

مقایسه روش‌های مختلف پیش‌بینی تابش دیفیوز برای اقلیم های ایران

عبدالسلام ابراهیم پور^۱

مهدی معرفت^۲

هادی نیری^۳

چکیده

محاسبه تابش خورشیدی رسیده به یک سطح افقی (کل، مستقیم یا دیفیوز) کاربردهای زیادی دارد. میزان تابش کل رسیده به روی یک سطح افقی در ایران اندازه‌گیری شده است اما میزان تابش دیفیوز و یا مستقیم به صورت اندازه‌گیری شده در سطح کشور موجود نمی‌باشد. در این تحقیق با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده میانگین روزانه تابش کل خورشیدی توسط سازمان هواشناسی کشور برای یک دوره ۱۴ ساله (۱۹۹۲-۲۰۰۵) و همچنین محاسبه تابش مستقیم رسیده به یک سطح افقی از روش ماکسول، میزان تابش دیفیوز محاسبه (تابش دیفیوز = تابش مستقیم - تابش کل) و نتیجه با روش‌های مختلف پیش‌بینی ارائه شده برای محاسبه تابش دیفیوز مقایسه شده و بهترین روش پیش‌بینی ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند که روش ارائه شده توسط بولند برای محاسبه تابش دیفیوز در استرالیا، برای اقلیم های مختلف ایران نتایج خوبی می‌دهد.

واژگان کلیدی

تابش کل خورشیدی، ضریب صافی هوا، سطح افقی، تابش‌های مستقیم و دیفیوز

^۱نویسنده مسؤل، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشجوی دوره دکتری مهندسی مکانیک و

عضو هیئت علمی (مربی) دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز Salam_ebr@yahoo.com

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

^۳ دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز، دانشجوی دوره دکتری جغرافیا طبیعی h_nayeri@tabrizu.ac.ir

مقدمه

تمام انرژی حرارتی کره زمین را خورشید به صورت تابش تأمین می‌کند. تابش خورشید حاصل تابش الکترومغناطیس است که به صورت موج انتقال می‌یابد. قسمتی از تابش خورشیدی که بدون تفرق یا جذب به سطح زمین می‌رسد را تابش مستقیم و قسمتی از تابش خورشیدی که توسط اجزاء جو جذب و یا متفرق می‌شود، تابش پراکنده یا دیفیوز گویند. تابش مستقیم، از خورشید به صورت مسیر مستقیم می‌آید، در حالی که تابش پراکنده در تمام جهات از آسمان وارد می‌شود. کل تابش رسیده به سطح زمین، در یک روز ابری به صورت تابش پراکنده است. 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. [۱]

به طور کلی تابشی که به یک سطح می‌رسد، کلاً از سه جزء تشکیل می‌شود: تابش مستقیم، تابش پخشی و تابش بازتابی ناشی از سطوح مجاور. سطوح معمول مانند چمن، درختان و سنگ‌ها حدود ۲۰ درصد تابش دریافتی را منعکس کرده و بقیه را جذب می‌کند. سطح پوشیده شده از برف حدود ۷۰ درصد انرژی خورشیدی را منعکس می‌کند. [۲]

روش‌های مختلفی توسط محققین برای تخمین میزان شدت تابش خورشید در یک نقطه سطح زمین (دیفیوز، مستقیم و کل) برای نقاط مختلف جهان پیشنهاد شده است. [۳ تا ۲۵] برای تخمین میزان شدت تابش خورشید برای شهرهای ایران بهادری نژاد [۳]، دانشیار [۴]، اشجعی [۵]، یعقوبی [۶]، صمیمی [۷] و سبزی‌پرور [۸] مدل‌ها و یا مقادیری را پیشنهاد نموده‌اند.

هدف از این تحقیق مقایسه روش‌های مختلف محاسبه تابش دیفیوز برای شهرهای ایران می‌باشد که ابتدا با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده شدت تابش خورشید رسیده به یک سطح افقی (به صورت میانگین روزانه برای یک دوره ۱۴ ساله ۱۹۹۲-۲۰۰۵) در سطح زمین توسط سازمان هواشناسی کشور، شدت تابش خورشیدی رسیده به سطح و ضریب صافی هوا با استفاده از روش کولارس^۴ [۹] برای شهرهای تبریز، اصفهان، بندرعباس، تهران، شیراز، کرمان، بوشهر، همدان و یزد به صورت ساعتی تخمین زده می‌شود و سپس تابش مستقیم از مدل دیسک^۵ ارائه شده توسط ماکسول^۶ [۱۰] محاسبه و در نتیجه تابش دیفیوز نیز محاسبه می‌گردد (تابش دیفیوز = تابش مستقیم - تابش کل) و نتیجه حاصله برای تابش دیفیوز با سایر روش‌های پیش‌بینی تابش دیفیوز که برای نقاط مختلف جهان ارائه شده‌اند، مقایسه شده و بهترین روش برای پیش‌بینی تابش دیفیوز برای شهرهای ایران ارائه شده است.

⁴ Collares

⁵ Disc

⁶ Maxwell

پارامترها و زاویه‌های خورشیدی

برای محاسبه مقدار تابش خورشیدی رسیده به یک سطح احتیاج به تعریف تعدادی پارامتر و زاویه‌های خورشیدی داریم که در ادامه توضیح داده می‌شوند. [۹ و ۱۰]

زاویه میل δ

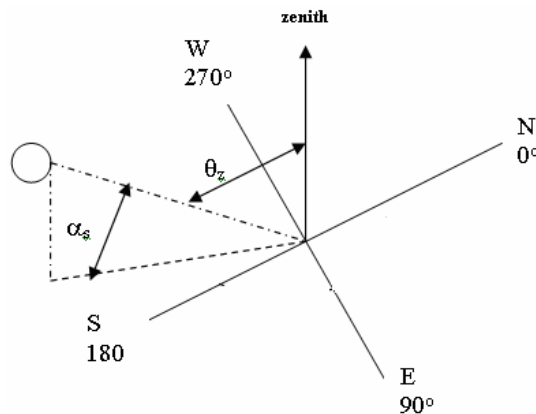
زاویه بین اشعه‌های خورشید و صفحه استوایی است که از $23/45$ درجه در تابستان تا $-23/45$ در زمستان تغییر می‌کند و از روش زیر بر حسب درجه محاسبه می‌گردد:

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

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

که در این رابطه n شماره روزها از اول ژانویه است.

زاویه شیب δ در نقطه اعتدالین پاییز و بهار صفر و در تحویل تابستانی در اول تیر $+23/5$ درجه و در تحویل زمستانی در نیمکره شمالی $-23/5$ درجه می‌باشد.



شکل ۱: زوایای خورشیدی

زاویه ساعتی و معادله زمان

زاویه ساعتی ω زاویه بین طول جغرافیای موضعی و طول جغرافیایی که اشعه‌های خورشید در سمت‌الرأس آن قرار دارند، است یعنی زاویه‌ای است که زمین باید برای انطباق نصف‌النهار آن نقطه روی اشعه‌های خورشید بچرخد. برای محاسبه زاویه ساعتی ابتدا باید معادله زمان E_t را حساب کرد.

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

که در این معادله مقدار B از معادله ۲ محاسبه می‌گردد. همچنین برای محاسبه زاویه ساعتی باید اختلاف ساعت^۷ (Tz) در منطقه مورد نظر نیز 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 بر حسب درجه است. بنابراین، زاویه ساعتی 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.

محاسبه زاویه سمت الرأس θ_z

زاویه سمت الرأس، 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 است.

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

در این قسمت نحوه محاسبه تابش خورشیدی رسیده به سطوح افقی در خارج از جو ارائه شده است.

میزان کل تابش رسیده در جهت عمود بر سطح در خارج از جو G_{en}

برای محاسبه میزان تابش رسیده در جهت عمود بر سطح به صورت روزانه از روش زیر استفاده شده است:

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

که در این رابطه $G_{sc} = 1367 W/m^2$ ثابت خورشیدی، مقدار B نیز از معادله ۲ محاسبه می‌گردد.

⁷ Time Zone

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

برای محاسبه این مقدار احتیاج به محاسبه زاویه سمت الرأس θ_z داریم:

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

که در این رابطه زاویه سمت الرأس 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.

میزان کل تابش G_h در سطح زمین و ضریب صافی 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 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، مثلاً ضریب صافی هوای ساعتی K_{th} عبارت است از:

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

که در این رابطه G_h کل تابش رسیده به یک سطح افقی در سطح زمین است و اگر میزان تابش‌ها (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 می‌گردند.

اگر میزان تابش رسیده به یک سطح افقی در سطح زمین به درستی محاسبه گردد، می‌توان گفت که ضریب صافی نیز درست محاسبه شده است. با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده تابش کل G_h توسط سازمان هواشناسی کشور که به صورت متوسط روزانه هستند، می‌توان میزان تابش کل را به صورت ساعتی از مدل کولارس حساب نمود. کولارس، پیرا و رابل رابطه رگرسیونی برای نسبت تابش کل لحظه‌ای به تابش کل روزانه به صورت زیر برای یک صفحه افقی ارائه نمودند. [۹]

$$r_G = \frac{\pi}{T} (a' + b' \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \omega_s \cos \omega_s} \quad (11)$$

که در آن T طول شبانه‌روز و ۲۴ ساعت است، ω زاویه ساعتی 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.

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

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

در تحقیقات قبلی که توسط مؤلف در این زمینه برای ایران انجام شده نشان داده شده است که روش کولارس میزان تابش کل را با دقت خوبی به صورت ساعتی پیش‌بینی می‌کند.

محاسبه میزان تابش مستقیم G_{bh} و دیفیوز G_{dh} در سطح زمین

میزان تابش مستقیم رسیده به یک سطح افقی از مدل $Disc$ ارائه شده توسط ماکسول [۱۰] و به صورت زیر حساب شده است. در این روش ضریب عبور تابش مستقیم در جهت عمود بر صفحه (نرمال) به صورت زیر فرض شده است.

$$K_n = \frac{G_{bn}}{G_{en}} \quad (12)$$

ابتدا از مدل آسمان صاف $Bird$ [۱۱] رابطه بین K_{nc} (ضریب تابش مستقیم عمودی در حالت آسمان صاف) و ضخامت ایتیکی (بر حسب کیلومتر) Am به صورت زیر تعیین شده است.

$$K_{nc} = 0.866 - 0.122AM + 0.0121AM^2 - 0.000653AM^3 + 0.000014AM^4 \quad (13)$$

سپس در قسمت بعدی اختلاف K_{nc} و مقدار واقعی اندازه‌گیری شده آن (برای نقاط مختلف جهان) مقایسه شده و برای این اختلاف نیز رابطه‌های زیر ارائه شده است.

$$\Delta K_n = a + be^{c(AM)} \quad (14)$$

if $K_{th} \leq 0.6$,

$$a = 0.512 - 1.56K_{th} + 2.286K_{th}^2 - 2.222K_{th}^3$$

$$b = 0.37 + 0.962K_{th}$$

$$c = -0.28 + 0.932K_{th} - 2.048K_{th}^2$$

if $K_{th} > 0.6$,

$$a = -5.743 + 21.77K_{th} - 27.49K_{th}^2 + 11.56K_{th}^3$$

$$b = 41.4 - 118.5K_{th} + 66.05K_{th}^2 + 31.9K_{th}^3$$

$$c = -47.01 + 184.2K_{th} - 222K_{th}^2 + 73.81K_{th}^3$$

در نتیجه مقدار دقیق K_n از رابطه زیر حساب می‌گردد.

$$K_n = K_{nc} - \Delta K_n \quad (15)$$

بنابراین میزان تابش مستقیم در جهت عمودی G_{bn} در سطح زمین محاسبه شده و برای یک صفحه افقی نیز میزان تابش مستقیم به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$G_{bh} = G_{bn} \cos \theta_z \quad (16)$$

که در این رابطه زاویه سمت الرأس بر حسب رادیان باید باشد. میزان ضخامت اپتیکی نیز از رابطه $Kasten$ [۱۲] به صورت زیر محاسبه شده است:

$$Am = \frac{1}{\cos\left(\frac{\pi}{180}\theta_z\right) + 0.15/(93.885 - \theta_z)^{1.253}} \quad (17)$$

if ($\theta_z < 89$)

که در این رابطه θ_z بر حسب درجه است و اگر بزرگتر از ۸۹ درجه باشد مقدار ضخامت اپتیکی صفر است. البته این مقدار ضخامت اپتیکی برای فشار ۱۰۱۳/۲۵ میلی بار است و باید مقدار آن برای سایر فشارها به صورت زیر اصلاح گردد. (P فشار ایستگاه بر حسب میلی بار است)

$$Am = Am \frac{P}{1013.25} \quad (18)$$

بعد از محاسبه تابش مستقیم می توان تابش دیفیوز را به صورت زیر محاسبه نمود:

$$G_{dh} = G_h - G_{bh} \quad (19)$$

روش های مختلف پیش بینی تابش دیفیوز

در این قسمت روش های مختلفی که برای پیش بینی میزان تابش دیفیوز رسیده به سطح افقی در سطح زمین ارائه شده است بررسی می گردد.

روش اول: *Watanabe*

در این روش میزان تابش دیفیوز برای اقلیم های ژاپن از روابط زیر بر حسب W/m^2 حساب شده است.

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

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

$$K_{DS} = (3.996 - 3.862 \sin \alpha_s + 1.54 \sin^2 \alpha_s) K_{th}^3 \quad \text{if } K_{th} < K_{TC} \quad (20)$$

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

که در این روابط K_{th} ضریب صافی هوا به صورت ساعتی و α_s زاویه فراز بر حسب رادیان است. [۱۳]

روش دوم: *Paltridge and Proctor*

این روش تابش دیفیوز را نیز بر حسب $Cal/Cm^2.h$ بر روی یک سطح افقی به صورت زیر حساب می کند.

$$G_{dh} = 0.218 + 0.299(90 - \theta_z) + 17.27F_c \quad (21)$$

که در این رابطه θ_z بر حسب درجه و F_c نیز ضریب ابر است که در این تحقیق برابر ضریب صافی هوا K_{th} گرفته شده است. [۱۴]

روش سوم: Daneshyar

دانشیار با استفاده از مدل *Paltridge* معادله زیر را برای محاسبه تابش دیفیوز برای تهران ارائه نمود: [۴]

$$G_{dh} = 0.123 + 0.181(90 - \theta_z) + 10.43F_c \quad (22)$$

که در این رابطه نیز F_c ضریب ابر بوده و در این تحقیق برابر ضریب صافی هوا K_{th} گرفته شده است.

روش چهارم: Erabs

در این روش مقدار تابش دیفیوز رسیده به یک سطح افقی با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده به صورت زیر بدست آمده است. (برای شمال آمریکا، اروپا و استرالیا) [۱۵]

$$G_{dh} = \left\{ \begin{array}{l} G_h \times (1.0 - 0.09K_{th}) \quad \text{for } K_{th} \leq 0.22 \\ G_h \times \left(\begin{array}{l} 0.9511 - 0.1604K_{th} + 4.388K_{th}^2 \\ -16.638K_{th}^3 + 12.336K_{th}^4 \end{array} \right) \\ \text{for } 0.22 < K_{th} < 0.8 \\ G_h \times 0.165 \quad \text{for } K_{th} \geq 0.8 \end{array} \right\} \quad (23)$$

روش پنجم: Reindl

با *Reindl* استفاده از فاکتور صافی هوای ساعتی نسبت تابش دیفیوز را به صورت زیر از رگرسیون داده‌های اندازه‌گیری شده ارائه نمود. (برای اروپا و آمریکای شمالی) [۱۶]

$$K_{dh} = \frac{G_{dh}}{G_h} \quad (24)$$

$$K_{dh} = 1.02 - 0.248K_{th}, K_{th} \leq 0.3$$

$$K_{dh} = 1.45 - 0.167K_{th}, 0.3 < K_{th} < 0.78 \quad (25)$$

$$K_{dh} = 0.147, K_{th} \geq 0.78$$

روش ششم: Orgill, Hollands

برای تورنتو کانادا روابط زیر را ارائه نمودند. [۱۷]

$$K_{dh} = 1.557 - 1.84K_{th}, 0.35 \leq K_{th} \leq 0.75$$

$$K_{dh} = 1 - 0.249K_{th}, K_{th} < 0.35$$

$$K_{dh} = 0.177, K_{th} > 0.75 \quad (26)$$

روش هفتم: Boland

Boland روابط زیر را برای استرالیا ارائه کرده است. [۱۸]

$$K_{dh} = \frac{1}{1 + e^{7.997(K_{th} - 0.586)}} \quad (27)$$

روش هشتم: *Howlader*

Howlader نیز روابط زیر را برای سنگاپور ارائه کرده است. [۱۹]

$$K_{dh} = 1.135 - 0.9422K_{th} - 0.3878K_{th}^2$$

for $0.225 < K_{th} < 0.775$ (28)

$$K_{dh} = 0.915 \quad K_{th} \leq 0.225$$

$$K_{dh} = 0.215 \quad K_{th} \geq 0.775$$

روش نهم: *Miguel*

Miguel نیز روابط زیر را برای منطقه مدیترانه ارائه کرده است. [۲۰]

$$K_{dh} = 0.724 + 2.738K_{th} - 8.32K_{th}^2 + 4.967K_{th}^3$$

for $0.21 < K_{th} \leq 0.76$ (29)

$$K_{dh} = 0.995 - 0.081K_{th} \quad K_{th} \leq 0.21$$

$$K_{dh} = 0.18 \quad K_{th} > 0.76$$

روش دهم: *Karatasou*

Karatasou روابط زیر را برای یونان ارائه نموده است. [۲۱]

$$K_{dh} = 0.9995 - 0.05K_{th} - 2.4156K_{th}^2 + 1.4926K_{th}^3$$

for $0 < K_{th} \leq 0.78$ (30)

$$K_{dh} = 0.2 \quad K_{th} > 0.78$$

روش یازدهم: *Chandreasekaran*

Chandreasekaran نیز روابط زیر را هند ارائه کرده است. [۲۲]

$$K_{dh} = 0.9686 + 0.1325K_{th} + 1.4183K_{th}^2 - 10.1862K_{th}^3 + 8.3733K_{th}^4$$

for $0.24 < K_{th} \leq 0.8$ (31)

$$K_{dh} = 1.0086 - 0.178K_{th} \quad K_{th} \leq 0.24$$

$$K_{dh} = 0.197 \quad K_{th} > 0.8$$

روش دوازدهم: *Oliveira*

Oliveira نیز روابط زیر را برای برزیل ارائه نموده است. [۲۳]

$$\begin{aligned}
K_{dh} &= 0.97 + 0.8K_{th} - 3K_{th}^2 \\
- 3.1K_{th}^3 + 5.2K_{th}^4 & \quad 0.17 < K_{th} \leq 0.75 \\
K_{dh} &= 1 & K_{th} \leq 0.17 \\
K_{dh} &= 0.17 & K_{th} > 0.75
\end{aligned}
\tag{۳۲}$$

روش سیزدهم: Soares

Soares با استفاده از شبکه‌های عصبی روابط کلی زیر را ارائه نمود. [۲۴]

$$\begin{aligned}
K_{dh} &= 0.9 + 1.1K_{th} - 4.5K_{th}^2 + \\
0.01K_{th}^3 + 3.14K_{th}^4 & \quad \text{for } 0.17 < K_{th} \leq 0.75 \\
K_{dh} &= 1 & K_{th} \leq 0.17 \\
K_{dh} &= 0.17 & K_{th} > 0.75
\end{aligned}
\tag{۳۳}$$

روش انجام تحقیق

همچنان که گفته شد، ابتدا با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده شدت تابش خورشید رسیده به یک سطح افقی (به صورت میانگین روزانه) در سطح زمین برای یک دوره ۱۴ ساله (۱۹۹۲-۲۰۰۵) توسط سازمان هواشناسی کشور [۲۵]، شدت تابش کل خورشیدی رسیده به سطح و ضریب صافی هوا با استفاده از روش کولارس برای شهرهای تبریز، اصفهان، بندرعباس، تهران، شیراز، کرمان، بوشهر، همدان و یزد (انتخاب شهرها با توجه به نیاز انرژی گرمایی - سرمای سالانه و نوع اقلیم محل بوده است [۲۶] که در جدول ۱ و ۲ مشخصات این شهرها ارائه شده است) به صورت ساعتی تخمین زده می‌شود و سپس تابش مستقیم از مدل ماکسول محاسبه و بنابراین از اختلاف این دو مقدار، تابش دیفیوز نیز محاسبه (تابش دیفیوز = تابش مستقیم - تابش کل) می‌گردد (در این تحقیق این روش M-C نامگذاری شده است) و نتایج حاصله از این روش برای تابش دیفیوز با سایر روش‌های پیش‌بینی تابش دیفیوز که برای نقاط مختلف جهان ارائه شده‌اند، با استفاده از جذرمیانگین مربعات خطا $RMSE$ مقایسه شده و بهترین روش برای پیش‌بینی تابش دیفیوز ارائه می‌شود.

نتایج

نتایج با استفاده از جذرمیانگین مربعات خطا $RMSE$ برای شهرهای موردنظر در جدول ۳ بین داده‌های تابش دیفیوز بدست آمده از ماکسول (تابش مستقیم) - کولارس (تابش کل)، تابش دیفیوز = تابش مستقیم - تابش کل، با مدل‌های مختلف پیش‌بینی تابش دیفیوز به صورت روزانه نشان داده شده است. با توجه به جدول ۱ دیده می‌شود که برای اکثر شهرها به ترتیب روش‌های *Boland* و *Orgill* بهترین نتایج را ارائه نموده‌اند. همچنین برای

شهرهای بندرعباس، تبریز و اصفهان نیز نمودار پیش‌بینی تابش دیفیوز از بهترین روش‌ها یعنی روش‌های *Boland* و *Orgill* و همچنین روش ماکسول-کولارس (M-C) ارائه شده است.

بحث و ارائه پیشنهادات

در این تحقیق میزان تابش کل از روش کولارس و همچنین میزان تابش مستقیم از روش ماکسول محاسبه گردید. در مقایسه نتایج بدست آمده برای تابش کل از روش کولارس و نتایج اندازه‌گیری شده هواشناسی، بدست آمده که روش کولارس میزان تابش کل را صحیح پیش‌بینی می‌کند و همچنین برای تابش مستقیم نیز بهترین روش ارائه شده که با نتایج تجربی همخوانی زیادی داشته است روش ماکسول بوده است. بنابراین نتایج بدست آمده برای تابش دیفیوز با فرض صحیح بودن میزان تابش کل و مستقیم بدست آمده است و سپس با سایر روش‌های پیش‌بینی در این زمینه مقایسه گردیده است و پیشنهاد می‌گردد که در صورت اندازه‌گیری شدت تابش دیفیوز برای ایران این تحقیق دوباره انجام شده و نتایج بر مبنای داده‌های اندازه‌گیری شده مقایسه گردند.

جدول ۱: اطلاعات اقلیمی شهرهای مورد نظر در این تحقیق

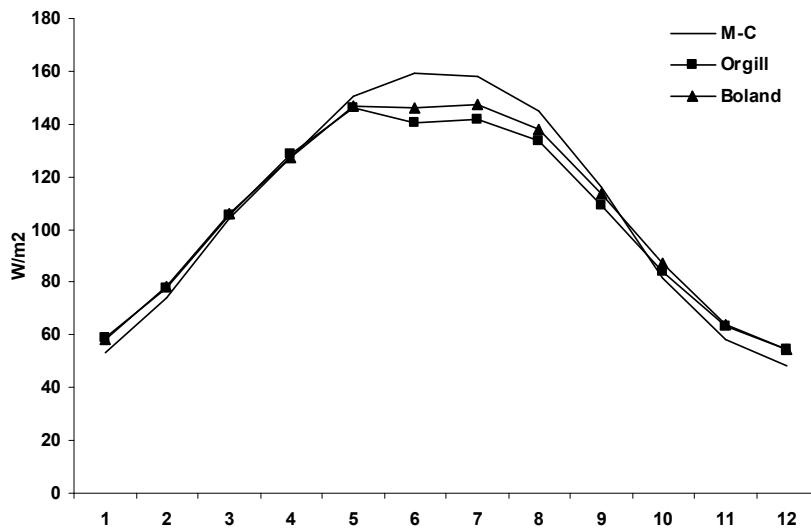
شهر	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	میانگین سالانه فشار ایستگاه (میلی بار)
تبریز	۴۶/۱۷	۳۸/۵	۱۳۶۱	۸۶۱/۹
اصفهان	۵۱/۴	۳۲/۳۷	۱۵۵۰/۴	۸۴۱/۸
تهران	۵۱/۱۹	۳۵/۴۱	۱۱۹۰	۸۸۱/۱
شیراز	۵۲/۳۶	۲۹/۳۲	۱۴۸۱	۸۴۹/۵
بوشهر	۵۰/۵	۲۸/۵۹	۱۹/۶	۱۰۰۸/۱
بندرعباس	۵۶/۲۲	۲۷/۱۳	۹/۸	۱۰۰۵
کرمان	۵۶/۵۸	۳۰/۱۵	۱۷۵۳/۸	۸۲۴/۵
همدان	۴۸/۳۲	۳۴/۵۲	۱۷۴۱/۵	۸۲۵/۲
یزد	۵۴/۱۷	۳۱/۵۴	۱۲۳۷/۲	۸۷۶/۸

جدول ۲: مشخصات شهرهای استفاده شده در این تحقیق

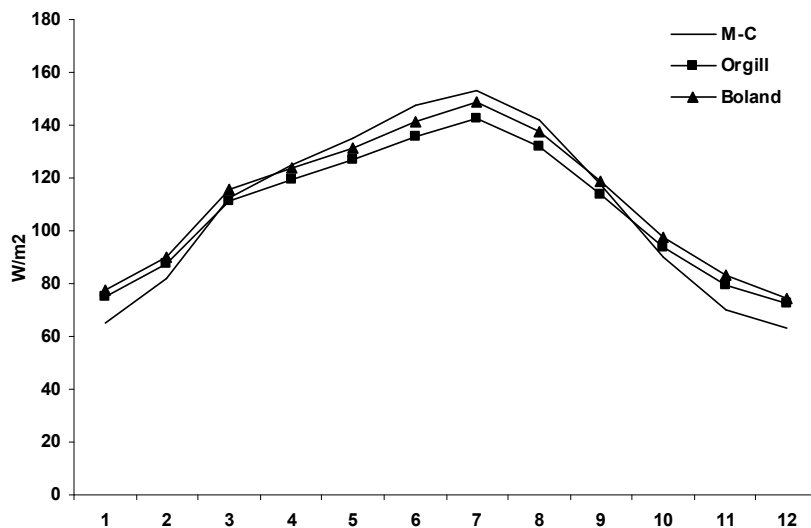
نام شهر	انرژی کل سالیانه	گرمایی زیاد	سرمایی زیاد	نوع اقلیم
تهران	متوسط	X		گرم و خشک
تبریز	زیاد	X		سرد
یزد	کم			گرم و خشک
بندرعباس	زیاد		X	گرم و مرطوب
رشت	کم			معتدل و مرطوب
اهواز	زیاد		X	گرم و مرطوب

جدول ۳: نتایج $RMSE$ روزانه از روش های مختلف

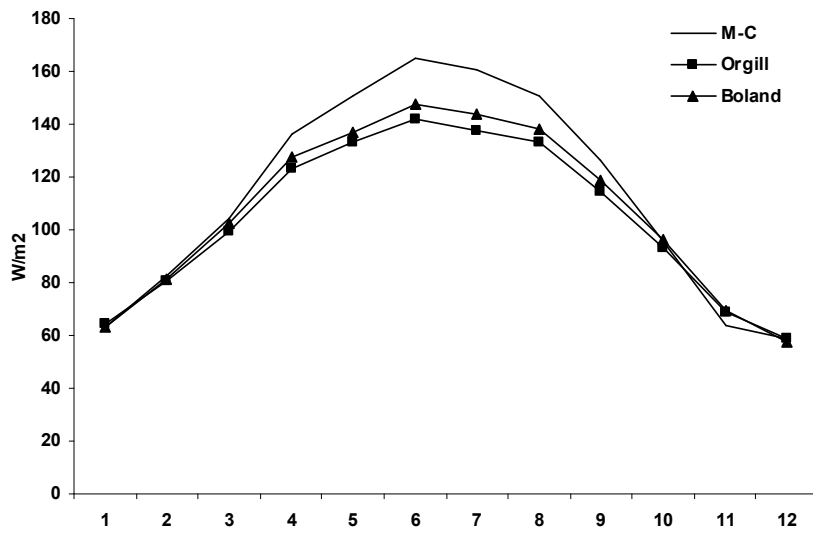
روشن / شهر	Orgill	Boland	Hawlder	Miguel	Karatasou	Kumar	Oliveira	Soares	paltribge	Daneshyar	Erabs	Reindel	Watanabe
تهران	12.06	10.98	13.51	12.12	12.73	12.68	14.25	16.92	61.69	20.70	12.70	205.58	58.28
شیراز	21.62	18.44	25.56	22.98	26.49	22.86	34.96	40.49	22.22	45.95	24.47	195.17	36.82
کرمان	27.89	23.74	28.51	28.29	28.05	27.08	36.53	42.25	22.98	40.60	30.82	211.43	37.34
ایرانشهر	9.65	7.63	13.85	10.63	14.86	10.39	22.19	27.93	18.64	37.79	12.01	194.76	45.53
همدان	22.18	18.86	26.25	23.29	26.99	22.92	34.28	39.81	14.63	47.80	24.87	173.08	29.39
یزد	17.76	14.07	18.31	17.89	17.56	16.14	25.81	30.56	33.19	30.32	19.88	222.55	46.82
تبریز	9.76	7.63	18.82	10.34	20.24	10.03	20.54	25.82	17.91	52.18	9.49	119.98	16.42
اصفهان	17.24	17.12	24.77	18.02	26.29	17.62	29.43	34.86	27.09	55.44	16.90	147.92	27.31
بندرعباس	9.99	10.13	16.26	10.54	17.69	10.59	21.58	27.18	23.76	45.82	9.66	175.76	36.62



شکل ۲: نمودار تابش دیفیوز بدست آمده از بهترین روش ها به صورت ماهیانه (تبریز)



شکل ۳: نمودار تابش دیفیوز بدست آمده از بهترین روش ها به صورت ماهیانه (بندرعباس)



شکل ۴: نمودار تابش دیفیوز بدست آمده از بهترین روش ها به صورت ماهیانه (اصفهان)

مراجع

- ۱- ساسان مرادی (۱۳۸۴)، **تنظیم شرایط محیطی**، تهران چاپ آشیان، صفحه ۷۹-۱۰۴
- ۲- سنجل ای یو (آبان ۱۳۸۴)، **گرمایش و سرمایش رویکردی نو**، ترجمه کوروش امیر اصلانی، شرکت تولیدی و صنعتی انرژی کشور، صفحه ۳۶-۳۹ و ۸۱-۱۱۴
- ۳- مهدی بهادری نژاد، سید عباس میر حسینی (۱۳۸۴)، **ضریب صافی هوا برای شهرهای مختلف ایران**، سومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان
- 4- Daneshyar. M., “ **Solar Radiation Statistics for Iran**”, Solar Energy, Vol. 21, PP. 345-349. (1978)
- 5- Ashjaee, M., Roomaina. M.R., Ghafouri-Azar. R., “**Estimating Direct, Diffuse, and Global Solar Radiation For Various Cities in Iran by Two Methods and Their Comparison with the Measured Data**”, Solar Energy, Vol. 50, N. 5, PP. 441-446. (1993)
- 6- M. A. Yaghoubi, A. Sabzevari, "**Further data on solar radiation in Shiraz**", Iran Renewable Energy, Vol. 7, Issue 4, PP. 393-399. (April 1996)
- 7- Samimi. J., "**Estimation of Height-Dependent Solar Irradiation and Application to the Solar Climate of Iran**", Solar Energy, Vol. 52, N. 5, PP. 401-409. (1994)
- 8- Ali. A. Sabziparvar., "**General Formula for Estimation of Monthly Mean Global Solar Radiation in Different Climates on the South and North Coasts of Iran**", International Journal of Photoenergy, Article ID 94786. (2007)
- 9- 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)
- 10- Dr. E. Maxwell., "**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)
- 11- R.E. Bird. , R.L. Hulstrom., "**A Simplified Clear Sky model for Direct and Diffuse Insolation on Horizontal Surfaces**", Solar Energy Research Institute, SERI Technical Report SERI/TR-642-761. (Feb 1981)

- 12- Kasten. F., "**A new Table and approximation formula for relative optical air mass**", Technical report 136, Hanover, N.H U.S.Army Material command, CRREL. (1966)
- 13- T. Watanabe. et.al., "**Procedures for Separating Direct and Diffuse Insolation on a Horizontal Surface and Prediction of Insolation on Tilted Surfaces**", Architectural Institute of Japan, Transactions, No. 330, Tokyo, Japan. (1983)
- 14- G.W. Paltridge., D. Proctor., "**Monthly mean solar radiation statistics for Australia**", Solar Energy, Vol. 18, No. 3, PP. 235– 243. (1976)
- 15- Erbs. DG., Klein. SA., Duffie. JA., "**Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly average global radiation**", Sol Energy, Vol. 28, PP.293–302. (1982)
- 16- Reindel. DT., Beckman. WA., Duffie. JA., "**Diffuse fraction correlations**", Solar Energy, Vol. 45, PP. 1-7. (1990)
- 17- Orgill. JF., Hollands. KGT., "**Correlation equation for hourly diffuse radiation on horizontal surface**", Solar Energy, Vol. 19, PP. 357-9. (1977)
- 18- Boland. J., Scott. L., Luther. M., "**Modeling the diffuse fraction of global solar radiation on a horizontal surface**", Environmentrics, Vol. 12, PP. 103-16. (2001)
- 19- Hawlader. MNA., "**Diffuse, global and extraterrestrial solar radiation for Singapore**", Int J Ambient Energy, Vol. 5, PP. 31-8. (1984)
- 20- Miguel. A., Bilbao. J., Aguiar. R., Kambezidis. H., Negro. E., "**Diffuse solar irradiation model evaluation in the north Mediterranean belt area**", Sol Energy, Vol. 70, PP. 143–53. (2001)
- 21- Karatasou. S., Santamouris. M., Geros.V., "**Analysis of experimental data on diffuse solar radiation in Athens ,Greece, for building applications**", Int J Sustain Energy, Vol. 23, PP.1–11. (2003)
- 22- Chandrasekaran. J., Kumar. S., "**Hourly diffuse fraction correlation at a tropical location**", Sol Energy, Vol. 53, PP. 505–10. (1994)
- 23- Oliveira. AP., Escobedo. JF., Machado. AJ., Soares. J., "**Correlation models of diffuse solar radiation applied to the city of Sao Paulo, Brazil**", Appl Energy, Vol.71, PP. 59–73. (2002)
- 24- Soares. J., Oliveira. AP., Boznar. MZ., Mlakar. P., Escobedo. JF., Machado. AJ., "**Modeling hourly diffuse solar radiation in the city of Sao Paulo using a neural-network technique**", Appl Energy, Vol. 79, PP. 201–14. (2004)

علائم و اختصارات

δ	: زاویه انحراف
N	: شماره روزها از اول ژانویه
Tz	: اختلاف ساعت
h	: ساعت
φ	: عرض جغرافیای
Gsc	: ثابت خورشیدی
ω	: زاویه ساعتی
Et	: معادله زمان
L	: طول جغرافیای
θz	: زاویه سمت
αs	: زاویه فراز
Kth	: ضریب صافی هوا (ساعتی)
Gen	: تابش رسیده در جهت نرمال سطح در خارج از جو
Geh	: تابش رسیده در خارج از جو بر روی یک صفحه افقی
Gh	: تابش رسیده بر روی یک صفحه افقی در سطح زمین
Gbh	: تابش مستقیم رسیده بر روی یک صفحه افقی در سطح زمین
Gdh	: تابش دیفیوز رسیده بر روی یک صفحه افقی در سطح زمین
ωs	: زاویه ساعتی خورشید هنگام غروب
Knc	: ضریب تابش مستقیم نرمال در حالت آسمان صاف
Kdh	: نسبت تابش دیفیوز
Am	: ضخامت اپتیکی
Kn	: ضریب عبور تابش مستقیم در جهت عمود بر صفحه
P	: فشار ایستگاه

Comparative study of various methods to estimate the diffuse solar radiation in Iran climates

Abstract:

Calculating the solar radiation (global, direct or diffuse) has many applications. The global solar radiation was measured in Iran, but the diffuse or direct solar radiations have not measured. In this study, the global solar radiation was measured by IRIMO and the direct solar radiation predicated with the Maxwell method were used to calculate the diffuse solar radiation, Then the results were compared with many methods for predicating the diffuse solar radiation and the best method calculated. The result shows that the Boland method is the best in Iran Cities to predicate the diffuse solar radiation.

Keywords: Global, direct and diffuse solar radiation, Clearness index, Horizontal surface