Archive of SID

Downloaded from journals.hsu.ac.ir at 11:21 IRDT on Saturday April 30th 2016

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

سال پنجم، شماره نوزدهم، بهار ۱۳۹۴

دریافت مقاله: ۹۳/۱۲/۰۴ تأیید نهایی: ۹۴/۰۳/۰۲

صص ۶۹-۵۵

برآورد تابش خورشیدی دریافتی سطح زمین در استان کرمانشاه

دکتر فیروز مجرد *، دکترای اقلیم‌شناسی، دانشیار گروه جغرافیا - دانشگاه رازی کرمانشاه

دکتر امان‌الله فتح‌نیا، دکترای اقلیم‌شناسی، استادیار گروه جغرافیا - دانشگاه رازی کرمانشاه

سعید رجایی، دانشجوی دوره‌ی دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا - دانشگاه رازی کرمانشاه

چکیده

برنامه‌ریزی‌های مختلف کشاورزی، آب‌شناسی، معماری و انرژی تا حد زیادی وابسته به برآورد صحیح مقدار تابش خورشیدی است. اغلبِ مطالعات قبلی برای برآورد تابش خورشیدی، از مدل آنگستروم که از مقادیر ساعات آفتابی به‌عنوان ورودی خود استفاده می‌کند، بهره برده‌اند و یا از معادلات رگرسیونی از طریق تأثیردادن عوامل و عناصر اقلیمی مؤثر در تابش استفاده کرده‌اند. در این تحقیق برای برآورد میزان تابش خورشیدی دریافتی در استان کرمانشاه از مدل بهینه‌شده‌ی "برد و هول‌استورم" با استفاده از داده‌های روزانه‌ی ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان در دوره‌ی زمانی ۲۰۰۹- ۱۹۹۰ با بهره‌گیری از تمامی پارامترهای دخیل در تابش، از جمله طول روز، رطوبت، جرم جو، فشار هوا، آب قابل بارش، آلبدوی جو، مقدار جذب در جو و مقدار جذب به‌وسیله‌ی ازن استفاده شده و تغییرات فضایی ـ زمانی تابش حاصله تحلیل گردیده‌است. نتایج تحقیق نشان داد بین مقادیر تابش اندازه‌گیری‌شده با پیرانومتر و مقادیر برآوردشده توسط مدل اختلاف کمی وجود دارد که نشان‌دهنده‌ی توانایی مدل در برآورد تابش است. کمترین مقادیر تابش دریافتی ماهانه‌ی منطقه در ماه‌های ژانویه و دسامبر رخ می‌دهد که از ۹ تا ۱۳ مگاژول بر مترمربع در نقاط مختلف استان متغیّر است. در فصل تابستان، مقدار جذب تابش به‌وسیله‌ی ازن به‌دلیل کاهش جرم جو به‌خصوص در مناطق مرتفع، کاهش می‌یابد و در مقابل، به مقدار تابش مستقیم و در نتیجه تابش کلی افزوده می‌شود. بیشترین مقدار تابش دریافتی منطقه در ماه ژوئن اتفاق می‌افتد که از ۳۲ تا ۴۲ مگاژول بر مترمربع در نقاط مختلف متغیّر است. در فصول پاییز و زمستان به‌دلیل نقش تابش پراکنده، اختلاف تابش در مناطق مختلف استان کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: برآورد، تابش دریافتی، استان کرمانشاه، تغییرات فضایی ـ زمانی، مدل برد و هول‌استورم.

نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۳۳۹۸۶۷۶

* Email: f_mojarrad@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from journals.hsu.ac.ir at 11:21 IRDT on Saturday April 30th 2016

۱- مقدمه

تابش خورشیدی یکی از عناصر هواشناسی است که بر بسیاری از فرایندهای آب و خاک مانند تبخیر و تعرّق، ذوب برف و رشد گیاهان اثر می‌گذارد. علیرغم اهمیت این عنصر، اندازه‌گیری مستقیم آن به‌طور محدود انجام می‌شود (سلطانی و مرید، ۱۳۸۴: ۶۹). تابش خورشیدی یکی از ایمن‌ترین، مؤثرترین و اقتصادی‌ترین منابع انرژی است که پتانسیل تبدیل‌شدن به منبع اصلی انرژی در آینده‌ی نه‌چندان دور را دارد(Dincer, 2000: 157). تخمین تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین کاربردهای زیادی در علوم معماری، مهندسی انرژی، کشاورزی و هیدرولوژی دارد. برآورد درست مقدار تابش خورشیدی از اصول اولیه و مهم طراحی شبکه‌ها و برنامه‌ریزی آبیاری است (Almorox and Hontoria, 2004: 1529). همچنین اطلاع دقیق از مقدار و شدت تابش خورشیدی در یک مکان برای گسترش سایت‌های خورشیدی و در بلندمدت، برآورد تغییر کارایی سیستم‌های خورشیدی ضروری است. از چنین اطلاعاتی در طراحی، برآورد هزینه و محاسبه‌ی بازدهی پروژه‌ها استفاده می‌شود (Hottel and Whillier, 1958: 74). استفاده از انرژی‌های نو در مناطق روستایی، از ضرورت‌های توسعه‌ی پایدار است. به‌تازگی در مناطق روستایی استفاده از انرژی خورشیدی به‌کمک آبگرمکن خورشیدی رواج یافته‌است (افراخته و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۵).

یکی از دقیق‌ترین روش‌های اندازه‌گیری تابش خورشیدی استفاده از پیرانومتر است که‌استفاده از آن هنوز در بسیاری از نقاط به‌علت فقدان امکانات محدود می‌باشد. به‌طور کلی، اندازه‌گیری‌های بلندمدت تابش خورشیدی در همه جا انجام نمی‌شود؛ در نتیجه، محققین بیشتر برای برآورد آن تلاش می‌کنند (Belcher and De Gaetano, 2007: 329). برآورد و ارزیابی اشتباه میزان تابش دریافتی، بزرگ‌ترین ریسک در یک پروژه‌ی خورشیدی است. بنابراین مجریان نیازمند بررسی مقدار تابش برای مکان‌یابی مناسب سایت‌های خورشیدی و تولید برق هستند (Chen et al., 2006: 2991).

در مطالعه‌ی 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 می‌شود، ساعات آفتابی است. گرچه بسیاری از محققین در مدل‌های تجربی خود علاوه بر ساعات آفتابی، از پارامترهایی همچون رطوبت نسبی، ارتفاع، عرض جغرافیایی و دما بهره برده‌اند، لیکن تحقیقات نشان داده‌است که ساعات آفتابی مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده‌ی میزان تابش خورشیدی است.

نخستین‌بار آنگستروم با به‌کارگیری داده‌های هواشناسی مانند ساعات آفتابی توانست مدل ساده‌ای برای تخمین مقدار تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین (R_s) در یک سطح افقی ارائه نماید (Angstrom, 1924: 121). بعد از وی دانشمندان زیادی اقدام به بهبود و تعدیل مدل آنگستروم نموده‌اند که ضرایب تبدیل و داده‌های ورودی آنها به مدل و شرایط اقلیمی بستگی دارد. مدل آنگستروم در سال ۱۹۴۰ مجدداً اصلاح گردید (Prescott, 1940: 114). برخی از محققین برای افزایش دقت مدل برآورد تابش، مؤلفه‌های تابش مستقیم و پراکنده‌ی خورشید را به‌طور مجزا محاسبه نموده‌اند. در یکی از این تحقیقات با استفاده از یک مدل ساده، مقادیر تابش روزانه‌ی مستقیم و پراکنده با استفاده از نسبت (n/N) ضریب ابر و زاویه‌ی سمت‌الرأس خورشید (θ) محاسبه گردید (Paltridge and Proctor, 1976: 235). در کشورهای مصر، لبنان و کویت برای محاسبه‌ی انرژی خورشیدی از یک مدل مبتنی بر پارامترهای ساعات آفتابی، دمای حداکثر هوا، رطوبت نسبی و همچنین عوامل محلی مانند ارتفاع و عرض جغرافیایی استفاده شد. استفاده از این مدل در نقاط مسطح مشابهِ مناطق خشک و نیمه‌خشک، از جمله مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران که فاقد آمار تابش هستند، مناسب است (Sabbagh et al.,1977: 307). به همین منوال، در چین (Wu et al., 2007: 2447)، ترکیه (Bakirci, 2009: 2580) و تبوک عربستان (Maghrabi, 2009: 2754) برای مدل‌سازی و برآورد میزان تابش خورشیدی از عواملی مانند میزان ساعات آفتابی، بارش،

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from journals.hsu.ac.ir at 11:21 IRDT on Saturday April 30th 2016

دمای نقطه‌ی شبنم، رطوبت نسبی، دما و فشار هوا استفاده شد. همچنین برای برآورد تابش خورشیدی کل، از روش‌های دیگری مانند درون‌یابی خطی (Soltani et al., 2004: 133) و روش‌های آماری رگرسیونی (Hansen, 1999: 53) استفاده گردید.

ایران دارای چشم‌اندازهای مختلف جغرافیایی و آب‌وهواهای متنوع است و پتانسیل بالایی از نظر ساعات آفتابی به‌عنوان مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده‌ی میزان تابش خورشیدی دارد. متوسط تابش دریافتی ایران در حدود ۵۳۰۰ وات‌ساعت بر متر مربع در روز ($Wh/m^2/day$) است و این میزان در مناطق مرکزی کشور با متوسط ساعات آفتابی بیش از ۷/۷ ساعت، افزایش نیز می‌یابد. کشورمان با ظرفیت حدود ۳۲/۵ گیگاوات توان تولید انرژی خورشیدی در میان کشورهای جهان با فاصله اندکی نسبت به ترکیه در رده‌ی ۲۱ قرار دارد (Kazemi Karegar et al., 2014: 2). تقریباً $4/5$ از مساحت کشور، با حدود ۲۴۰ تا ۲۵۰ روز آفتابی در سال، دارای میانگین سالانه‌ی تابش خورشیدی تقریبی ۴/۵ تا ۵/۴ کیلو وات ساعت بر مترمربع است؛ لذا توان تولید انرژی خورشیدی در کشورمان بالاست (Moghadam et al., 2011: 107).

تاکنون مطالعاتی بر روی برآورد تابش خورشیدی ایران انجام شده‌است که برخی از آنها بررسی می‌شود. بر اساس مدل مینل[1] که وابستگی تابش را به ارتفاع محل لحاظ می‌کند، ضرایب مدل برای ایران محاسبه و نقشه‌ی انرژی خورشیدی تهیه شد (Samimi, 1994: 401). با استفاده از مدل پالتریج و پروکتور[2] میزان تابش خورشیدی در ایران برآورد گردید (Daneshyar, 1978: 345). در مطالعه‌ای دیگر، مقادیر تابش خورشیدی در سواحل شمالی و جنوبی ایران با استفاده از مدل‌های مختلف تابش خورشیدی با بهره‌گیری از آمار ساعات آفتابی، پوشش ابری، رطوبت نسبی، میانگین دمای حداکثر و آلبدوی زمینی برآورد و نتایج به‌دست آمده با یک فرمول عمومی برآورد تابش خورشید مقایسه شد. در نهایت مشخص گردید که فرمول یادشده با آمار پیرانومتری تطابق بهتری دارد و برای برآورد تابش خورشیدی در سایر مناطق ساحلیِ بدون آمار مناسب است (Sabziparvar, 2007:1). برای تخمین تابش کل خورشیدی روزانه در ایستگاه‌های کرج و شیراز از شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل‌های رگرسیونی با مبنا قراردادن پارامترهای ساعات آفتابی حداکثر، تابش فرازمینی و دماهای حداقل و حداکثر استفاده گردید (بیات و میرلطیفی، ۱۳۸۸: ۲۷۰). در شهر کرمان برای پیش‌بینی میانگین مقدار کل تابش خورشیدی روزانه از یک رابطه‌ی رگرسیون خطی با تأثیردادن هفت پارامتر جغرافیایی و هواشناسی استفاده شد (صفاری‌پور و مهرابیان، ۱۳۸۸: ۳).

در جنوب شرق تهران برای برآورد تابش روزانه‌ی خورشیدی دو روش تجربی آنگستروم و هارگریوز- سامانی، که به‌ترتیب مبتنی بر ساعات آفتابی و دمای هوا هستند، واسنجی و ارزیابی شدند. همچنین دو مدل شبکه‌ی عصبی با ورودی‌های مشابه با مدل‌های تجربی فوق به‌کار گرفته شدند. نتایج بررسی نشان داد که مدل‌های تجربی فوق و مدل‌های شبکه‌های عصبی با دقت خوبی تابش خورشیدی را برآورد می‌کنند؛ لیکن مدل‌های مبتنی بر ساعات آفتابی نسبت به مدل‌های مبتنی بر دمای هوا برتری دارند (رحیمی خوب و همکاران، ۱۳۸۸: ۵۳). میزان تابش کل بر روی سطح افق در برخی از شهرهای ایران با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری‌شده‌ی میانگین ماهانه و روزانه‌ی تابش کل خورشیدی در یک دوره‌ی ۱۴ ساله بررسی و روش جدیدی معرفی گردید. نتایج نشان داد رابطه‌ی جدیدِ ارائه‌شده و همچنین روش واتانابه، به‌شرطی که ضریب صافی هوا به‌صورت صحیح برآورد شود، برای شهرهای مختلف ایران نتایج خوبی به‌دست می‌دهد (ابراهیم‌پور و همکاران، ۱۳۸۸الف: ۱). مقادیر تابش مستقیمِ رسیده به یک سطح افقی در اقلیم‌های مختلف ایران با استفاده از روش ماکسول محاسبه و پس از کم‌کردن آن از تابش کلی، مقادیر تابش دیفیوز (تابش پراکنده) به‌دست آمد. سپس نتیجه با روش‌های مختلف پیش‌بینی

[1] - Meinel
[2] - Paltridge and Proctor

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from journals.hsu.ac.ir at 11:21 IRDT on Saturday April 30th 2016

تابش دیفیوز مقایسه و نهایتاً روش ارائه‌شده توسط بولند در استرالیا برای محاسبه‌ی مقادیر تابش دیفیوز در اقلیم‌های مختلف ایران مناسب تشخیص داده شد (ابراهیم‌پور و همکاران، ۱۳۸۸ب: ۱).

در ایستگاه ازن‌سنجی اصفهان به‌کمک داده‌های تابش، مدل مناسب برآورد شدت تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین از روی آمار ساعات آفتابی ارائه گردید (یزدان‌پناه و همکاران، ۱۳۸۹: ۹۵). در مطالعه‌ای دیگر، بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن و با در نظر گرفتن ساعات آفتابی، سطح ایران به پنج منطقه‌ی اقلیمی تقسیم و مقادیر تابش خورشیدی با استفاده از مدل آنگستروم برآورد گردید. در این مطالعه، فقط ضرایب ثابت اقلیمی محاسبه و در مدل بهینه‌شده‌ی آنگستروم لحاظ شد؛ اما محدودیت تعداد پارامترهای اقلیمی در مدل رفع نگردید (معینی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲). در ایستگاه همدیدی تبریز از یک مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای برآورد تابش خورشیدی کل رسیده، استفاده و یافته‌های برآمده از آن با یافته‌های مدل آنگستروم به‌منزله‌ی یکی از فراگیرترین روش‌های برآورد تابش خورشیدی مقایسه گردید. دست‌آورد تحقیق نشانگر برتری معنی‌دار مدل شبکه‌ی عصبی نسبت به روش آنگستروم بود (سبزی‌پرور و علیایی، ۱۳۹۰: ۳۰). در شهر کرمان مقادیر تابش دریافتی سطح زمین با مدل برد و هول‌استورم برآورد گردید. نتایج نشان داد که ماه می با ۲۸ مگاژول بر مترمربع بیشترین مقدار تابش دریافتی و ماه دسامبر با ۱۲ مگاژول کمترین مقدار تابش دریافتی را دارد (Safaripour and Mehrabian, 2011: 1537). از دیگر مطالعات صورت‌گرفته در ایران می‌توان به برآورد میزان تابش کل رسیده به سطح افقی در گستره‌ی استان آذربایجان‌شرقی با یک مدل رگرسیونی با به‌کارگیری عناصر اقلیمی شامل دماهای کمینه، بیشینه و میانگین، رطوبت کمینه، ابرناکی آسمان و ساعات آفتابی اشاره کرد. نتایج مطالعه نشان داد توزیع تابش سالانه‌ی استان آذربایجان‌شرقی از جنوب‌غرب به شمال و شمال‌شرق روند کاهشی دارد. میانگین تابش سالانه در استان، ۴۲۴۴ وات بر مترمربع در روز برآورد گردید (خسروی و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۹). برای تخمین میانگین ماهانه‌ی تابش کلی روزانه در سطح افقی در ایستگاه‌های هواشناسی ایران از سه مدل آنگستروم-پرسکات، روش حداکثر احتمال و مدل هیبرید استفاده و از بین آنها مدل هیبرید به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد (صفایی و همکاران، ۱۳۸۴: ۲۷). در مطالعه‌ی دیگری، کارایی مدل هیبرید در برآورد تابش ایستگاه‌های ایران به‌اثبات رسید؛ البته در این مطالعه از تعداد کمتری از پارامترهای هواشناسی به‌عنوان ورودی استفاده شد که عبارت بودند از: دما، رطوبت نسبی، فشار و ساعات آفتابی (عرفانیان و بابایی حصار، ۱۳۹۲: ۱۵۸).

تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین در ایستگاه سینوپتیک مشهد با واسنجی ضرایب رابطه‌ی آنگستروم- پرسکات و نیز به‌کارگیری یک معادله‌ی رگرسیونی منطقه‌ای از طریق تأثیردادن عوامل مختلف هواشناسی برآورد گردید. نتایج نشان داد این دو روش اختلاف معنی‌داری در برآورد تابش ندارند (علیزاده و خلیلی، ۱۳۸۸: ۲۲۹). همچنین برآورد تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین در ایستگاه رشت نشان داد که مقدار تابش در روزهای غیر ابری با معادله‌ی ساده آنگستروم بهتر انجام می‌شود (فولادمند و هادی‌پور، ۱۳۹۲: ۱). در زمینه‌ی شناسایی مکان‌های بهینه‌ی استقرار پانل‌های خورشیدی در محیط شهری، یک مدل برای قسمت مرکزی تهران ارائه گردید که در آن لایه‌های مؤثر در مکان‌یابی با استفاده از منطق بولین و عمگر ضرب به‌دست آمد. همچنین تکنیک میانگین‌گیری وزن‌دار برای تلفیق نتایج به‌دست‌آمده با دو عامل نوع کاربری و میزان جمعیت، به‌کار گرفته شد (عشورنژاد و همکاران، ۱۳۹۳: ۳۳).

علاوه بر مطالعات یادشده، طی تحقیقات جداگانه‌ای، مقادیر تابش خورشیدی در ایستگاه تهران-شمال با مبنا قرار دادن میزان ساعات آفتابی با به‌کارگیری مدل‌های یک متغیّره و چند متغیّره‌ی خطی (خلیلی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۴۳)، در منطقه‌ی باجگاه‌استان فارس با مدل آنگستروم و چند مدل دیگر (مجنونی و همکاران، ۱۳۸۷: ۴۹۱) و در ایستگاه تهران-شمال در مقیاس‌های زمانی مختلف با رابطه‌ی آنگستروم-پرسکات[3] (آقا شریعتمداری و همکاران، ۱۳۹۰: ۹۰۵) برآورد گردید.

[3] -Angstrom-Prescott

www.SID.ir

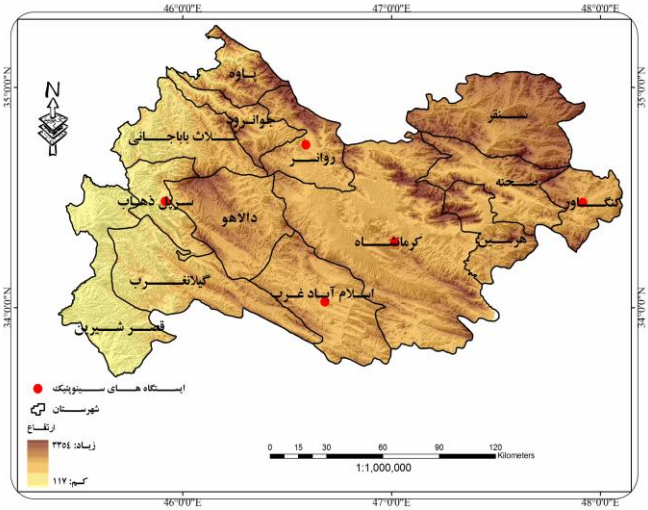
Archive of SID

Downloaded from journals.hsu.ac.ir at 11:21 IRDT on Saturday April 30th 2016

استان کرمانشاه به‌لحاظ قرارگیری در منطقه‌ی با تابش زیاد کشور (صابری‌فر، ۱۳۸۹: ۴۷) قابلیّت بالایی از نظر بهره‌برداری از انرژی خورشیدی دارد. تا آنجا که اطلاع در دست است مطالعه‌ای منسجم برای برآورد مقدار تابش خورشیدی در این استان به‌انجام نرسیده‌است. هدف از این پژوهش، برآورد و ارزیابی تغییرات فضایی ـ زمانی میزان تابش دریافتی سطح زمین در استان کرمانشاه با استفاده از مدل بهینه‌شده‌ی "برد و هول‌استورم" (Bird and Hulstrom, 1981: 7) است. این مدل، اغلبِ پارامترهای مؤثر بر تابش دریافتی از جمله پخش، جذب بخار آب، جرم جو، آلبدوی جو، جذب به وسیله گازها و ... را مد نظر قرار می‌دهد.

۲- منطقه مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه در این تحقیق، استان کرمانشاه در غرب کشور است. این استان با مساحت تقریبی ۲۴۸۰۰ کیلومترمربع، بین عرض‌های جغرافیایی '۳۶ °۳۳ تا '۱۵ °۳۵ شمالی و طول‌های جغرافیایی '۲۴ °۴۵ تا '۳۰ °۴۸ شرقی گسترده شده و از شمال به استان کردستان، از جنوب به استان‌های لرستان و ایلام، از شرق به استان همدان و از غرب به کشور عراق محدود می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعاتی و وضعیت ارتفاعی استان کرمانشاه

۳- مواد و روش‌ها

در این تحقیق برای برآورد میزان تابش دریافتی سطح زمین در استان کرمانشاه از داده‌های روزانه‌ی پنج ایستگاه سینوپتیک منطقه در یک دوره‌ی زمانی ۲۰ ساله (۲۰۰۹- ۱۹۹۰) استفاده شد. موقعیت ایستگاه‌ها در شکل ۱ مشاهده می‌شود. سپس مقادیر تابش خورشیدی با مدل "برد و هول‌استورم" به‌صورت روزانه با در نظر گرفتن ویژگی‌های مکانی (ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی) و ویژگی‌های اقلیمی (رطوبت، دما، فشار، ساعات آفتابی، ارتفاع خورشید، آلبدوی جو، جذب ذرات معلق، آلبدوی زمین، جرم جو، جذب ازن و پخش ریلی) برآورد گردید. همانطور که قبلاً نیز توضیح داده شد، برای نخستین بار آنگستروم با ارائه‌ی یک مدل، میانگین روزانه‌ی شدت انرژی خورشیدی را در سطح افق برای روزهای ابری محاسبه نمود. رابطه‌ی مورد استفاده وی عبارت بود از (Angstrom, 1924: 121):

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from journals.hsu.ac.ir at 11:21 IRDT on Saturday April 30th 2016

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

که در آن R_s تابش دریافتی در سطح افقی، R_a مقدار ثابت تابش در خارج از جو، a و b ضرایب اقلیمی، n تعداد ساعات آفتابیِ اندازه‌گیری‌شده و N تعداد ساعات آفتابیِ بالقوه‌ی نجومی در روز مورد مطالعه‌است. در این مدل بسیاری از پارامترهای جوی مانند میزان رطوبت، آلبدوی جو، آلبدوی زمین، پخش و جذب ذرات جوی، اثر گازها و آب موجود در جو، ازن و غیره در نظر گرفته نشده‌است. چنین پارامترهایی نقش اساسی در میزان تابش دریافتی دارند. این مدل بعدها به‌وسیله دیویس و همکاران (Davies et al., 1988: 1) اصلاح گردید؛ لیکن نقص اساسی مدل، عدم استفاده از ساعات ابری و آفتابی در میزان تابش دریافتی در سطح زمین بود.

"برد و هول‌استورم" با توجه به اثر پارامـترهای جوی، رابطه‌ی ۲ را برای برآورد تابش خورشـیدی ارائه کردند (Bird and Hulstrom, 1981: 7-8):

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

که در آن H تابش کل روزانه‌ی دریافتی سطح زمین که از پارامترهای مختلفی تشکیل شده‌است، H_B تابش مستقیم روزانه‌ی دریافتی سطح زمین، θ زاویه‌ی سمت‌الرأس خورشید، H_{DF} تابش پراکنده‌ی روزانه‌ی دریافتی سطح زمین، و r_g و r_s به‌ترتیب آلبدوی زمین و آلبدوی جو هستند. مقادیر آلبدو تأثیر به‌سزایی بر مقدار تابش دریافتی دارد. مقدار H_B (تابش مستقیم روزانه‌ی دریافتی سطح زمین) با رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود:

$$H_B = I_B \frac{n}{N}$$ رابطه ۳

که در آن I_B تابش مستقیم برای آسمان صاف است که خود با رابطه‌ی ۴ محاسبه می‌شود:

$$I_B = 0.9662 I_0 (T_M - a_w) T_A$$ رابطه ۴

که در آن I_0 ثابت خورشیدی به‌میزان ۱۳۶۶ وات بر مترمربع، T_M قابلیّت انتقال گازهای اتمسفری به‌جز بخار آب، T_A قابلیّت انتقال به‌علت جذب و پخش توسط ذرات، و a_w ضریب جذب[4] بخار آب است که با رابطه‌ی ۵ محاسبه می‌شود (Bird and Hulstrom, 1981: 8; Safaripour and Mehrabian, 2011: 1551):

$$a_w = 2.4959\, m\, U_w [(1.0 + 79.03\, m\, U_w)^{0.6824} + 6.385\, m\, U_w]^{-1}$$ رابطه ۵

که در آن U_w آب قابل بارش در یک ستون عمودی و m جرم توده‌ی هواست که با رابطه‌ی ۶ محاسبه می‌شود:

$$m = [\cos\theta + 0.15(93.885 - \theta)^{-1.25}]^{-1}$$ رابطه ۶

که در آن θ زاویه‌ی سمت‌الرأس خورشید بر حسب درجه‌است. تابش خورشیدی با سمت‌الرأس‌های مختلف، مسیرهای متفاوتی را برای گذر از اتمسفر و رسیدن به سطح زمین طی می‌کند.

در رابطه‌ی ۲، مقدار H_{DF} (تابش پراکنده‌ی روزانه‌ی دریافتی سطح زمین) با استفاده از رابطه‌ی ۷ محاسبه می‌شود:

$$H_{DF} = I_{DF}\frac{n}{N} + K^*(1 - \frac{n}{N})(I_B + I_{DF})$$ رابطه ۷

که در آن n تعداد ساعات آفتابیِ اندازه‌گیری‌شده در طی روز، N تعداد ساعات آفتابیِ بالقوه‌ی نجومی در روز مورد مطالعه که

[4] - absorptance

www.SID.ir

Archive of SID

بر اساس فصل سال و زاویه‌ی خورشید متغیّر است، K^* مقدار ثابت ۰/۳۲، و I_{DF} تابش پراکنده برای آسمان صاف است که با رابطه‌ی ۸ محاسبه می‌شود (Bird and Hulstrom, 1981: 8):

$$I_{DF} = I_o(\cos\theta)(0.79)T_0T_WT_{UM}T_{AA}[0.5(1-T_R)+B_a(1-T_{AS})]/[1-m+(m)^{1.02}] \quad \text{رابطه ۸}$$

که در آن T_O قابلیّت انتقال[5] به‌وسیله‌ی ازن، T_W قابلیّت انتقال به‌وسیله‌ی بخار آب، T_{UM} قابلیّت انتقال به‌وسیله‌ی اکسیژن و دی‌اکسیدکربن، T_A قابلیّت انتقال به‌علت جذب و پخش توسط ذرات، T_{AA} قابلیّت انتقال به‌علت جذب توسط ذرات، T_R قابلیّت انتقال به‌علت پخش ریلی، و T_{AS} نسبت T_A به T_{AA} است.

نهایتاً با استفاده از مقادیر تابش مستقیم (H_B) و پراکنده (H_{DF}) روزانه‌ی دریافتی سطح زمین که به‌ترتیب از روابط ۳ و ۷ به‌دست می‌آید، مقدار تابش کل دریافتی روزانه‌ی سطح زمین (H) با استفاده از رابطه‌ی ۲ محاسبه شد و پس از استخراج جداول و رسم نقشه‌ها، تغییرات فضایی تابش منطقه تحلیل گردید. در واقع، تنظیم مدل برای استان کرمانشاه با استفاده از مؤلفه‌های مدل مانند T_M ، T_A ، a_w ، U_w ، m ، I_o و غیره- که خود تابعی از شرایط اقلیمی محل می‌باشند- انجام می‌شود.

۴- بحث و نتایج

با توجه به ورودی‌های مورد نیاز برای محاسبه‌ی تابش خورشیدی دریافتی سطح زمین به‌روش"برد و هول‌استورم" یک بررسی اجمالی بر روی عناصر اقلیمی تأثیرگذار در استان کرمانشاه در دوره‌ی آماری ۲۰ساله‌ی ۲۰۰۹ ـ ۱۹۹۰ نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های استان، کاهش دما با افزایش فشار و رطوبت نسبی همزمان بوده‌است. کمترین میانگین دما در ماه‌های ژانویه و دسامبر، و بیشترین آن در ماه‌های جولای و آگوست اتفاق می‌افتد. همچنین کمترین مقدار فشار در ماه‌های جولای و آگوست مشاهده می‌شود (جدول۱). به دلیل زیاد بودن حجم جداول و محاسبات، تنها نتایج مربوط به ایستگاه کرمانشاه (جدول‌های ۱ و ۲) ارائه شده‌است. نتایج برآورد تابش برای سایر ایستگاه‌ها در شکل ۲ مشاهده می‌شود.

جدول ۱: میانگین‌های ماهانه‌ی متغیّرهای اقلیمی در ایستگاه کرمانشاه (۲۰۰۹ – ۱۹۹۰)

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
دما	۲/۳	۴/۶	۸/۶	۱۳/۵	۱۸/۳	۲۴/۱	۲۸/۱	۲۷/۸	۲۲/۷	۱۷/۱	۱۰	۵/۳
فشار	۱۰۲۲/۹	۱۰۲۰/۱	۱۰۱۶/۴	۱۰۱۳/۵	۱۰۱۰/۱	۱۰۰۲/۹	۹۹۸/۲	۱۰۰۰/۸	۱۰۰۷/۸	۱۰۱۵/۵	۱۰۲۰/۱	۱۰۲۲/۷
رطوبت نسبی	۷۰/۹	۶۳/۳	۵۴/۹	۵۲/۶	۴۳/۱	۲۵/۴	۲۱/۹	۲۰/۷	۲۳/۵	۳۶/۴	۵۵/۹	۶۶/۶
ساعت آفتابی	۶/۰	۶/۴	۷/۱	۷/۷	۸/۹	۱۱/۶	۱۰/۷	۱۰/۵	۱۰/۲	۷/۶	۶/۹	۶/۵

افزایش زاویه‌ی ساعتی[6] (ω) و کاهش زاویه‌ی میل[7] خورشید (δ) که بیشترین آن در ماه ژوئن رخ می‌دهد، موجب افزایش تعداد ساعات آفتابیِ بالقوه‌ی نجومی (N)، کاهش فشار و جرم هوا (m) و در نتیجه افزایش مقدار تابش دریافتی می‌گردد. کاهش جرم هوا در فصل گرم موجب کاهش مقدار جذب تابش به‌وسیله‌ی ازن (X_o) و افزایش مقدار تابش دریافتی سطح زمین می‌شود. برعکس در فصل زمستان، فشار و جرم هوا افزایش می‌یابد که به‌نوبه‌ی خود کاهش تابش مستقیم را در پی دارد (Badescu, 2008: 327). از دیگر پارامترهای مؤثر بر مقدار تابش مستقیم روزانه‌ی دریافتی سطح زمین، مقدار آب قابل

[5] - Transmissivity
[6] - Hour angle
[7] - Declination angle

Downloaded from journals.hsu.ac.ir at 11:21 IRDT on Saturday April 30th 2016

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from journals.hsu.ac.ir at 11:21 IRDT on Saturday April 30th 2016

بارش در یک ستون عمودی از جو (u_w) است (Badescu, 2008: 327 - 392). آب قابل بارش در یک ستون از جو با نوسان دمایی و جرم جو تغییر می‌یابد. در ایستگاه کرمانشاه بیشترین مقدار آب قابل بارش در ماه جولای به‌میزان ۱۵/۵ میلی‌متر و کمترین آن در ماه ژانویه به‌میزان ۸/۸ میلی‌متر مشاهده می‌شود. جدول ۲ نتایج محاسبات پارامترهای مختلف مؤثر بر تابش خورشیدی را در ایستگاه کرمانشاه که با مدل "برد و هول‌استورم" محاسبه شده‌است، نشان می‌دهد.

جدول ۲: نتایج محاسبات پارامترهای مختلف مؤثر بر تابش با استفاده از مدل "برد و هول‌استورم" در ایستگاه کرمانشاه

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آپریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
δ	-۲۰/۱	-۱۱/۷	-۰/۳	۱۱/۵	۲۰/۱	۲۳/۲	۱۹/۸	۱۰/۸	-۱/۱	-۱۲/۷	-۲۰/۸	-۲۳/۱
ω	۷۵/۷	۸۱/۹	۸۹/۸	۹۷/۹	۱۰۴/۳	۱۰۶/۸	۱۰۴/۱	۹۷/۴	۸۹/۳	۸۱/۲	۷۵/۱	۷۳/۲
N	۱۰/۱	۱۰/۹	۱۱/۹	۱۳	۱۳/۸	۱۴/۲	۱۴	۱۳/۱	۱۲/۱	۱۱	۱۰/۱	۹/۸
m	۱/۷۷	۱/۶۶	۱/۴۷۷	۱/۳۱۱	۱/۲۲۶	۱/۱۸	۱/۱۷	۱/۲۲	۱/۳۳	۱/۴۹	۱/۶۸	۱/۷۸
T_M	۰/۹۰۹	۰/۹۲	۰/۹۳۳	۰/۹۳۹	۰/۹۵	۰/۹۵۴	۰/۹۵۴	۰/۹۵۱	۰/۹۴۷	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۹۰۷
T_A	۰/۷۰۱	۰/۷۷	۰/۷۵	۰/۷۸	۰/۷۸۱	۰/۷۸۶	۰/۷۸۶	۰/۷۸۱	۰/۷۷	۰/۷۵	۰/۷۲	۰/۷۰۵
a_w	۰/۱۷	۰/۱۷۴	۰/۱۷۳	۰/۱۷۶	۰/۱۷۷	۰/۱۷۸	۰/۱۷۵	۰/۱۷۴	۰/۱۷۳	۰/۱۷۶	۰/۱۸۱	۰/۱۷۳
T_W	۰/۸۳۴	۰/۸۲۹	۰/۸۳	۰/۸۲۷	۰/۸۲۴	۰/۸۲۷	۰/۸۲۵	۰/۸۲۶	۰/۸۲۷	۰/۸۲۴	۰/۸۳۲	۰/۸۳۴
T_{UM}	۰/۸۶۱	۰/۸۶۷	۰/۸۷	۰/۸۷۳	۰/۸۷۵	۰/۸۷۶	۰/۸۷۷	۰/۸۷۴	۰/۸۷	۰/۸۶۸	۰/۸۶۴	۰/۸۶۲
T_{AA}	۰/۹۶۸	۰/۹۷۲	۰/۹۷۴	۰/۹۷۷	۰/۹۷۸	۰/۹۷۹	۰/۹۸	۰/۹۷۸	۰/۹۷۶	۰/۹۷۴	۰/۹۷۱	۰/۹۷
T_R	۰/۸۶۳	۰/۸۶۷	۰/۸۸۱	۰/۸۹۱	۰/۸۹۵	۰/۸۹۹	۰/۸۹۹	۰/۸۹۶	۰/۸۸۹	۰/۸۷۳	۰/۸۶۵	۰/۸۵۹
T_{AS}	۰/۷۳	۰/۷۴	۰/۷۶۵	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۸۰۷	۰/۸۰۵	۰/۷۹۸	۰/۷۸۳	۰/۷۶۱	۰/۷۴	۰/۷۳
X_O	۰/۶۳	۰/۵۹	۰/۵۲	۰/۴۶۲	۰/۴۳	۰/۴۱۵	۰/۴۱۰	۰/۴۲۷	۰/۴۶۵	۰/۵۲۱	۰/۵۸	۰/۶۲
T_O	۰/۹۷۴	۰/۹۷۶	۰/۹۷۸	۰/۹۸۰	۰/۹۸۱	۰/۹۸۲	۰/۹۸۲	۰/۹۸۱	۰/۹۸۰	۰/۹۷۹	۰/۹۷۶	۰/۹۷۴
T_{as}	۰/۸۷	۰/۸۷۷	۰/۸۸۶	۰/۸۹۴	۰/۸۹۹	۰/۹۰۱	۰/۹۰۱	۰/۸۹۹	۰/۸۹۳	۰/۸۸۴	۰/۸۷۶	۰/۸۷۱
r_s	۰/۰۹	۰/۰۸۸	۰/۰۸۷	۰/۰۸۵	۰/۰۸۵	۰/۰۸۴	۰/۰۸۴	۰/۰۸۵	۰/۰۸۶	۰/۰۸۷	۰/۰۸۸	۰/۰۸۹
cos_θ	۳۲/۲	۳۹/۴	۴۷/۲	۵۲/۴	۵۴/۲	۵۴/۵	۵۴/۲	۵۲/۱	۴۶/۷	۳۸/۷	۳۱/۵	۲۹/۵
U_w	۸/۸	۱۰/۹	۱۲/۲	۱۴/۸	۱۷/۷	۱۵/۲	۱۵/۵	۱۵/۴	۱۳/۸	۱۳/۴	۱۳/۱	۹/۹
X_w	۱۵/۷	۱۷/۹	۱۶/۱	۱۸/۶	۱۸/۱	۱۷/۸	۱۸/۱	۱۸/۲	۱۷/۵	۱۹/۹	۱۸/۹	۱۸/۵
A_w	۰/۱۱۱	۰/۱۱۵	۰/۱۳	۰/۱۱۸	۰/۱۲۰	۰/۱۱۶	۰/۱۱۷	۰/۱۱۸	۰/۱۱۶	۰/۱۷۱	۰/۱۲۳	۰/۱۱۷
T_a	۰/۷۱	۰/۷۲۳	۰/۷۴۷	۰/۷۶۹	۰/۷۸	۰/۷۸۷	۰/۷۸۶	۰/۷۸۲	۰/۷۶۵	۰/۷۴	۰/۷۲	۰/۷۰۵

باتوجه به یافته‌های فوق و نیز اطلاعات جدول ۳، بیشترین مقدار تابش مستقیم در آسمان صاف (I_B) در ماه ژوئن به‌میزان ۲۷/۹ مگاژول بر مترمربع در روز ($MJ/m^2/day$) اتفاق افتاده‌است؛ یعنی زمانی که حداکثر ارتفاع خورشید و به‌دنبال آن حداکثر ساعات آفتابی و نیز حداقل جرم هوا وجود دارد. کمترین مقدار تابش مستقیم در آسمان صاف نیز در ماه ژانویه به‌میزان ۱۲/۲ مگاژول بر مترمربع رخ داده‌است. با افزایش شدت تابش، بر میزان تابش پراکنده در آسمان صاف (I_{DF}) افزوده می‌شود. بیشترین مقدار تابش پراکنده در ماه ژوئن به‌میزان ۵/۷ مگاژول بر مترمربع و کمترین آن در ماه دسامبر به‌میزان ۲/۲ مگاژول بر مترمربع و سپس ماه ژانویه به‌میزان ۲/۳ مگاژول بر مترمربع در روز رخ داده‌است؛ اما تابش دریافتی سطح زمین، کمتر از مقداری است که در اتمسفر محاسبه می‌شود. در سطح زمین با توجه به عواملی همچون هواویزها، رطوبت و سایر گازهای جوی، مقدار جذب تابش و نیز آلبدوی جوی به‌خصوص در زاویه‌های تابش بالا افزایش می‌یابد که به‌نوبه‌ی خود باعث افزایش تابش پراکنده و کاهش تابش مستقیم می‌شود. کمترین مقدار تابش مستقیم روزانه‌ی دریافتی سطح زمین (H_B) در ماه ژانویه به‌مقدار ۸/۲ مگاژول بر مترمربع و بیشترین آن در ماه ژوئن به‌مقدار ۲۲/۳ مگاژول بر مترمربع در روز رخ داده‌است.

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from journals.hsu.ac.ir at 11:21 IRDT on Saturday April 30th 2016

تابش پراکنده‌ی روزانه‌ی دریافتی سطح زمین (H_{DF}) شرایطی متفاوت با تابش مستقیم روزانه‌ی دریافتی سطح زمین دارد. مقدار تابش پراکنده‌ی روزانه‌ی سطح زمین در ماه دسامبر (۲/۸ مگاژول بر مترمربع) و ماه ژوئن (۶/۷ مگاژول بر مترمربع) در مقایسه با تابش پراکنده‌ی موجود در جو افزایش یافته‌است که اثر ذرات و رطوبت جوی به‌خصوص در لایه‌های نزدیک سطح زمین را نشان می‌دهد. حاصل تمام رخدادهای فوق، تابش کل روزانه‌ی دریافتی سطح زمین (H) است که بیشترین و کمترین مقادیر آن به‌ترتیب در ماه‌های ژانویه (۷/۷ مگاژول بر مترمربع) و ژوئن (۲۸/۵ مگاژول بر مترمربع) مشاهده می‌شود. از نظر فصلی، فصول بهار و تابستان بیشترین میزان تابش دریافتی، و فصول پاییز و زمستان کمترین مقدار تابش دریافتی را دارند که علت آن کاهش زاویه‌ی تابش خورشیدی در فصل سرد سال است که در اواخر دسامبر و ژانویه به حداقل خود می‌رسد (جدول ۳).

جدول ۳: متوسط ماهانه‌ی پارامترهای تابش خورشیدی بر اساس مدل "برد و هول‌استورم" در ایستگاه کرمانشاه برحسب مگاژول بر مترمربع در روز ($MJ/m^2/day$)

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
I_B	۱۲/۲	۱۳/۱	۱۶/۵	۱۸	۲۱/۶	۲۷/۹	۲۶/۹	۲۵/۹	۲۳/۷	۱۶/۹	۱۵/۸	۱۲/۸
I_{DF}	۲/۳	۲/۸	۳/۷	۴	۴/۹	۵/۷	۵/۶	۵/۴	۴/۷	۳/۲	۲/۷	۲/۲
H_B	۸/۲	۸/۶	۱۱/۶	۱۲/۲	۱۵/۴	۲۲/۳	۲۱/۳	۲۰/۷	۱۹/۷	۱۲/۷	۱۱/۶	۹/۴
H_{DF}	۲/۹	۳/۶	۴/۵	۴/۹	۵/۸	۶/۷	۶/۵	۶/۳	۵/۵	۳/۹	۳/۴	۲/۸
H	۷/۷	۹/۶	۱۴/۳	۱۶/۵	۲۰/۶	۲۸/۵	۲۷	۲۵/۵	۲۲	۱۳	۹/۹	۷/۸

I_B تابش مستقیم برای آسمان صاف، I_{DF} تابش پراکنده برای آسمان صاف، H_B تابش مستقیم روزانه‌ی دریافتی سطح زمین، H_{DF} تابش پراکنده‌ی روزانه‌ی دریافتی سطح زمین، H تابش کل روزانه‌ی دریافتی سطح زمین

به‌کمک ارقام ردیف آخر جدول ۳ یا ردیف H، مقدار میانگین تابش کل دریافتی سطح زمین در ایستگاه کرمانشاه بر حسب کالری بر سانتی‌متر مربع در روز به‌ترتیب زیر محاسبه می‌شود:

$$Hmean_{Cal/cm^2/day} = Hmean_{MJ/m^2/day} * 238849.3195/10000$$

$$Hmean_{Cal/cm^2/day} = 16.86666 * 238849.3195/10000 = 402.9$$

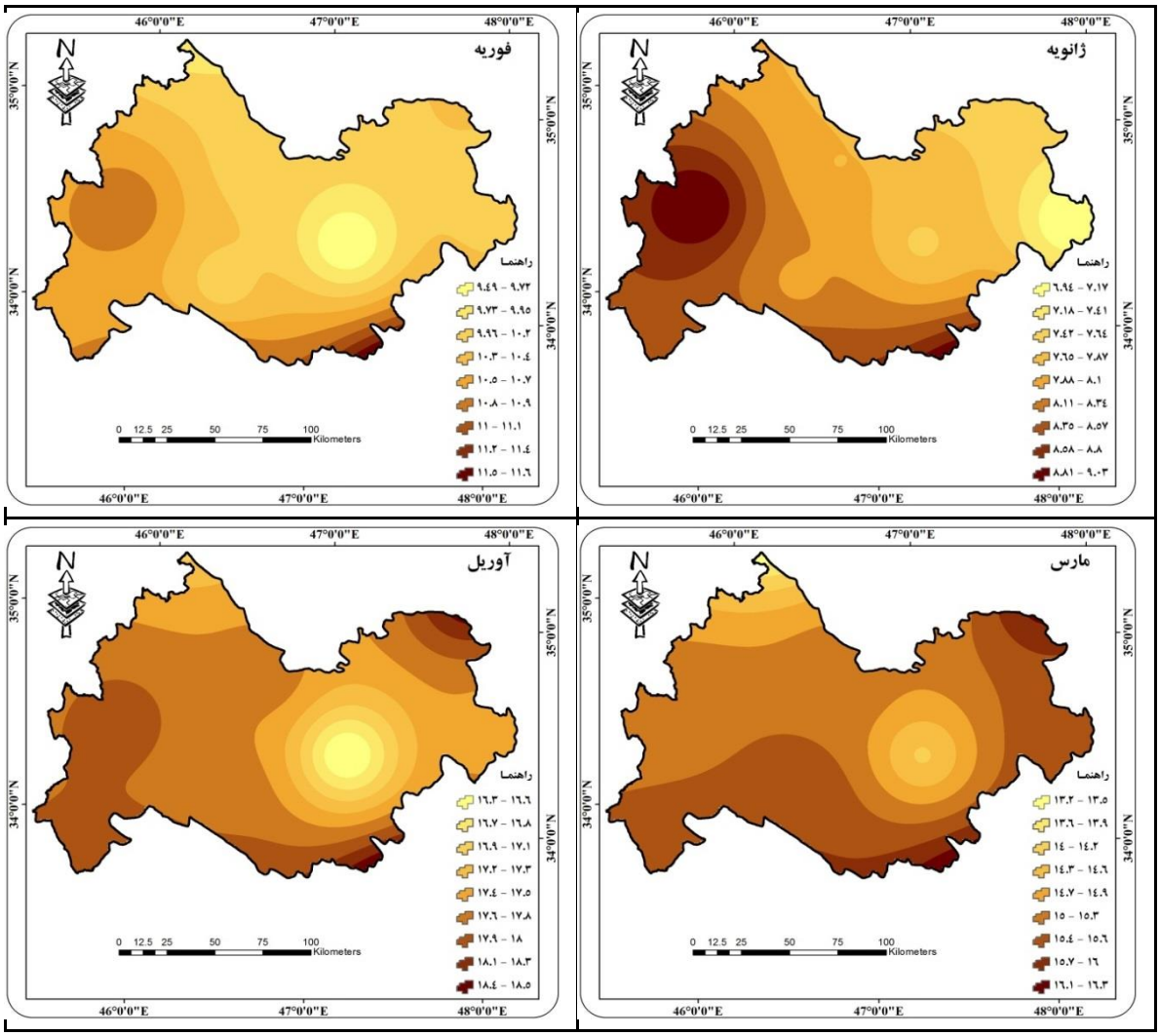
که در آن $Hmean_{MJ/m^2/day}$ میانگین ارقام تابش کل روزانه‌ی دریافتی سطح زمین، یعنی میانگین ارقام ردیف H، هر مگاژول معادل ۲۳۸۸۴۹/۳۱۹۵ کالری، و هر مترمربع معادل ۱۰۰۰۰ سانتی‌متر مربع است. بدین‌ترتیب میانگین تابش کل روزانه‌ی دریافتی سطح زمین در ایستگاه کرمانشاه با مدل"برد و هول‌استورم" به ۴۰۲/۹ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز بالغ می‌گردد.

با توجه به نقشه‌های شکل ۲ که بر اساس ارقام برآوردشده‌ی تابش در ایستگاه‌های منطقه به‌روش برد-هول‌استورم تهیه شده‌اند، کمترین مقدار تابش دریافتی سطح زمین منطقه در ماه‌های دسامبر و ژانویه در ایستگاه اسلام‌آبادغرب (با ارتفاع ۱۳۴۸ متر) و نیز در مناطق شمالی استان به‌مقدار حداقل ۹ مگاژول بر مترمربع، و بیشترین آن در ایستگاه سرپل‌ذهاب (با ارتفاع ۵۴۵ متر) به‌مقدار ۱۳ مگاژول بر مترمربع در روز رخ می‌دهد. در فصل بهار با افزایش ارتفاع خورشید میزان تابش بیشتری به سطح زمین می‌رسد. بیشترین مقدار تابش دریافتی در ماه ژوئن به ۴۲ مگاژول بر مترمربع در ایستگاه‌های کنگاور (با ارتفاع ۱۴۶۸ متر) و روانسر (با ارتفاع ۱۳۷۹ متر) می‌رسد. کمترین مقدار همین ماه، یعنی ماه ژوئن مربوط به ایستگاه

www.SID.ir

Archive of SID

اسلام‌آبادغرب به‌مقدار ۳۲ مگاژول بر مترمربع است. دلیل وقوع بیشینه‌ی تابش در حوالی کنگاور و روانسر، ارتفاع بیشتر این مناطق در مقایسه با مناطق اطراف است که موجب افزایش تابش مستقیم می‌شود (شکل ۲).

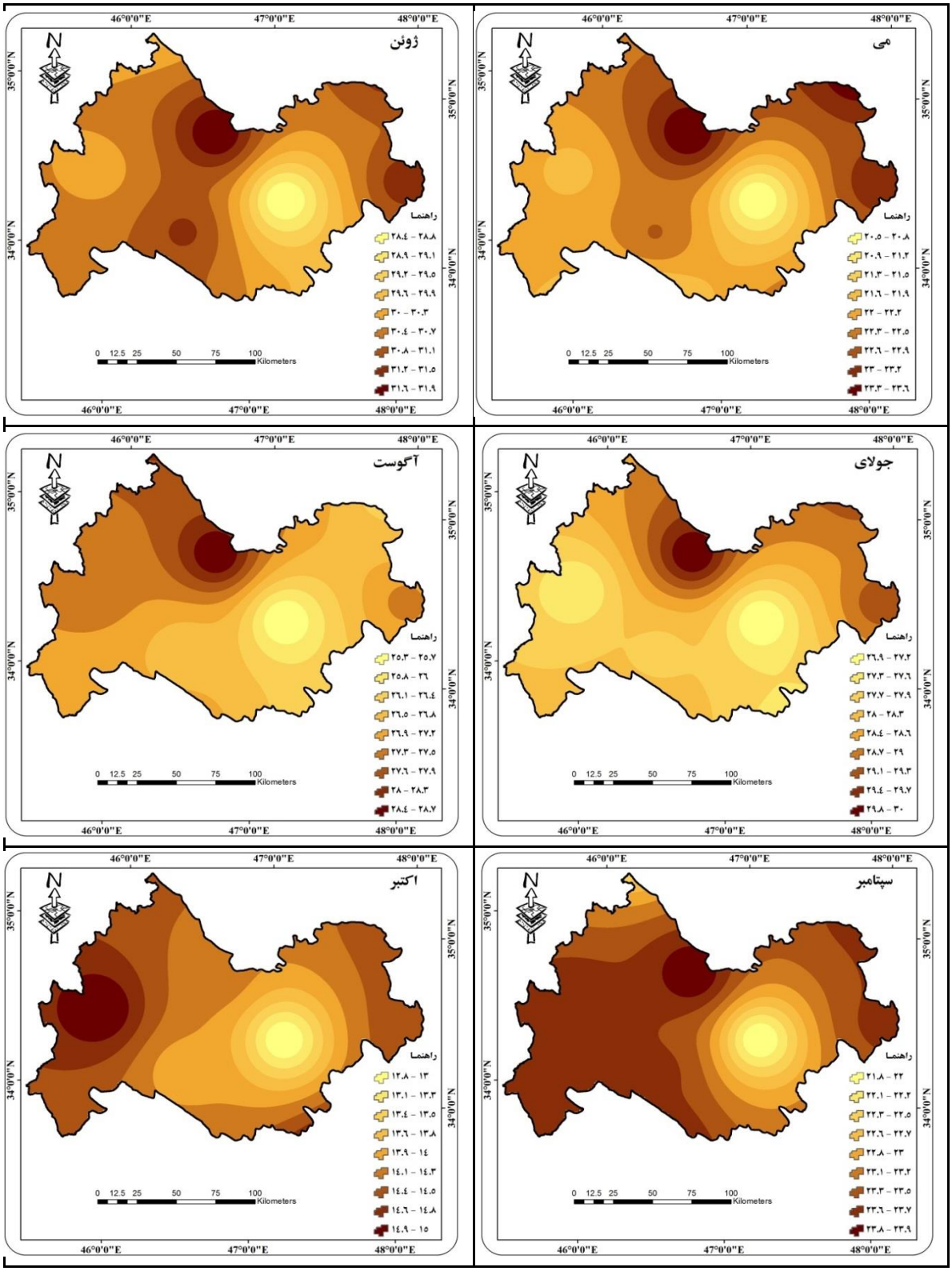


Downloaded from journals.hsu.ac.ir at 11:21 IRDT on Saturday April 30th 2016

www.SID.ir

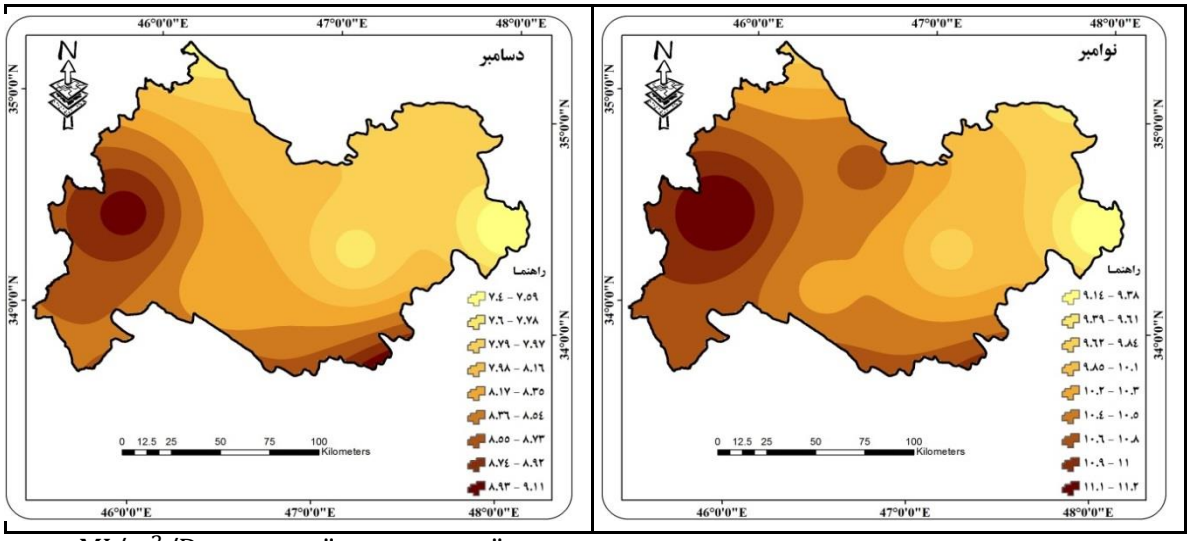
Archive of SID

Downloaded from journals.hsu.ac.ir at 11:21 IRDT on Saturday April 30th 2016



www.SID.ir

Archive of SID



شکل۲: مقدار تابش دریافتی سطح زمین در استان کرمانشاه با مدل "برد و هول‌استورم" بر حسب $MJ/m^2/Day$

در فصل تابستان و پس از حداکثر ارتفاع خورشید در اول تیرماه، ارتفاع خورشید و مقدار تابش دریافتی رفته‌رفته کاهش می‌یابد، تا اینکه در ماه جولای بیشترین مقدار تابش دریافتی سطح زمین به‌مانند ماه ژوئن در ایستگاه‌های کنگاور و روانسر به‌مقدار ۴۲ مگاژول بر مترمربع رخ می‌دهد که علت آن دریافت تابش مستقیم بیشتر در این ایستگاه‌هاست. کمترین مقدار تابش این ماه در اسلام‌آبادغرب به ۳۲ مگاژول بر مترمربع می‌رسد. مجدداً در ماه دسامبر سطح زمین کمترین مقادیر تابش خود را دریافت می‌دارد.

اختلافات مکانی تابش در نقاط مختلف منطقه در ماه‌های دوره‌ی گرم زیاد است. این اختلاف در ماه ژوئن به بیشترین حد خود یعنی ۱۰ مگاژول بر مترمربع می‌رسد که دلیل آن دریافت تابش مستقیم بیشتر در مناطق مرتفع و در مقابل، بهره‌مندی کمترِ مناطق پست از تابش مستقیم به‌دلیل نقش حذفی بخار آب و سایر عوامل اتمسفری است. برعکس در ماه‌های دوره‌ی سرد سال اختلافات تابش بین مناطق مختلف استان کاهش می‌یابد؛ به‌نحوی‌که در ماه‌های ژانویه و دسامبر مقدار این اختلاف مکانی به ۴ مگاژول بر مترمربع می‌رسد که می‌توان آن‌را به افزایش تابش پراکنده به‌دلیل مسیرهای طولانی اتمسفری ناشی از زاویه‌ی تابش مایل، به‌خصوص در ایام ابری این ماه‌ها نسبت داد (شکل ۲).

۵- نتیجه‌گیری

تابش خورشیدی مهم‌ترین عنصر هواشناسی است که به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر تمام فرایندهای آب‌وهوایی اثر می‌گذارد. علیرغم اهمیت این عنصر، اندازه‌گیری مستقیم آن به‌طور محدود انجام می‌شود. برآورد درست مقدار تابش خورشیدی از اصول اولیه و مهم طراحی شبکه‌ها و برنامه‌ریزی آبیاری است. بیشتر مطالعات قبلی انجام‌شده در ایران برای برآورد تابش خورشیدی از مدل انگستروم و واسنجی ضرایب آن استفاده کرده‌اند. برخی از مطالعات نیز از روش‌های دیگری مانند مدل‌های رگرسیونی و شبکه‌های عصبی مصنوعی با تأثیر دادن عوامل مؤثر در تابش بهره برده‌اند. این پژوهش سعی داشته‌است تا مقادیر تابش دریافتی را در استان کرمانشاه با مدل برد و هول‌استورم با بهره‌گیری از تمامی پارامترهای دخیل بر تابش از جمله طول روز، رطوبت، جرم جو، فشار هوا، آب قابل بارش، آلبدوی جو، مقدار جذب در جو و مقدار جذب به وسیله‌ی ازن برآورد نماید و تغییرات فضایی ـ زمانی آن‌را تحلیل کند. برآورد تابش با این مدل با استفاده از مؤلفه‌ها و روابطی که تابع شرایط اقلیمی محل هستند، انجام می‌شود.

Downloaded from journals.hsu.ac.ir at 11:21 IRDT on Saturday April 30th 2016

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from journals.hsu.ac.ir at 11:21 IRDT on Saturday April 30th 2016

با توجه به نتایج برآورد تابش در استان کرمانشاه با استفاده از مدل برد و هول‌استورم، کمترین مقادیر تابش خورشیدی در منطقه در ماه‌های دسامبر و ژانویه، و بیشترین آن در ماه ژوئن اتفاق می‌افتد (جدول ۳). کاهش دما در سطح استان با افزایش فشار و رطوبت نسبی همزمان بوده که این امر موجب کاهش مقدار تابش دریافتی شده‌است. عموماً بیشترین مقادیر تابش دریافتی، مربوط به مناطق مرتفع است. اختلافات مکانی تابش در منطقه در ماه‌های دوره‌ی گرم سال، به‌دلیل نقش تابش مستقیم در ارتفاعات و حذف تابش توسط بخار آب و سایر عوامل اتمسفری در مناطق پست، بیشتر است. در حالی‌که در دوره‌ی سرد سال، اختلافات مکانی به‌دلیل اثر تابش پراکنده کاهش می‌یابد. مقایسه‌ی مقدار تابش خورشیدی اندازه‌گیری - شده توسط پیرانومتر در ایستگاه کرمانشاه که معادل ۴۲۲/۸ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز گزارش شده‌است (صابری‌فر، ۱۳۸۹: ۴۶) با رقم به‌دست آمده از این تحقیق که با استفاده از رابطه‌ی ۹ معادل ۴۰۲/۹ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز برآورد گردیده‌است، نشانگر دقت قابل‌قبول تخمین‌هاست. همچنین مقایسه‌ی نتایج این تحقیق با تحقیق صفاری‌پور و مهرابیان (۲۰۱۱: ۱۵۳۷) که مقادیر تابش دریافتی سطح زمین را در شهر کرمان با مدل برد و هول‌استورم برآورد نموده‌اند، گواه دیگری بر صحت نسبی نتایج مطالعه‌ی حاضر است. بر این اساس با توجه به ارقام جدول ۳ مقادیر تابش ماه‌های ژانویه و ژوئن ایستگاه کرمانشاه به‌ترتیب ۷/۷ و ۲۸/۴ مگاژول بر مترمربع در روز برآورد شده‌است. همین مقادیر توسط محققین فوق‌الذکر در ایستگاه کرمان با توجه به عرض جغرافیایی پایین‌تر و ارتفاع بیشتر به‌ترتیب ۱۳/۱۵ و ۲۸/۱۵ مگاژول بر مترمربع در روز برآورد شده‌است که منطقی به‌نظر می‌رسد. برای تکمیل مطالعات در آینده می‌توان کارایی مدل "برد و هول‌استورم" را در سایر نقاط کشور آزمون کرد. همچنین بررسی‌های دقیق‌تری در زمینه‌ی نقش اثر شیب، جهت شیب و شرایط پوشش سطح زمین در مقدار تابش دریافتی انجام داد. به‌نظر می‌رسد برای آزمون تأثیر و سنجش نقش عوامل مختلف در مقدار تابش دریافتی در نقاط مختلف کشور، انجام مطالعات بیشتر با شبکه‌های عصبی مصنوعی، مدل‌های آماری و رگرسیونی و مقایسه‌ی نتایج به‌دست‌آمده با مقادیر مشاهداتی کماکان جزء ضرورت‌های پژوهشی باشد.

۶- منابع

۱- ابراهیم‌پور، عبدالسلام، مهدی معرفت و هادی نیری، ۱۳۸۸الف، ارائه‌ی یک رابطه‌ی جدید برای تخمین میزان تابش کل در اقلیم‌های مختلف ایران، فضای جغرافیایی، دوره‌ی ۹، شماره‌ی ۲۵؛ صص۲۲-۱.

۲- ابراهیم‌پور، عبدالسلام، مهدی معرفت و هادی نیری، ۱۳۸۸ب، مقایسه‌ی روش‌های مختلف پیش‌بینی تابش دیفیوز برای اقلیم‌های ایران، فضای جغرافیایی، دوره‌ی ۹، شماره‌ی ۲۷؛ صص۲۱-۱.

۳- افراخته، حسن، فرشته احمدآبادی و حسن احمدآبادی، ۱۳۹۳، بهره‌برداری از انرژی خورشیدی در مناطق روستایی (مطالعه‌ی موردی: دهستان عشق‌آباد، شهرستان نیشابور)، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره‌ی ۴۶، شماره‌ی ۱، صص ۳۰-۱۵.

۴- آقاشریعتمداری، زهرا، علی خلیلی، پرویز ایران‌نژاد و عبدالمجید لیاقت، ۱۳۹۰، واسنجی و تغییرات سالانه‌ی ضرایب رابطه‌ی آنگستروم- پرسکات (a وb) در مقیاس‌های زمانی مختلف، مطالعه‌ی موردی: ایستگاه تهران شمال (اقدسیه)، نشریه‌ی آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)؛ شماره‌ی (۴)۲۵، صص ۹۱۱-۹۰۵.

۵- بیات، کامیار و سیدمجید میرلطیفی، ۱۳۸۸، تخمین تابش کل خورشیدی روزانه با استفاده از مدل‌های رگرسیونی و شبکه‌های عصبی مصنوعی، دوماهنامه‌ی علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دوره‌ی ۱۶، شماره‌ی ۳، صص ۲۸۰-۲۷۰.

۶- خسروی، محمود، سعید جهانبخش اصل و جعفر درخشی، ۱۳۹۲، برآورد و پهنه‌بندی تابش خورشیدی دریافتی در سطح افقی با استفاده از پارامترهای اقلیمی در محیط GIS، مطالعه‌ی موردی: استان آذربایجان‌شرقی، فضای جغرافیایی، دوره‌ی ۱۳، شماره‌ی ۴۳، صص ۶۳-۳۹.

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from journals.hsu.ac.ir at 11:21 IRDT on Saturday April 30th 2016

۷- خلیلی، علی، پرویز ایران‌نژاد و زهرا آقاشریعتمداری، ۱۳۸۹، مقایسه‌ی کارآیی مدل‌های یک متغیره و روابط چند متغیره‌ی خطی در برآورد تابش دریافتی بر سطح افقی در سطح زمین با استفاده از متغیرهای هواشناسی، مطالعه‌ی موردی: ایستگاه تهران شمال (اقدسیه)، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران، ۱۴۷-۱۴۳.

۸- سلطانی، سعید و سعید مرید، ۱۳۸۴، مقایسه‌ی برآورد تابش خورشید با استفاده از روش هارگریوز- سامانی و شبکه‌های عصبی مصنوعی، مجله‌ی دانش کشاورزی، سال ۱۵، شماره‌ی ۱ (پیاپی ۵۷)، صص۷۷-۶۹.

۹- صابری‌فر، رستم، ۱۳۸۹، پتانسیل بهره‌مندی از انرژی خورشیدی در خراسان جنوبی، اقتصاد انرژی، شماره‌ی ۱۳۲-۱۳۱،صص۴۷-۴۳.

۱۰- صفاری‌پور، محمدحسن و مظفرعلی مهرابیان، ۱۳۸۸، پیش‌بینی مقدار کل تابش خورشیدی در کرمان با استفاده از مشخصات هندسی، نجومی، جغرافیایی و هواشناسی، مجله‌ی علمی و پژوهشی شریف، شماره‌ی ۵۱، صص ۱۳-۳.

۱۱- صفایی، بتول، مرتضی خلجی اسدی، حبیب تقی‌زاده، افسانه جیلاوی، گیتی طالقانی و ماندانا دانش، ۱۳۸۴، برآورد پتانسیل تابش خورشیدی در ایران و تهیه‌ی اطلس تابشی آن، مجله‌ی علوم و فنون هسته‌ای، شماره‌ی ۳۳، صص۳۴-۲۷.

۱۲- عرفانیان، مهدی و سحر بابایی حصار، ۱۳۹۲، ارزیابی مدل هیبرید در تخمین تابش خورشیدی روزانه در تعدادی از ایستگاه‌های تابش‌سنجی ایران، نشریه‌ی آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۷، شماره‌ی ۱، صص ۱۶۸-۱۵۸.

۱۳- عشورنژاد، غدیر، هادی پاک‌طینت و علی درویشی بلورانی، ۱۳۹۳، مدلسازی مکان بهینه‌ی استقرار پانل‌های خورشیدی در پشت بام ساختمان‌ها با استفاده از GIS، مطالعه‌ی موردی حد واسط خیابان وصال تا خیابان قدس شهر تهران، فصلنامه‌ی جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای، دوره‌ی ۴، شماره ۱۲، صص ۵۰-۳۳.

۱۴- علیزاده، امین و نجمه خلیلی، ۱۳۸۸، تعیین ضرایب معادله‌ی آنگستروم و توسعه‌ی یک معادله‌ی رگرسیونی برآوردتابش خورشیدی (مطالعه‌ی موردی: منطقه‌ی مشهد)، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۳، شماره‌ی ۱، صص ۲۳۸-۲۲۹.

۱۵- فولادمند، حمیدرضا و سحر هادی‌پور، ۱۳۹۲، واسنجی و ارزیابی روش‌های مختلف تخمین تابش خورشیدی روزانه (مطالعه‌ی موردی: رشت)، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۸، شماره‌ی ۲، صص۱۲-۱.

۱۶- مجنونی هریس، ابوالفضل، شاهرخ زند پارسا، علیرضا سپاسخواه و محمدجعفر ناظم‌السادات، ۱۳۸۷، توسعه و ارزیابی مدل‌های تخمین تابش خورشیدی بر اساس ساعات آفتابی و اطلاعات هواشناسی، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌وخاک، جلد ۱۲، شماره‌ی ۴۶، صص۴۹۹-۴۹۱.

۱۷- معینی، سام، شهرام جوادی، محسن کوکبی و محسن دهقان منشادی، ۱۳۸۹، برآورد تابش خورشیدی در ایران با استفاده ازیک مدل بهینه، نشریه‌ی انرژی ایران، دوره‌ی ۱۳، شماره ۲، صص ۱۰-۱.

۱۸- یزدان‌پناه، حجت‌الله، راضیه میرمجربیان و حمید برقی، ۱۳۸۹، برآورد تابش کلی خورشید در سطح افقی زمین در اصفهان، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۱، شماره‌ی ۱ (پیاپی ۳۷)، صص۱۰۴-۹۵.

19- 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.

20- Angstrom, A., 1924, Solar and Terrestrial Radiation, Quart. J. Roy. Met. Soc., Vol. 50, pp. 121–125.

21- Badescu, V., 2008, Modeling Solar Radiation at the Earth's Surface, Springer, ISBN: 978-3-540-77454-9, PP 327 – 392.

22- Bakirci, K., 2009, Models of Solar Radiation with Hours of Bright Sunshine; A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews; Vol. 13, pp. 2580-2588.

23- Belcher, B. N. and DeGaetano, A. T., 2007, A Revised Empirical Model to Estimate Solar Radiation Using Automated Surface Weather Observations, Solar Energy, Vol. 81, No. 3, pp. 329–345.

24- Bird, R. E. and Hulstrom, R. L., 1981, A Simplified Clear Sky Model for Direct and Diffuse Insolation on Horizontal Surfaces, Technical Report, Solar Energy Research Institute, Golden, Colorado, SERI/TR-642-761.

www.SID.ir

Archive of SID

25- Chen, R.; Kang, E.; Lu, S.; Yang, J.; Ji, X.; Zhang Z. and Zhang, J., 2006, New Methods to Estimate Global Radiation Based on Meteorological Data in China, Energy Conversion and Management, Vol. 47, No. 18-19, pp. 2991–2998.
26- Daneshyar, M., 1978, Solar Radiation Statistics for Iran, Solar Energy, Vol. 21, pp. 345-349.
27- 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.
28- Dincer, I., 2000, Renewable Energy and Sustainable Development: A Crucial Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp. 157-175.
29- Hansen, J. W., 1999, Stochastic Daily Solar Irradiance for Biological Modeling Applications, Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 94, pp. 53-63.
30- 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.
31- Kazemi Karegar, H., Zahedi,A., Ohis,V., taleghani, G. and Khalaji, M., 2014, Wind and Solar Energy Developments in Iran, available at: http://www.itee.uq.edu.au/ ~aupec/aupec02/Final-Papers/ H-Kazemi1.pdf. Accessed: August 15, 2014.
32- Leckner, B., 1978, The Spectral Distribution of Solar Radiation at the Earth's Surface-Elements of a Model, Solar Energy, Vol. 20, No. 2, pp. 143–150.
33- Maghrabi, A. H., 2009, Parameterization of Simple Model to estimate Monthly Global Solar Radiation Based on Meteorological Variables and Evaluation of Existing Solar Radiation Models for Tabuk, Saudi Arabia, Energy Conversion and Management, Vol. 50, pp. 2754-2760.
34- Moghadam, H., Farshchi Tabrizi, F. and Zolfaghari Sharak, A., 2011, Optimization of Solar Flat Collector Inclination, Desalination, Vol. 256, No. 1-3, pp. 107-111.
35- Paltridge, G. W. and Proctor, D., 1976, Monthly Mean Solar Radiation Statistics for Australia, Solar Energy, Vol. 18, pp. 235–243.
36- Prescott, J. A., 1940, Evaporation from a Water Surface in Relation to Solar Radiation, Trans. R. Soc. South Aust., Vol. 64, pp. 114–118.
37- Sabbagh, J., Sayigh, A. A. M. and Al-Salam, E. M. A., 1977, Estimation of the Total Solar Radiation From Meteorological Data, Solar Energy, Vol. 19, pp. 307-311.
38- Sabziparvar, A. A., 2007, 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, Online: http://dx.doi.org /10.1155/ 2007/94786, Doi: 10.1155/2007/94786.
39- 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 and Mass Transfer, Vol. 47, No. 12, pp. 1537–1551.
40- Samimi, J., 1994, Estimation of Height-Dependent Solar Irradiation and Application to the Solar Climate of Iran, Solar Energy, Vol. 52, No. 5, pp. 401-409.
41- Soltani, A., Meinke, H. and De Voil, P., 2004, Assessing Linear Interpolation to Generate Daily Radiation and Temperature Data for Use in Crop Simulations, Eur. J. Agron, Vol. 21, pp. 133-148.
42- Wu, C., Liu, Y. and Wang, T., 2007, Methods and Strategy for Modeling Daily Global Solar Radiation with Measured Meteorological Data; Case Study in Nanchang Station, China, Energy Conversion and Management, Vol. 47, pp. 2447-2452.

Downloaded from journals.hsu.ac.ir at 11:21 IRDT on Saturday April 30th 2016

www.SID.ir