

جغرافیا و توسعه شماره ۵۱ تابستان ۱۳۹۷

وصول مقاله: ۹۵/۱۱/۱۲

تأیید نهایی: ۹۶/۰۳/۲۸

صفحات: ۱۵۹-۱۷۴

برآورد تابش خورشیدی دریافتی سطح زمین در استان اصفهان با مدل برد و هول استورم

دکتر زهرا حجازی زاده^۱، علیرضا کر بلائی درئی^{۲*}، محمد رضا کر بلائی^۳

چکیده

هدف از مطالعه حاضر برآورد تابش دریافتی سطح زمین با استفاده از مدل برد و هول استورم در استان اصفهان است. نتایج به دست آمده از این مدل با روش زمین آماری (کوکریجینگ) در سطح این استان پهنه بندی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل برد و هول استورم، توانایی خوبی در برآورد میزان تابش در این استان دارد؛ به طوری که بیشترین مقدار تابش مستقیم برای آسمان صاف (IB) مربوط به ماه جولای با مقدار $36/77 \text{ MJ/m}^2$ است. تابش پراکنده در آسمان صاف (I_{DF}) در فصل زمستان و پاییز کمترین مقدار را دارد؛ به طوری که در ماه ژانویه با مقدار $5/68 \text{ MJ/m}^2$ کمترین و در ماه ژوئن و جولای با مقدار $6/34 \text{ MJ/m}^2$ بیشترین تابش دریافتی را دارند. مقدار تابش مستقیم روزانه دریافتی سطح زمین (H_B) و تابش پراکنده روزانه دریافتی سطح زمین (H_{DF}) در ماه جولای و تابش کل روزانه دریافتی سطح زمین (H) در ژوئن، بیشترین مقدار را دارند. به طور کلی به نظر می رسد عواملی که سبب شده تا بیشترین مقادیر تابشی در فصل تابستان وجود داشته باشد، ارتفاع خورشید و همچنین افزایش ساعات آفتابی و قرارگیری ایران در استیلای پرفشار جنب حاره است. نتایج برآورد شده نشان می دهد که فصل زمستان و پاییز در ماه های دسامبر و ژانویه دارای کمترین مقدار تابش دریافتی سطح زمین بوده، همچنین بیشترین مقدار دریافتی در این استان در ماه ژوئیه است. متوسط مقدار تابش دریافتی در فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب $16/91$ ، $27/37$ ، $27/04$ و $15/93 \text{ MJ/m}^2$ است. واژه های کلیدی: تابش دریافتی، ساعت آفتابی، برد و هول استورم، مگاژول بر مترمربع.

مقدمه

انرژی خورشیدی از مهمترین انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران است که با وجود پتانسیل فراوان ایران برای استفاده از این انرژی، هم‌اکنون به‌طور جدی از این انرژی استفاده نمی‌شود. کشور ایران دارای مناطق بیابانی است که پتانسیل قابل توجهی برای استفاده از انرژی خورشیدی دارد. امروزه افزایش جمعیت در جهان باعث محدود شدن منابع انرژی شده و اثرات زیست‌محیطی زیادی به بار آورده است. توجه جهان به انرژی‌های تجدیدپذیر بیشتر شده است؛ به‌طور مثال کشور آلمان با وجود اینکه در عرض‌های بالای جغرافیایی قرار دارد، طرح استفاده از انرژی خورشیدی را شروع کرده است. هدف این مقاله محاسبه انرژی تابشی خورشید به زمین و بررسی مناطق قابل استفاده از این انرژی است. ویژگی‌های این انرژی، ارزان بودن، دائمی بودن، بی‌خطر بودن، نداشتن آلودگی زیستی و... است. از آنجاکه منابع نفتی تجدیدناپذیراند، با احداث نیروگاه‌های خورشیدی می‌توان از انرژی تجدیدپذیر خورشید، برق تولید کرده و به کشورهای همسایه منتقل کرد که یک نوع درآمدزایی برای دولت محسوب می‌شود.

تابش خورشیدی از ایمن‌ترین، مؤثرترین و اقتصادی‌ترین منابع انرژی است که پتانسیل تبدیل شدن به منبع اصلی انرژی در آینده نه چندان دور را دارد. برآورد و تخمین اشتباه تابش دریافتی، بزرگترین ریسک در پروژه ایجاد یک سایت خورشیدی است. مجریان همواره نیازمند بررسی منبع تابش برای تعیین مکان مناسب سایت خورشیدی و در پی آن تولید انرژی برق هستند. استفاده بهینه از انرژی خورشیدی نیازمند مکان‌یابی دقیق سایت خورشیدی است. تخمین تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین کاربردهای زیادی در علوم معماری، مهندسی انرژی، کشاورزی و هیدرولوژی و... دارد (Almorox & Hontoria, 2004: 1529).

از دهه ۱۹۷۰ که کاربرد انرژی خورشیدی به‌صورت جدی‌تر مطرح شد، در اقصی نقاط جهان، مطالعه وسیع و قابل توجهی درباره میزان تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین و برآورد آن صورت گرفت و مدل‌های مناسبی با توجه به شرایط جغرافیایی و اقلیمی مناطق مختلف ارائه شد (Samimi, 1994: 401). انرژی برای جوامع بشری از دیرباز دارای اهمیت بوده و در سال‌های اخیر با پیشرفت تکنولوژی و پیشرفت صنعت، جایگاه مهمی در زندگی انسان‌ها پیدا کرده است. فزون بودن و ارزان بودن انرژی حاصل سوخت‌های فسیلی، باعث شده که انسان در استفاده از این انرژی تجدیدپذیر بازماند. در سال‌های اخیر کمبود نفت و افزایش آلودگی‌های زیستی باعث شده تا کشورهای توسعه‌یافته به فکر استفاده کردن از این انرژی پاک بیفتند. کشور ما با توجه به پتانسیلی که دارد نباید فقط به استفاده از انرژی‌های فسیلی بپردازد؛ بلکه باید از تکنولوژی‌های حاضر استفاده کرده و انرژی خورشیدی را به انرژی‌های قابل استفاده در زندگی خود تبدیل کند.

خورشید منبع اصلی انرژی سیاره زمین است. در زمینه برآورد انرژی تابشی خورشید تحقیقاتی انجام شده است که شامل موارد زیر است.

الیس و همکاران^۱ (۱۹۹۵)، مدلی را برای محاسبه تابش خورشید روی توپوگرافی‌ها و پهنه‌بندی تابش خورشید ارائه کردند (Olseth, 1995: 475).

طغرل و اونات^۲ (۱۹۹۹) با استفاده از شش پارامتر دمای هوا، تابش خورشیدی، ساعت آفتابی، فشار هوا، میزان ابرناکی و دمای خاک، یک مدل رگرسیون خطی چندمتغیره برای تخمین تابش در منطقه الازیگ^۳ ترکیه ارائه نمودند (Togrul & Onat, 1999: 1577).

1-Olseth

2-Togrul and Onat

3- Elazig

خورشید در کشاورزی، شهرسازی، معماری و چشم‌انداز فناوری استفاده از انرژی خورشید را بیان می‌کنند.

باکیرسی^۴ در کشور ترکیه برای مدل‌سازی و برآورد میزان تابش خورشیدی از عواملی مانند میزان ساعات آفتابی، بارش، دمای نقطه شبنم، رطوبت نسبی، دما و فشار هوا استفاده کرده است (Bakirci, 2009: 2580). صفاری‌پور و مهرابیان^۵ (۲۰۱۱) در شهر کرمان برای پیش‌بینی میانگین مقدار کل تابش خورشیدی روزانه از یک رابطه رگرسیون خطی با تأیید دادن هفت پارامتر جغرافیایی و هواشناسی استفاده کردند (Safaripour and Mehrabian, 2011: 1537).

یزدان‌پناه و همکاران (۱۳۸۹) در اصفهان به برآورد تابش کلی خورشید در سطح افقی زمین پرداختند. در این بررسی از مدل‌های مختلف، با شاخص‌های رایج MBE و RMSE مقایسه شده است، نتایج نشان داد ضرایب رگرسیون برای مدل‌های فرر و ام‌سی‌کلوج ۰/۶ و ۰/۷ است. این مدل برای ماه‌های می و آگوست دقت بسیار بالایی دارد و خطای آن کمتر از ۲- درصد بیان شده است (یزدان‌پناه و همکاران، ۱۳۸۹: ۹۵).

معینی و همکاران (۱۳۸۹)، با محاسبه ضرایب ثابت اقلیمی و وارد کردن آن در مدل بهینه‌شده انگستروم، تابش خورشیدی را برای ۲۱ ایستگاه در ایران برآورد کردند؛ اما اندک بودن تعداد پارامترهای اقلیمی در مدل رفع نشد. در این پژوهش اثر پارامترهای اقلیمی و محیطی، به‌ویژه رطوبت نسبی، بر کاهش تابش کل دریافتی سطح‌زمین در ایستگاه‌های میناب و بندرعباس بررسی می‌شود (معینی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱).

فتح‌نیا و رجایی (۱۳۹۴)، به برآورد اثر پارامترهای هواشناسی با تأکید بر تغییرات رطوبت نسبی، بر کاهش تابش دریافتی سطح زمین به‌منظور ایجاد سایت‌های خورشیدی پرداخته‌اند. در این پژوهش اثر

سوزن^۱ و همکاران (۲۰۰۴)، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به برآورد پتانسیل تابش خورشیدی در ترکیه پرداخته‌اند. آنان در مطالعه خود از داده‌های هواشناسی و جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، ماه، میانگین ساعت آفتابی و میانگین دما) ۱۷ ایستگاه ترکیه به‌مدت سه‌سال برای ورودی مدل خود بهره گرفتند (Sozne et al., 2005: 367).

راماچندرا^۲ (۲۰۰۶)، در مقاله‌ای تحت عنوان تعیین پتانسیل انرژی خورشیدی با استفاده از GIS چنین بیان میکند که پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر و قابلیت دسترسی به این منابع نیاز به بررسی دارد که سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور (RS) در مقیاس‌های مکانی و زمانی و تقاضا از منابع تجدیدپذیر و برنامه‌ریزی برای آن کمک می‌کند. وی با استفاده از GIS نقشه پتانسیل انرژی خورشیدی در ایالت کارانتکای هند را برای بهره‌برداری از این انرژی تهیه کرد (Ramachandra, 2006: 101-114). ایشان ضمن تجزیه و تحلیل نقشه‌های به‌دست‌آمده، مناطق و نواحی مستعد را شناسایی و میزان تابش رسیده به آن‌ها را به‌دست آورد (به‌نقل از خسروی و همکاران، ۱۳۹۲).

سبزی‌پرور^۳ (۲۰۰۸)، با گنجاندن ارتفاع، تعداد روزهای گردوغبار و بردایی فصلی مسافت زمین تا خورشید در مدل‌های صباغ، پالتریج و دانشیار، تابش خورشیدی را برای سطوح افقی در شهرهای مختلف بیابان‌های خشک مرکزی ایران محاسبه کرد و به این نتیجه رسید که مدل اصلاح‌شده صباغ برآورد بهتری با خطای کمتر از ۲ درصد دارد (Sabziparvar, 2008: 1002).

طاوسی (۱۳۹۰)، به بررسی کاربرد اقلیمی تابش خورشیدی در برنامه‌ریزی محیطی پرداخته است. ایشان مفاهیمی همچون برنامه‌ریزی محیطی، انرژی خورشیدی، محاسبه زاویه تابش، کاربرد انرژی تابشی

1-Sozne
2-Ramachandra
3-Sabziparvar

4-Bakirci
5-Safaripour and Mehrabian

تخمین میزان تابش خورشیدی روزانه، براساس تفاوت بین دمای حداکثر و دمای حداقل (مدل‌های بریستو-کمپبل، هارگریوز، سامانی، لی و چن) است. نتایج این پژوهش نشان داد که این مدل‌ها در مناطق خشک نسبت به مناطق مرطوب دارای دقت بیشتری است؛ بنابراین استفاده از این مدل‌ها برای تخمین تابش خورشیدی روزانه در مناطق خشک ایران که تنها داده‌های دمای هوای در دسترس است، توصیه می‌شود (فرجی‌مهیار و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۷).

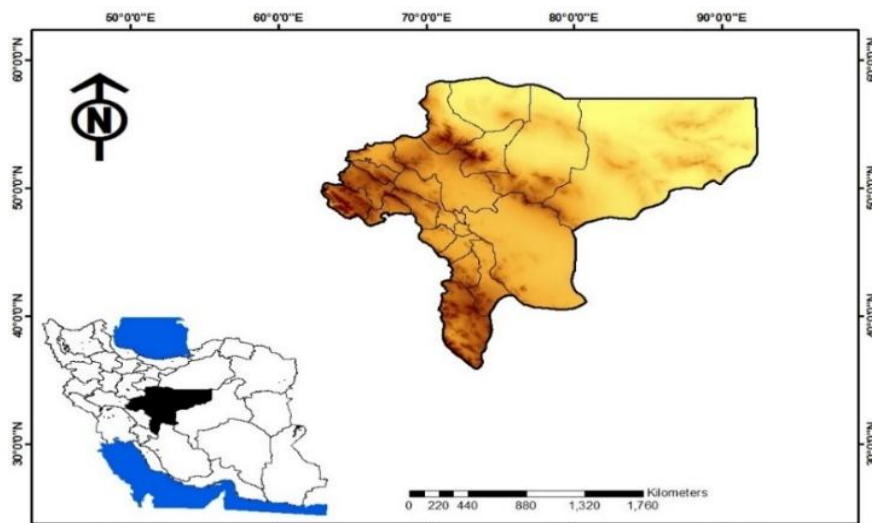
غلام‌نیا و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی مدل‌سازی و پهنه‌بندی انرژی خورشیدی دریافتی در سطح زمین در مناطق خشک و نیمه‌خشک مرکزی ایران پرداخته‌اند. بدین منظور در این پژوهش، با استفاده از دماهای پنج‌گانه در مقیاس زمانی روزانه، ابتدا از یک مدل ریاضی معتبر برای مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، میزان Rs ۵۰ ایستگاه هواشناسی که در آن‌ها میزان تابش خورشیدی ثبت نمی‌شود، برآورد شده است. نتایج نشان داد به‌طور کلی در منطقه مورد مطالعه، به تبعیت از تأثیر عرض جغرافیایی در تغییرات مکانی Rs ، میانگین انرژی تابشی دریافتی در سطح زمین در همه فصول از شمال به جنوب افزایش یافته و در فصول گرم، مقادیر Rs بیشتر از فصول سرد است (غلام‌نیا و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۳۹۴).

منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان با مساحت ۱۰۷۰۴۵ کیلومتر مربع (معادل ۶/۵۷ درصد از مساحت کشور) بین ۳۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی در بخش مرکزی ایران در جلگه‌ای حاصلخیز و پربرکت واقع شده است.

پارامترهای هواشناسی (طول روز، جرم جو، فشار هوا، آب قابل بارش، آلودگی جو، مقدار جذب در جو و مقدار جذب به وسیله ازن) به‌خصوص رطوبت نسبی و عوامل محیطی (ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی) بر کاهش تابش کل دریافتی در ایستگاه‌های بندرعباس و میناب در دوره زمانی ۲۰۰۹-۲۰۰۶، روزانه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد، بیشترین مقدار تابش کل دریافتی برای ایستگاه میناب در ماه ژوئیه و حدود $48/14 MJ/m^2/d-1$ و برای ایستگاه بندرعباس در ماه می و حدود $197/13 MJ/m^2/d$ است. ایستگاه میناب به دلیل تابش کل دریافتی بیشتر از بندرعباس، توان بیشتری در تولید انرژی برای ایجاد سایت خورشیدی داشته‌باشد (فتح‌نیا و رجایی، ۱۳۹۴: ۴۹۷). فیروز مجرد و همکاران (۱۳۹۴) به برآورد تابش خورشیدی در استان کرمانشاه پرداخته‌اند. در این پژوهش با استفاده از داده‌های روزانه ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان کرمانشاه در دوره زمانی ۲۰۰۹-۱۹۹۰ استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان داد بین مقادیر تابش اندازه‌گیری شده با پیرانومتر و مقادیر برآورد شده توسط مدل اختلاف کمی وجود دارد که نشان‌دهنده توانایی مدل در برآورد تابش است. کمترین مقادیر تابش دریافتی ماهانه منطقه در ماه‌های ژانویه و دسامبر رخ می‌دهد که از ۹ تا ۱۳ مگاژول بر مترمربع در نقاط مختلف استان متغیر است (فیروز مجرد و همکاران، ۱۳۹۴: ۵۵).

فرجی‌مهیار و همکاران (۱۳۹۴)، به ارزیابی مدل‌های تجربی برآورد تابش خورشیدی روزانه برپایه دمای هوا در چهار منطقه آب و هوایی ایران پرداخته‌اند. هدف از این مطالعه، ارزیابی عملکرد پنج مدل تجربی



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه استان اصفهان
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

جدول ۱: موقعیت نسبی ایستگاه‌های مورد بررسی

ردیف	ایستگاه‌ها	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع ایستگاه
۱	اصفهان	۵۱/۶۶۷	۳۲/۶۱۷	۱۵۵۰/۴
۲	کیوتر آباد	۸۵۰/۵۱	۳۲/۵۱۷	۱۵۴۵
۳	کاشان	۴۵۰/۵۱	۳۳/۹۸۳	۹۸۲/۳
۴	اردستان	۵۲/۳۸۳	۳۳/۳۸۳	۱۲۵۲/۴
۵	داران	۵۰/۳۶۷	۳۲/۹۶۷	۲۲۹۰
۶	شرق اصفهان	۵۱/۸۶۷	۳۲/۶۶۷	۱۵۴۳
۷	نابین	۵۳/۰۸۳	۳۲/۸۵۰	۱۵۴۹
۸	گلپایگان	۵۰/۲۸۳	۳۳/۴۶۷	۱۸۷۰
۹	خور	۵۵/۰۸۳	۳۳/۷۸۳	۸۴۵
۱۰	شهرضا	۵۱/۸۳۳	۳۱/۹۸۳	۱۸۴۵/۲

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

داده‌ها و روش‌ها

در مطالعه تابش خورشیدی نمی‌توان تمام عناصر مؤثر را در معادلات وارد نمود؛ در نتیجه برای تخمین میزان تابش خورشیدی تنها از تعداد محدودی از پارامترهای اقلیمی استفاده می‌شود. مهمترین پارامتر که در بیشتر معادلات تجربی برآورد تابش خورشیدی از آن استفاده می‌گردد، ساعات آفتابی است. گرچه بسیاری از محققان در مدل‌های تجربی خود علاوه بر ساعات آفتابی، از پارامترهایی همچون رطوبت نسبی، ارتفاع، عرض جغرافیایی و دما بهره برده‌اند، لیکن

تحقیقات نشان داده است که ساعات آفتابی مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده میزان تابش خورشیدی است. (مجرد و همکاران، ۱۳۹۴: ۵۶).

دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری تابش خورشیدی استفاده از پیرانومتر است که به علت نبود امکانات و هزینه زیاد، کمتر از آن استفاده می‌شود. برای اندازه‌گیری تابش کل دریافتی، تنها ایستگاه‌های اندکی در سطح جهان از این ابزار استفاده می‌کنند؛ بنابراین، محاسبه تابش خورشیدی به جای استفاده از وسایل آب و هواشناسی، کاری طبیعی به نظر می‌رسد

تابش مستقیم روزانه دریافتی سطح زمین θ زاویه سمت الرأس خورشید H_{DF} تابش پراکنده روزانه دریافتی سطح زمین، و Γ_s و Γ_g به ترتیب آبدوی جو و آبدوی زمین هستند. مقدار H_B تابش مستقیم (روزانه دریافتی سطح زمین) با رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$HB = I_B \left(\frac{n}{N} \right) \quad \text{رابطه ۳:}$$

I_B تابش مستقیم برای آسمان صاف است که خود با رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$IB = 0.9662I_0(T_M - a_w)T_A \quad \text{رابطه ۴:}$$

I_0 ثابت خورشیدی به میزان ۱۳۶۷ وات بر مترمربع، T_M قابلیت انتقال گازهای اتمسفری به جز بخار آب، T_A قابلیت انتقال به علت جذب و پخش توسط ذرات، a_w ضریب جذب بخار آب است. T_M قابلیت انتقال گازهای اتمسفری از رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

رابطه ۵:

$$T_M = 1.041 - 0.15[m(9.368 * 10^{-4}p + 0.051)]^{\frac{1}{2}}$$

m جرم توده هوا و p فشار مطلق محلی است. مقدار m با رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

رابطه ۶:

$$m = [\cos\theta + 0.15(93.885 - \theta Z)^{-1.25}]^{-1}$$

θ زاویه سمت الرأس خورشید بر حسب درجه است و برابر θ_z با سینوس ارتفاع خورشید منهای ۹۰ است. T_A قابلیت انتقال به علت جذب و پخش به وسیله ذرات با رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

رابطه ۷:

$$T_A = \exp(-\tau_A^{0.873}(1 + -\tau_A - \tau_A^{0.7088})m^{0.9108})$$

m جرم توده هواست τ_A ضریب کدورت است؛ این ضریب از رابطه (۸) محاسبه می‌شود:

(Almorox & Hontoria, 2004: 1530). در نتیجه محققان امروزه برای تخمین آن با استفاده از پارامترهای مؤثر اقلیمی و محیطی تلاش می‌کنند (Belcher & DeGaetano, 2007: 330). نخستین بار انگستروم میانگین روزانه شدت انرژی خورشیدی برای روزهای ابری روی سطح افق را از رابطه (۱) محاسبه کنند (Angstrom, 1940: 122).

$$Rs = a + b\left(\frac{n}{N}\right)Ra \quad \text{رابطه ۱:}$$

Rs تابش کل دریافتی در سطح افق، Ra مقدار ثابت تابش در خارج از جو، b و a ضرایب اقلیمی، n ساعت آفتابی و N پتانسیل ساعت آفتابی در روز مورد مطالعه است.

در این مدل بسیاری از پارامترهای جوی مانند مقدار رطوبت، آبدوی جو، آبدوی زمین، جذب و پخش ذرات جو، اثر گازها و بخار آب جو، از آن و... در نظر گرفته نشده است. چنین پارامترهایی نقش اساسی در مقدار تابش کل دریافتی دارند. این مدل را بعدها دیویس و همکاران^۱ (۱۹۸۸) برای محاسبه مقدار تابش، با نام مدل MAC اصلاح کردند، ولی نقص این مدل استفاده نکردن از ساعات ابری و آفتابی در محاسبه مقدار تابش کل دریافتی در سطح زمین بود. برد و هول استورم (Bird & Hulstrom, 1981:3)، معادله‌هایی با توجه به اثر پارامترهای جوی ارائه کردند که به شرح زیر است (Safaripour & Mehrabian, 2011: 1537). برای تخمین تابش کل روزانه دریافتی در سطح زمین از رابطه (۲) استفاده می‌شود:

$$H = (H_B \cos\theta + H_{DF}) / (1 - r_g \Gamma_s) \quad \text{رابطه ۲:}$$

معادله H ، تابش کل روزانه دریافتی در سطح زمین است که از پارامترهای مختلفی تشکیل شده است H_B

رابطه ۸:

$$\begin{aligned}\tau_A &= 0.2758\tau_{A(0.38)} + 0.35\tau_{A(0.50)} \\ \tau_{A(0.38\mu m)} &= 0.35 \\ \tau_{A(0.50\mu m)} &= 0.27\end{aligned}$$

a_w ضریب جذب بخار آب است که با رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

رابطه ۹:

$$a_w = 2.4959 m U_w [(1.0 + 79.03 m U_w)^{0.6824} + 6.385 m U_w]^{-1}$$

m جرم توده هوا و U_w آب قابل بارش در یک ستون عمودی است. مقدار U_w براساس رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود (Barnes, 1996):

رابطه ۱۰:

$$U_w = 0.493 * \left(\frac{RH}{100}\right) * \text{Exp}(26.23 - 5416/T)/T$$

در رابطه فوق، RH رطوبت نسبی و T دمای محیط است. r_s و r_g به ترتیب آلدوی جو و آلدوی زمین‌اند که مقدار r_g ثابت و برابر 0.7 است و مقدار r_s از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود:

رابطه ۱۱:

$$r_s = 0.0685 + (1 - B_a)(1 - T_{as})$$

مقدار B_a ثابت و برابر 0.84 است و T_{as} از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود:

رابطه ۱۲:

$$T_{as} = 10^{-0.045[p/p_0]m}^{0.7}$$

مقدار p و p_0 از رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود:

رابطه ۱۳:

$$\frac{p}{p_0} = \exp\left(\frac{h}{1000(-0.174 - 0.0000017h)}\right)$$

h مقدار ارتفاع ایستگاه از سطح دریا و p فشار مطلق محلی است همان (QFF)

مقدار H_{DF} تابش پراکنده روزانه دریافتی سطح زمین، با استفاده از رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود:

$$H_{DF} = I_{DF} \left(\frac{n}{N}\right) + K^* \left(1 - \left(\frac{n}{N}\right)\right) (I_B + I_{DF}) \quad \text{رابطه ۱۴:}$$

که در آن مقدار ثابت K^* برابر است با 0.32 ، n تعداد ساعات آفتابی اندازه‌گیری شده در طی روز و N تعداد ساعات آفتابی بالقوه نجومی در روز مورد مطالعه است (طول روز) که براساس فصل، سال و زاویه خورشید متغیر است.

I_{DF} تابش پراکنده برای آسمان صاف است که با

رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود
(Bird & Hulstrom, 1981:8)

رابطه ۱۵:

$$I_{DF} = I_0(\cos\theta)(0.79)T_0T_WT_{UM}T_{AA}[0.5(1 - T_R) + B_a(1 - T_{AS})]/[1 - m + (m)^{1.02}]$$

که در آن T_0 قابلیت انتقال به وسیله ازن، T_W بخار آب، T_{UM} اکسیژن و دی‌اکسیدکربن، T_A قابلیت انتقال به علت جذب و پخش توسط ذرات، T_{AA} قابلیت انتقال به علت جذب توسط ذرات، T_R قابلیت انتقال به علت پخش ریلی، است. B_a درصد تابش پراکنده در سطح زمین تحت تأثیر ذرات معلق سطحی (مقدار ثابت 0.84).

T_0 قابلیت انتقال به وسیله ازن، از رابطه (۱۶) محاسبه می‌شود:

رابطه ۱۶:

$$T_0 = \frac{1 - 0.161X_0(1 + 139.48 X_0)^{-0.3035}}{1.0 + 0.0044X_0 + 0.0003X_0^2}$$

X_0 مقدار ازن توده هواست که با رابطه (۱۷) محاسبه می‌شود:

$$X_0 = 0.3m \quad \text{رابطه ۱۷:}$$

T_W قابلیت انتقال به وسیله بخار آب، از رابطه (۱۸) محاسبه می‌شود:

در رابطه فوق n^* مجموع روزها از اول ژانویه تا روز مورد نظر

ω_s زاویه ساعتی خورشید در هنگام غروب از رابطه (۲۴) محاسبه می‌شود:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\theta \tan\delta) \quad \text{رابطه ۲۴}$$

E_0 از رابطه (۲۵) برآورد می‌شود:

$$E_0 = (1 + 0.033 \cos \frac{360n^*}{365}) \quad \text{رابطه ۲۵}$$

در رابطه فوق n^* مجموع روزها از اول ژانویه تا روز مورد نظر تابش مستقیم خورشید بر روی سطح افقی از رابطه (۲۶) محاسبه می‌شود:

رابطه ۲۶:

$$I_d = I_0 * \cos\theta * 0.9662 * T_r * T_0 * T_{UM} * T_w * T_A$$

در رابطه فوق مقدار Tr از رابطه (۲۷) برآورد می‌گردد
رابطه ۲۷:

$$T_r = \text{EXP}(-0.0903 * mp^{0.84} * (1 + mp - mp^{1.01}))$$

mp از رابطه (۲۸) به دست می‌آید:

$$m * P/1013 \quad \text{رابطه ۲۸}$$

m جرم توده هواست P فشار هوا (QFF) تابش خورشیدی بر روی سطح افقی از پراکندگی اتمسفری با رابطه (۲۹) برآورد می‌شود:

رابطه ۲۹:

$$I_{as} = I_0 * \cos\theta * 0.79 * T_A * a_w * T_0 * T_{UM}$$

مجموع جهانی تابش خورشید بر روی سطح افقی از رابطه (۳۰) برآورد می‌شود:

(Bird & Hulstrom, 1981: 8)

$$IT = (I_d + I_{as}) / (1 - r_g * B_a) \quad \text{رابطه ۳۰}$$

$$T_w = 1 - a_w \quad \text{رابطه ۱۸}$$

a_w : ضریب جذب بخار آب.

T_{UM} قابلیت انتقال به وسیله اکسیژن و دی‌اکسیدکربن که از رابطه (۱۹) استفاده می‌شود:

$$T_{Um} = \exp(-0.127m^{0.26}) \quad \text{رابطه ۱۹}$$

که در آن m جرم توده هواست.

T_{AA} قابلیت انتقال به علت جذب با ذرات از رابطه (۲۰) محاسبه می‌شود:

$$T_{AA} = 1 - 0.1(1 - T_A)(1 - m + m^{1.06}) \quad \text{رابطه ۲۰}$$

که در آن m جرم توده هواست، T_A قابلیت انتقال به علت جذب و پخش با ذرات و T_R قابلیت انتقال به علت پخش ریلی است که از رابطه (۲۱) محاسبه می‌شود:

$$T_R = \exp(-0.093m^{0.84}) \quad \text{رابطه ۲۱}$$

که در آن m جرم توده هواست و مقدار T_{AS} از نسبت مقدار T_A به T_{AA} به دست می‌آید. با استفاده از روابط گفته شده می‌توان به بررسی محاسبه شدت تابش براساس مدل برد و هول‌استورم^۱ پرداخت. با استفاده از رابطه (۲۲) شدت تابش بر روی یک صفحه توان افقی در بالای جو بر حسب MJ/m^2 را می‌توان برآورد کرد:
رابطه ۲۲:

$$H_0 = \frac{24I_0E_0}{\pi} (\cos\theta \cos\delta \sin\omega_s + \frac{\pi\omega_s}{180} \sin\theta \sin\delta)$$

در رابطه فوق:

$$I_0 \text{ ثابت خورشیدی برابر } 1367 \text{ W/m}^2$$

δ مدار میل خورشید که از رابطه (۲۳) محاسبه می‌شود:

$$\delta = 23.45 \sin(360 \frac{284 + n^*}{365}) \quad \text{رابطه ۲۳}$$

هدف از تحقیق حاضر برآورد و ارزیابی تغییرات فضایی-زمانی میزان تابش دریافتی سطح زمین در استان اصفهان، با استفاده از مدل بهینه‌شده برد و هول‌استورم است. این مدل اغلب پارامترهای مؤثر بر تابش دریافتی از جمله پخش، جذب، بخار آب، جرم جو، آلودگی جو و... را مدنظر قرار می‌دهد.

نتایج و بحث

در این تحقیق برای برآورد میزان تابش دریافتی سطح زمین در استان اصفهان از داده‌های روزانه ۱۰ ایستگاه سینوپتیک منطقه استفاده شده است. مقادیر تابش خورشیدی با مدل برد و هول‌استورم به صورت روزانه با در نظر گرفتن ویژگی‌های مکانی و ویژگی‌های

جدول ۲: میانگین‌های ماهانه متغیرهای اقلیمی در ایستگاه اصفهان (۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰)

ماه	ژانویه	فبریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
میانگین دمای هوا (سانتی‌گراد)	۳/۴	۶/۲	۱۰/۷	۱۶	۲۱/۱	۲۶/۵	۲۹	۲۷/۴	۲۳/۳	۱۷	۱۰/۱	۵
میانگین رطوبت نسبی (به درصد)	۶۰	۵۰	۴۲	۳۹	۳۴	۲۵	۲۵	۲۵	۲۸	۳۷	۵۰	۶۰
میانگین ساعت آفتابی	۶/۶	۷/۷۴	۸/۲۱	۸/۳۶	۹/۹۵	۱۱/۶۳	۱۱/۲۷	۱۱	۱۰/۴۲	۹/۰۷	۷/۴۶	۶/۳۳
فشار (هکتوپاسکال)	۱۰۲۰/۹	۱۰۱۷/۲	۱۰۱۳/۲	۱۰۱۰/۲	۱۰۰۷	۱۰۰۰/۲	۹۹۷/۲	۱۰۰۰/۳	۱۰۰۶/۵	۱۰۱۴/۵	۱۰۱۹/۳	۱۰۲۱/۶

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

برای محاسبات پارامترهای مختلف، درجهت برآورد تابش‌های خورشیدی از روش ساعتی برای هر روز در طی یک سال استفاده شد. برای تمامی ماه‌ها مقادیر به صورت ساعتی در نرم‌افزار اکسل برنامه‌نویسی

شد تا محاسبات نشانگر قابل قبول بودن تخمین‌ها باشد؛ به‌طور نمونه محاسبات برای اولین روز در ژانویه به صورت جدول (۳) خواهد بود.

جدول ۳: نمونه سطرهای ابتدا و انتهای آرایه پارامترهای اولیه و مقادیر تابش‌های ماه ژانویه

روز	زاویه خورشید ساعت	مدار میل ساعت	تناز زاویه تابش (θ)	SIN θ	θz	طول روز	m	X0	TM	TA	aw	T0	Tw	Tum	TAA	TR	TAS	Tas=TAS	rs	IB	IDF	HB	HDF	H	
1	-90	6	-23.01	-0.21	-12.16	102.16	9.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	-75	7	-23.01	-0.01	-0.58	90.58	9.90	42.67	12.80	0.67	0.00	0.20	0.76	0.80	0.71	-0.18	0.11	-0.01	-0.01	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	
	-60	8	-23.01	0.18	10.19	79.81	9.90	5.48	1.64	0.91	0.38	0.13	0.94	0.87	0.82	0.90	0.68	0.42	0.42	0.16	1.38	0.24	0.92	0.34	
	-45	9	-23.01	0.34	19.72	70.28	9.90	2.94	0.88	0.94	0.57	0.12	0.96	0.88	0.85	0.95	0.79	0.61	0.61	0.13	2.25	0.39	1.50	0.54	
	-30	10	-23.01	0.46	27.43	62.57	9.90	2.16	0.65	0.96	0.66	0.11	0.97	0.89	0.86	0.96	0.84	0.68	0.68	0.12	2.65	0.46	1.77	0.64	
	-15	11	-23.01	0.54	32.56	57.44	9.90	1.85	0.56	0.96	0.69	0.11	0.97	0.89	0.86	0.97	0.86	0.72	0.72	0.11	2.83	0.49	1.89	0.68	
	0	12	-23.01	0.56	34.37	55.63	9.90	1.77	0.53	0.96	0.71	0.10	0.98	0.90	0.86	0.97	0.86	0.73	0.73	0.11	2.89	0.50	1.93	0.70	
	15	13	-23.01	0.54	32.56	57.44	9.90	1.85	0.56	0.96	0.69	0.11	0.97	0.89	0.86	0.97	0.86	0.72	0.72	0.11	2.83	0.49	1.89	0.68	
	30	14	-23.01	0.46	27.43	62.57	9.90	2.16	0.65	0.96	0.66	0.11	0.97	0.89	0.86	0.96	0.84	0.68	0.68	0.12	2.65	0.46	1.77	0.64	
	45	15	-23.01	0.34	19.72	70.28	9.90	2.94	0.88	0.94	0.57	0.12	0.96	0.88	0.85	0.95	0.79	0.61	0.61	0.13	2.25	0.39	1.50	0.54	
	60	16	-23.01	0.18	10.19	79.81	9.90	5.48	1.64	0.91	0.38	0.13	0.94	0.87	0.82	0.90	0.68	0.42	0.42	0.16	1.38	0.24	0.92	0.34	
	75	17	-23.01	-0.01	-0.58	90.58	9.90	42.67	12.80	0.67	0.00	0.20	0.76	0.80	0.71	-0.18	0.11	-0.01	-0.01	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	
	90	18	-23.01	-0.21	-12.16	102.16	9.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
...
...
...
31	-90	6	12.00	-17.78	-0.21	-12.16	102.16	10.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	-75	7	12.00	-17.78	-0.01	-0.58	90.58	10.42	42.67	12.80	0.67	0.00	0.20	0.80	0.71	-0.18	0.11	-0.01	-0.01	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	
	-60	8	12.00	-17.78	0.18	10.19	79.81	10.42	5.48	1.64	0.91	0.38	0.13	0.87	0.82	0.90	0.68	0.42	0.42	0.16	1.38	0.24	0.87	0.35	
	-45	9	12.00	-17.78	0.34	19.72	70.28	10.42	2.94	0.88	0.94	0.57	0.12	0.88	0.85	0.95	0.79	0.61	0.61	0.13	2.25	0.39	1.43	0.56	
	-30	10	12.00	-17.78	0.46	27.43	62.57	10.42	2.16	0.65	0.96	0.66	0.11	0.89	0.86	0.96	0.84	0.68	0.68	0.12	2.65	0.46	1.68	0.66	
	-15	11	12.00	-17.78	0.54	32.56	57.44	10.42	1.85	0.56	0.96	0.69	0.11	0.89	0.86	0.97	0.86	0.72	0.72	0.11	2.83	0.49	1.79	0.70	
	0	12	12.00	-17.78	0.56	34.37	55.63	10.42	1.77	0.53	0.96	0.71	0.10	0.90	0.86	0.97	0.86	0.73	0.73	0.11	2.89	0.50	1.83	0.72	
	15	13	12.00	-17.78	0.54	32.56	57.44	10.42	1.85	0.56	0.96	0.69	0.11	0.89	0.86	0.97	0.86	0.72	0.72	0.11	2.83	0.49	1.79	0.70	
	30	14	12.00	-17.78	0.46	27.43	62.57	10.42	2.16	0.65	0.96	0.66	0.11	0.89	0.86	0.96	0.84	0.68	0.68	0.12	2.65	0.46	1.68	0.66	
	45	15	12.00	-17.78	0.34	19.72	70.28	10.42	2.94	0.88	0.94	0.57	0.12	0.88	0.85	0.95	0.79	0.61	0.61	0.13	2.25	0.39	1.43	0.56	
	60	16	12.00	-17.78	0.18	10.19	79.81	10.42	5.48	1.64	0.91	0.38	0.13	0.87	0.82	0.90	0.68	0.42	0.42	0.16	1.38	0.24	0.87	0.35	
	75	17	12.00	-17.78	-0.01	-0.58	90.58	10.42	42.67	12.80	0.67	0.00	0.20	0.80	0.71	-0.18	0.11	-0.01	-0.01	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	
	90	18	12.00	-17.78	-0.21	-12.16	102.16	10.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

بارش به بیشترین مقدار، یعنی ۶۵۰/۱ می‌رسد و کمترین آن در ماه ژانویه با مقدار ۸۲۳/۰ مشاهده می‌شود. جدول (۵) نتایج محاسبات پارامترهای مختلف مؤثر بر تابش را در ایستگاه اصفهان نشان می‌دهد.

یکی از ساختارهای جوّی که بسیار بر مقدار انرژی تابشی رسیده به سطح زمین اثرگذار است، مقدار رطوبت قابل بارش در جو است. Uw ضریب احتمالی مقدار آب قابل بارش است (Leckner, 1978: 148). با توجه به جدول (۴) در ماه جولای مقدار آب قابل

جدول ۴: مقدار آب قابل بارش ایستگاه اصفهان

ماه	ژانویه	فبریه	مارس	آوریل	می	ژوئیه	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
UW	۰/۸۲	۰/۸۳	۰/۹۳	۱/۲۰	۱/۴۲	۱/۴۳	۱/۶۵	۱/۵۱	۱/۳۳	۱/۲۱	۱/۰۶	۰/۹۲

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

قابلیت انتقال به‌وسیله بخار آب (X_0) در ماه ژانویه بیشترین مقدار و در ماه ژوئیه کمترین مقدار را دارد. در فصل زمستان به‌علت وجود بخار آب فراوان در جو، این انتقال نسبت به فصل تابستان بیشتر است. قابلیت انتقال گازهای اتمسفری (T_M) در ماه جولای بیشترین مقدار و در ماه ژانویه کمترین مقدار را دارد. دیگر پارامترهای مختلف مؤثر بر تابش در جدول (۵) نشان داده شده است.

زاویه میل خورشید (δ)، در ماه ژوئیه به بیشترین مقدار (۲۳/۲۵) و در ماه دسامبر به کمترین مقدار می‌رسد. کاهش زاویه میل خورشید و افزایش زاویه ساعتی (ω)، باعث افزایش تعداد ساعات آفتابی (n)، کاهش مقدار فشار هوا (p) و جرم هوا (m) می‌شود که نتیجه این عوامل باعث افزایش مقدار تابش در سطح زمین است. بیشترین مقدار جرم موجود در هوا مربوط به ماه‌های ژانویه و دسامبر است.

جدول ۵: نتایج به دست آمده از پارامترهای مختلف مؤثر بر تابش با استفاده از مدل برد هول استورم در ایستگاه اصفهان به صورت متوسط روزانه

ماه	ژانویه	فبریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
δ	-۲۱/۱	-۱۳/۲	-۲/۰۲	۹/۹۷	۱۹/۲۶	۲۳/۲۵	۲۱/۱۸	۱۳/۱۲	۱/۶۱	-۱۰/۳	-۱۹/۴	-۲۳/۲
m	۱۱/۲۹۱	۵/۲۵۶	۲/۷۲۷	۴/۳۹۵	۲/۲۷	۱/۸۳۳	۱/۸۲۸	۲/۲	۳/۶۹۸	۵/۶۹	۴/۷۴۸	۱۰/۵۰۴
x_o	۳/۵۲۶	۱/۷۰۶	-۰/۹۳۶	۱/۳۱۸	-۰/۶۸۱	-۰/۵۵	-۰/۵۴۸	-۰/۶۶	۱/۱۰۹	۱/۷۰۷	۱/۵۶۱	۳/۲۹۳
T_M	۱/۱۷۲	۱/۱۲۵	۱/۰۵۳	-۰/۹۴۹	-۰/۹۰۷	-۰/۸۸۷	-۰/۹۰۱	-۰/۹۵	۱/۰۱۴	۱/۰۸۹	۱/۱۹۶	۱/۲۰۴
T_A	-۰/۷۲۴	-۰/۷۲۸	-۰/۷۵۲	-۰/۶۰۵	-۰/۶۳۲	-۰/۶۴۱	-۰/۶۵۴	-۰/۶۷۱	-۰/۶۶۳	-۰/۶۵۴	-۰/۷۹۱	-۰/۷۴۸
a_w	-۰/۳۳۹	-۰/۳۰۷	-۰/۲۷۵	-۰/۱۲۵	-۰/۱۱۴	-۰/۱۰۸	-۰/۱۱۳	-۰/۱۱۹	-۰/۱۳۳	-۰/۱۵	-۰/۳۲۹	-۰/۳۴۹
T_o	۱/۲۰۹	۱/۱۵۱	۱/۰۶۹	-۰/۹۶۹	-۰/۹۲	-۰/۸۹۶	-۰/۹۱	-۰/۹۶۲	۱/۰۳۲	۱/۱۱۷	۱/۲۲۲	۱/۲۴
T_w	۱/۱۴۷	۱/۰۷۷	-۰/۹۹۳	-۰/۸۸۶	-۰/۸۳۳	-۰/۸۱۲	-۰/۸۲۱	-۰/۸۷	-۰/۹۳۸	۱/۰۲	۱/۱۳۴	۱/۱۷۱
T_{UM}	۱/۰۹۵	۱/۰۳۶	-۰/۹۶۳	-۰/۸۵۷	-۰/۸۱۴	-۰/۷۹۴	-۰/۸۰۷	-۰/۸۵۱	-۰/۹۱۲	-۰/۹۸۶	-۰/۹۹	۱/۱۲۲
T_{AA}	۱/۰۰۸	۱/۰۹۴	۱/۰۵۳	-۰/۹۱۸	-۰/۹۰۶	-۰/۸۸۷	-۰/۹۰۲	-۰/۹۴۹	-۰/۹۹۸	۱/۰۵۱	۱/۱۷۸	۱/۰۶۳
T_R	-۰/۹۳۳	-۰/۹۳۹	-۰/۹۲۷	-۰/۷۸۶	-۰/۷۹۱	-۰/۷۸۵	-۰/۷۹۹	-۰/۸۳۳	-۰/۸۵۶	-۰/۸۸۳	-۰/۱۰۴	-۰/۹۶۳
T_{AS}^{as}	-۰/۷۴۸	-۰/۷۵۸	-۰/۷۷۷	-۰/۶۳۱	-۰/۶۵۵	-۰/۶۶۲	-۰/۶۷۵	-۰/۶۹۵	-۰/۶۹۱	-۰/۶۸۶	-۰/۸۲۲	-۰/۷۴۴
r_s	-۰/۳۵۹	-۰/۳۲۵	-۰/۲۸۴	-۰/۱۳	-۰/۱۱۲	-۰/۱۰۴	-۰/۱۰۵	-۰/۱۱۵	-۰/۱۳۴	-۰/۱۵۸	-۰/۳۴	-۰/۳۷۱

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

قابلیت انتقال گازهای اتمسفری (T_M) و قابلیت انتقال به علت جذب و پخش توسط ذرات (T_A) بیشترین مقادیر آن مربوط به ماه جولای است. ضریب جذب بخار آب (a_w) به علت افزایش فشار در زمستان و پاییز بیشتر است و در تابستان مقدار آن کاهش می‌یابد.

در جدول (۶) نتایج پارامترهای مختلف مؤثر بر تابش به صورت ماهانه نشان داده شده است. از نظر جرم هوا (m) و قابلیت انتقال به وسیله بخار آب (X_o) بیشترین مقدار مربوط به ماه ژانویه و کمترین آن مربوط به ماه جولای است. کاهش جرم هوا سبب این امر می‌شود.

جدول ۶: نتایج به دست آمده از پارامترهای مختلف مؤثر بر تابش با استفاده از مدل برد هول استورم در ایستگاه اصفهان به صورت ماهانه

ماه	ژانویه	فبریه	مارس	آوریل	می	ژوئیه	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
δ	-۲۱/۱	-۱۳/۲	-۲/۰۲	۹/۹۷	۱۹/۲۶	۲۳/۲۵	۲۱/۱۸	۱۳/۱۲	۱/۶۱	-۱۰/۳	-۱۹/۴	-۲۳/۲
m	۱۱۴	۵۶/۹۸	۳۲/۲۵	۵۶/۵۲	۳۱/۱۴	۲۵/۹	۲۵/۴۳	۲۸/۹۲	۴۴/۸۸	۶۳/۲	۴۸/۶۸	۱۰۳/۷
x_o	۳۵/۵۹	۱۸/۴۹	۱۱/۰۸	۱۶/۹۶	۹/۳۴	۷/۷۷	۷/۶۳	۸/۶۸	۱۳/۴۶	۱۸/۹۶	۱۶/۰۱	۳۲/۵۱
T_M	۱۱/۸۳	۱۲/۲	۱۲/۴۶	۱۲/۲	۱۲/۴۵	۱۲/۵۳	۱۲/۵۴	۱۲/۴۹	۱۲/۳	۱۲/۱	۱۲/۲۷	۱۱/۸۹
T_A	۷/۳۱	۷/۸۹	۸/۸۹	۷/۷۹	۸/۶۷	۹/۰۶	۹/۱	۸/۸۲	۸/۰۵	۷/۲۶	۸/۱۱	۷/۳۹
a_w	۳/۴۳	۳/۳۳	۳/۲۵	۱/۶۱	۱/۵۶	۱/۵۳	۱/۵۷	۱/۵۷	۱/۶۱	۱/۶۷	۳/۳۷	۳/۴۴
T_o	۱۲/۲	۱۲/۴۸	۱۲/۶۵	۱۲/۴۶	۱۲/۶۲	۱۲/۶۷	۱۲/۶۷	۱۲/۶۴	۱۲/۵۳	۱۲/۴۱	۱۲/۵۳	۱۲/۲۵
T_w	۱۱/۵۷	۱۱/۶۷	۱۱/۷۵	۱۱/۳۹	۱۱/۴۴	۱۱/۴۷	۱۱/۴۳	۱۱/۴۳	۱۱/۳۹	۱۱/۳۳	۱۱/۶۳	۱۱/۵۶
T_{UM}	۱۱/۰۶	۱۱/۲۳	۱۱/۳۹	۱۱/۰۲	۱۱/۱۷	۱۱/۲۲	۱۱/۲۳	۱۱/۱۹	۱۱/۰۸	۱۰/۹۵	۱۱/۲۷	۱۱/۰۸
T_{AA}	۱۰/۱۸	۱۱/۸۶	۱۲/۴۵	۱۱/۸۱	۱۲/۴۳	۱۲/۵۴	۱۲/۵۴	۱۲/۴۸	۱۲/۱۱	۱۱/۶۸	۱۲/۰۸	۱۰/۵
T_R	۹/۴۲	۱۰/۱۸	۱۰/۹۷	۱۰/۱۱	۱۰/۸۶	۱۱/۰۹	۱۱/۱۲	۱۰/۹۶	۱۰/۳۹	۹/۸۱	۱۰/۳۹	۹/۵۱
T_{AS}^{as}	۷/۵۶	۸/۲۱	۹/۱۹	۸/۱۲	۸/۹۹	۹/۳۵	۹/۳۹	۹/۱۳	۸/۳۸	۷/۶۲	۸/۴۳	۷/۳۴
r_s	۳/۶۲	۳/۵۲	۳/۳۶	۱/۶۷	۱/۵۳	۱/۴۷	۱/۴۷	۱/۵۱	۱/۶۳	۱/۷۵	۳/۴۸	۳/۶۶

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

مقدار تابش مستقیم روزانه دریافتی سطح زمین (H_B) و تابش پراکنده روزانه دریافتی سطح زمین (H_{DF}) در ماه جولای به بیشترین مقدار و تابش کل روزانه دریافتی سطح زمین (H) در ژوئیه بیشترین مقدار را دارد. به طور کلی به نظر می‌رسد عواملی که سبب شده‌اند بیشترین مقادیر تابشی در فصل تابستان باشد، ارتفاع خورشید و همچنین افزایش ساعات آفتابی و قرارگیری ایران در استیلای پرفشار جنب حاره است.

باتوجه به محاسبات جدول (۷) از نظر متوسط ماهانه، بیشترین مقدار تابش مستقیم برای آسمان صاف (IB) مربوط به ماه جولای با مقدار $77/36$ مگاژول بر متر مربع در MJ/m^2 است. مقادیر مربوط به تابش پراکنده در آسمان صاف (I_{DF}) در فصل زمستان و پاییز کمترین مقدار را دارد؛ به طوری که در ماه ژانویه با مقدار $68/5$ کمترین و در ماه ژوئیه و جولای با مقدار $43/6$ مگاژول بر مترمربع بیشترین مقدار را دارد.

جدول ۷: متوسط روزانه تابش‌های خورشیدی مختلف بر اساس مدل برد و هولستورم ایستگاه اصفهان ماهانه MJ/m^2

ماه	ژانویه	فبریه	مارس	آوریل	می	ژوئیه	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
IB	23/1	25/6	29/82	31/51	35/02	36/74	36/77	35/63	32/47	29/06	26/31	23/39
I_{DF}	5/68	6/11	6/85	5/5	6/13	6/43	6/43	6/23	5/68	4/96	6/24	5/72
H_B	15/8	18/84	21/33	20/51	25/42	30/27	29/83	29/86	27/89	23/74	19/65	15/7
H_{DF}	7/16	7/47	8/56	7/72	8/06	7/73	7/83	7/39	6/6	6/04	7/58	7/27
H	13/4	16/01	19/86	21/58	26/25	30/06	29/92	28/97	25/71	20/35	16/8	13/6

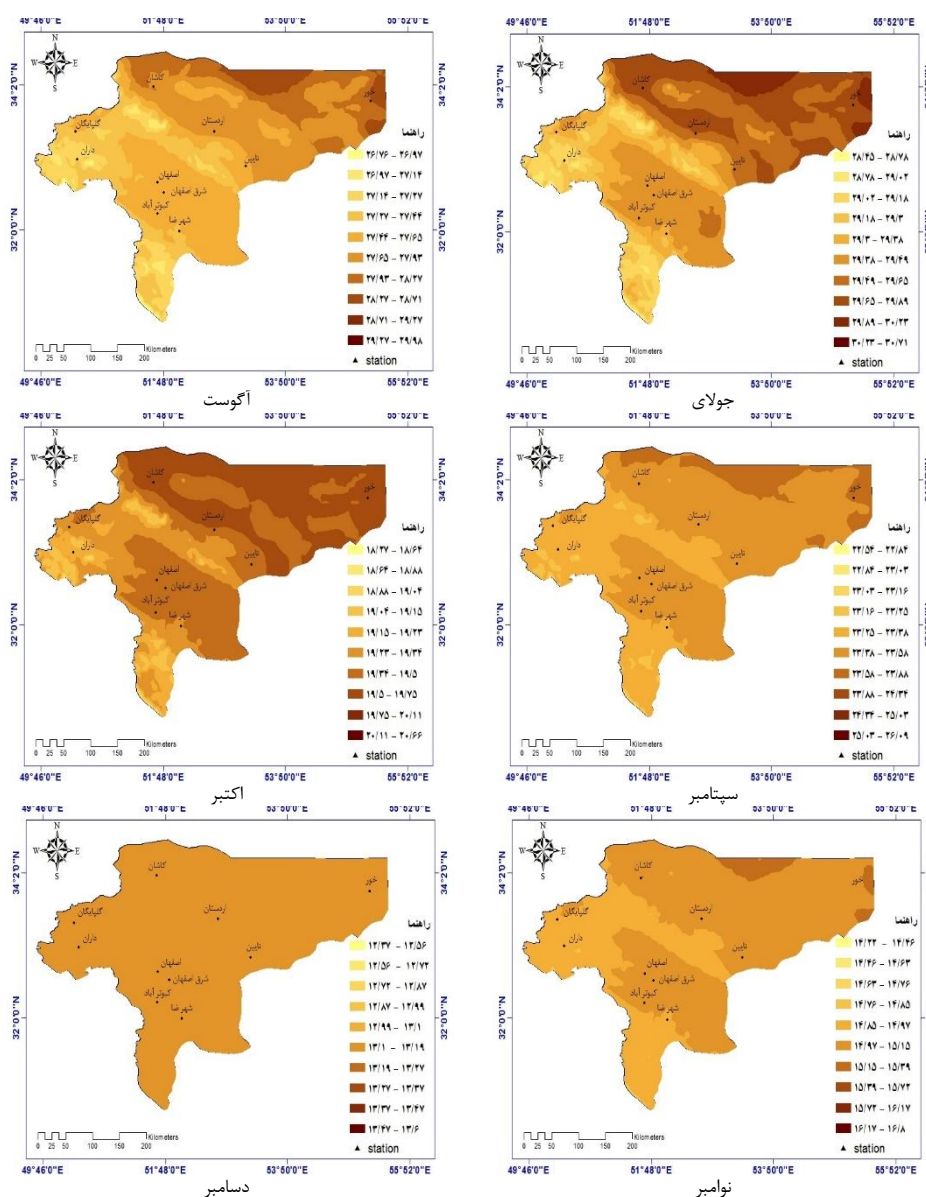
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

مشاهده می‌گردد. بیشترین مناطق تابشی منطبق بر ارتفاعات است. به طور متوسط مقدار تابش دریافتی سطح زمین در زمستان برابر $16/91$ مگاژول بر متر مربع است. مقدار تابش در فصل بهار نسبت به فصل زمستان کمی متفاوت‌تر است. به طور کلی در این فصل ارتفاع خورشید افزایش یافته و مقدار تابش بیشتری به سطح زمین می‌رسد. در ماه آوریل این فصل، کمترین مقدار تابشی مربوط به شهرضا و بیشترین مقدار مربوط به ایستگاه شرق اصفهان است. در ماه می، نیمه شرقی استان دارای مقدار کمتری از تابش دریافتی است. در این ماه بیشترین مقدار تابش مربوط به ایستگاه گلپایگان و کمترین مقدار آن مربوط به کاشان است. در ماه ژوئیه اکثر مناطق استان دارای مقدار تابش زیادی است و فقط ایستگاه کاشان دارای مقدار تابش کمتری نسبت به بقیه ایستگاه‌هاست. به طور متوسط در فصل بهار مقدار تابش دریافتی سطح زمین برابر $27/37$ مگاژول بر متر مربع است.

بر اساس ارقام برآورد شده، با روش کوکریجینگ نقشه‌های پهنه‌بندی ایستگاه‌های استان اصفهان تهیه گردید. همان‌طور که مشاهده می‌شود در شکل (۲) کمترین مقدار تابش دریافتی سطح زمین در ماه ژانویه مربوط به ایستگاه خوروبابانک است با ارتفاع ایستگاه (۸۴۵ متر) که دارای مقدار تابش $12/96$ مگاژول بر مترمربع است و بیشترین مقدار تابش دریافتی مربوط به ایستگاه داران با ارتفاع 2290 متر با مقدار $14/26$ مگاژول بر متر مربع در این ماه است. در ماه فبریه ایستگاه کبوترآباد دارای بیشترین مقدار تابش دریافتی و خورو بیابانک کمترین مقدار را دارد. در ماه مارس، بیشترین مقدار مربوط به ایستگاه اصفهان و کمترین مقدار مربوط به ایستگاه کاشان است. به طور کلی بالاترین مقدار تابش دریافتی در فصل زمستان مربوط به بخش‌های مرکزی و غربی و جنوبی استان اصفهان است که به نظر می‌رسد علت آن ارتفاعات این مناطق باشد که با استفاده از شکل (۱)

متوسط در این فصل مقدار تابش دریافتی ۲۷/۰۴ مگاژول بر متر مربع است. بعد از ماه جولای رفته رفته از ارتفاع خورشید کاسته می شود. در فصل پاییز بیشترین مقدار تابش دریافتی مربوط به ایستگاه خور و بیابانک است. به طور متوسط مقدار تابش دریافتی در فصل پاییز به ۱۵/۹۳ مگاژول بر متر مربع می رسد (شکل ۳).

(ضخامت اتمسفر) که می پیماید بستگی دارد؛ زیرا پوشش گازی زمین بخش مهمی از تابش خورشید را جذب می کند و بخش مهم دیگری را به اطراف پخش می کند. این عامل علاوه بر کاهش کمیت نور، بر کیفیت آن نیز اثر دارد. مقدار تضعیف تابش در اتمسفر تابع قانون بیر است (حیدری نبی و همکاران، ۱۳۸۶: ۹). در این فصل بیشترین مقدار تابش دریافتی مربوط به نواحی شرقی و جنوبی استان است. به طور



شکل ۳: تابش دریافتی سطح زمین، فصل زمستان و بهار در استان اصفهان با مدل، برد و هول استورم بر حسب MJ/m²/Day

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

نتیجه

باتوجه به محدودیت منابع انرژی فسیلی که در حدود ۹۰ درصد از انرژی موردنیاز کشورهای صنعتی و بخش وسیعی از مصارف سایر کشورهای جهان را تشکیل می‌دهد، راهکارهای متفاوتی برای مقابله با بحران احتمالی و تأمین انرژی آینده جهان در نظر گرفته شده است. بدین‌منظور امروزه به استفاده از انرژی‌های تجدیدشونده، به‌ویژه انرژی خورشیدی توجه زیادی شده است و همگان را بر آن داشته تا مقدار انرژی تابشی دریافتی سطح زمین را با دقت بالایی برآورد کنند. پارامترهای بسیاری در میزان تابش کل دریافتی سطح زمین مؤثر است. بعضی از این عوامل ماهیت اقلیمی دارند و بعضی از آنها محیطی‌اند. در مقایسه با پژوهش یزدان‌پناه و همکاران (۱۳۸۹) در این مطالعه از مدل برد و هول‌استورم بهره گرفته شده است. در این مدل از پارامترهای مانند طول‌روز، مدار میل، ارتفاع خورشید، آب قابل بارش، رطوبت، جرم هوا، آلودگی جو، مقدار جذب توسط ازن، مقدار جذب در جو، ارتفاع منطقه، فشار هوا، عرض جغرافیایی و... استفاده شده است، که محل مقدار تابش را تقریباً براساس شرایط محیط برآورد می‌کند. براین‌اساس نتایج این مطالعه نشان داد در ایستگاه اصفهان از نظر متوسط ماهانه، بیشترین مقدار تابش مستقیم برای آسمان صاف مربوط به ماه جولای با مقدار ۳۶/۷۷ مگاژول بر مترمربع MJ/m^2 است. در فصل تابستان ارتفاع خورشید به بالاترین نقطه خود و ساعت آفتابی به بیشترین مقدار می‌رسد. در فصل زمستان و پاییز، مقادیر مربوط به تابش پراکنده در آسمان صاف کمترین مقدار را دارند؛ به‌طوری‌که در ماه ژانویه با مقدار ۶۸/۵ کمترین و در ماه ژوئیه و جولای با مقدار ۴۳/۶ مگاژول بر متر مربع بیشترین مقدار را دارند. مقدار تابش مستقیم روزانه دریافتی سطح زمین و تابش پراکنده روزانه دریافتی سطح

زمین در ماه جولای به بیشترین مقدار و تابش کل روزانه دریافتی سطح زمین (H) در ژوئیه بیشترین مقدار را دارد. نتایج برآورد شده تابش دریافتی سطح زمین در استان اصفهان نشان می‌دهد که کمترین مقدار دریافت انرژی در فصل زمستان و پاییز مربوط به ماه‌های دسامبر و ژانویه است، بیشترین مقدار دریافتی در این استان در ماه ژوئیه و متوسط مقدار تابش دریافتی در فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب ۷۳/۱۶، ۲۶/۱۵، ۳۰، و ۱۷/۴۲ مگاژول بر متر مربع است.

مقایسه نتایج این پژوهش در برآورد مقادیر تابش سطح زمین با نتایج تحقیق‌های صفاری‌پور و مهربان (۲۰۱۱) در کرمان، مدل بردوهول‌استورم، مجرد و همکاران (۱۳۹۴) در کرمانشاه و فتح‌نیا و رجایی (۱۳۹۴) در برآورد اثر پارامترهای هواشناسی با تأکید بر تغییرات رطوبت نسبی بر کاهش تابش دریافتی سطح زمین در بندرعباس، گواهی بر صحت نسبی این پژوهش است. در پایان بهتر است عواملی مانند پوشش گیاهی، جنس خاک و میزان ابرناکی نیز در برآورد مدل‌ها مورد توجه قرار گیرند.

منابع

- حیدری‌نبی، مهران (۱۳۸۶). برآورد تابش روزانه خورشید با استفاده از متغیرهای هواشناسی (مقایسه یافته‌های شبکه عصبی مصنوعی با سایر مدل‌ها)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مهندسی آب و خاک. دانشگاه تهران.
- خسروی، محمود؛ سعید جهانبخش؛ جعفر درخشی (۱۳۹۲). برآورد و پهنه‌بندی تابش خورشیدی دریافتی در سطح افقی با استفاده از پارامترهای اقلیمی در محیط GIS (مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی)، جلد ۱۳، شماره ۴۳، صفحات ۴۳-۶۳.
- طاوسی، تقی (۱۳۹۰). کاربرد اقلیمی تابش خورشیدی در برنامه‌ریزی محیطی، انتشارات دانشگاه سیستان و بلوچستان.

- Bird, R. E., & Hulstrom, R. L (1981). Simplified clear sky model for direct and diffuse insolation on horizontal surfaces (No. SERI/TR-642-761). Solar Energy Research Inst., Golden, CO (USA).
- Barnes, E. M (1996). Estimation of evapotranspiration using advanced very high resolution radiometer (AVHRR) data (Doctoral dissertation, Oklahoma State University).
- Belcher, B. N., & DeGaetano, A. T (2007). A revised empirical model to estimate solar radiation using automated surface weather observations. *Solar Energy*, 81(3), 329-345.
- Davies, J. A., McKay, D. C., Luciani, G. and Abdel-Wahab, M (1988). Validation of Models for Estimating Solar Radiation on Horizontal Surfaces, IEA Task IX, Final Report, Atmospheric Environment Service of Canada, Downsview, Ontario, Canada.
- Leckner, B (1978). The spectral distribution of solar radiation at the Earth's surface-elements of a model, *Solar Energy*, 20, 143-150.
- Olseth, J. A., Skartveit, A., & Zou, H (1995). Spatially continuous mapping of solar resources in a complex high latitude topography. *Solar energy*, 55(6), 475-485.
- Sabziparvar, A. A (2008). A simple formula for estimating global solar radiation in central arid deserts of Iran, *Renewable Energy*, 33, 1002-1010.
- Samimi, J (1994). "Estimation of height-dependent solar irradiation and application to the Solar climate of Iran", *Solar Energy*, 52: 401-409.
- Safaripour, M. H., & Mehrabian, M. A (2011). Predicting the direct, diffuse, and global solar radiation on a horizontal surface and comparing with real data. *Heat and mass transfer*, 47(12), 1537.
- Sözen, A., Arcaklioğlu, E., Özalp, M., & Kanit, E. G (2005). Solar-energy potential in Turkey. *Applied Energy*, 80(4), 367-381.
- Togrul I. T., and Onat E (1999). A study for estimating solar radiation in Elazig using geographical and meteorological data, *Energy Conversion and Management* 40:1577-1584.
- Ramachandra, T.V (2006). Solar energy potential assessment using GIS. *Energy Education Science and Technology*, 18 (1/2), 101.
- غلامنیا، اعظم؛ محمدحسین مبین؛ عاطفه جبالی؛ حمید علیپور (۱۳۹۵). مدل سازی و پهنه بندی انرژی خورشیدی دریافتی در سطح زمین در مناطق خشک و نیمه خشک مرکزی ایران، نشریه آب و خاک. جلد ۳۰. شماره ۴. صفحات ۱۳۰۸-۱۲۹۴.
- فتحنیا، امان الله؛ سعید رجایی (۱۳۹۴). برآورد اثر پارامترهای هواشناسی با تأکید بر تغییرات رطوبت نسبی بر کاهش تابش دریافتی سطح زمین به منظور ایجاد سایت خورشیدی، مجله فیزیک زمین و فضا. شماره ۳. صفحات ۴۹۷-۴۸۷.
- فرجی مهبیاری، خدیجه؛ مجید خانعلی؛ زهرا فرجی مهبیاری (۱۳۹۴). ارزیابی مدل های تجربی برآورد تابش خورشیدی روزانه بر پایه دمای هوا در چهار منطقه آب و هوایی ایران، فصلنامه انرژی ایران. شماره ۵۶. صفحه ۱۷.
- مجرد، فیروز؛ امان الله فتحنیا؛ سعید رجایی (۱۳۹۴). برآورد تابش خورشیدی دریافتی سطح زمین در استان کرمانشاه، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. شماره ۱۹. صفحات ۶۹-۵۵.
- معینی، سام؛ شهرام جوادی؛ محسن کوبی؛ محسن دهقان منشادی (۱۳۸۹). برآورد تابش خورشیدی در ایران با استفاده از یک مدل بهینه، نشریه انرژی ایران. دوره ۱۳. شماره ۲. صفحات ۱۰-۱.
- یزدان پناه، حجت الله؛ راضیه میرمجبیبیان؛ حمید برقی (۱۳۸۹). برآورد تابش کلی خورشید در سطح افقی زمین در اصفهان، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. دوره ۲۱. پیاپی ۳۷. صفحات ۱۰۴-۹۵.
- Almorox, J. and Hontoria, C (2004). Global Solar Radiation Estimation Using Sunshine Duration in Spain, *Energy Conversion and Management*, Vol. 45, No. 9-10, PP. 1529-1535.
- Angstrom, A (1924). Solar and Terrestrial Radiation, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, Vol. 50, PP: 121-125.
- Bakirci, K (2009). Models of Solar Radiation with Hours of Bright Sunshine; A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*; Vol. 13, PP. 2580-2588.

Geography and Development
16nd Year-No.51 – Summer 2018
Received: 31/01/2017 Accepted: 18/06/2017

Estimating the Received Solar Radiation by Bird and Hulstrom Model in Isfahan Province

Dr. Zahra Hejazizadeh

Professor of Physical Geography
University of Kharazmi, Tehran

Alireza Karbalaee doree

Ph.D Student of Climatology
University of Kharazmi, Tehran

Mohamadreza Karbalaee

M.Sc Student of Science of Physics (Laser)
University of Shahid Beheshti, Tehran

Introduction

Solar energy is one the most important renewable energies in Iran, but according to Iran's high potential of using this energy, it has not been seriously used. Iran has deserts so that it brings about a high capability of using solar energy. Nowadays, the growth of population in the world has led to the limitation of energy resources and many ecological effects have been occurred so the attraction of attentions to the renewable energies has increased. For example, the plan of using solar energy has been started in Germany, although it is located in high latitude. As Iran's oil resources are non-renewable energy, by constructing solar power plants, the government can produce electricity, export to neighbor countries and increase its income. The main purpose of this study is to estimate and assess the time-spatial variation for the received radiation by earth surface in Isfahan province by using the optimized model of Bird and Hulstrom. This model considers most of the influential parameters on received radiation such as absorption and scattering, water vapor, atmosphere mass, atmosphere Albedo and etc.

Methods and Material

In this study, the daily solar radiation amount has been estimated by considering climatic and Spatial features in Bird and Hulstrom model. Bird and Hulstrom (1981) have represented equations according to atmospheric parameters as shown in equation (1) (Safaripour and Mehrabian, 2011). To estimating the total daily received radiation by earth surface, equation (1) is used:

$$\text{Equation (1): } H = (H_B \cos \theta + H_{DF}) / (1 - r_g r_s)$$

In equation (1), H_B is the Direct daily global irradiation at earth's surface, θ is Altitude Angle, H_{DF} is Daily diffuse irradiation at earth's surface, r_s and r_g are Ground albedo and Sky albedo. The value of H_B (the Direct daily global irradiation at earth's surface) is calculated by equation (2):

$$\text{Equation (2): } H_B = I_B (n/N)$$

In equation (2), I_B is the Direct beam irradiance for clear sky which is calculated in equation (3) as following:

Equation (3):

$$I_B = 0.9662I_0(T_M - a_w)T_A$$

In the equation (3), I_0 is the solar constant with the value of 1367 W/m^2 , T_M is the Transmissivity of atmospheric gases except water vapor, T_A is the Transmissivity due to absorption and scattering and a_w is the Water vapor absorptance. The value of H_{DF} is calculated by equation (4) as following:

Equation (4):

$$H_{DF} = I_{DF} \left(\frac{n}{N} \right) + K^* \left(1 - \left(\frac{n}{N} \right) \right) (I_B + I_{DF})$$

The value of constant K^* is equal to 0.32, n is Hours of measured sunshine, N is the Potential astronomical sunshine hours (within the day) that vary according to the season, year and solar angle. Diffuse irradiance for clear sky (I_{DF}) is calculated based on equation (5) as following:

Equation (5):

$$I_{DF} = I_0(\cos\theta)(0.79)T_0T_WT_{UM}T_{AA}[0.5(1 - T_R) + B_a(1 - T_{AS})]/[1 - m + (m)^{1.02}]$$

In equation (5), T_0 is the Transmissivity due to ozone, T_W is the Transmissivity of water vapor, T_{UM} is the Transmissivity due to oxygen and carbon dioxide, T_A Transmissivity due to absorption and scattering by particles, T_{AA} is the Transmissivity due to absorption by particles, and T_R is the Transmissivity due to Rayleigh Scattering. B_a is the percentage of scattered radiation by earth surface under the effect of superficial suspended particles (constant value equal to 0.84). The Extraterrestrial daily irradiation is calculated by equation (6) as following:

Equation (6):

$$H_0 = \frac{24I_0E_0}{\pi} (\cos\phi \cos\delta \sin\omega_s + \frac{\pi\omega_s}{180} \sin\phi \sin\delta)$$

In equation (6), I_0 is the solar constant equal to 1367 W/m^2 , δ is Declination angle, ω_s is Sunset hour angle.

The Direct Solar irradiance on horizontal surface, Solar irradiance on horizontal surface from atmospheric scattering and Total (global) solar irradiance on a horizontal surface (7), (8) and (9) respectively shown as following (Bird and Hulstrom, 1981):

Equation (7):

$$I_d = I_0 * \cos\theta * 0.9662 * T_r * T_0 * T_{UM} * T_w * T_A$$

Equation (8):

$$I_{as} = I_0 * \cos\theta * 0.79 * T_A * a_w * T_0 * T_{UM}$$

Equation (9):

$$I_T = (I_d + I_{as}) / (1 - r_g * B_a)$$

Results and Discussion

The maximum received radiation in winter is for central, western and southern regions of Isfahan and this is because of these region's altitudes. The minimum received radiation by earth surface is in January and February for Khorobiabanak station and in March for Kashan station. The maximum received radiation in January, February and March is for Daran and Kabutar Abad stations respectively. In spring, the radiation is a little different from winter. Generally, in spring, the sun latitude gets higher and more radiation is received by the earth. In April, the minimum radiation is for Shahreza and the maximum is for east Isfahan station. In May, the maximum radiation is for Golpayegan station and the minimum is for Kashan. In June, most regions of the province have high radiation and only Kashan station has lower radiation than the others. At the end of the spring and the beginning of the summer, with the sun latitude reaching to its most, desert regions have more radiation energy than High ones. In June and July, the maximum radiation energy is received in most regions and that is because of receiving direct radiation. The radiation reached to the surface of the earth in summer is influenced by sunshine and solar radiation angle. On the other hand, entering external factors such as air mass get cut and subtropical high pressure gets control of the region.

Radiation angle in southern latitudes of Isfahan province is more and the atmosphere thickness is lower than northern latitudes. The amount of radiation weakness is dependent on the length of the path while passing the atmosphere. This is because the earth's gas coverage absorbs an important part of the solar radiation and emits the rest of the radiation to the surroundings. In this season, the maximum radiation received is for eastern and southern regions of the province. After July, the Altitude Angle gradually decreases and in autumn, the maximum received radiation is for Khorobiabanak station.

Conclusions

The main purpose of this study is to estimating the received radiation on earth surface by using Bird and Hulstrom model in Isfahan province. The gained results from this model were using co-Kriging Interpolation Methods. The results of this study showed that Bird and Hulstrom model can estimate the radiation well in this province, so that the maximum Direct beam irradiance for clear sky (I_B) is in July with the value of 36.77 MJ/m². Diffuse irradiance for clear sky (I_{DF}) has the minimum value in winter and autumn, so that the minimum received radiation in January is with the value of 5.68 MJ/m² and the maximum is in July with the value of 6.43 MJ/m².

The Direct daily global irradiation at earth's surface (H_B), the Daily diffuse irradiation at earth's surface (H_{DF}) and the Daily global irradiation at earth's surface (H) received by earth surface have the maximum value in July and June respectively. It seems that the reasons caused the most radiation occur in summer are Altitude Angle, increase in sunshine and Iran's location around subtropical high pressure. The estimated results showed that in December and January (autumn and winter), the received radiation is minimum and in June it is maximum. The average received radiation in winter, spring, summer and autumn is 16.91, 27.37, 27.04 and 15.93 MJ/m² respectively.

Keywords: Received radiation, Sunshine, Bird and hulstrom.

References

- Heidari Nabi M (2008). Estimation of daily solar radiation using meteorological variables (comparison of artificial neural network values with other models). Master's Thesis, Faculty of Water and Soil Engineering, University of Tehran.
- Khosravi, M., Jahanbakhsh, S., & Derakhshi, J (2013). Estimating and Classification of Solar Radiation on Horizontal Surfaces Using Climatic Parameters in GIS (Case Study: East Azerbaijan Province) . GEOGRAPHIC SPACE, volume13, number43: 39-63.
- Tavousi, T (2011). The climatic application of solar radiation in environmental planning. University of Sistan and Baluchestan Press.
- Gholamnia, a., Mobin, m., Jebali, a, & Alipor, h (2016). Modeling and Zoning Solar Energy Received at the Earth's Surface in Arid and Semiarid Regions of Central Iran. Journal of Water and Soil, 30(4), 1294-1308. doi:10.22067/jsw.v30i4.44412.
- Fathniya, A., Rajayi, S (2015). Estimating the Effect of Meteorological Parameters on the Decrease of Earth Received Radiation Emphasizing the Relative Humidity Changes to Set Solar Sites. Earth and Space Physics. 41(3): 487-497.

- Faraji Mahyari, K., Khanali M, Faraji Mahyari Z (2016). Evaluation of Empirical Models for Estimating Daily Solar Radiation Temperature-Based in Four Climate Region of Iran. *Iranian Journal of Energy*, 18 (4): 17-26.
- Mojarrad, F., Fathnia, A., Rajaei, S (2015). The Estimation of Incoming Solar Radiation in Kermanshah Province. *Arid Regions Geographic Studies*. 5 (19): 55-69.
- Moieni, S., Javadi, S., Kokabi, M., Nanshadi, M (2010). Estimating the Solar Radiation in Iran by Using the Optimal Model, 13 (2) :1-10.
- Yazdanpanah, H., Barghi, H., Mirmojarabian, R., Barghi, H (2010). Estimating total incoming solar radiation on the earth surface of Isfahan. *Geography & Environmental Planning*, 21(1):95-104.
- Almorox, J. and Hontoria, C (2004). Global Solar Radiation Estimation Using Sunshine Duration in Spain, *Energy Conversion and Management*, Vol. 45, No. 9-10, PP. 1529-1535.
- Angstrom, A (1924). Solar and Terrestrial Radiation, *Quart. J. Roy. Met. Soc*, Vol. 50, PP.121-125.
- Bakirci, K (2009). Models of Solar Radiation with Hours of Bright Sunshine; A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*; Vol. 13, PP. 2580-2588.
- Barnes, E. M. (1996). Estimation of evapotranspiration using advanced very high resolution radiometer (AVHRR) data (Doctoral dissertation, Oklahoma State University).
- Belcher, B. N. and DeGaetano, A. T (2007). A Revised Empirical Model to Estimate Solar.
- Bird, R. E., & Hulstrom, R. L (1981). Simplified clear sky model for direct and diffuse insolation on horizontal surfaces (No. SERI/TR-642-761). Solar Energy Research Inst., Golden, CO (USA).
- Davies, J. A., McKay, D. C., Luciani, G. and Abdel-Wahab, M (1988). Validation of Models for Estimating Solar Radiation on Horizontal Surfaces, IEA Task IX, Final Report, Atmospheric Environment Service of Canada, Downsview, Ontario, Canada.
- Leckner, B (1978). The spectral distribution of solar radiation at the Earth's surface-elements of a model, *Solar Energy*, 20, 143-150.
- Olseth, J. A., Skartveit, A., & Zou, H (1995). Spatially continuous mapping of solar resources in a complex high latitude topography. *Solar energy*, 55(6), 475-485.
- Sabziparvar, A. A (2008). A simple formula for estimating global solar radiation in central arid deserts of Iran, *Renewable Energy*, 33, 1002-1010.
- Samimi, J (1994). "Estimation of height-dependent solar irradiation and application to the Solar climate of Iran", *Solar Energy*, 52: 401-409.
- Safaripour, M. H., & Mehrabian, M. A (2011). Predicting the direct, diffuse, and global solar radiation on a horizontal surface & comparing with real data. *Heat and mass transfer*, 47(12), 1537.
- Sozner, A (2005). Solar energy potential in Turkey, *Applied Energy* 80: 367-381.
- Togrul I.T., and Onat E (1999). A study for estimating solar radiation in Elazig using geographical and meteorological data, *Energy Conversion and Management* 40:1577-1584.
- Ramachandra, T. V (2006). Solar energy potential assessment using GIS. *Energy Education Science and Technology*, 18(1/2), 101.