

شکل ۱. تشعشع سنج برای اندازه‌گیری تابش کل



شکل ۲. تشعشع سنج برای اندازه‌گیری تابش پراکنده

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir

www.SID.ir

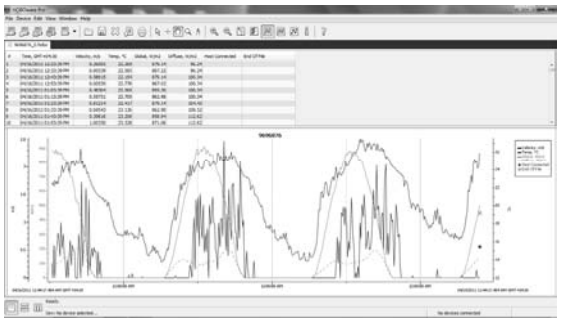
Archive of SID

شکل ۳. سنسور دمای محیط

شکل ۴. بادسنج

اطلاعات اندازه‌گیری‌شده به یک دیتالاگر که در شکل ۵ نشان داده شده است منتقل می‌شوند. تنظیمات دیتالاگر از طریق اتصال آن به یک کامپیوتر و از طریق پورت USB انجام می‌شود. داده‌های اندازه‌گیری شده از طریق همین پورت قابل برداشت می‌باشند. نمونه ای از خروجی این اطلاعات در شکل ٦ نشان داده شده است.

شکل ۵. دیتالاگر



شکل۶. منحنی‌های مربوط به اطلاعات اندازه‌گیری‌شده

نحوه بدست آوردن میزان تابش خورشید

برخی از پارامترهای خورشیدی برای محاسبه مقدار تابش خورشیدی رسیده به یک سطح عبارتند از[۱۲]:

زاویه انحراف (δ)

زاویه ای که خط اتصال زمین و خورشید با صفحه استوایی می‌سازد. این زاویه از ۲۳/٤٥ درجه در تابستان تا ۲۳/٤٥- درجه در زمستان تغییر می‌کند.

$$\delta = 23.45 \sin[\frac{360}{365}(284 + N)] \qquad (1)$$

زاویه ساعت و طول روز

برای بدست آوردن زاویه ساعت می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$\omega = \pm$ ۰/۲۵×

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir

www.SID.ir

Archive of SID

(۲) (عدد بر حسب دقیقه از ظهر خورشیدی محلی[۲]) علامت مثبت برای بعد از ظهر و علامت منفی برای صبح می‌باشد.

مقدار تابش خورشیدی

مقدار تابش ساعتی خورشید در خارج از جو بر روی یک سطح افقی از رابطه زیر به دست می‌آید:

بین ۲ ساعت معین (ω_1،ω_2)

$$I_o = \frac{12 \times 3600 G_{sc}}{\pi}\left[1 + 0.033\cos\left(\frac{360N}{365}\right)\right] \times \left[\cos(\phi)\cos(\delta)\,(\sin\omega_2 - \sin\omega_1) + \left[\frac{\pi(\omega_2-\omega_1)}{180}\right]\sin(\phi)\sin(\delta)\right]$$

ضریب صافی ساعتی هوا

ضریب صافی هوا در یک نقطه با طول و عرض جغرافیای معین عبارتست از نسبت انرژی تابشی دریافت شده توسط یک صفحه افقی در دوره زمانی مورد نظر به مقدار انرژی تابشی دریافتی همین صفحه افقی در همان زمان اگر در خارج از جو قرار داشته باشد. ضریب صافی هوا را می‌توان برای هر روز، ساعت و یا ماه در نظر گرفت، معادله ضریب صافی ساعتی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$k_T = \frac{I}{I_o} \qquad (4)$$

در این تحقیق با استفاده از ضریب صافی ماهانه پیشنهادی توسط بهادری نژاد و میرحسینی و با استفاده از مدل دافی، بکمن (۱۹۸۰) میزان ساعتی ضریب صافی به روش زیر برآورد نمود:[۵]

$$K_{th} = \left[a + b\cos\left(\frac{\pi}{12}(h-12)\right)\right]K_{tm} \qquad (5)$$

$$a = 0.409 + 0.5016\sin(\omega_s - 60) \qquad (6)$$

$$b = 0.6609 + 0.4767\sin(\omega_s - 60) \qquad (7)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\phi \times \tan\delta) \qquad (8)$$

h : زمان بر حسب ساعت

ω_s : زاویه ساعت برای طلوع و یا غروب خورشید(ω_s-60 باید به رادیان تبدیل گردد)

با استفاده از رابطه(۳) مقدار تابش ساعتی خورشید در خارج از جو و همچنین میزان ضریب صافی ساعتی هوا محاسبه شده و سپس مقادیر در رابطه(٤) جایگذاری شده و مقدار شدت تابش ساعتی خورشید در سطح زمین بدست می‌آید. نهایتاً با انتگرال‌گیری از میزان شدت تشعشع کل ساعتی، میزان تشعشع روزانه محاسبه می‌شود.

انواع روشهای ارزیابی

هدف از ارزیابی، بررسی دقت تخمین مدلهای ارائه شده با نتایج اندازه‌گیری می‌باشد. در این تحقیق برای ارزیابی مدلها از ٤ روش به شرح زیر استفاده شده است:

ضریب تعیین(R^2)

ضریب تعیین برای آزمایش نسبت خطی بین مقادیر محاسبه شده و اندازه‌گیری شده به کار می‌رود.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(c_i - c_a).(m_i - m_a)}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{n}(c_i - c_a)^2\right]\left[\sum_{i=1}^{n}(m_i - m_a)^2\right]}} \qquad (9)$$

مقدار ایده ال برای R^2 برابر با یک می‌باشد.

میانگین خطای اریبی (MBE)

$$MBE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(c_i - m_i) \qquad (10)$$

علامت جبری مقدارMBE نشان دهنده مثبت یا منفی بودن مقدارخطا می‌باشد. اگرمقدارMBE مثبت یا منفی باشد نشان دهنده این است که مقادیر تخمین زده شده به ترتیب بیشتر یا کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

هستند. مقدار ایده آل برای این خطا برابر با صفر می‌باشد.

جذر میانگین مجموع مربع خطاها (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(c_i - m_i)^2} \qquad (11)$$

مقدار RMSE معمولاً مثبت می‌باشد و مقدار ایده آل برای این خطا برابر با صفر می‌باشد.

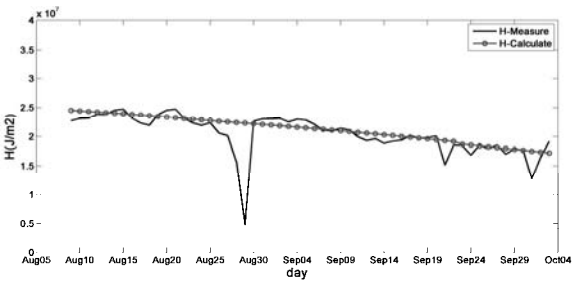
میانگین درصد خطا: (MPE)

$$MPE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{c_i - m_i}{m_i}\right)}{n} \qquad (12)$$

مقدار ایده ال برای MPE برابر صفر می‌باشد.

نتایج

در شکل ۷ نتایج حاصل از میزان تشعشع روزانه بدست آمده از مدل دافی، بکمن و اطلاعات تابش روزانه اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه سینوپتیک نشان داده شده‌اند.



شکل ۷. مقایسه نتایج تئوری و تجربی تشعشع روزانه خورشید

با توجه به این شکل بین منحنی‌های تئوری و تجربی در بعضی از روزها دارای اختلاف بوده و علت این امر به‌سبب وضعیت اثرات جو و میزان ابری یا آفتابی بودن آسمان می‌باشد. مشاهده می‌شود که در روز ۲۹ آگوست میزان تشعشع روزانه اندازه‌گیری شده دارای کمترین مقدار بوده و این نشان دهنده این است که در این روز خاص، آسمان کاملا ابری می‌باشد. و به همین صورت در روز ۲۲ آگوست میزان تشعشع روزانه اندازه‌گیری شده دارای بیشترین مقدار بوده و این نشان دهنده این است که در این روز خاص، آسمان کاملا آفتابی و صاف می‌باشد. پس به طورکلی اگر شیب منحنی اندازه‌گیری شده نسبت به منحنی دافی بالاتر باشد یک روز کاملاً آفتابی خواهیم داشت و اگر شیب منحنی اندازه‌گیری شده نسبت به منحنی دافی پایین تر باشد دارای یک روز نیمه ابری یا کاملاً ابری خواهیم بود. در شکل ۷ مشاهده می‌شود که منحنی دافی، بکمن با گذشت زمان تغییر چندانی ندارد و دارای شیب ملایمی است. دلیل این امر آن است که مدل دافی، بکمن برای آسمان صاف معرفی شده است. در شکل‌های ۸ تا ۱۰ شدت تابش ساعتی در سه روز مشخص از دوره اندازه‌گیری نشان داده شده اند. با توجه به شکل (۷) اختلاف مقادیر تابش روزانه اندازه‌گیری شده و محاسبه شده در روزهای سیزدهم و سی ام آگوست ۲۰۱۱ بسیار اندک است. در شکل‌های ۸ و ۹ مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده شدت تابش ساعتی برای همین روزها با هم مقایسه شده اند. در روز ۲۹ آگوست که مطابق شکل ۷ اختلاف نتایج تئوری و تجربی میزان تشعشع روزانه قابل توجه بوده است، شدت تابش ساعتی تدوری و تجربی نیز دارای بیشترین اختلاف می‌باشند. در این روز خاص، آسمان کاملا ابری بود.

نتیجه گیری

کلیه نتایج حاصل از مدل دافی بکمن با داده‌های تابش اندازه‌گیری شده برای یک دوره از ۹ آگوست تا ۳ اکتبر ۲۰۱۱ مورد ارزیابی آماری (RMSE,MPE, MBE, R^2) قرار گرفته و نتایج حاصل

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

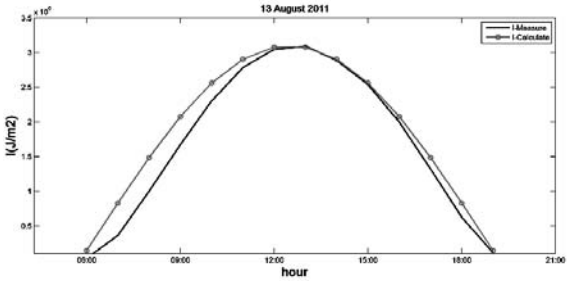
از این ارزیابی برای تابش کل بر روی سطح افقی در جدول(۱) آورده شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود و با توجه به شکل‌های ۶،۷،۸،۹ می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در صورتیکه از دیتاهای ضریب صافی ماهانه بهادری نژاد و همکارانش و همچنین برای محاسبه ضریب صافی ساعتی هوا از مدل دافی استفاده گردد مدل دافی، بکمن می‌تواند به عنوان بهترین مدل برای تخمین تابش ساعتی روزانه بر روی سطح افقی برای روزهای صاف استفاده شود.

مراجع

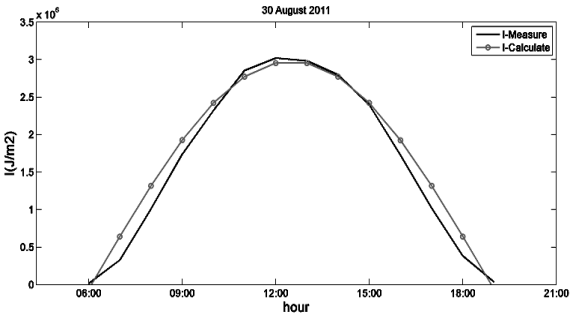
[۱] ابوالفضل مجنونی هریس، شاهرخ زند پارسا، علیرضا سپاسخواه و محمد جعفر ناظم السادات؛" توسعه وارزیابی مدلهای تخمین تابش خورشیدی براساس ساعات آفتابی و اطلاعات هواشناسی"؛ علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی؛ سال دوازدهم؛ شماره چهل و ششم؛ ص۴۹۱-۴۹۹؛ ۱۳۸۷(۲۰۰۹)

[۲] سام معینی و شهرام جوادی، محسن کوکبی، محسن دهقان منشادی؛" برآورد تابش خورشیدی درایران با استفاده از یک مدل بهینه"؛ نشریه انرژی ایران؛ دوره۱۳؛ شماره۲؛ ص ۱-۱۰؛ ۱۳۸۹(۲۰۱۰)

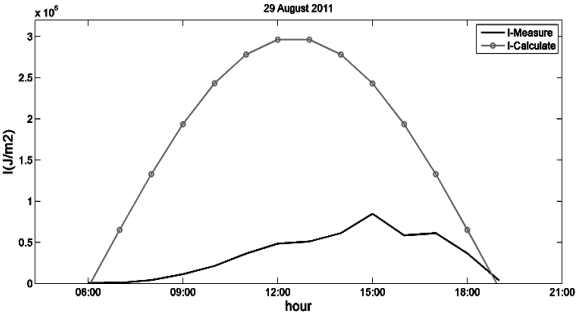
[۳] مهدی نادی ، جواد بذرافشان، نوذر قهرمان؛" مقایسه روش‌های مختلف تخمین پارامترهای مدل آنگستروم برای برآورد تابش روزانه خورشید بر رویه‌های افقی"؛ چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران؛ مقالات شفاهی؛ ص۱۳۹-۱۴۲؛ ۱۳۸۹(۲۰۱۰)



شکل۸. شدت تابش ساعتی تئوری و تجربی در روز ۱۳ آگوست



شکل۹. شدت تابش ساعتی تئوری و تجربی در روز ۳۰ آگوست



شکل۱۰. شدت تابش ساعتی تئوری و تجربی در روز ۲۹ آگوست

جدول۱. نتایج حاصل از ارزیابی

مدلها	MPE	RMSE	MBE	R^2
دافی و بکمن	۰/۰۹۷۴۶	۲/۸۲۹۳	۰/۸۲۱۸	٪۶۰

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

[٤] زهرا آقاشریعتمداری، علی خلیلی، پرویز ایران نژاد؛" واسنجی وبررسی رژیم سالانه ضرایب رابطه انگستروم پرسکات (a,b) در مقیاسهای زمانی مختلف، مطالعه موردی ایستگاه تهران شمال (اقدسیه)"؛ چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران؛ مقالات شفاهی؛ ص١٦٥-١٦٩؛ ١٣٨٩.

[٥] عبدالسلام ابراهیم پور، مهدی معرفت و هادی نیری؛" ارائه یک رابطه جدید برای تخمین میزان تابش کل دراقلیم‌های مختلف ایران"؛ مجله علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی؛ سال نهم شماره ی ٢٨؛ ص ١-٢٢؛ ١٣٨٨(٢٠٠٩)

[٦] امین علیزاده و نجمه خلیلی؛" تعیین ضرایب معادله آنگستروم و توسعه یک معادله رگرسیونی برآورد تابش خورشیدی"؛ مجله آب وخاک؛ جلد ٢٣؛ شماره١؛ ص ٢٢٩-٢٣٨؛ ١٣٨٨(٢٠٠٩)

[٧] علی خلیلی و پرویز ایران نژاد، زهرا آقاشریعتمداری؛" مقایسه کارآیی مدلهای یک متغیره و روابط چند متغیره خطی در بر آورد تابش دریافتی برسطح افقی درسطح زمین با استفاده از متغیرهای هواشناسی، مطالعه موردی ایستگاه تهران شمال(اقدسیه)"؛چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران؛ مقالات شفاهی؛ ص١٤٣-١٤٧؛ ١٣٨٩(٢٠١٠)

[٨] عبدالعلی فرزاد، محمد ملائی؛" تصحیح ضرایب برآورد انرژی تابش خورشیدی در زاهدان"؛ هفتمین کنفرانس سالانه مهندسی مکانیک انجمن مهندسان مکانیک ایران؛ ص١١٩-١٢٧؛ ١٣٧٨(١٩٩٩)

[٩] آرش حق پرست کاشانی، پژمان صالح ایزدخواست، حمیدرضا لاری، میثم مهرآوران و حامد پیش دست؛"تدوین یک مدل بهینه جهت محاسبه میزان تابش خورشید درایران"؛ بیست و دومین کنفرانس بین المللی برق؛ ٩٨--F-REN 381 ؛ ٢٠٠٧

[١٠] حجت الله یزدان پناه، راضیه میرمجربیان و حمید برقی؛" برآورد تابش کلی خورشید در سطح افقی زمین در اصفهان"؛ مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی؛ سال٢١؛ شماره پیاپی ٣٧؛ شماره١؛ ص ٩٥-١٠٤؛ ١٣٨٩(٢٠١٠)

[١١] مهدی بهادری نژاد و سید عباس میرحسینی؛ "ضریب صافی هوا برای شهرهای مختلف ایران"؛ مجموعه مقالات سومین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان؛ ص ٦٠٣-٦١٩؛ ١٣٨٢

[12] Duffie J.A.;and Beckman W. A." Solar Energy of Thermal Processes ", John Wiley, New York; pp 1-42, (1980)

پی‌نوشت

1.McCulloch

2. Number of minutes from local solar noon

* * *

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir

www.SID.ir