

مقایسه دو روش مختلف برای تخمین ضریب صافی هوا برای شهرهای ایران

عبدالسلام ابراهیم پور^۱

مهملی معرفت^۲

هادی نیری^۳

چکیده

مقدار تابش خورشیدی که به سطح زمین می‌رسد، با زمان در حال تغییر بوده و به آب و هوای منطقه وابسته است. برای پیش‌بینی میزان تابش خورشیدی رسیده به یک سطح افقی در سطح زمین احتیاج به محاسبه‌ی ضریب صافی هوا است که در این تحقیق با استفاده از داده‌های تابش خورشیدی که به صورت میانگین روزانه توسط سازمان هواشناسی کشور اندازه‌گیری شده‌اند، میزان میانگین روزانه‌ی ضریب صافی هوا محاسبه و نتایج با دو روش پیش‌بینی موجود (کولارس، دوفی) مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهند که اگر از مدل کولارس برای پیش‌بینی میزان تابش خورشیدی رسیده به یک سطح افقی استفاده شود، میزان ضریب صافی هوا نیز با دقت بیشتری محاسبه می‌شود.

واژگان کلیدی: تابش خورشیدی، ضریب صافی هوا، سطح افقی.

۱- دانشجوی دوره‌ی دکتری مکانیک تبدیل انرژی. Salam_ebr@yahoo.com.

۲- دانشیار دانشکده‌ی مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت مدرس. Maerefat@modares.ac.ir.

۳- دانشجوی دوره‌ی دکتری جغرافیای طبیعی. h_nayeri@tabrizu.ac.ir.

۱- دانشجوی دوره‌ی دکتری مکانیک تبدیل انرژی.

۲- دانشیار دانشکده‌ی مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت مدرس.

۳- دانشجوی دوره‌ی دکتری جغرافیای طبیعی.

مقدمه

خورشید تقریباً تمام انرژی حرارتی کره زمین را به صورت تابش تأمین می‌کند. تابش خورشید حاصل تشعشع الکترومغناطیسی است که به صورت طول موج‌های کوتاه انتقال می‌یابد. طول این موج‌ها از $0/28$ میکرون تا 3 میکرون است. با داشتن اطلاعاتی در مورد ضریب صافی هوا می‌توان شدت تابش خورشیدی را در هر ساعت و برای هر محل دلخواه در سطح زمین محاسبه نمود (مرادی، ۱۳۸۴).

روش‌های مختلفی توسط محققین برای تخمین میزان شدت تابش خورشید در هر نقطه از سطح زمین و همچنین ضریب صافی هوا پیشنهاد شده است. صباغ و همکاران (Sabbagh, 1976) رابطه‌ای برای برآورد کل تابش خورشیدی رسیده به یک سطح افقی برای نقاط مختلف جهان ارائه کرده‌اند که به داده‌های اقلیمی مانند درصد رطوبت و دمای ماکزیمم و همچنین داده‌هایی مانند عرض جغرافیایی و شماره روز از سال وابسته است. پالتریج (Paltridge, 1977) نیز با استفاده از فاکتور میزان ابری بودن هوا و همچنین زاویه‌ی زنیت دو رابطه را برای برآورد تابش‌های مستقیم و پراکنده‌ی رسیده به یک سطح افقی ارائه نمود.

برای تخمین میزان شدت تابش خورشید برای شهرهای ایران نیز مدل‌ها و یا مقادیری پیشنهاد شده است. دانشیار (Daneshyar, 1978)، روش ارائه شده توسط پالتریج برای محاسبه‌ی میزان شدت تابش رسیده به یک سطح افقی را برای شهرهای مختلف ایران با تغییر ضرایب ثابت اصلاح نمود. سبزی‌پرور (Sabziparvar, 2007)، روش‌های مختلف (صباغ، پالتریج و دانشیار) را برای محاسبه‌ی تابش کل روزانه‌ی رسیده به یک سطح افقی برای مناطق ساحلی ایران بررسی و اصلاح نموده و برای اصلاح این روابط از ضریب فاصله‌ی زمین و

خورشید که در طول سال متغیر (با توجه به گردش یک مسیر بیضی شکل) می‌باشد، استفاده کرده است. بهادری‌نژاد (۱۳۸۴) ضریب صافی متوسط ماهانه هوا را بر اساس پارامترهای اقلیمی رطوبت نسبی، دما، میزان بارندگی و میزان ساعات آفتابی برای شهرهای مختلف ایران ارائه کرد و نشان داد که ضریب صافی هوا پارامتر مهمی در محاسبه‌ی میزان تابش خورشیدی می‌باشد. یعقوبی (Yaghoubi, 1996) نیز با استفاده از برآورد صحیح کسر ساعات آفتابی از داده‌های اندازه‌گیری شده میزان ضریب صافی هوا را به صورت ماهانه برای شهر شیراز برآورد کرد.

هدف از این تحقیق محاسبه‌ی دقیق ضریب صافی هوا برای شهرهای مختلف ایران است. ضریب صافی هوا در یک نقطه با طول و عرض جغرافیایی معین عبارتست از نسبت انرژی تابشی دریافت شده توسط یک صفحه‌ی افقی در دوره‌ی زمانی مورد نظر به مقدار انرژی تابشی دریافتی همین صفحه در همان زمان اگر در خارج از جو زمین قرار داشته باشد. بنابراین ضریب صافی هوا را می‌توان برای هر روز، ساعت و یا ماه در نظر گرفت. در این تحقیق با استفاده از داده‌هایی شدت تابش خورشیدی رسیده به یک سطح افقی در روی سطح زمین (اندازه‌گیری شده توسط سازمان هواشناسی کشور) مقادیر شدت تابش خورشیدی رسیده به سطح و ضریب صافی هوا با استفاده از دو روش مختلف برای شهرهای تبریز، اصفهان و بندرعباس تخمین زده شده و نتایج حاصله با داده‌های اندازه‌گیری شده مقایسه و روش مناسب‌تر از بین این دو روش پیش‌بینی ذکر شده است بنابراین برای پیش‌بینی ضریب صافی هوا که با نتایج اندازه‌گیری شده همخوانی بیشتری دارد، پیشنهاد می‌شود.

تابش خورشیدی

مقدار تابش خورشید در خارج از اتمسفر زمین بر روی یک صفحه‌ی عمود بر شعاع خورشید، ثابت خورشیدی نامیده می‌شود. مقدار ثابت خورشید به مقدار ۲ درصد به علت تغییراتی که در سطح خورشید صورت می‌گیرد کاسته یا افزوده می‌شود و تقریباً برابر با $G_{sc}=1367W/m^2$ می‌باشد. مقدار تابش خورشیدی که در نهایت به سطح زمین می‌رسد را تابش حقیقی می‌نامند (مرادی، ۱۳۸۴). شرایط لحظه‌ای و بلند مدت جوی در یک منطقه اثر قابل ملاحظه‌ای در نوع و مقدار تابش حقیقی خورشید در آن منطقه دارد. هوای ابری باعث می‌شود مقدار قابل ملاحظه‌ای از تابش حقیقی خورشید به خارج از جو منعکس شود. ذرات آب، بخار و دود همچنین ذرات معلق دیگر در هوا باعث جذب یا پراکنده شدن تابش خورشید می‌شوند. در روزهای آفتابی ۱۵ درصد اشعه آفتاب به صورت پراکنده به زمین می‌رسد اما در روزهای ابری این مقدار ممکن است به ۱۰۰ درصد نیز برسد (سنجل، ای.یو، ۱۳۸۴).

پارامترها و زوایه‌های خورشیدی

برای محاسبه‌ی مقدار تابش خورشیدی رسیده به یک سطح احتیاج به تعریف تعدادی پارامتر و زوایه‌های خورشیدی وجود دارد که در ادامه توضیح داده می‌شوند (Bird, Hulstrom, 1981) و (Maxwell, 1987).

زاویه‌ی انحراف δ

زاویه‌ی بین اشعه‌های خورشید و صفحه‌ی استوایی است که از $۲۳/۴۵$ درجه در فصل تابستان تا $۲۳/۴۵ -$ در فصل زمستان تغییر می‌کند و از روش زیر بر حسب درجه محاسبه می‌شود:

(۱)

$$\delta = \frac{180}{\pi} \left(0.006918 - 0.399912 \cos B + 0.070257 \sin B - 0.006758 \cos 2B \right. \\ \left. + 0.000907 \sin 2B - 0.002697 \cos 3B + 0.0014 \sin 3B \right)$$

در رابطه‌ی فوق مقدار B از رابطه‌ی زیر حساب می‌شود.

$$B = 6.283185 \frac{n-1}{365} \quad (۲)$$

که در آن n شماره‌ی روزها از اول ژانویه است.

زاویه‌ی شیب δ در نقطه‌ی اعتدالین فصول پاییز و بهار صفر و در تحویل تابستانی (۲۱ ژوئن) $۲۳/۵ +$ درجه و در تحویل زمستانی در نیمکره‌ی شمالی $۲۳/۵ -$ درجه می‌باشد.

زاویه‌ی ساعت و معادله‌ی زمان

زاویه‌ی ساعت ω زاویه‌ی بین عرض جغرافیایی موضعی و عرض جغرافیایی است که اشعه‌های خورشید در سمت‌الرأس آن قرار دارد، یعنی زاویه‌ای است که زمین باید برای انطباق نصف‌النهار آن نقطه، روی اشعه‌های خورشید بچرخد. برای محاسبه‌ی زاویه ساعت ابتدا باید معادله زمان E_t حساب شود.

$$E_t = 229.18 \left(0.000075 + 0.001868 \cos B - 0.032077 \sin B \right. \\ \left. - 0.014615 \cos 2B - 0.040849 \sin 2B \right) \quad (۳)$$

برای محاسبه‌ی زاویه‌ی ساعت باید اختلاف ساعت^۱ T_z نیز در منطقه‌ی مورد نظر مشخص شود که مقدار آن را می‌توان به صورت زیر تقریب زد:

$$T_z = (L + 7.5) / 15 \quad (۴)$$

در رابطه‌ی فوق L طول جغرافیایی بر حسب درجه است. زاویه‌ی ساعت بر حسب درجه برای هر ساعت از سال از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\omega = 15 \left(h - 12.5 + \frac{E_t}{60} + \frac{L}{15} - T_z \right) \quad (۵)$$

در رابطه‌ی فوق L طول جغرافیایی (درجه)، h ساعت مورد نظر، E_t معادله‌ی زمان و T_z اختلاف ساعت است.

محاسبه‌ی زاویه‌ی زینت θ_z

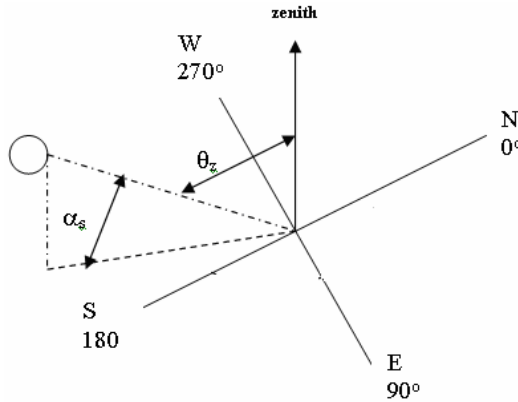
زاویه‌ی زینت (سمت الرأس)، زاویه‌ی بین اشعه‌های خورشید و قائم بر سطح افقی است (شکل ۱) و از روی مثلثات کروی بر حسب درجه از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$(۶)$$

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega = \sin \alpha_s$$

در رابطه‌ی فوق ϕ عرض جغرافیایی و α_s زاویه فراز^۲ است.

1- Time Zone
2- Altitude



شکل (۱) زوایای خورشیدی

محاسبه‌ی تابش خورشیدی رسیده بر روی سطوح افقی در خارج از آتمسفر در این قسمت نحوه‌ی محاسبه‌ی تابش خورشیدی رسیده به سطوح افقی در خارج از آتمسفر بررسی می‌شود.

میزان کل تابش رسیده در جهت نرمال سطح در خارج از آتمسفر G_{en} برای محاسبه‌ی میزان تابش رسیده بر حسب W/m^2 در جهت نرمال سطح (عمود بر سطح) به صورت روزانه از روش زیر استفاده شده است:

$$G_{en} = G_{sc} \left(\begin{array}{l} 1.000110 + 0.034221 \cos B + 0.001280 \sin B \\ + 0.000719 \cos 2B + 0.000077 \sin 2B \end{array} \right) \quad (۷)$$

در رابطه‌ی فوق $G_{sc} = 1367 W/m^2$ ثابت خورشیدی، n شماره روزها از اول ژانویه است و داریم:

$$B = 6.283185 \frac{n-1}{365} \quad (۸)$$

میزان کل تابش رسیده در خارج از آتمسفر بر روی یک صفحه‌ی افقی G_{eh}

برای محاسبه‌ی این مقدار احتیاج به محاسبه‌ی زاویه‌ی زنیت θ_z داریم:

$$G_{eh} = G_{en} \cos \theta_z \quad (9)$$

در رابطه‌ی فوق زاویه زنیت باید بر حسب رادیان باشد و برای تعیین میزان کل تابش روزانه لازم است از این رابطه‌ی در طول روز (بین طلوع و غروب آفتاب) انتگرال گرفت.

ضریب صافی هوا

ضریب صافی هوا را می‌توان برای مقاطع زمانی ساعتی، روزانه و یا ماهیانه در نظر گرفت و داریم:

$$K_{th} = \frac{G_h}{G_{eh}} \quad (10)$$

در رابطه‌ی فوق G_h کل تابش رسیده به یک سطح افقی در سطح زمین است. اگر میزان تابش‌های خارج از اتمسفر (G_{eh}) و سطح زمین (G_h) به صورت ساعتی باشند مقدار ساعتی K_{th} بدست می‌آید و اگر این پارامترها به صورت متوسط روزانه یا ماهانه باشند، به ترتیب مقادیر روزانه K_{td} یا ماهانه K_{tm} محاسبه می‌شوند. اگر میزان تابش رسیده به یک سطح افقی در سطح زمین به درستی محاسبه شود می‌توان به صحت محاسبه‌ی ضریب صافی هوا نیز اطمینان حاصل کرد. با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده متوسط روزانه‌ی تابش کل G_h می‌توان میزان متوسط ماهانه و روزانه‌ی ضریب صافی هوا را محاسبه نمود.

دوفی و همکاران (Duffie, 1980) رابطه‌ی زیر را برای محاسبه‌ی میزان ساعتی ضریب صافی از روی میزان ماهانه‌ی آن ارائه نمودند:

$$K_{th} = \left[a + b \cos \frac{\pi}{12} (h - 12) \right] \bar{K}_{tm} \quad (11)$$

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

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

در رابطه‌ی فوق h زمان بر حسب ساعت بوده و ω_s زاویه‌ی ساعت برای طلوع یا غروب خورشید است (در این روابط $(\omega_s - 60)$ به رادیان تبدیل شود).

همچنین کولارس و همکاران (Collares, 1979)، رابطه‌ی رگرسیونی زیر را برای نسبت تابش کل لحظه‌ای به تابش کل روزانه r_g برای یک صفحه‌ی افقی ارائه نموده‌اند:

$$r_g = \frac{\pi}{T} (a' + b' \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \omega_s \cos \omega_s} \quad (12)$$

در رابطه‌ی فوق T طول شبانه روز (۲۴ ساعت)، ω زاویه‌ی ساعت (بر حسب رادیان) و ω_s زاویه ساعتی خورشید هنگام غروب (بر حسب رادیان) است و ضرایب b' ، a' ضرایب تجربی هستند که از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$a' = 0.409 + 0.5016 \sin(\omega_s - 1.047)$$

$$b' = 0.6609 - 0.4767 \sin(\omega_s - 1.047)$$

روش تحقیق

ابتدا با استفاده از داده‌های واقعی (اندازه‌گیری شده توسط سازمان هواشناسی کشور) متوسط روزانه‌ی تابش خورشید برای یک دوره‌ی ۱۴ ساله (۱۹۹۲-۲۰۰۵)، مقادیر واقعی ضریب صافی ماهانه و روزانه حساب شد. سپس با استفاده

از روش دوفی مقادیر ساعتی و روزانه ضریب صافی هوا نیز محاسبه و سپس میزان تابش خورشیدی رسیده به سطح افقی از رابطه‌ی (۱۰) به صورت ساعتی محاسبه شد. همچنین در مدل کولارس با داشتن میزان تابش خورشیدی میانگین روزانه میزان ساعتی تابش خورشیدی از رابطه‌ی (۱۲) و ضریب صافی نیز از رابطه‌ی (۱۰) محاسبه شد.

در نهایت مقایسه‌ی بین دو روش برای میزان ضریب صافی میانگین‌های روزانه و ماهانه با داده‌های واقعی انجام و نتایج حاصله برای ۳ شهر تبریز، اصفهان و بندرعباس ارائه شد.

نتایج

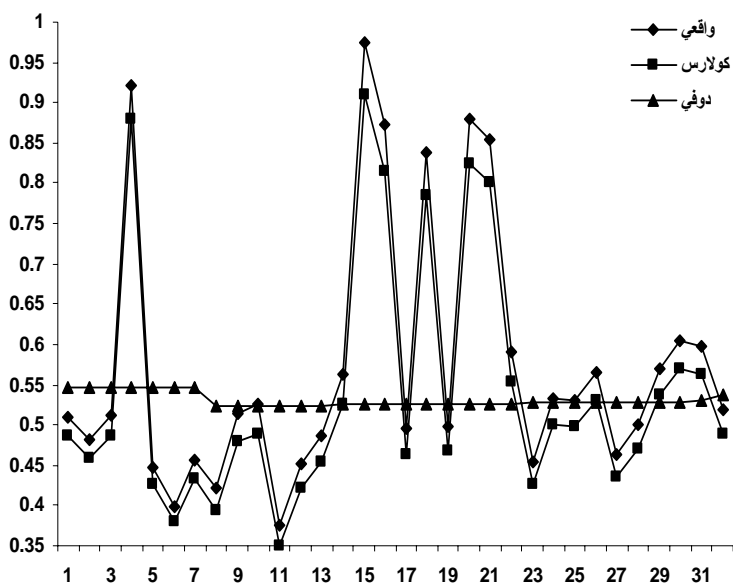
نتایج با استفاده از میانگین خطای ارزیابی MBE و جذر میانگین مربعات خطا RMSE برای ۳ شهر مورد نظر در جدول ۱ بین داده‌های واقعی، مدل کولارس و روش دوفی به صورت روزانه نشان داده شده است. همچنین برای هر شهر نیز نمودار ضریب صافی هوا برای ماه اول میلادی در نمودارهای ۲ تا ۳ و برای شهر تبریز چهار روز اول سال میلادی در نمودار ۴ ارائه شده است.

جدول (۱) نتایج MBE و RMSE روزانه

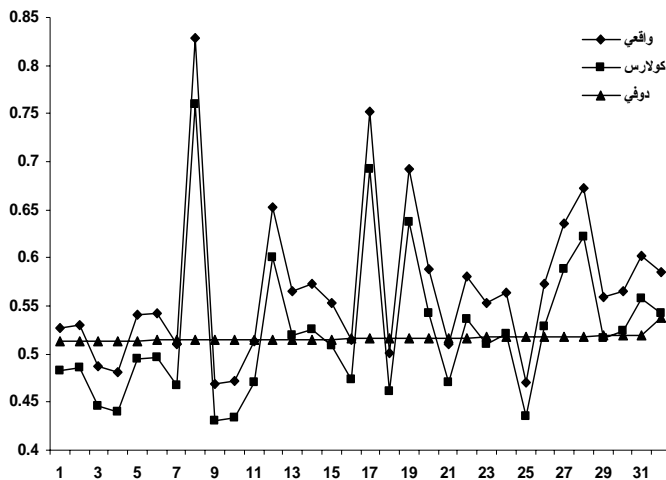
	تبریز		اصفهان		بندرعباس	
	کولارس	دوفی	کولارس	دوفی	کولارس	دوفی
MBE	-0.044	-0.034	-0.035	-0.039	-0.038	-0.042
RMSE	0.046	0.073	0.035	0.108	0.039	0.071

با توجه به جدول شماره‌ی ۱ دیده می‌شود که RMSE برای هر سه شهر در روش کولارس حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد کمتر بوده و همچنین مقادیر MBE برای شهرهای

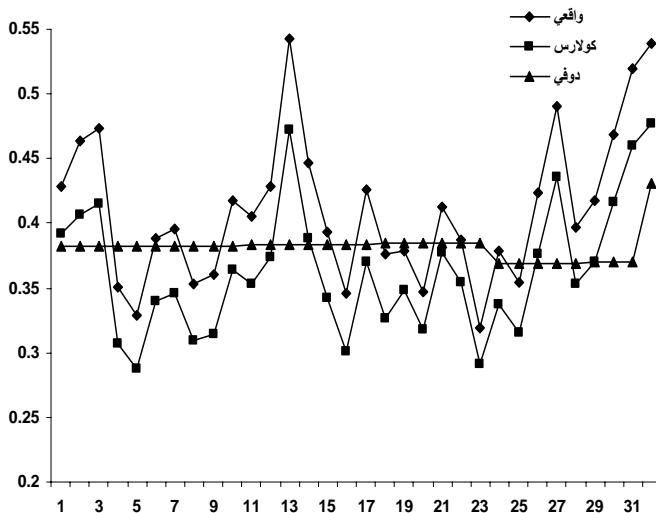
اصفهان و بندرعباس کمتر به دست آمده است. همچنین با توجه به شکل‌های ۲ تا ۵ دیده می‌شود که مدل دوفی ضریب صافی هوا را برای یک ماه تقریباً به صورت خطی (میانگین) ارایه می‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل کولارس ضریب صافی هوا را به صورت دقیق‌تری پیش‌بینی می‌کند، البته در صورتی می‌توان از این روش استفاده نمود که داده‌های واقعی روزانه تابش خورشیدی در دسترس باشند.



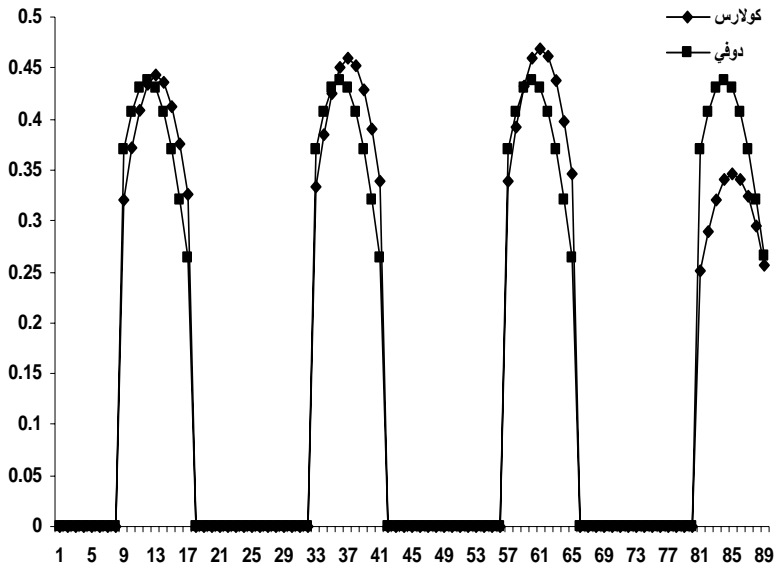
شکل (۲) نمودار ضریب صافی هوا برای ماه ژانویه به صورت روزانه (اصفهان)



شکل (۳) نمودار ضریب صافی هوا برای ماه ژانویه به صورت روزانه (بندرعباس)



شکل (۴) نمودار ضریب صافی هوا برای ماه ژانویه به صورت روزانه (تبریز)



شکل (۵) نمودار ضریب صافی هوا برای ۷ روز اول ماه ژانویه به صورت ساعتی (تبریز)

Archiv

علایم و اختصارات

δ : زاویه‌ی انحراف؛

n : شماره‌ی روزها از اول ژانویه و $B = 6.283185 \frac{n-1}{365}$ ؛

T_z : اختلاف ساعت؛

h : ساعت؛

φ : عرض جغرافیای؛

G_{sc} : ثابت خورشیدی؛

ω : زاویه‌ی ساعت؛

E_t : معادله‌ی زمان؛

L : طول جغرافیای؛

θ_z : زاویه‌ی سمت؛

α_s : زاویه‌ی فراز؛

K_{th} : ضریب صافی هوا (ساعتی)؛

G_{en} : تابش رسیده در جهت نرمال سطح در خارج از اتمسفر؛

G_{eh} : تابش رسیده در خارج از اتمسفر بر روی یک صفحه‌ی افقی؛

G_h : تابش رسیده بر روی یک صفحه‌ی افقی در سطح زمین؛

G_{bh} : تابش مستقیم رسیده بر روی یک صفحه‌ی افقی در سطح زمین؛

G_{dh} : تابش پراکنده‌ی رسیده بر روی یک صفحه‌ی افقی در سطح زمین؛

ω_s : زاویه‌ی ساعتی خورشید هنگام غروب؛

K_{nc} : ضریب تابش مستقیم نرمال در حالت آسمان صاف؛

K_{dh} : نسبت تابش پراکنده.

منابع

- ۱- بهادری نژاد، مهدی و میرحسینی، سیدعباس (۱۳۸۴)، *ضریب صافی هوا برای شهرهای مختلف ایران*، سومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان.
- ۲- سنجل، ای. یو (۱۳۸۴)، *کتاب گرمایش و سرمایش رویکردی نو*، مترجم: کوروش امیر اصلانی، شرکت تولیدی و صنعتی انرژی کشور، آبان، صص ۳۶-۳۹ و ۸۱-۱۱۴.
- ۳- مرادی، ساسان (۱۳۸۴)، *کتاب تنظیم شرایط محیطی*، تهران چاپ آشیان، صص ۷۹-۱۰۴.
- 4- Bird, R.E., Hulstrom. R. L. (1981), *A Simplified Clear Sky Model for Direct and Diffuse Insulation on Horizontal Surfaces*, Solar Energy Research Institute, Technical Report SERI/TR-642-761.
- 5- Collares, P. M. Rabl. A. (1979), *The Average Distribution of Solar Radiation Correlations between Diffuse and Hemispherical and between Daily and Hourly Insolation Values*, Solar Energy, Vol. 22, PP. 155-164.
- 6- Daneshyar, M. (1978), *Solar Radiation Statistics for Iran*, Solar Energy, Vol. 21, PP. 345-349.
- 7- Duffie. J.A., Beckman. W.A., (1980), *Solar Energy of Thermal Processes*, John Wiley, New York.
- 8- IRIMO. *Islamic Republic of Iran Meteorological Office*, Data Center, Tehran , Iran, <http://www.weather.ir/>.

- 9- Maxwell, Dr. E. (1987), *A Quasi-Physical Model for Converting Hourly Global Insolation to Direct Normal Insolation*, Solar Energy Research Institute, National Renewable Energy Laboratory, NREL TR/215-3087.
- 10- Sabbagh, J.A., Sayigh. A.A. M., Al-Salam. E.M.A. (1976), Estimation of the Total Solar Radiation from Meteorological Data, *Solar Energy*, Vol. 19, No. 3, PP. 307–311.
- 10- Paltridge. G.W. Proctor. D. (1977), Monthly Mean Solar Radiation Statistics for Australia, *Solar Energy*, Vol. 18, No. 3, PP. 235– 243.
- 11- Sabziparvar, A.A. (2007), General Formula for Estimation of Monthly Mean Global Solar Radiation in Different Climates on the South and North Coasts of Iran, Hindawi Publishing Corporation *International Journal of Photo Energy*.
- 12- Yaghoubi. M.A. Sabzevari, A. (1996), Further Data on Solar Radiation in Shiraz, Iran, *Renewable Energy*, Vol. 7, Issue. 4, PP. 393-399.