

محاسبه ضریب صافی هوا برای شهرهای ایران

عبدالسلام ابراهیم پور^۱ - مهدی معرفت^۲ - هادی نیری^۳

چکیده

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

واژه‌های راهنما: تابش خورشیدی، ضریب صافی هوا، سطح افقی

^۱ نویسنده مسؤل، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، عضو هیئت علمی (مریی) salam_ebr@yahoo.com

^۲ دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، عضو هیئت علمی (دانشیار)

^۳ دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز، دانشجوی دوره دکتری جغرافیا طبیعی

۱- مقدمه

تقریباً تمام انرژی حرارتی کره زمین را خورشید به صورت تابش تامین می‌کند. تابش خورشید حاصل تشعشع الکترومگنتیک است که به صورت موج انتقال می‌یابد. طول این موج‌ها از ۰/۲۸ میکرون تا ۳ میکرون است. با داشتن اطلاعاتی در مورد ضریب صافی هوا می‌توان شدت تابش خورشیدی را در هر ساعت و برای هر شهر دلخواه در سطح زمین محاسبه نمود. [۱]

روش‌های مختلفی توسط محققین برای تخمین میزان شدت تابش خورشید در یک نقطه سطح زمین و همچنین ضریب صافی هوا پیشنهاد شده است. برای تخمین میزان شدت تابش خورشید برای شهرهای ایران، دانشیار [۲]، سبزی‌پرور [۳]، بهادری نژاد [۴] و یعقوبی [۵] مدل‌ها و یا مقادیری را پیشنهاد نموده‌اند. صباغ [۶] یک رابطه برای برآورد کل تابش خورشیده رسیده به یک سطح افقی برای نقاط مختلف جهان ارائه نمود که این رابطه وابسته به داده‌های اقلیمی مانند درصد رطوبت و دمای ماکزیمم و همچنین داده‌های مانند عرض جغرافیایی و شماره روز از سال است. Paltridge [۷] نیز با استفاده از فاکتور میزان ابری بودن هوا و همچنین زاویه زنیت دو رابطه را برای برآورد تابش‌های مستقیم و دیفیوز رسیده به یک سطح افقی ارائه نمود. دانشیار [۲] روش ارائه شده توسط Paltridge برای محاسبه میزان شدت تابش رسیده به یک سطح افقی را برای شهرهای مختلف ایران با تغییر ضرایب ثابت اصلاح نمودند. سبزی‌پرور [۳] روش‌های مختلف (صباغ، پالبریج و دانشیار) را برای محاسبه تابش کل روزانه رسیده به یک سطح افقی را برای مناطق ساحلی ایران بررسی و اصلاح نمود و برای اصلاح این روابط از ضریب فاصله زمین و خورشید که در طول سال متغیر می‌باشد، استفاده نمود. بهادری نژاد [۴] ضریب صافی متوسط ماهیانه هوا را بر اساس پارامترهای اقلیمی رطوبت نسبی، دما، میزان بارندگی و میزان ساعات آفتابی برای شهرهای مختلف ایران ارائه نمود که ضریب صافی هوا پارامتر مهمی در محاسبه میزان تابش خورشیدی می‌باشد. یعقوبی و سبزواری [۵] نیز با استفاده از برآورد صحیح کسر ساعات آفتابی از داده‌های اندازه‌گیری شده میزان ضریب صافی هوا را به صورت ماهیانه برای شهر شیراز برآورد کردند.

هدف از این تحقیق محاسبه دقیق ضریب صافی هوا برای شهرهای مختلف ایران می‌باشد که 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 موردنظر به مقدار انرژی تابشی دریافتی همین صفحه افقی 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 داده‌های اندازه‌گیری شده شدت تابش خورشید رسیده به یک سطح افقی در سطح زمین توسط سازمان هواشناسی کشور، شدت تابش خورشیدی رسیده به سطح و ضریب صافی با استفاده از دو روش مختلف برای ۳ شهر تبریز، اصفهان و بندرعباس تخمین زده می‌شود و نتایج حاصله با داده‌های اندازه‌گیری شده مقایسه شده و روش بهتر برای پیش‌بینی ضریب صافی هوا که با نتایج اندازه‌گیری شده همخوانی بیشتری دارد، ارائه می‌گردد.

۲- تابش خورشیدی

مقدار تابش خورشید در خارج از اتمسفر زمین بر روی یک صفحه عمود بر شعاع خورشید، ثابت خورشیدی نامیده می‌شود. تابش ثابت خورشید به مقدار ۲ درصد به علت تغییراتی که در سطح خورشید صورت می‌گیرد کاسته یا افزوده می‌شود و تقریباً برابر با $G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$ می‌باشد. مقدار تابش خورشیدی که در نهایت به سطح زمین می‌رسد را تابش حقیقی می‌نامند. [۱] شرایط لحظه‌ای و بلند مدت جویی 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 گردد. ذرات آب، بخار و دود همچنین ذرات معلق دیگر در هوا باعث جذب یا پراکنده شدن تابش خورشید می‌گردد. 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. [۷]

۳- پارامترها و زوایه‌های خورشیدی

برای محاسبه مقدار تابش خورشیدی رسیده به یک سطح احتیاج به تعریف تعدادی پارامتر و زوایه‌های خورشیدی داریم که در ادامه توضیح داده می‌شوند. [۸ و ۹]

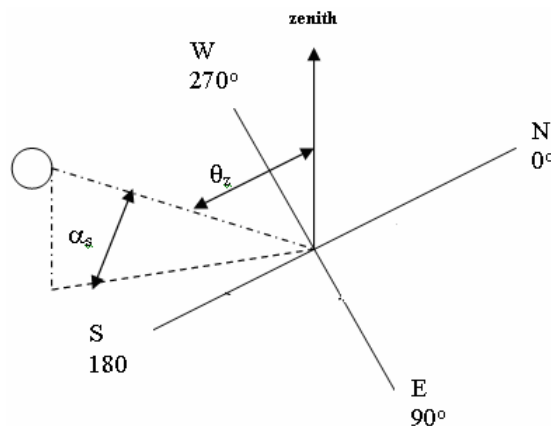
۳-۱- زاویه انحراف δ

زاویه بین اشعه‌های خورشید و صفحه استوایی است که از $۲۳/۴۵$ درجه در تابستان تا $-۲۳/۴۵$ در زمستان تغییر می‌کند و از روش زیر بر حسب درجه محاسبه می‌گردد:

$$\delta = \frac{180}{\pi} \left(0.006918 - 0.399912 \cos B + 0.070257 \sin B - 0.006758 \cos 2B \right. \\ \left. + 0.000907 \sin 2B - 0.002697 \cos 3B + 0.00148 \sin 3B \right) \quad (1)$$

که در این رابطه n شماره روزها از اول ژانویه است و داریم:

$$B = 6.283185 \frac{n-1}{365} \quad (2)$$



شکل ۱

زاویه شیب δ در نقطه اعتدالین پاییز و بهار صفر و در تحویل تابستانی در ۲۱ ژوئن ۲۳/۵+ درجه و در تحویل زمستانی در نیمکره شمالی ۲۳/۵- درجه می‌باشد.

۳-۲- زاویه ساعت و معادله زمان

زاویه ساعت ω زاویه بین عرض جغرافیای موضعی و عرض جغرافیایی که اشعه‌های خورشید در سمت‌الراس آن قرار دارند، است یعنی زاویه‌ای است که زمین باید برای انطباق نصف‌النهار آن نقطه روی اشعه‌های خورشید بچرخد. برای محاسبه زاویه ساعت باید معادله زمان E_t ابتدا حساب گردد.

$$E_t = 229.18 \left(\begin{array}{l} 0.000075 + 0.001868 \cos B - 0.032077 \sin B \\ - 0.014615 \cos 2B - 0.040849 \sin 2B \end{array} \right) \quad (3)$$

برای محاسبه زاویه ساعت باید اختلاف ساعت (Time Zone) Tz نیز در منطقه مورد نظر مشخص گردد که مقدار آن را می‌توان به صورت زیر تقریب زد.

$$Tz = (L + 7.5) / 15 \quad (4)$$

که در این رابطه L طول جغرافیای و بر حسب درجه است.

زاویه ساعت بر حسب درجه از رابطه زیر برای هر ساعت از سال حساب می‌گردد.

$$\omega = 15 \left(h - 12.5 + \frac{E_t}{60} + \frac{L}{15} - Tz \right) \quad (5)$$

که در این رابطه L طول جغرافیای (درجه)، h ساعت موردنظر، E_t معادله زمان و Tz اختلاف ساعت است.

۳-۳- محاسبه زاویه زینت θ_z

زاویه زینت، زاویه بین اشعه‌های خورشید و قائم بر سطح افقی می‌باشد (شکل ۱) و از روی مثلثات کروی داریم (بر حسب درجه):

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega = \sin \alpha_s \quad (6)$$

که در آن ϕ عرض جغرافیای و α_s زاویه فراز Altitude است.

۴- محاسبه تابش خورشیدی رسیده بر روی سطوح افقی در خارج از اتمسفر

در این قسمت نحوه محاسبه تابش خورشیدی رسیده به سطوح افقی در خارج از اتمسفر بررسی می‌گردد.

۴-۱- میزان کل تابش رسیده در جهت نرمال سطح در خارج از اتمسفر G_{en}

برای محاسبه میزان تابش رسیده بر حسب W/m^2 در جهت نرمال سطح به صورت روزانه از روش زیر استفاده شده است:

$$G_{en} = G_{sc} \left(\begin{array}{l} 1.000110 + 0.034221 \cos B + 0.001280 \sin B \\ + 0.000719 \cos 2B + 0.000077 \sin 2B \end{array} \right) \quad (7)$$

که در این رابطه $G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$ ثابت خورشیدی، n شماره روزها از اول ژانویه است و داریم:

$$B = 6.283185 \frac{n-1}{365} \quad (8)$$

۲-۴- میزان کل تابش رسیده در خارج از اتمسفر بر روی یک صفحه افقی G_{eh}

برای محاسبه این مقدار احتیاج به محاسبه زاویه زنیت θ_z داریم:

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

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

۵- ضریب صافی هوا

ضریب صافی هوا را می توان برای هر روز، ساعت و یا ماه در نظر گرفت و داریم.

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

که در این رابطه G_h کل تابش رسیده به یک سطح افقی در سطح زمین است و اگر میزان تابش های خارج اتمسفر و سطح زمین (G_h, G_{eh}) به صورت ساعتی باشند مقدار ساعتی K_{th} ، اگر به صورت متوسط روزانه یا ماهیانه باشند، مقادیر روزانه K_{td} و ماهیانه K_{tm} حساب می گردند. اگر میزان تابش رسیده به یک سطح افقی در سطح زمین به درستی محاسبه گردد می توان گفت که ضریب صافی هوا نیز درست محاسبه شده است. با استفاده از داده های اندازه گیری شده تابش کل G_h توسط سازمان هواشناسی کشور که به صورت متوسط روزانه هستند، می توان میزان متوسط ماهیانه و روزانه ضریب صافی هوا را حساب نمود.

Duffie در سال ۱۹۸۰، رابطه زیر را برای محاسبه میزان ساعتی ضریب صافی از روی میزان ماهیانه آن ارائه نمود. [۱۰]

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

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

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

که در این رابطه h زمان بر حسب ساعت بوده و ω_s زاویه ساعت برای طلوع یا غروب خورشید است. البته در این روابط ($\omega_s - 60$) به رادیان تبدیل گردد)

همچنین کولارس و همکاران، رابطه رگرسیونی برای نسبت تابش کل لحظه ای به تابش کل روزانه r_g به صورت زیر برای یک صفحه افقی ارائه نمودند. [۱۱]

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

که در آن T طول شبانه‌روز و 24 ساعت است، ω زاویه ساعت بر حسب رادیان و ω_s زاویه ساعتی خورشید هنگام غروب (بر حسب رادیان) است و ضرایب a' ، b' ، ضرایب تجربی هستند که از روابط زیر بدست می‌آیند.

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

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

۶- روش انجام تحقیق

ابتدا با داشتن داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده تابش خورشیدی توسط سازمان هواشناسی کشور برای یک دوره ۱۴ ساله که به صورت متوسط روزانه می‌باشند [۱۲]، میزان واقعی ضریب صافی ماهیانه و روزانه حساب می‌گردد. با داشتن میزان واقعی ضریب صافی ماهیانه، از روش Duffie میزان ساعتی و روزانه آن محاسبه شده و سپس با داشتن ضریب صافی میزان تابش خورشیدی رسیده به سطح افقی نیز از رابطه ۱۰ به صورت ساعتی محاسبه شده است. همچنین در مدل کولارس با داشتن میزان تابش خورشیدی اندازه‌گیری شده میانگین روزانه توسط سازمان هواشناسی کشور میزان ساعتی تابش خورشیدی از رابطه ۱۲ و ضریب صافی نیز از رابطه ۱۰ محاسبه شده است.

حال مقایسه بین دو روش برای میزان ضریب صافی میانگین روزانه و ماهیانه با داده‌های واقعی انجام شده است. البته نتایج برای ۳ شهر تبریز، اصفهان و بندرعباس ارائه شده است.

۷- نتایج

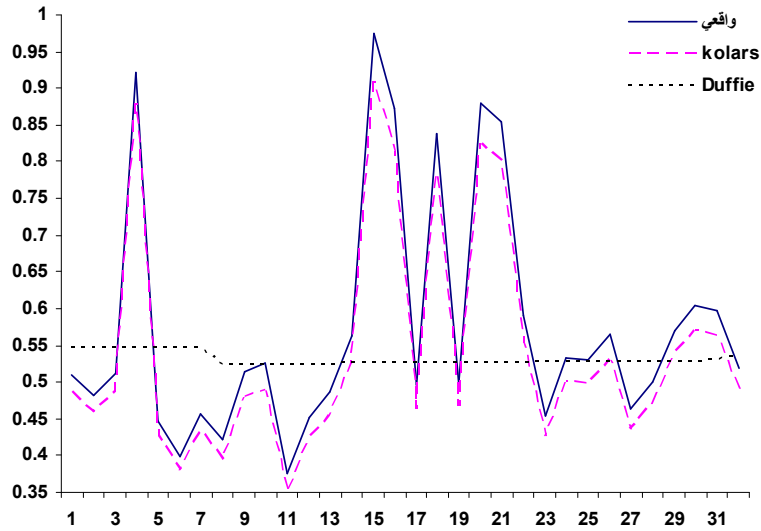
نتایج با استفاده از میانگین خطای اریبی MBE و جذرمیانگین مربعات خطا RMSE برای ۳ شهر موردنظر در جدول ۱ بین داده‌های واقعی، مدل کولارس و روش Duffie به صورت روزانه نشان داده شده است. همچنین برای هر شهر نیز نمودار ضریب صافی هوا برای ماه اول میلادی در نمودارهای ۲ تا ۳ و برای شهر تبریز چهار روز اول سال میلادی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

جدول ۱: نتایج MBE و RMSE روزانه

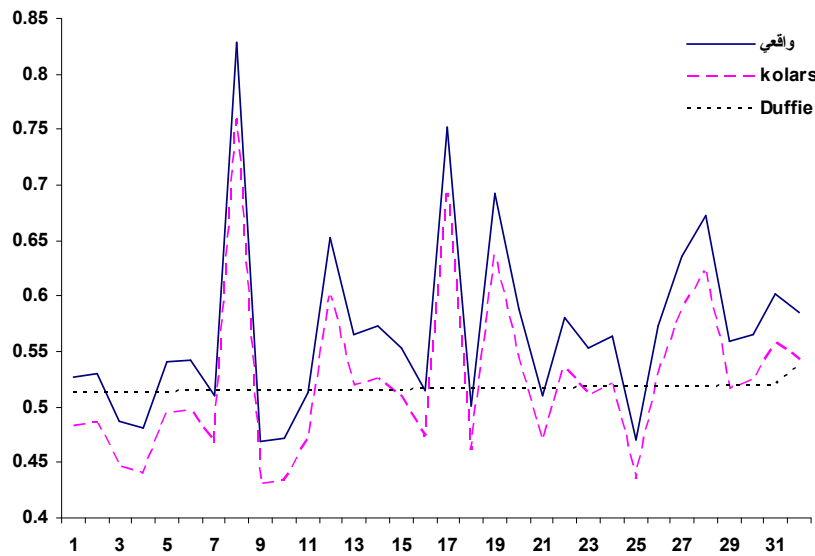
	تبریز		اصفهان		بندر عباس	
	kolars	Duffie	kolars	Duffie	kolars	Duffie
MBE	-0.04439	-0.03379	-0.03451	-0.03913	-0.03796	-0.04233
RMSE	0.04572	0.07276	0.03541	0.10750	0.03858	0.07084

با توجه به جدول ۱ دیده می‌شود که RMSE برای هر سه شهر در روش کولارس حدود ۳۰-۵۰ درصد کمتر بدست آمده است و همچنین MBE نیز برای شهرهای اصفهان و بندرعباس کمتر بدست آمده است. همچنین با توجه به شکل‌های ۲ تا ۵ نیز دیده می‌شود که مدل Duffie ضریب صافی هوا را برای یک ماه تقریباً به صورت خطی (میانگین) ارائه می‌دهد. بنابراین می‌توان گفت که مدل کولارس

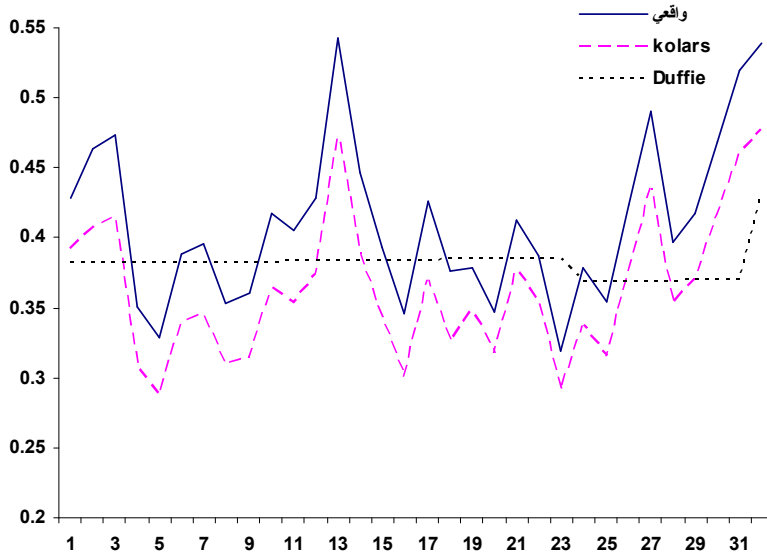
ضریب صافی هوا را به صورت دقیقتری پیش بینی می کند، البته در صورتی می توان از این روش استفاده نمود که داده های واقعی روزانه تابش خورشیدی در دسترس باشند.



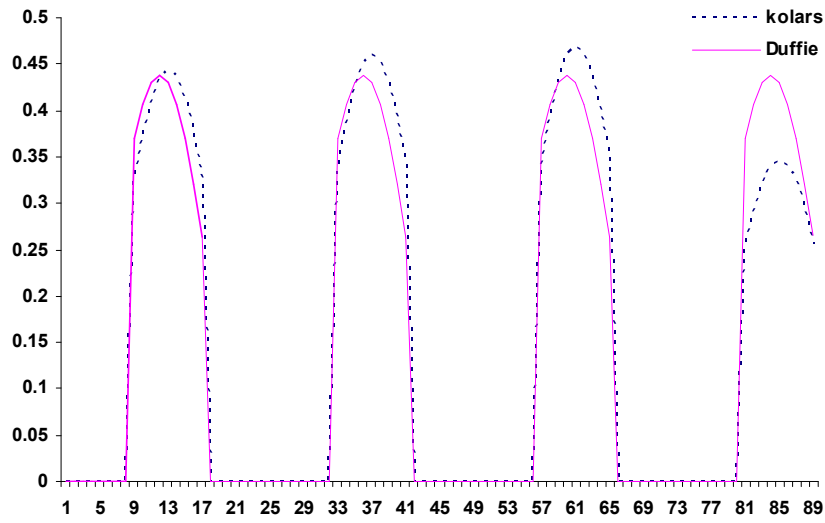
شکل ۲: نمودار ضریب صافی هوا برای ماه اول میلادی به صورت روزانه (اصفهان)



شکل ۳: نمودار ضریب صافی هوا برای ماه اول میلادی به صورت روزانه (بندرعباس)



شکل ۴: نمودار ضریب صافی هوا برای ماه اول میلادی به صورت روزانه (تبریز)



شکل ۵: نمودار ضریب صافی هوا برای ۴ روز اول سال میلادی (تبریز)

۸- مراجع

- ۱- ساسان مرادی، کتاب تنظیم شرایط محیطی، تهران چاپ آشیان ۱۳۸۴، صفحه ۷۹-۱۰۴
- 2- Daneshyar. M, "Solar Radiation Statistics for Iran", Solar Energy, Vol. 21, PP. 345-349. (1978)
- 3- Sabziparvar. Ali. A, "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 Photoenergy. (2007)
- ۴- مهدی بهادری نژاد، سید عباس میر حسینی، ضریب صافی هوا برای شهرهای مختلف ایران، سومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، ۱۳۸۴
- 5- Yaghoubi. M. A, Sabzevari. A, "Further data on solar radiation in Shiraz, Iran", Renewable Energy, Vol. 7, Issue. 4, PP. 393-399. (1996)
- 6- Sabbagh. J. A, Sayigh. A. A. M, Al-Salam. E. M. A, "Estimation of the total solar radiation from meteorological data", Solar Energy, Vol. 19, No. 3, PP. 307-311. (1977)
- 7- Paltridge. G. W, Proctor. D, "Monthly mean solar radiation statistics for Australia", Solar Energy, Vol. 18, No. 3, PP. 235-243. (1976)
- ۷- Yunus A. Cengel، کتاب گرمایش و سرمایش رویکردی نو، ترجمه کوروش امیر اصلانی، شرکت تولیدی و صنعتی انرژی کشور، آبان ۱۳۸۴، صفحه ۳۶-۳۹ و ۸۱-۱۱۴
- 8- Bird. R. E, Hulstrom. R. L, "A Simplified Clear Sky model for Direct and Diffuse Insolation on Horizontal Surfaces", Solar Energy Research Institute, Technical Report SERI/TR-642-761. (Feb 1981)
- 9- Maxwell. Dr. E, "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. (August 1987)
- 10- Duffie. J. A, Beckman. W. A, "Solar energy of thermal processes", John Wilcy, New York. (1980)
- 11- Collares, Perreira. M, Rabl. A, "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. (1979)
- 12- IRIMO. Islamic Republic of Iran Meteorological Office, Data Center, Tehran, Iran, <http://www.weather.ir/>

۹- علائم و اختصارات

δ : زاویه انحراف

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

Tz : اختلاف ساعت

h : ساعت

φ : عرض جغرافیای

G_{sc} : ثابت خورشیدی

ω : زاویه ساعت

E_t : معادله زمان

L : طول جغرافیای

θ_z : زاویه سمت

α_s : زاویه 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 صفحه افقی

G_h : تابش رسیده بر روی یک صفحه افقی در سطح زمین

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

G_{dh} : تابش دیفیوز رسیده بر روی یک صفحه افقی در سطح زمین

ω_s : زاویه ساعتی خورشید هنگام غروب

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

K_{dh} : نسبت تابش دیفیوز