فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۱، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، صفحهٔ ۴۸۷- ۴۹۷

برآورد اثر پارامترهای هواشناسی با تأکید بر تغییرات رطوبت نسبی بر کاهش تابش دریافتی سطح زمین به منظور ایجاد سایت‌های خورشیدی

یادداشت تحقیقاتی

امان‌اله فتح‌نیا[1*] و سعید رجایی[2]

۱. استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی کرمانشاه، ایران
۲. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی کرمانشاه، ایران

(دریافت: ۹۳/۶/۹، پذیرش نهایی: ۹۴/۷/۱۴)

چکیده

تخمین درست مقدار تابش خورشیدی نیازمند به‌کارگیری پارامترهای مؤثر جوی و محیطی است. در پژوهش حاضر اثر پارامترهای هواشناسی (طول روز، جرم جو، فشار هوا، آب قابل بارش، آلبدوی جو، مقدار جذب در جو و مقدار جذب به‌وسیلهٔ ازن) به‌خصوص رطوبت نسبی و عوامل محیطی (ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی) بر کاهش تابش کل دریافتی در ایستگاه‌های بندرعباس و میناب در دورهٔ زمانی ۲۰۰۹-۲۰۰۶، روزانه بررسی شد. همچنین اثر مقادیر مختلف رطوبت نسبی بر کاهش تابش در جو استاندارد برای ماه‌های ژانویه و ژولای محاسبه شد. نتایج نشان داد بیشترین مقدار تابش کل دریافتی برای ایستگاه میناب در ماه ژوئن و حدود ۱۴/۴۸ MJ/m^2day و برای ایستگاه بندرعباس در ماه می و حدود ۱۳/۹۷ MJ/m^2day است؛ احتمالاً تفاوت در مقدار رطوبت نسبی هوا دلیل اختلاف یک‌ماههٔ حداکثر تابش کل دریافتی است. به نظر می‌رسد در فصل زمستان ایستگاه میناب به دلیل رطوبت نسبی بیشتر مقدار تابش کل دریافتی کمتری در مقایسه با ایستگاه بندرعباس دریافت می‌کند. در مجموع به نظر می‌رسد ایستگاه میناب به دلیل تابش کل دریافتی بیشتر از بندرعباس، توان بیشتری در تولید انرژی برای ایجاد سایت خورشیدی داشته باشد. مقادیر تابش کل دریافتی در جو استاندارد از حداکثر ۶/۴ MJ/m^2day در ماه ژانویه تا حداقل ۵/۶ MJ/m^2day و در ماه ژولای از حداکثر ۱۸/۴ MJ/m^2day تا حداقل ۱۵/۸ MJ/m^2 در دو ایستگاه تغییر می‌کند. به‌طور کلی مقدار تابش کل دریافتی در حالت واقعی با در نظر گرفتن اثر رطوبت نسبی، حداقل ۴ MJ/m^2day و حداکثر ۱۶ MJ/m^2day است.

واژه‌های کلیدی: بندرعباس، میناب، تابش خورشیدی، رطوبت نسبی

۱. مقدمه

تخمین تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین کاربردهای زیادی در علوم معماری، مهندسی انرژی، کشاورزی و هیدرولوژی دارد. برآورد صحیح مقدار تابش خورشیدی از اصول اولیه و مهم طراحی شبکه‌ها و برنامه‌ریزی آبیاری است. تابش خورشیدی عاملی بسیار مهم در معادلات برآورد تبخیر- تعرق گیاه است و تخمین مناسب آن در توسعهٔ مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان اهمیت زیادی دارد (المورکس و هونتوریا، ۲۰۰۴). همچنین تابش خورشیدی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در توازن گرمایی سیستم جو-زمین است و اساس بیشتر مطالعات اقلیمی را شکل می‌دهد (ایزومون و مایر، ۲۰۰۲). دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری تابش خورشیدی استفاده از پیرانومتر است که استفاده از آن در همهٔ کرهٔ زمین به علت نبود امکانات و هزینهٔ زیاد، اندک است. برای اندازه‌گیری تابش کل دریافتی، تنها ایستگاه‌های اندکی در سطح جهان از این ابزار استفاده می‌کنند. بنابراین، محاسبهٔ تابش خورشیدی به جای استفاده از وسایل هواشناسی کاری طبیعی به نظر می‌رسد (المورکس و هونتوریا، ۲۰۰۴؛ چن و همکاران، ۲۰۰۶). در نتیجه محققان امروزه برای تخمین آن با استفاده از پارامترهای مؤثر اقلیمی و محیطی تلاش می‌کنند (بلچر و دگاتنو، ۲۰۰۷).

تابش خورشیدی از ایمن‌ترین، مؤثرترین و اقتصادی‌ترین منابع انرژی است که پتانسیل تبدیل‌شدن به منبع اصلی انرژی در آیندهٔ نه‌چندان دور را دارد. برآورد و تخمین اشتباه تابش دریافتی بزرگ‌ترین ریسک در یک پروژهٔ ایجاد سایت خورشیدی است. مجریان همواره نیازمند بررسی منبع تابش برای تعیین مکان مناسب سایت خورشیدی و در پی آن تولید انرژی برق هستند. استفادهٔ

*نگارنده رابط: E-mail: a_fathnia2007@yahoo.com

بهینه از انرژی خورشیدی نیازمند مکان‌یابی دقیق سایت خورشیدی است (دینسر، ۲۰۰۰).

مدل انگستروم در سال ۱۹۲۴ بر اساس ارتباط بین تابش دریافتی و ساعات آفتابی ارائه شد (انگستروم، ۱۹۲۴) و در سال ۱۹۴۰ دوباره اصلاح گردید (پرسکات، ۱۹۴۰). بیشتر مدل‌ها برای تخمین تابش خورشیدی در زمان از ساعات آفتابی استفاده می‌کنند (چن و همکاران، ۲۰۰۴؛ منگز و همکاران، ۲۰۰۶). برخی محققان از رطوبت نسبی و ساعات آفتابی (سورتمن و اوگانلد، ۱۹۶۷) و برخی از رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و دمای میانگین در محاسبات استفاده کرده‌اند (ردی، ۱۹۷۱). صباغ و همکاران (۱۹۷۶) از معادلهٔ تجربی با پارامترهای ساعات آفتابی، رطوبت نسبی، دمای حداکثر، عرض جغرافیایی و ارتفاع در جایی که نزدیک به سطح دریا باشد، استفاده کرده‌اند. اثر رطوبت نسبی بر کارایی پنل‌های خورشیدی در نیجریه نشان داد که با کاهش رطوبت نسبی به کمتر از ۶۹ درصد، مقدار ولتاژ افزایش قابل‌توجهی می‌یابد. همچنین مقدار ولتاژ در مقادیر رطوبت نسبی ۷۰ تا ۷۴ درصد نسبتاً ثابت باقی می‌ماند (اتاه و همکاران،۲۰۱۲).

ایران با وجود دارا بودن رتبهٔ اول منابع گازی و رتبهٔ سوم منابع نفتی جهان در آینده با محدودیت انرژی مواجه خواهد شد. بهره‌برداری از انرژی‌های نو در سطح جهان رو به گسترش بوده که انرژی خورشیدی در درجهٔ اول اهمیت قرار می‌گیرد. متوسط تابش دریافتی ایران حدود ۵۳۰۰ $Whm^{-2}day^{-1}$ است و این مقدار در مناطق مرکزی ایران – با میانگین ساعات آفتابی بیش از ۷/۷ ساعت– بیشتر نیز است. ایران با ظرفیت اسمی حدود ۳۲ گیگاوات در توان تولید انرژی خورشیدی در میان کشورهای جهان در ردهٔ ۲۱ قرار دارد (کاظمی کارگر و همکاران، ۲۰۰۲). کشور ایران ۲۴۰ تا ۲۵۰ روز آفتابی در سال دارد و تقریباً $\frac{4}{5}$ از مساحت آن دارای میانگین سالانهٔ تابش خورشیدی حدود ۴/۵ تا ۵/۴ کیلووات ساعت بر مترمربع است؛ بنابراین مجال گسترده‌ای برای استفاده از انرژی خورشیدی در اختیار قرار می‌گیرد (مقدم و همکاران، ۲۰۱۱).

اگرچه پارامترهای هواشناسی زیادی مانند رطوبت نسبی، درصد ابرناکی، دما و ساعات آفتابی بر مقدار تابش کل دریافتی سطح زمین اثر می‌گذارند، اما تحقیقات نشان داده است که ساعات آفتابی بیشترین تأثیر را بر تابش دریافتی دارد و این تأثیر در مدل رگرسیون خطی انگستروم در روش فائو ـ نیمن ـ مانتیث، ثابت شده است. اطلاع دقیق از شدت تابش کل دریافتی خورشید در یک مکان برای گسترش پروژه‌های خورشیدی و در بلندمدت برای برآورد تغییر کارایی سیستم‌های خورشیدی ضروری است. چنین اطلاعاتی در طراحی، برآورد هزینه و محاسبهٔ بازدهی پروژه استفاده می‌شود. به‌علاوه، میانگین ماهانه اطلاعات روزانه برای تخمین بلندمدت کارایی سیستم‌های خورشیدی مورد نیاز است. در مناطق بدون ابزار اندازه‌گیری، معمولاً به منظور مشخص کردن مقدار تابش خورشیدی با همبستگی مناسب از مدل‌های محاسباتی تجربی استفاده می‌شود (هتل و وایلیر، ۱۹۵۸).

سبزی‌پرور (۲۰۰۸) با گنجاندن ارتفاع، تعداد روزهای گردوغبار و وردایی 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 اصلاح‌شدهٔ صباغ برآورد بهتری با خطای کمتر از ۲ درصد دارد. یزدان‌پناه و همکاران (۱۳۸۹)، برای برآورد تابش کلی خورشید بر سطح زمین در شهر اصفهان از مدل انگستروم استفاده کردند. نتایج مطالعهٔ آن‌ها به دلیل ناکافی‌بودن تعداد پارامترهای اقلیمی دقت بالایی نداشت. نتایج بررسی زاویهٔ مناسب شیب‌های مختلف با هدف نصب صفحات خورشیدی در شهر تهران نشان می‌دهد که زاویهٔ بهینه حدود ۳۰ درجه است؛ در صورت کاربردهای گرمایی در فصل سرد زاویهٔ ۵۵ درجه و در فصل گرم زاویهٔ ۱۰ درجه نسبت به سطح افق مناسب است (ثقفی و همکاران، ۱۳۸۹). معینی و همکاران

(۱۳۸۹) با محاسبهٔ ضرایب ثابت اقلیمی و واردکردن آن در مدل بهینه‌شدهٔ انگستروم، تابش خورشیدی را برای ۲۱ ایستگاه در ایران برآورد کردند، اما اندک‌بودن تعداد پارامترهای اقلیمی در مدل رفع نشد. در این پژوهش اثر پارامترهای اقلیمی و محیطی، به‌ویژه رطوبت نسبی بر کاهش تابش کل دریافتی سطح زمین در ایستگاه‌های میناب و بندرعباس بررسی می‌شود.

۲. داده‌ها و روش مطالعه

در تحقیق حاضر، از داده‌های روزانهٔ ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک بندرعباس و میناب در دورهٔ زمانی ۲۰۰۹-۲۰۰۶ برای برآورد تابش کل دریافتی و اثر مقدار رطوبت نسبی بر کاهش تابش در حالت واقعی و استاندارد استفاده شد. علت انتخاب این ایستگاه‌ها، ویژگی‌های مشابه از قبیل تفاوت کم در مقادیر ارتفاع (<۲۰ متر) و عرض جغرافیایی (<۴ دقیقه) است (شکل ۱). شایان ذکر است که تابش خورشیدی به‌صورت روزانه با در نظر گرفتن ویژگی‌های مکانی (ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی) و ویژگی‌های اقلیمی (رطوبت، دما، فشار، ساعات آفتابی، ابرناکی، ارتفاع خورشید، آلبدوی جو، جذب ذرات معلق، آلبدوی زمین، جرم جو، جذب ازن و پخش ریلی) محاسبه شد.

نخستین بار انگستروم میانگین روزانهٔ شدت انرژی خورشیدی برای روزهای ابری روی سطح افق را از معادلهٔ زیر محاسبه کرد (انگستروم و پرسکات، ۱۹۴۰):

$$R_s = a + b(\frac{n}{N})R_a \qquad (۱)$$

R_s تابش کل دریافتی در سطح افق، R_a مقدار ثابت تابش در خارج از جو، b و a ضرایب اقلیمی، n ساعات آفتابی و N پتانسیل ساعات آفتابی در روز مورد مطالعه است. در این مدل بسیاری از پارامترهای جوی مانند مقدار رطوبت، آلبدوی جو، آلبدوی زمین، جذب و پخش ذرات جو، اثر گازها و بخار آب جو، ازن و ... در نظر گرفته نشده است. چنین پارامترهایی نقش اساسی در مقدار تابش کل دریافتی دارند. این مدل را بعدها دیویس و همکاران (۱۹۸۸) برای محاسبهٔ مقدار تابش، با نام مدل MAC اصلاح کرد، ولی نقص این مدل استفاده‌نکردن از ساعات ابری و آفتابی در محاسبهٔ مقدار تابش کل دریافتی در سطح زمین بود.

برد و هول‌استورم (۱۹۸۱)، معادله‌ای با توجه به اثر پارامترهای جوی ارائه دادند که به شرح زیر است (صفری‌پور و مهرابیان، ۲۰۱۱):

$$H = (H_B \cos\theta + H_{DF})/(1\text{-}r_g r_s) \qquad (۲)$$

معادلهٔ H، تابش کل روزانهٔ دریافتی در سطح زمین است. در این رابطه θ، r_g معادل ۰/۲ و r_s به ترتیب زاویهٔ سمت‌الرأس خورشید بر اساس درجه، آلبدوی سطح زمین و آلبدوی جو و H_{DF} تابش پراکنده است. تابش خورشیدی با سمت‌الرأس‌های مختلف، مسیرهای مختلفی برای گذر از جو و رسیدن به سطح زمین طی می‌کند. معیار معمول برای محاسبهٔ طول مسیر طی‌شدهٔ تابش در جو استاندارد (m_{st}) به این‌گونه است (کاستن، ۱۹۶۶):

$$m_{st} = [\cos\theta + 0.15(93.885\text{-}\theta)^{-1.253}]^2 \qquad (۳)$$

H_B تابش مستقیم روزانه در سطح زمین (رابطهٔ ۴) است که عبارت است از:

$$H_B = I_o(T_O T_R - a_w)T_M T_A T_{UM} T_{AA} T_R r_s \qquad (۴)$$

در این معادله I_o ثابت خورشیدی است و مقدار آن $1366.1 W/m^{-2}$ تخمین زده می‌شود. مقادیر T_O، T_R، T_M، T_A، T_{UM}، T_{AA}، به ترتیب ضریب گذر ازن، ضریب گذر تحت تأثیر پخش ریلی، ضریب گذر گازهای جو به‌جز بخار آب، ضریب گذر جو متأثر از جذب و پخش ذرات جو، ضریب گذر جو متأثر از ذرات اکسیژن و دی‌اکسید کربن و ضریب گذر جو تحت تأثیر جذب ذرات هستند. r_s آلبدوی جو و a_w جذب به‌وسیلهٔ بخار آب است که بر تابش مستقیم بیشترین اثر را دارد.

مقدار ضریب گذر ازن (T_O) از معادلهٔ (۵) محاسبه می‌گردد:

$$T_0 = 1 - 0.161X_0(1 + 139.48\,X_0)^{-0.3035} - \frac{0.00271X_0}{1.0+0.0044X_0+0.0003X_0^2} \qquad (۵)$$

در این معادله X_o مقدار ازن تودهٔ هواست و با معادلهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$X_0 = 0.3m \quad (۶)$$

با افزایش بخار آب جو، جذب و پخش تابش کل دریافتی افزایش می‌یابد. برای محاسبهٔ مقدار a_w از معادلهٔ زیر استفاده شد (رابطهٔ ۷):

$$a_w = 2.4959\ m\ U_w[(1.0 + 79.03\ m\ U_w)^{0.6824} + 6.385\ m\ U_w]^{-1} \quad (۷)$$

در این معادله m جرم تودهٔ هوا و U_w آب قابل بارش در نیمرخ عمودی است.

یکی از ساختارهای جوی که بسیار بر مقدار انرژی تابشی رسیده به سطح زمین اثرگذار است، مقدار رطوبت قابل بارش در جو است. U_w ضریب احتمالی مقدار آب قابل بارش است که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود (لاکنر، ۱۹۷۸):

$$U_w = \frac{4.93u(h)}{T(h)}\exp(26.23 - \frac{5416}{T(h)}) \quad (۸)$$

بر اساس این فرمول u(h) (رطوبت جو) بین ۰ تا ۱ متغیر است. آب قابل بارش U_w به‌صورت میلی‌متر نمایش داده می‌شود. x_w مسیر گذر تابش از میان لایهٔ‌آب قابل بارش (U_w) است که تابعی از جرم تودهٔ هواست (رابطهٔ ۹).

$$x_w = mU_w \quad (۹)$$

معادلهٔ تابش شامل H_B (تابش مستقیم روزانه در سطح زمین) و H_{DF} (تابش پراکندهٔ روزانه در سطح زمین) است. مقدار H_{DF} بر اساس رابطهٔ (۱۰) محاسبه می‌شود:

$$H_{DF} = I_{DF}\frac{n}{N} + K^*(1 - \frac{n}{N})(I_B + I_{DF}) \quad (۱۰)$$

n تعداد ساعات آفتابیِ اندازه‌گیری‌شده در روز، N تعداد ساعات آفتابیِ بالقوهٔ نجومی در روز مطالعه که بر اساس فصل و زاویهٔ خورشید متغیر است و K^* مقدار ثابت ۰/۳۲ و I_{DF} تابش پراکنده برای آسمان صاف است. همچنین I_B شار تابش در آسمان صاف (رابطهٔ ۱۱) بوده و عبارت است از:

$$I_B = 0.9662I_0(T_M - a_w)T_A \quad (۱۱)$$

پارامتر I_{DF} تابش پراکنده را برای آسمان صاف (رابطهٔ ۱۲) نمایش می‌دهد (صفری‌پور و مهرابیان، ۲۰۱۱):

$$I_{DF} = (I_o\cos\theta)0.79T_0T_WT_{UM}T_{AA}[q(1 - T_R) + B_a(1 - T_{AS})]/[1 - m + m^{1.02}] \quad (۱۲)$$

که در آن، T_O قابلیت انتقال (Transmissivity) به‌وسیلهٔ ازن، T_W قابلیت انتقال به‌وسیلهٔ بخار آب، T_{UM} قابلیت انتقال به‌وسیلهٔ اکسیژن و دی‌اکسیدکربن، T_A قابلیت انتقال به علت جذب و پخش توسط ذرات، T_{AA} قابلیت انتقال به علت جذب توسط ذرات، q ضریب ثابت معادل ۰/۶۵، T_R قابلیت انتقال به علت پخش ریلی، B_a درصد تابش پراکنده در سطح زمین تحت تأثیر ذرات معلق سطحی (مقدار ثابت ۰/۸۴) و T_{AS} نیز نسبت T_A به T_{AA} است. بعد از محاسبهٔ مقدار تابش کل دریافتی با استفاده از مقادیر متوسط عناصر اقلیمی در ماه‌های ژانویه و ژولای، مقدار تابش کل دریافتی در مقادیر مختلف رطوبت نسبی محاسبه شد.

به دلیل موجود نبودن داده‌های همزمان، داده‌های ثبت‌شدهٔ ایستگاه تابش‌سنجی بندرعباس با مقادیر محاسبه‌شده برای سال ۲۰۰۵ در شکل ۲ مقایسه شده است. شایان ذکر است که مقدار همبستگی در این سال ۰/۶۴۵ است. همچنان که ملاحظه می‌شود در برخی روزها مقدار برآوردی خیلی کمتر از مقدار واقعی است که علت آن به استفاده از دادهٔ روزهای ابری برمی‌گردد، درحالی‌که تابش غیرمستقیم در اینجا نقش بیشتری داشته است.

۳. نتایج و بحث

شهر بندرعباس در ساحل خلیج‌فارس متوسط رطوبت نسبی ۶۲/۴۲ درصد و شهر میناب متوسط رطوبت نسبی ۶۲/۵۴ درصد دارد. متوسط تابش کل سالانهٔ دریافتی شهر بندرعباس و میناب به ترتیب MJ/m^2day ۹/۰۶ و MJ/m^2day ۹/۵۷ است. شهر بندرعباس بیشترین مقدار تابش کل را در ماه‌های می و ژوئن با مقادیر MJ/m^2day ۱۳/۹۷ و MJ/m^2day ۱۳/۷۳ دریافت می‌کند. به نظر می‌رسد دلیل دریافت زیاد مقدار تابش در ماه می،

کم‌بودن رطوبت نسبی در مقایسه با ماه‌های گرم سال و در درجهٔ دوم ارتفاع زیاد خورشید باشد. با فرارسیدن فصل تابستان مقدار تابش کاهش داشته که دلیل آن احتمالاً افزایش رطوبت موجود در جو است. کمترین مقدار تابش کل دریافتی بندرعباس مربوط به ماه‌های سرد است که ارتفاع کم خورشید علت اصلی است.

شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعاتی و وضعیت توپوگرافی محل.

جدول ۱. میانگین تابش کل دریافتی ماهانه در ایستگاه‌های بندرعباس و میناب.

ماه	بندرعباس				میناب			
	میانگین دما °C	رطوبت نسبی (درصد)	ساعات آفتابی	تابش کل دریافتی (MJ/m2day)	میانگین دما °C	رطوبت نسبی (درصد)	ساعات آفتابی	تابش کل دریافتی (MJ/m2day)
Jan	۱۷/۰۲	۵۰/۰۵	۸/۳۵	۵/۶۷۸	۱۷/۲۵	۷۲/۱۳	۷/۵۹	۵/۳۷۸۳
Feb	۱۸/۵۴	۶۳/۵۳	۷/۹۷	۶/۹۷۷۷	۲۱/۹۱	۶۶/۷۷	۸/۴۱	۶/۹۹۱۳
Mar	۲۱/۵۸	۶۱/۱۸	۷/۳۵	۸/۶۷۶۴	۲۳/۷۵	۶۴/۰۹	۷/۸۷	۸/۷۹۳۳
Apr	۲۶/۸۵	۶۳/۰۴	۷/۶۱	۱۰/۵۱۷	۲۶/۸۷	۵۹/۲۸	۹/۲۶	۱۱/۵۸۹
May	۳۱/۵۱	۵۰/۲۹	۱۰/۷۵	۱۳/۹۶۹	۳۳/۰۳	۵۲/۱	۱۱/۱۷	۱۴/۱۶۵
Jun	۳۲/۸	۶۶/۴۹	۱۰/۲۶	۱۳/۷۳۷	۳۵/۳۶	۵۸/۰۲	۱۱/۱۹	۱۴/۴۸۵
July	۳۴/۵۴	۶۶/۸۹	۷/۴۹	۱۱/۲۴۹	۳۶/۰۲	۶۲/۸۵	۹/۹۶	۱۳/۰۹۲
Aug	۳۳/۱۴	۶۷/۲۳	۸/۲	۱۰/۷	۳۵/۳	۵۹/۰۳	۹/۸۸	۱۱/۹۴۲
Sep	۳۲/۱۴	۶۰/۹۶	۹/۵۱	۹/۸۳۱۴	۳۳/۳۳	۶۴/۴۲	۱۰/۲۶	۱۰/۱۶۷
Oct	۲۹/۲۸	۶۸/۵۳	۹/۰۴	۷/۲۸۹۶	۲۹/۵۹	۵۸/۴۹	۹/۷۶	۷/۷۰۴۶
Nov	۲۳/۵۵	۶۲/۲۵	۷/۶۵	۵/۳۶۶۷	۲۴/۵۳	۶۱/۹۶	۹/۱۲	۵/۷۹۹۶
Dec	۱۷/۷۲	۶۸/۶۵	۶/۹	۴/۷۲۲۳	۱۹/۹۳	۷۱/۳۷	۷/۴۶	۴/۸

شکل ۲. مقایسه دادهٔ برآوردشده با دادهٔ واقعی ایستگاه تابش‌سنجی بندرعباس در سال ۲۰۰۵.

شهر میناب بیشترین مقدار تابش کل را در ماه‌های می، ژوئن و ژولای با مقادیر ۱۴/۱۶ MJ/m^2day، ۱۴/۴۸ MJ/m^2day و ۱۳/۱ MJ/m^2day دریافت می‌کند که نشان از نقش اساسی ارتفاع خورشید دارد. در این ایستگاه ماه ژوئن بیشترین تابش کل دریافتی را دارد که با بالاترین ارتفاع خورشید هم‌زمان است. در میناب نیز کمترین تابش کل دریافتی در ماه‌های سرد سال به دلیل کاهش ساعات آفتابی است. نکتهٔ درخور توجه تابش کل دریافتی نسبتاً کمتر فصل سرد میناب در مقایسه با بندرعباس است که علت آن می‌تواند رطوبت نسبی بیشتر ایستگاه میناب باشد. تابش کل دریافتی میناب در ماه ژانویه ۵/۳ MJ/m^2day است که در مقایسه با بندرعباس (۵/۷ MJ/m^2day) حدود ۰/۴ MJ/m^2day تابش کمتری دریافت می‌کند (جدول ۱).

با توجه به جدول ۱ در ماه اکتبر اثر رطوبت نسبی مشخص است؛ به‌طوری‌که حدود ۰/۴ MJ/m^2day مقدار تابش کل دریافتی میناب بیشتر از بندرعباس است که دلیل آن اختلاف حدود ۱۰ درصدی رطوبت نسبی دو ایستگاه است. در ماه‌های ژانویه، آوریل و آگوست نیز اثر اختلاف رطوبت نسبی در هر دو ایستگاه بر کاهش مقدار تابش کل دریافتی آشکار است. برای مثال در ماه ژانویه ایستگاه بندرعباس با مقدار رطوبت نسبی ۵۰ درصد، ۵/۶۷۸ MJ/m^2day اما ایستگاه میناب با مقدار رطوبت نسبی ۷۲ درصد، ۵/۳۷۸۳ MJ/m^2day تابش کل دریافت می‌کند.

با توجه به شکل ۳ در فصل گرم، زمانی که خورشید به حداکثر ارتفاع می‌رسد، بندرعباس در مقایسه با ایستگاه میناب مقدار تابش کمتری دریافت می‌کند و منحنی تابش کل دریافتی این ایستگاه زیر منحنی میناب قرار می‌گیرد. هرچه به فصل سرد سال نزدیک‌تر می‌شویم شرایط تغییر کرده و هر دو منحنی در راستای یکدیگر قرار می‌گیرند یا گاهی بندرعباس بیش از میناب تابش دریافت می‌کند. بر اساس شکل ۳ در سال ۲۰۰۹ بیشترین تابش کل دریافتی میناب ۱۵/۲۱ MJ/m^2day، در روز ۲۵ ژوئن بوده و در ایستگاه بندرعباس نیز بیشترین تابش کل دریافتی ۱۴/۵۳ MJ/m^2day، در روز ۳ ژوئن مشاهده می‌شود.

همان‌گونه که اشاره شد رطوبت نسبی در ایستگاه‌های با عرض جغرافیایی و ارتفاع یکسان، نقشی اساسی در کاهش تابش کل دریافتی بازی می‌کند (شکل‌های ۴ و ۵). در روزهای ۲۲ و ۲۳ ژانویه، تابش مستقیم بندرعباس افزایشی شدید به مقدار ۷/۳ MJ/m^2day داشته که در مقایسه با روزهای قبل و بعد تغییری محسوس نشان می‌دهد، در همین حال رطوبت نسبی به ۱۹ و ۲۹ درصد

کاهش یافته و a_w (جذب به وسیلهٔ بخار آب) به ۰/۰۹ رسیده است. مقدار آب قابل بارش در ستون عمودی جو در روزهای ۲۲ و ۲۳ ژانویه به ترتیب ۶ و ۷ میلی‌متر کاهش داشته است که در مقایسه با روزهای قبل نزدیک به ۲۰ میلی‌متر کاهش نشان می‌دهد. چنین نوسانی مقدار x_w (مسیر گذر تابش از میان لایهٔ آب قابل بارش جو) را تحت تأثیر قرار داده و مقدار آن رقمی معادل با ۹ و ۱۰ را نشان می‌دهد که این ضریب در مقایسه با روزهای قبل حدود ۱۰ واحد کاهش داشته است، این امر موجب افزایش مقدار تابش کل دریافتی شده است. در همین روزها مقدار تابش دریافتی در شهر میناب MJ/m^2day ۶/۵ و MJ/m^2day ۶/۹ برآورد می‌شود. میانگین رطوبت نسبی در روزهای مورد اشاره ۷۹ و ۷۲ درصد گزارش شد که بر اساس معادلات مقدار x_w به ۰/۱۴ رسیده و آب قابل بارش در ستون عمودی جو در این روز نسبتاً زیاد بوده و مقدار آن ۲۲ و در روز بعد ۲۶ میلی‌متر بوده است که در مقایسه با روزهای قبل و بعد نوسان قابل‌توجهی نداشته است. x_w نیز تقریباً ثابت مانده و رقمی معادل با ۳۲ و ۳۶ را نشان می‌دهد. تا اوایل تابستان تابش کل دریافتی برای هر دو شهر حالت صعودی دارد، ولی این افزایش همسان نبوده و برای بندرعباس در برخی روزها مانند ۲۰ و ۲۹ ماه می که رطوبت نسبی به ۲۸ و ۴۶ کاهش یافته، موجب افزایش ناگهانی تابش مستقیم دریافتی شده است. در همین حال مقادیر a_w به ترتیب به ۰/۱۳ و ۰/۱۴۳ رسیده که کاهشی نسبی در مقایسه با روز قبل و بعد نشان می‌دهد. کاهش حجم آب قابل بارش جو نیز به حدود ۲۵ و ۳۸ میلی‌متر در این روزها، باعث کاهش کمتر جذب و پخش پرتوهای گذری از میان ستون جو شده که با توجه به ارتفاع زیاد خورشید (در ماه می) تابش فراوان‌تری جذب شده است. در شهر میناب بیشترین تابش مستقیم دریافتی در ۲۹ ژوئن مشاهده می‌شود که با وجود ثبات نسبی دما، رطوبت نسبی به ۳۰ درصد کاهش یافته و مقادیر a_w، U_w و x_w به ترتیب ۱۵/۶، ۵۴ (میلی‌متر) و ۵۳ بوده است که در مقایسه با روزهای قبل و بعد اندکی کاهش داشته است. چنین شرایطی باعث افزایش دریافت تابش مستقیم شده است. مقدار تابش کل دریافتی در روز ۲۹ ژوئن MJ/m^2day ۱۳/۲۳ است. در مجموع، به نظر می‌رسد شهر میناب به دلیل ثبات بیشتر رطوبت نسبی تابش یکنواخت‌تری در مقایسه با بندرعباس دریافت می‌کند، ولی در شهر بندرعباس با توجه به نوسان شدید روزانهٔ رطوبت نسبی، تابش مستقیم نوسان بیشتری را نشان می‌دهد.

شکل ۳. کل تابش دریافتی ایستگاه‌ها در سال ۲۰۰۹.

شکل ۴. رطوبت نسبی ایستگاه‌های مورد مطالعهٔ سال ۲۰۰۹.

آشکار است که تابش مستقیم دریافتی (شکل ۵) در فصل زمستان در ایستگاه میناب کمتر از بندرعباس است؛ در اوایل فصل بهار در بندرعباس همسان با میناب است؛ در اواسط بهار در بندرعباس بیش از میناب است؛ در اوایل فصل تابستان در میناب بیش از بندرعباس است و در فصل پاییز هر دو با هم برابرند. این قاعدهٔ کلی از کاهش یا افزایش رطوبت نسبی هر دو ایستگاه تبعیت می‌کند (شکل ۴).

اثر مقادیر مختلف رطوبت نسبی از ۱۰ تا ۹۰ درصد روی تابش کل دریافتی در جو استاندارد (جدول ۲) در زمستان و تابستان با مقادیر فشار، ساعات آفتابی و دمای میانگین در شکل ۶ برای هر دو ایستگاه بندرعباس و میناب نشان داده شده است. به‌طور کلی مقادیر تابش کل دریافتی در ماه ژانویه از حداکثر ۶/۴ MJ/m^2day با رطوبت نسبی ۱۰ درصد تا حداقل ۵/۶ MJ/m^2day با رطوبت نسبی ۹۰ درصد و در ماه ژولای از حداکثر ۱۸/۴ MJ/m^2day با رطوبت نسبی ۱۰ درصد تا حداقل ۱۵/۸ MJ/m^2 با رطوبت نسبی ۹۰ درصد در دو ایستگاه متغیر است. حالت منحنی اثر مقدار رطوبت نسبی بر تابش کل دریافتی در تمام ایام سال مقعر است. این حالت بیانگر اثر بیشتر مقدار میانگین رطوبت نسبی بر کاهش تابش کل دریافتی در مقایسه با حالت کم یا زیاد آن است. همچنان که در شکل ۶ ملاحظه می‌شود، ضریب همبستگی رطوبت نسبی با تابش کل دریافتی در جو استاندارد در زمستان و تابستان برای هر دو ایستگاه بندرعباس و میناب بالای ۰/۹ است. در زمستان ضریب همبستگی حدود ۰/۱ در هر دو ایستگاه بیشتر از تابستان است که اثر بیشتر رطوبت نسبی روی تابش کل را نشان می‌دهد.

شکل ۵. مقدار تابش مستقیم دریافتی در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعهٔ سال ۲۰۰۹.

ارتباط رطوبت نسبی و تابش در ساعات مختلف آفتابی برای دو ایستگاه میناب (شکل ۷ –الف) و بندرعباس (شکل ۷– ب) نشان می‌دهد که در ساعات کم‌آفتاب (۹– ۳/۵ ساعت) و در بیش از ۱۱ ساعت آفتاب در روز، اثر مقدار رطوبت نسبی بر کاهش تابش کل دریافتی مشخص است. در روزهای بیش از ۱۱ ساعت آفتابی، با کاهش رطوبت نسبی مقدار تابش کل دریافتی خیلی بیشتر از ساعات آفتابی کمتر از ۱۱ ساعت است. شایان ذکر است که مقدار تابش کل دریافتی در ساعات مختلف با در نظر گرفتن اثر رطوبت نسبی حداقل ۴ MJ/m^2day و حداکثر ۱۶ MJ/m^2day است. در مجموع در ایستگاه بندرعباس نقش رطوبت نسبی در کاهش تابش کل بیش از ایستگاه میناب است.

جدول ۲. مقادیر استاندارد ساعات آفتابی، فشار و دمای میانگین در ماه‌های ژانویه و ژولای.

ماه	بندرعباس			میناب		
	ساعات آفتابی	فشار (میلی‌بار)	دمای میانگین $°C$	ساعات آفتابی	فشار (میلی‌بار)	دمای میانگین $°C$
ژانویه	۱۰/۳۴	۱۰۱۳	۱۸/۵	۱۰/۳۴	۱۰۱۳	۱۷/۷
ژولای	۱۳/۶	۱۰۱۳	۳۳	۱۳/۶	۱۰۱۳	۳۴/۵

شکل ۶. برآورد تابش خورشیدی؛ (الف) ماه ژانویهٔ ایستگاه میناب، (ب) ماه ژولای ایستگاه میناب، (ج) ماه ژانویهٔ ایستگاه بندرعباس و (د) ماه ژولای ایستگاه بندرعباس.

شکل ۷. اثر ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و مقدار تابش دریافتی؛ (الف) ایستگاه میناب و (ب) ایستگاه بندرعباس.

۴. نتیجه‌گیری

تابش خورشیدی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در توازن حرارتی سیستم جو- زمین است و اساس بیشتر مطالعات اقلیمی را شکل می‌دهد. عوامل بسیاری در مقدار تابش کل دریافتی سطح زمین مؤثرند که بعضی ماهیت اقلیمی و برخی دیگر ماهیت محیطی دارند. در مطالعهٔ حاضر اثر پارامترهای اقلیمی به‌خصوص رطوبت نسبی بر کاهش تابش کل دریافتی در ایستگاه‌های بندرعباس و میناب در طول سال بررسی شد. سپس اثر مقادیر مختلف رطوبت نسبی بر کاهش تابش در اتمسفر استاندارد برای ماه‌های ژانویه و ژولای محاسبه شد. نتایج پژوهش نشان داد، بیشترین مقدار تابش کل دریافتی در ایستگاه میناب مربوط به ماه ژوئن با مقدار ۱۴/۴۸ MJ/m^2day و برای ایستگاه بندرعباس مربوط به ماه می با مقدار MJ/m^2day ۱۳/۹۷ است؛ علت فاصلهٔ یک‌ماههٔ بیشترین مقدار تابش دو ایستگاه، اختلاف در مقدار رطوبت نسبی هواست. به نظر می‌رسد مقدار تابش کل دریافتی فصل زمستان به دلیل رطوبت نسبی بیشتر در ایستگاه میناب کمتر از ایستگاه بندرعباس است. بررسی اثر رطوبت نسبی در اتمسفر استاندارد نشان داد، مقادیر تابش کل دریافتی در ماه ژانویه از حداکثر ۶/۴ MJ/m^2day با رطوبت نسبی ۱۰ درصد تا حداقل ۵/۶ MJ/m^2day با رطوبت نسبی ۹۰ درصد و در ماه ژولای از حداکثر ۱۸/۴ MJ/m^2day با رطوبت نسبی ۱۰ درصد تا حداقل ۱۵/۸ MJ/m^2day با رطوبت نسبی ۹۰ درصد در دو ایستگاه تغییر می‌کند. همچنین اثر مقدار رطوبت نسبی بر کاهش تابش کل دریافتی در حالت میانگین بیشتر از حالت کم یا زیاد آن است. مقدار تابش کل دریافتی در ساعات مختلف با در نظر گرفتن اثر رطوبت نسبی حداقل ۴ MJ/m^2day و حداکثر ۱۶ MJ/m^2day است. با توجه به مقادیر محاسبه‌شدهٔ تابش به نظر می‌رسد ایستگاه میناب به دلیل تابش دریافتی بیشتر در مقایسه با بندرعباس، توان بیشتری در تولید انرژی برای ایجاد سایت خورشیدی داشته باشد. در پایان شایان ذکر است با توجه به اینکه تأثیر رطوبت نسبی و آب قابل بارش بر پرتو تابش به طول موج بستگی دارد، نمی‌توان با قطعیت گفت که تغییرات تابش خورشیدی ناشی از مقدار رطوبت است و بهتر است در پژوهش‌های بعدی طیف‌های جذبی بخار آب را نیز مورد توجه قرار دهند.

مراجع

ثقفی، م. ج.، اسدی خلجی، م. و پوینده، ر.، ۱۳۸۹، شیب بهینه گردآورهای خورشیدی و مقایسه با حالت نصب‌شده روی نمای جنوبی در تهران، نشریهٔ هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی، ۴۴، ۵۷-۶۳.

معینی، س.، جوادی، ش.، کوکبی، م. و دهقان منشادی، م.، ۱۳۸۹، برآورد تابش خورشیدی در ایران با استفاده از یک مدل بهینه، نشریهٔ انرژی ایران، ۱۳(۲)، ۱-۱۰.

یزدان‌پناه، ح.، میرمجربیان، ر. و برقی، ح.، ۱۳۸۹، برآورد تابش کلی خورشید در سطح افقی زمین در اصفهان، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۱(۳۷)، ۱، ۹۵-۱۰۴.

Almorox, J. and Hontoria, C., 2004, Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain, Energy Conversion and Management, 45(9-10), 1529-1535.

Angstrom, A., 1924, Solar and terrestrial radiation, Quart J Roy Met Soc, 50, 121-125.

Belcher, B. N. and DeGaetano, A. T., 2007, A revised empirical model to estimate solar radiation using automated surface weather observations, Sol. Energy, 81(3), 329-345.

Bird, R. E. and Hulstrom, R. E., 1981, A simplified clear sky model for direct and diffuse insolation on horizontal surface, U. S. Solar Energy Research Institute (SERI).

Chen, R., Kang, E., Lu, S., XibinJi, J. Y., Zhang, Z. and Zhang, J., 2006, New methods to estimate global radiation based on meteorological data in China, Energy Convers and Manag, 47, 2991-2998.

Chen, R., Ersi, K., Lu, S. and Zhao, W., 2004, Validation of five global radiation models with measured daily data in China, Energy Conversion and Management, 45, 1759-1769.

Davies, J. A., McKay, D. C., Luciani, G. and Abdel-Wahab, M., 1988, Validation of models for estimating solar radiation on horizontal surfaces, volume 1, IEA Task IX, Final Report, Atmospheric Environment Service of Canada, Downsview, Ontario,

Canada.
Dincer, I., 2000, Renewable energy and sustainable development: a crucial review; Renewable and Sustainable Energy Reviews, 157-175.
Ettah, E. B., Udoimuk, A. B., Obiefuna, J. N. and Opara, F. E., 2012, The effect of relative humidity on the efficiency of solar panels in Calabar, Nigeria, Universal Journal of Management and Social Sciences, 2(3), 8-11.
Hottel, H. C. and Whillier, A., 1958, Evaluation of flat-plate solar collector performance, Transcaction of Conference on the Use of Solar Energy, II: 74-104.
Iziomon, M. G. and Mayer, H., 2002, Assessment of some global solar radiation parameterizations, 64(2), 1631-1643.
Kasten, H., 1966, A new table and approximation formula for the relative optical air mass, Archiv fur Meteorol Geophys und Bioklim, B, 206-223.
Kazemi Karegar, H., Zahedi, A., Ohis, V., taleghani, G. and Khalaji, M., 2002, wind and solar energy developments in iran, available at: http://www.itee.uq.edu.au/~aupec/aupec02/Final-Papers/H-Kazemi1.pdf.
Leckner, B., 1978, The spectral distribution of solar radiation at the Earth's surface-elements of a model, Solar Energy, 20, 143-150.
Menges, H. O., Ertekin, C., and Sonmete, M. H., 2006, Evaluation of global solar radiation models for Konya, Turkey Energy Convers, Manag, 47, 3149-3173.
Moghadam, H., FarshchiTabrizi, F. and ZolfagharíSharak, A., 2011, Optimization of solar flat collector inclination, Desalination, 256, 107-111.
Prescott, J. A., 1940, Evaporation from a water surface in relation to solar radiation, Trans. R. Soc. S. Austr., 64, 114-118.
Reddy, S. J., 1971, An empirical method for the estimation of the total solar radiation, Solar Energy, 13, p 289.
Swartman, R. and Ogunladeo, O., 1967, Solar radiation estimates from common parameters, Solar Energy, 11, 170-172.
Sabbagh, J. A., Sayigh, A. A. M. and EL-Salam, E. M. A., 1976, Estimation of the total solar radiation from meteorological data, Solar Energy, 19, 307-311.
Sabziparvar, A. A., 2008, A simple formula for estimating global solar radiation in central arid deserts of Iran, Renewable Energy, 33, 1002-1010.
Safaripour, M. H. and Mehrabian, M. A, 2011, Predicting the direct, diffuse and global solar radiation on a horizontal surface and comparing with real data, Heat Mass Transfer, 47, 1537-1551.