ارائه یک رابطه جدید برای تخمین میزان تابش کل در اقلیم‌های مختلف ایران

عبدالسلام ابراهیم پور[۱]

مهدی معرفت[۲]

هادی نیری[۳]

چکیده

محاسبه تابش خورشیدی رسیده به یک سطح افقی کاربردهای زیادی در محاسبات مصرف انرژی دارد. روشهای زیادی برای پیش‌بینی تابش خورشیدی رسیده به یک سطح افقی در سطح زمین ارائه شده است که این روشها برای اقلیم‌ها و شرایط خاص مقدار تابش خورشیدی را صحیح پیش‌بینی می کنند و یا بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده در آن منطقه بدست آمده‌اند، بنابراین ارائه روش مناسب برای پیش‌بینی صحیح میزان تابش خورشیدی برای اقلیم‌های مختلف ایران ضروری به نظر می رسد. در این تحقیق با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده میانگین ماهانه و روزانه تابش کل خورشیدی[٤] توسط سازمان هواشناسی کشور برای یک دوره ١٤ ساله(۱۹۹۲-۲۰۰۵)، روش جدیدی برای برآورد میزان تابش کل خورشیدی رسیده به یک سطح افقی ارائه شده است. نتایج نشان می دهند که رابطه جدید ارائه شده و همچنین روش واتانابه به شرطی که ضریب صافی هوا به صورت صحیح برآورد شود، برای شهرهای مختلف ایران نتایج خوبی بدست می‌دهد.

واژگان کلیدی

تابش کل خورشیدی، ضریب صافی هوا، سطح افقی

---

[۱] نویسنده مسؤل، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، عضو هیئت علمی(مربی) **salam_ebr@yahoo.com**

[۲] دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، عضو هیئت علمی(دانشیار) **Maerefat@modares.ac.ir**

[۲] دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز، دانشجوی دوره دکتری جغرافیا طبیعی **h_nayeri@tabrizu.ac.ir**

[4] Global solar radiation

مقدمه

برآورد دقیق تابش خورشیدی کل رسیده به یک سطح کاربردهای زیادی در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی برای محاسبات مربوط به میزان مصرف انرژی دارد. تابش خورشیدی که وارد آتمسفر می‌شود در اثر جذب توسط مواد موجود در آتمسفر و انعکاس توسط ابرها کاسته شده و در نتیجه تابش خورشیدی که به سطح زمین برخورد می‌کند کمتر از مقدار آن در خارج از آتمسفر است. مقدار کاهش تابش خورشیدی به طول مسیر پیموده شده اشعه در آتمسفر و همچنین ترکیبات آن(ابرها، گرد و غبار، رطوبت و مه) بستگی دارد. ابرها و ذرات موجود در آتمسفر نور خورشید را به جهات مختلف نیز پراکنده می‌کنند**(مرادی، ١٣٨٤)**.

روش‌های مختلفی توسط محققین برای تخمین میزان شدت تابش خورشید در یک نقطه سطح زمین برای نقاط مختلف جهان پیشنهاد شده است. هر یک از این روش ها بر اساس ضریب صافی‌هوا، کسر ساعات آفتابی، میزان بارندگی، دما، رطوبت نسبی، فشار، ارتفاع از سطح دریا و پارامترهای دیگر می‌باشند که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره می‌گردد. صباغ و همکاران(١٩٧٦) رابطه‌ای برای برآورد کل تابش خورشیده رسیده به یک سطح افقی برای نقاط مختلف جهان ارائه نمودند که به داده‌های اقلیمی مانند درصد رطوبت و دمای ماکزیمم و همچنین عرض جغرافیایی و شماره روز از سال وابسته است. پالبریج(١٩٧٧) نیز با استفاده از فاکتور میزان ابری بودن هوا و همچنین زاویه زنیت دو رابطه را برای برآورد تابش های مستقیم[٥] و پراکنده[٦] رسیده به یک سطح افقی ارائه نمود. هنگ و همکاران(٢٠٠١) رابطه‌ای برای برآورد تابش به صورت ساعتی بر روی سطح افقی ارائه نمودند که بر اساس زاویه ساعت[٧] و ضریب ابر، دمای هوای خشک و سرعت باد استوار بوده و شامل تعدادی ضرایب ثابت است که باید از روی داده‌های اندازه‌گیری شده و روش رگرسیون بدست آیند. برای استفاده از رابطه مذکور برای سایر شرایط اقلیمی باید مقادیر ضرایب ثابت را بدست آورد. صبائی(٢٠٠٥) نیز رابطه‌ای برای تابش میانگین کل ماهانه بر اساس کسر ساعات آفتابی ارائه نموده است که ضرایب آن از داده های اندازه‌گیری شده بدست آمده است.

به منظور تخمین میزان شدت تابش خورشید برای شهرهای ایران نیز روشها و مقادیری پیشنهاد شده است. دانشیار(١٩٧٨) روش ارائه شده توسط پالبریج برای محاسبه میزان شدت تابش رسیده به یک سطح افقی را برای شهرهای مختلف ایران با تغییر ضرایب ثابت اصلاح نمود. سبزی‌پرور(٢٠٠٧) روش های مختلف(صباغ، پالبریج و دانشیار)، برای محاسبه تابش کل روزانه رسیده به یک سطح افقی، را در مورد مناطق ساحلی ایران بررسی و اصلاح نمود و بدین منظور از ضریب فاصله زمین و خورشید که در طول سال متغییر می‌باشد، استفاده کرد. بهادری‌نژاد(١٣٨٤) ضریب صافی متوسط ماهانه هوا را بر اساس رطوبت نسبی، دما، میزان بارندگی و میزان

[5] Direct
[6] Diffuse
[7] Hour angle

ساعات آفتابی برای شهرهای مختلف ایران ارائه کرد و نشان داد که ضریب صافی هوا پارامتر مهمی در محاسبه میزان تابش خورشیدی می‌باشد. یعقوبی(۱۹۹٦) 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.

با توجه به اینکه اکثر روش های ارائه شده در این زمینه برای اقلیم‌ها و شرایط خاص مقدار تابش خورشیدی را صحیح پیش‌بینی می کنند و یا بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده در آن منطقه بدست آمده‌اند، ارائه روش مناسب برای پیش‌بینی صحیح میزان تابش خورشیدی برای اقلیم‌های مختلف ایران ضروری به نظر می رسد. (ابراهیم پور، ۱۳۸۷)، در تحقیقی که قبلاً که در این زمینه انجام شده است(ابراهیم پور، ۱۳۸۷)، روشهای مختلف پیش‌بینی تابش خورشیدی بررسی گردیده و مشخص شده است که روش ارائه شده توسط واتانابه(۱۹۸۳) برای شرایط اقلیمی کشور ژاپن به شرطی که ضریب صافی هوا به صورت صحیح برآورد شود، برای شهرهای مختلف ایران نیز نتایج خوبی می‌دهد. هدف از این تحقیق ارائه رابطه‌ای جدید برای برآورد صحیح‌تر میزان تابش کل رسیده به یک سطح افقی برای شهرهای مختلف ایران می‌باشد. بدین منظور ابتدا با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده میانگین ماهانه و روزانه شدت تابش خورشیدی رسیده به یک سطح افقی در سطح زمین توسط سازمان هواشناسی کشور(IRIMO، ۲۰۰۷) برای یک دوره ١٤ ساله(۱۹۹۲-۲۰۰۵)، ضریب صافی هوا به صورت ماهانه و روزانه بدست آمد و با استفاده از دو روش برای شهرهای تبریز، اصفهان، بندرعباس، تهران، شیراز، کرمان، بوشهر، همدان و یزد به صورت ساعتی مقدار ضریب صافی هوا تخمین زده شد. سپس رابطه‌ای جدید برای محاسبه میزان تابش کل با استفاده از روش رگرسیون با داده‌های اندازه‌گیری شده ارائه گردید و نتایج حاصل با داده‌های اندازه‌گیری شده میانگین روزانه و ماهانه، مورد مقایسه قرار گرفت.

تابش خورشیدی

مقدار تابش خورشید در خارج از آتمسفر 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 $G_{sc}=1367W/m^2$ می‌باشد. مقدار تابش خورشیدی که در نهایت به سطح زمین می‌رسد را تابش حقیقی می‌نامند.**(مرادی، ١٣٨٤)** 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 که مقدار قابل ملاحظه‌ای از تابش حقیقی خورشید به خارج از آتمسفر منعکس گردد. ذرات آب، بخار و دود همچنین ذرات معلق دیگر در هوا باعث جذب یا پراکنده شدن تابش می‌گردند. در روزهای آفتابی ۱۵ درصد اشعه خورشید به

صورت پراکنده به زمین می‌رسد اما در روزهای ابری این مقدار ممکن است به ۱۰۰ درصد نیز برسد. (سنجل[8]، مترجم کوروش امیر اصلانی، ۱۳۸٤)

تعاریف

برای محاسبه مقدار تابش خورشیدی رسیده به یک سطح احتیاج بـه تعریـف تعـدادی از پـارامتر و زاویـه‌هـای خورشیدی وجود دارد که در ادامه توضیح داده می‌شوند(Bird, 1981) و (Maxwell, 1987).

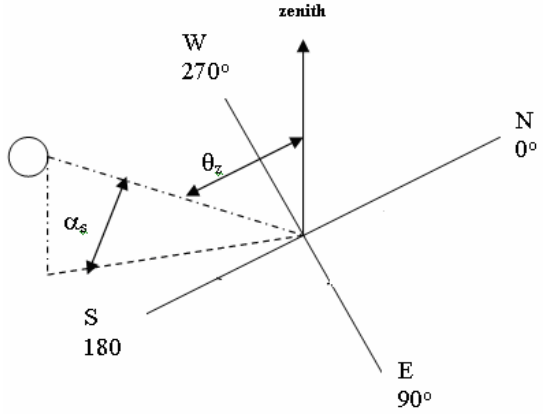
زاویه انحراف (δ)

زاویه بین اشعه خورشید و صفحه استوایی است که از ۲۳/٤٥ درجـه در تابـستان تـا ۲۳/٤٥- در زمـستان تغییـر می‌کند و از روش زیر بر حسب درجه محاسبه می گردد:

$$\delta = \frac{180}{\pi}\begin{pmatrix} 0.006918 - 0.399912\cos B + 0.070257\sin B - 0.006758\cos 2B \\ + 0.000907\sin 2B - 0.002697\cos 3B + 0.00148\sin 3B \end{pmatrix} \quad (۱)$$

در این رابطه n شماره روزها از اول ژانویه است و B نیز ضریبی است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

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



شکل ۱: زوایای خورشیدی

زاویه شیب δ در نقطه اعتدالین پاییز و بهار صفر و در انقلاب تابستانی در ۲۱ ژوئـن ۲۳/٥+ درجـه و در انقـلاب زمستانی در نیمکره شمالی ۲۳/٥- درجه می‌باشد.

[8] Cengel

زاویه ساعت (ω) و معادله زمان (E_t)

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

$$E_t = 229.18\begin{pmatrix}0.000075 + 0.001868\cos B - 0.032077\sin B\\ -0.014615\cos 2B - 0.040849\sin 2B\end{pmatrix} \quad (۳)$$

برای محاسبه زاویه ساعت باید اختلاف ساعت(Tz [9]) نیز در منطقه مورد نظر مشخص گردد که مقدار آن را می‌توان به صورت زیر تقریب زد:

$$Tz = (L + 7.5)/15 \quad (٤)$$

در رابطه فوق L طول جغرافیای و بر حسب درجه است.

زاویه ساعت بر حسب درجه برای هر ساعت از سال از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\omega = 15\left(h - 12.5 + \frac{E_t}{60} + \frac{L}{15} - Tz\right) \quad (٥)$$

در رابطه فوق h ساعت موردنظر است.

محاسبه زاویه زنیت (θ_z)

زاویه زنیت(سمت الراس)، زاویه بین اشعه خورشید و محور عمود بر سطح افقی(نرمال) می‌باشد(شکل ۱) و بر اساس مثلثات کروی می‌توان نوشت(بر حسب درجه):

$$\cos\theta_z = \sin\delta\sin\phi + \cos\delta\cos\phi\cos\omega = \sin\alpha_s \quad (٦)$$

در رابطه فوق φ عرض جغرافیای و α_s زاویه فراز[10] است.

محاسبه تابش خورشیدی رسیده بر روی سطوح افقی در خارج از آتمسفر

میزان کل تابش رسیده در جهت نرمال سطح در خارج از آتمسفر (G_{en})

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

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

[9] Time Zone
[10] Altitude

در رابطه فوق $G_{sc}=1367W/m^2$ ثابت خورشیدی، n شماره روزها از اول ژانویه است. برای محاسبه B نیز عیناً از رابطه (۲) استفاده شده است.

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

برای محاسبه این مقدار احتیاج به محاسبه زاویه زنیت θ_z وجود دارد:

$$G_{eh} = G_{en}\cos\theta_z \qquad (۸)$$

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

ضریب صافی هوا (K_{th})

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 آتمسفر قرار داشته باشد. ضریب صافی هوا را می توان برای هر روز، ساعت و یا ماه در نظر گرفت، مقدار K_{th} از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$K_{th} = \frac{G_h}{G_{eh}} \qquad (۹)$$

در رابطه فوق G_h کل تابش رسیده به یک سطح افقی در سطح زمین است و اگر میزان تابش‌های خارج آتمسفر و سطح زمین (G_h,G_{eh}) به صورت ساعتی باشند، مقدار ساعتی K_{th}، اگر به صورت متوسط روزانه یا ماهانه باشد، مقادیر روزانه K_{td} و ماهانه K_{tm} قابل محاسبه خواهند بود. 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. در این تحقیق با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده تابش کل (G_h) توسط سازمان هواشناسی کشور که به صورت متوسط روزانه به ثبت رسیده‌اند، می‌توان میزان متوسط ماهانه و روزانه ضریب صافی هوا را محاسبه نموده و سپس میزان ضریب صافی هوا را به صورت ساعتی از یکی از دو روش زیر بدست آورد.

روش اول: دوفی،(Duffie, Beckman, 1980) روش زیر را برای محاسبه میزان ساعتی ضریب صافی از روی میزان ماهانه آن ارائه کرده است:

$$K_{th} = \left[a + b\cos\frac{\pi}{12}(h-12)\right]K_{tm} \qquad (۱۰)$$

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

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

در روابط فوق h زمان بر حسب ساعت و ω_s زاویه ساعت برای طلوع یا غروب خورشید است. در این روابط $(\omega_s\text{-}60)$ باید به رادیان تبدیل گردد.

روش دوم: کولارس و همکاران (Collares, Perreira, Rabl, 1979)، رابطه رگرسیونی برای نسبت تابش کل لحظه‌ای به تابش کل روزانه r_g را برای یک صفحه افقی به صورت زیر ارائه نمودند:

$$r_g = \frac{\pi}{T}\left(a' + b'\cos\omega\right)\frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \omega_s\cos\omega_s} \qquad (11)$$

در رابطه فوق T طول شبانه‌روز(۲٤ ساعت)، ω زاویه ساعت بر حسب رادیان و ω_s زاویه ساعتی خورشید هنگام غروب(بر حسب رادیان) است. ضرایب a' , b' ضرایب تجربی هستند که از روابط زیر بدست می‌آیند:

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

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

در این روش چون داده‌های واقعی تابش کل اندازه گیری شده میانگین روزانه موجود می‌باشند، مقدار ساعتی تابش کل و درنتیجه ضریب صافی هوا از رابطه ۹ قابل محاسبه است.

روش‌های مورد تحقیق برای پیش‌بینی تابش کل (G_h)

در تحقیقی که قبلاً در این زمینه انجام شده است(ابراهیم پور، ۱۳۸۷)، روشهای مختلف پیش‌بینی تابش خورشیدی مورد بررسی واقع شده و معلوم شده است که روش ارائه شده توسط واتانابه برای شرایط اقلیمی کشور ژاپن به شرطی که ضریب صافی هوا به صورت صحیح برآورد شود، برای شهرهای مختلف ایران نیز نتایج خوبی را می‌دهد. در این قسمت روش واتانابه و روش ارائه شده توسط سازمان Ashrae ، (Ashrae, 1995) معرفی می‌شوند:

روش واتانابه: در این روش میزان تابش پراکنده، مستقیم و کل برای شرایط اقلیمی کشور ژاپن از روابط زیر بر حسب W/m^2 حساب شده است.

$$K_{TC} = 0.4268 + 0.1934\sin\alpha_s$$

$$K_{DS} = K_{th} - (1.107 + 0.03569\sin\alpha_s + 1.681\sin^2\alpha_s)(1 - K_{th})^2 \quad if\ K_{th} \geq K_{TC}$$

$$K_{DS} = (3.996 - 3.862\sin\alpha_s + 1.54\sin^2\alpha_s)K_{th}^{\ 3} \quad if\ K_{th} < K_{TC} \qquad (12)$$

$$G_{dh} = G_{en}\frac{K_{th} - K_{DS}}{1 - K_{DS}}\sin\alpha_s$$

$$G_{bh} = G_{en}K_{DS}\frac{1 - K_{th}}{1 - K_{DS}}\sin\alpha_s \qquad (13)$$

$$G_h = G_{bh} + G_{dh}$$

در روابط فوق G_{dh} تابش پراکنده، G_{bh} تابش مستقیم، K_{th} ضریب صافی هوا به صورت ساعتی و α_s زاویه فـراز بر حسب رادیان است.

روش Ashrae: در این روش ابتدا باید میزان تابش مستقیم خورشیدی رسیده بـه سـطح در جهـت نرمـال G_{bn} محاسبه گردد:

$$G_{bn} = \frac{A}{\exp\left(B / Sin\alpha_s\right)} \qquad (١٤)$$

در رابطه فوق A تابش ظاهری خورشیدی، B ضریب خاموشی آتمسفر(بی‌بعد) و α_s زاویه فراز خورشیدی می‌باشد. مقادیر A و B به صورت ماهانه و برای یک روز آفتابی و صاف از جدول ۱ بر حسب $(Btu/h.ft^2)$ بدست می‌آیند. در این روش مقدار G_{bn} بدون در نظر گرفتن شرایط اقلیمی از قبیل اثرات روزهای ابری، گرد و غبار، بخار آب و ارتفاع منطقه از سطح دریا محاسبه می‌شود.

جدول ۱: ضرایب ثابت A,B,C

	Jan	***Feb***	***Mar***	***Apr***	***May***	***June***	***July***	***Aug***	***Sept***	***Oct***	***Nov***	***Dec***
A	*390*	*385*	*376*	*360*	*350*	*345*	*344*	*351*	*365*	*378*	*387*	*391*
B	*0.142*	*0.144*	*0.156*	*0.180*	*0.196*	*0.205*	*0.207*	*0.201*	*0.177*	*0.160*	*0.149*	*0.142*
C	*0.058*	*0.060*	*0.071*	*0.097*	*0.121*	*0.134*	*0.136*	*0.122*	*0.092*	*0.073*	*0.063*	*0.057*

بنابراین مقدار تابش مستقیم روی یک صفحه افقی در سطح زمین از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$G_{bh} = G_{bn}\cos\theta_z \qquad (١٥)$$

مقدار تابش پراکنده نیز از رابطه زیر حساب می‌گردد.

$$G_{dh} = CG_{bn} \qquad (١٦)$$

ضریب C نیز به صورت ماهانه و بی بعد بوده و از جدول ۱ بدست می‌آید.

رابطه جدید ارائه شده

در این قسمت، یک رابطه برای محاسبه شدت تابش خورشیدی رسیده به سطح افقی که در تمام مناطق اقلیمـی ایران، مقدار آن را صحیح پیش‌بینی نماید، ارائه می‌گردد. در رابطه جدید از معادله زیر برای محاسبه میـزان تـابش خورشیدی کل(G_h)رسیده به یک سطح افقی استفاده شده است. این رابطه بر اساس مقایسه نتـایج روش Ashrae و داده‌های واقعی برای شهرهای مختلف ایران از طریق روش رگرسیون بدست آمده است:

$$G_h = \frac{G_{en}(C + \cos\theta_z)}{\exp\left(B / Sin\alpha_s\right)} \times \frac{Z_1}{Z_2} \qquad (۱۷)$$

در رابطه فوق، ضرایب B و C ثابت بوده و از جدول ۱ بدست می‌آیند، ضرایب Z_1 و Z_2 نیز از روابط زیر بدست می‌آیند که در این روابط n شماره روزها از اول ژانویه است:

$$Z_1 = a_1 + \frac{b_1}{K_{th}} \qquad a_1 = 0.0203, b_1 = 0.8486$$

$$Z_2 = a_2 + b_2 \sin\left(\frac{2\pi n}{a_3} + b_3\right) \qquad a_2 = 1.0429, b_2 = 0.0667, a_3 = 594, b_3 = 2.86$$

نتایج محاسبات

در این پژوهش ابتدا با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده، شدت تابش خورشید رسیده به یک سطح افقی(به صورت میانگین روزانه) در سطح زمین که توسط سازمان هواشناسی کشور انجام شده است، ضریب صافی هوا به صورت ماهانه بدست آمد و سپس مقدار ضریب صافی هوا با استفاده از دو روش دوفی و کولارس از روی روابط ۱۰ و ۱۱ برای شهرهای تبریز، اصفهان، بندرعباس، تهران، شیراز، کرمان، بوشهر، همدان و یزد به صورت ساعتی تخمین زده شد. در مرحله بعد، با استفاده از روش‌های واتانابه و Ashrae و همچنین رابطه جدید ارائه شده برای پیش‌بینی شدت تابش خورشیدی، مقدار آن تخمین زده شده و با نتایج اندازه‌گیری شده توسط سازمان هواشناسی کشور برای شهرهای مذکور مقایسه می‌گردد.

مقادیر میانگین خطای اریبی(MBE)، جذرمیانگین مربعات خطا(RMSE) و درصد متوسط خطا(MPE) برای شهرهای مذکور در جداول ۲ الی ٤ بین داده‌های تابش کل اندازه‌گیری شده و مدل‌های مختلف از نتایج روزانه و ماهانه نشان داده شده‌اند.

جدول ۲ مقادیر RMSE,MBE,MPE ماهانه را از روش های مختلف با ضریب صافی محاسبه شده از روش دوفی نشان می‌دهد و دیده می‌شود که روش جدید و روش واتانابه نتایج بهتری را بدست داده‌اند. در جدول ۳ نیز مقادیر RMSE,MBE,MPE روزانه برای روش جدید و روش واتانابه را برای سه شهر تبریز، اصفهان و بندرعباس با ضریب صافی محاسبه شده از روش دوفی نشان داده شده‌اند. همچنین در جدول ٤ مقادیر روش جدید و روش واتانابه به این صورت مقایسه شده‌اند که ابتدا از مدل کولارس مقدار تابش کل (G_h) به صورت ساعتی محاسبه گردیده و سپس از رابطه ۹ میزان ضریب صافی هوا بدست آمده و از این ضریب صافی در معادلات روش واتانابه و روش جدید استفاده شده است و دیده می‌شود که نتایج خیلی بهتری بدست آمده است.

شکل‌های ۲ تا ۷ نتایج محاسبه تابش‌خورشیدی کل از روش‌های مختلف را برای چند شهر انتخاب شده به صورت ماهانه و یا روزانه نمایش می دهند.

*جدول ۲: مقادیر **RMSE, MBE, MPE** ماهانه روش‌های مختلف با ضریب صافی محاسبه شده از روش دوفی*

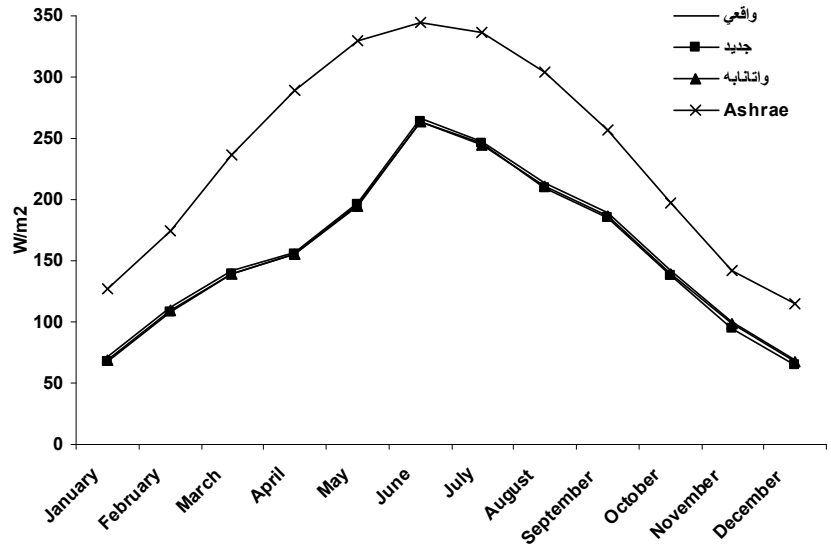
	MBE			***RMSE***			***MPE%***		
روش/شهر	**جدید**	**واتانابه**	***Ashrae***	**جدید**	**واتانابه**	***Ashrae***	**جدید**	**واتانابه**	***Ashrae***
تهران	*-5.20*	*-3.88*	*2.38*	*5.41*	*4.01*	*15.17*	*2.51*	*1.74*	*-2.47*
شیراز	*-2.33*	*-3.95*	*38.18*	*2.53*	*4.04*	*42.25*	*1.07*	*1.82*	*-16.56*
کرمان	*-2.73*	*-3.97*	*28.68*	*2.92*	*4.05*	*33.25*	*1.24*	*1.81*	*-13.36*
بوشهر	*-1.92*	*-3.77*	*49.47*	*2.18*	*3.86*	*51.58*	*0.87*	*1.83*	*-25.31*
همدان	*-3.40*	*-3.24*	*46.30*	*3.65*	*3.34*	*50.56*	*1.99*	*1.75*	*-25.80*
یزد	*-3.11*	*-3.86*	*26.39*	*3.36*	*3.98*	*33.08*	*1.47*	*1.78*	*-13.66*
تبریز	*-3.46*	*-2.37*	*78.74*	*3.74*	*2.47*	*84.02*	*2.88*	*1.71*	*-53.36*
اصفهان	*-2.52*	*-3.33*	*58.91*	*2.80*	*3.45*	*62.63*	*1.45*	*1.77*	*-28.78*
بندرعباس	*-1.45*	*-3.80*	*59.66*	*1.67*	*3.88*	*61.98*	*0.67*	*1.85*	*-27.96*

*جدول ۳: مقادیر **RMSE, MBE, MPE** روزانه روش‌های مختلف با ضریب صافی محاسبه شده از روش دوفی*

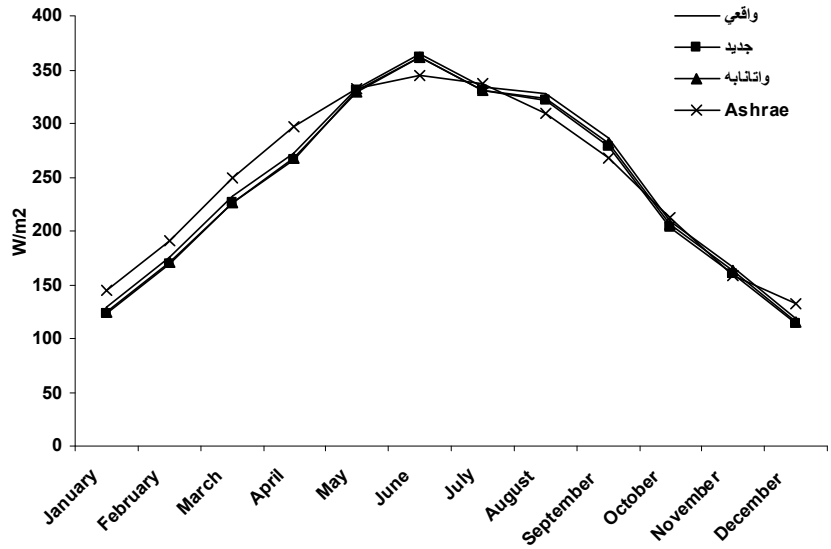
	MBE		***RMSE***		***MPE%***	
روش/ شهر	**جدید**	**واتانابه**	**جدید**	**واتانابه**	**جدید**	**واتانابه**
تبریز	*-3.43*	*-2.35*	*19.81*	*19.56*	*1.25*	*0.04*
اصفهان	*-2.48*	*-3.29*	*29.08*	*29.18*	*-1.09*	*-0.77*
بندرعباس	*-1.40*	*-3.76*	*19.33*	*19.65*	*-0.20*	*1.00*

*جدول ٤: مقادیر **RMSE, MBE, MPE** روزانه روش واتانابه و روش جدید با ضریب صافی محاسبه شده از روش کولارس*

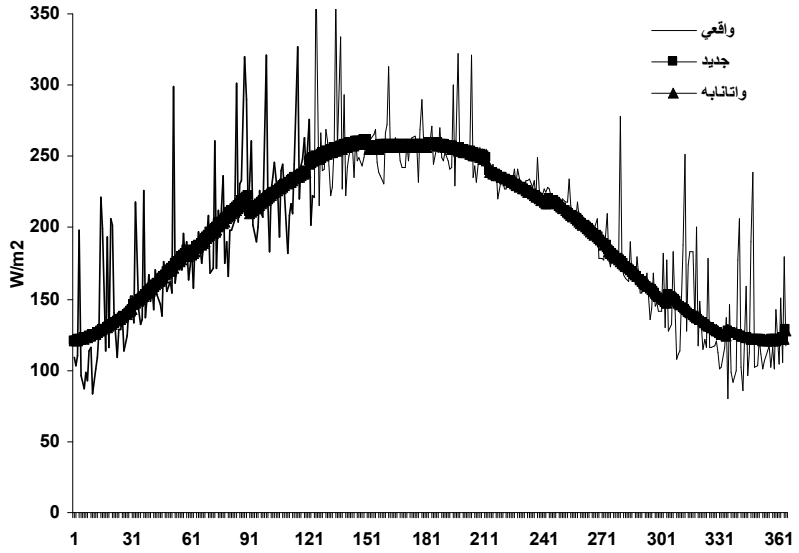
	MBE		***RMSE***		***MPE%***	
روش/ شهر	**جدید**	**واتانابه**	**جدید**	**واتانابه**	**جدید**	**واتانابه**
تبریز	*1.57*	*-0.70*	*2.31*	*0.92*	*-1.26*	*0.52*
اصفهان	*-0.84*	*-1.33*	*1.40*	*1.42*	*0.50*	*0.72*
بندرعباس	*0.63*	*-1.44*	*1.14*	*1.54*	*-0.38*	*0.72*



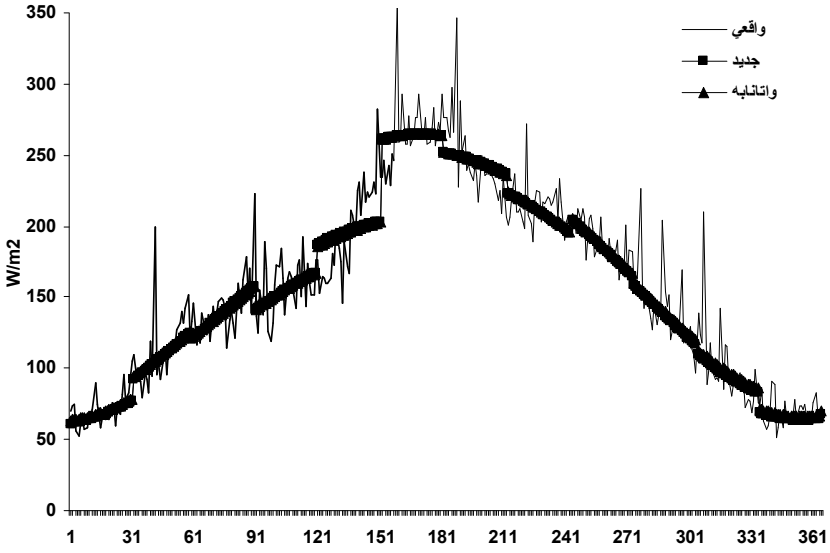
شکل ۲: نتایج تابش خورشیدی کل به صورت ماهانه از روش‌های مختلف با ضریب صافی محاسبه شده از روش دوفی برای ایستگاه تبریز



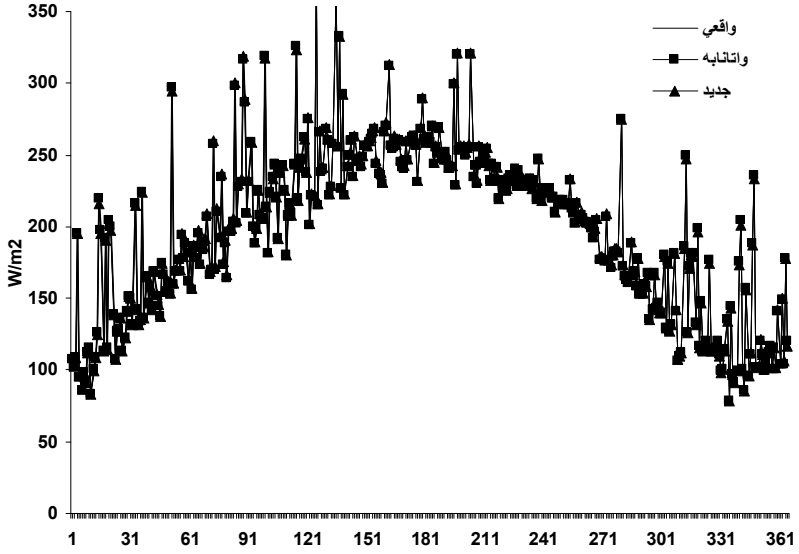
شکل ۳: نتایج تابش خورشیدی کل به صورت ماهانه از روش‌های مختلف با ضریب صافی محاسبه شده از روش دوفی برای ایستگاه تهران



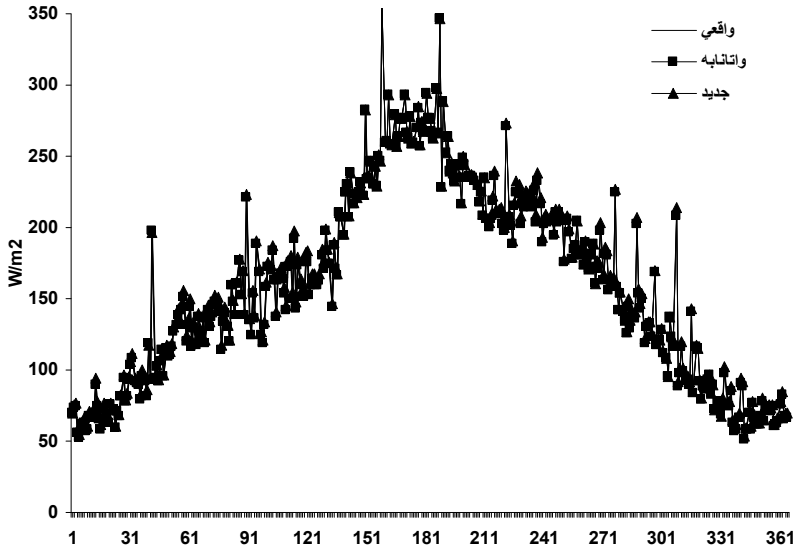
شکل ٤: نتایج تابش خورشیدی کل به صورت روزانه از روش‌های مختلف با ضریب صافی محاسبه شده از روش دوفی برای ایستگاه اصفهان



شکل ٥: نتایج تابش خورشیدی کل به صورت روزانه از روش‌های مختلف با ضریب صافی محاسبه شده از روش دوفی برای ایستگاه تبریز



شکل ٦: نتایج تابش خورشیدی کل به صورت روزانه از روش‌های مختلف با ضریب صافی محاسبه شده از روش کولا رس برای ایستگاه اصفهان



شکل ۷: نتایج تابش خورشیدی کل به صورت روزانه از روش‌های مختلف با ضریب صافی محاسبه شده از روش کولا رس برای ایستگاه تبریز

بحث و ارائه پیشنهادات

در این تحقیق میزان تابش کل از روش‌های مختلف و یک روش پیشنهادی جدید مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از محاسبات انجام شده توسط این روش‌ها با داده های ماهانه و روزانه اندازه‌گیری شده توسط

سازمان هواشناسی کشور برای شهرهای منتخب ایران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله را می‌توان به صورت زیر عنوان کرد:

۱- در جدول ۲ دیده می‌شود که روش پیشنهادی جدید و روش واتانابه نتایج خوبی را ارائه نموده‌اند و در بسیاری از شهرها نتایج روش جدید بهتر می‌باشد.

۲- با توجه به جداول ۳ و ٤ در صورتی که ضریب صافی هوا از روش کولارس محاسبه گردد، نتایج روزانه روش پیشنهادی جدید و روش واتانابه به نتایج اندازه‌گیری شده بسیار نزدیکتر بوده و در این حالت نیز روش پیشنهادی جدید نتایج را با دقت بیشتری ارائه می کند.

۳- شکل های ٤ تا ۷ نیز مقایسه روش پیشنهادی جدید و روش واتانابه را برای دو حالت محاسبه ضریب صافی هوا (کولارس و دوفی) به صورت روزانه نشان می دهند و باز دیده می شود که در صورتی که ضریب صافی هوا از روش کولارس محاسبه گردد، نتایج بهتری بدست می‌آید.

٤- در روش Ashrae نیز چون ضرایب A,B,C به صورت صحیح برآورد نشده و از داده‌های اندازه‌گیری شده برای اقلیمی خاص بدست آمده‌اند، نتیجه خوبی برای پیش‌بینی میزان تابش خورشیدی ارائه نمی‌دهد.

۵- با توجه به اینکه داده های اندازه‌گیری شده ساعتی تابش کل موجود نمی‌باشند، بنابراین نمی‌توان گفت که کدام روش میزان تابش خورشیدی کل را به صورت ساعتی بهتر پیش‌بینی می‌نماید و تمام مقایسه ها در این تحقیق بر مبنای داده های اندازه‌گیری شده روزانه و ماهانه میانگین تابش کل بوده است.

با توجه به مطالب فوق پیشنهاد می گردد که:

الف) در صورت موجود بودن داده‌های اندازه‌گیری شده میانگین روزانه تابش کل مقدار ساعتی آن و همچنین مقدار ساعتی ضریب صافی هوا را از روش کولارس با دقت زیادی قابل محاسبه خواهد بود.

ب) اگر داده‌های اندازه‌گیری شده روزانه در دسترس نباشند، می توان از روش دوفی، با داشتن میزان ضریب صافی ماهانه، مقدار ساعتی آن را از رابطه ۱۰ محاسبه کرده و سپس از روش پیشنهادی جدید یا روش واتانابه مقدار تابش کل را به صورت ساعتی برآورد نمود.

ت) می توان از روش دوفی با داشتن میزان ضریب صافی ماهانه، مقدار ساعتی آن را از رابطه ۱۰ محاسبه کرده و سپس از روش پیشنهادی جدید مقدار تابش کل را به صورت میانگین روزانه برآورد نمود و این مقدار روزانه بدست آمده را از روش کولارس به ساعتی تبدیل کدر که این روش نسبت به حالت (ب) نتایج بهتری را ارائه می کند.

علائم و اختصارات

δ : زاویه انحراف

n : شماره روزها از اول ژانویه

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 عمود بر سطح در خارج از آتمسفر

G_{eh} : تابش رسیده در خارج از آتمسفر 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 پراکنده 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 پراکنده

B : ضریب وابسته به روز و برابر با $B = 6.283185\frac{n-1}{365}$

منابع

۱- ابراهیم پور عبدالسلام، (۱۳۸۷)، پایان‌نامه دکتری مهندسی مکانیک، **ارائه روابطی برای طراحی پنجره‌ها با کمترین مصرف انرژی سالیانه برای ایران**، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۷.

۲- مرادی ساسان ،(۱۳۸٤)، **تنظیم شرایط محیطی**، تهران، چاپ آشیان، صفحه ۷۹-۱۰٤.

۳- بهادری نژاد مهدی و سید عباس میر حسینی، (۱۳۸٤)، **ضریب صافی هوا برای شهرهای مختلف ایران**، سومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان.

٤- سنجل، (۱۳۸٤)، **گرمایش و سرمایش رویکردی نو**، ترجمه کوروش امیر اصلانی، شرکت تولیدی و صنعتی انرژی کشور، آبان، صفحه ۳٦-۳۹ و ۸۱-.۱۱٤

5- Daneshyar M. (1978), **Solar Radiation Statistics for Iran**, Solar Energy, Vol. 21, PP. 345-349.

6- Sabziparvar Ali. (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.

7- Yaghoubi M. A., Sabzevari A. (1996), **Further data on solar radiation in Shiraz, Iran**, Renewable Energy, Vol. 7, Issue. 4, PP. 393-399.

8- 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.

9- Paltridge. G. W., Proctor D. (1977), **Monthly mean solar radiation statistics for Australia**, Solar Energy, Vol. 18, No. 3, PP. 235– 243.

10- 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.

11- Maxwell E. (1987), **A Quasi-Physical Model for Converting Hourly Global Insulation to Direct Normal Insulation**, Solar Energy Research Institute, National Renewable Energy Laboratory, NREL TR/215-3087.

12- Duffie J. A., Beckman W. A. (1980), **Solar energy of thermal processes**, John Wiley, New York.

13- Collares, Perreira M., Rabl A. (1979), **The average distribution of solar radiation correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insulation values**, Solar Energy, Vol 22, PP. 155-164.

14- IRIMO, **Islamic Republic of Iran Meteorological Office**, Data Center, Tehran , Iran, http://www.weather.ir/

15- Zhang Qingyuan., Joe Huang., Lang Siwei. (2001), **Development of Chinese weather data for building energy calculations**, Proc. 4th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings, PP. 1211, October 2-5, Changsha, Hunan, China.

16- El-Sebaii A. (2005), Estimation **of Global Solar Radiation on Horizontal Surfaces Over Egypt**, Egypt. J. Solids, Vol. 28, No. 1.

17- Watanabe T. (1983), **Procedures for Separating Direct and Diffuse Insolation on a Horizontal Surface and Prediction of Insolation on Tilted Surfaces**, Transactions, No. 330, Architectural Institute of Japan, Tokyo, Japan.

18- ASHRAE (1995), **Handbook, heating, ventilating, and air-conditioning applications**, ashrae publications.

A New Method to Estimate the Global Solar Radiation in Different Climates of Iran

Abstract

Global solar radiation has many applications to estimate energy consumption in buildings. Although, several methods predicts solar radiation in various places at the Earth's surface with special status or based on measured weather data, giving a method is necessary for exact estimation of the global solar radiation in Iran climates. The daily average global solar radiation has been measured by Irimo for a 14 years period(1992-2005) which used to obtain a New method of predicting the global solar radiation. Results shows, if the exact clearness index can be calculated, the New method and the proposed method by Watanabe will be the best in Iran climates.

Keywords: Global solar radiation; Clearness index; Horizontal surface