فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۴۷، زمستان ۹۷

واسنجی تابش دریافتی سطح زمین در پهنه شمال‌شرق ایران

مهناز رستمیان[۱] *

mrostamian1394@yahoo.com

امیرحسین حلبیان [۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۲۹ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۶**

چکیده

تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین (Rs)، در بسیاری از زمینه‌های مهندسی کشاورزی، آبیاری و هیدرولوژی کاربرد گسترده‌ای دارد و به این دلیل روش‌های مختلفی برای تخمین آن ارایه شده است که معادله آنگستروم – پرسکات یکی از مهم‌ترین معادلات موجود در این زمینه است. این معادله دارای ضرایب تجربی است که برای هر موقعیت متفاوت می‌باشند. به دلیل اهمیت Rs، روش‌های مختلفی برای تخمین آن توسعه داده شد. پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های میانگین روزانه ساعت آفتابی ایستگاه‌های سینوپتیک وابسته به اداره کل هواشناسی کشور در گستره خراسان‌شمالی، خراسان‌رضوی و خراستان جنوبی، طی بازه‌ی ۲۰۱۶-۱۹۸۸ به برآورد تابش رسیده به سطح زمین پرداخته است. جهت برآورد تابش خورشیدی در سطح زمین از روش انگستروم_ پرسکات بهره گرفته شد. در این پژوهش با استفاده از روش فرر ضرایب a و b محاسبه و سپس در معادله آنگسترم جایگذاری گردید، در نهایت با استفاده از مدل درون‌یابی کریجینگ نقشه‌های هم‌ارزش تابش گستره مورد مطالعه ترسیم و تحلیل گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که مناطق جنوب، جنوب شرق منطقه مورد مطالعه، به‌خصوص ایستگاه نهبندان پتانسیل دریافت تابش خورشیدی، بیش‌تری دارند. کمینه مقادیر تابش دریافتی ماهانه‌ی در ماه‌های آذر و دی در شمال و شمال‌غرب منطقه مورد مطالعه قرار دارد، که به ترتیب مقادیر ۷/۳۶، ۷/۹۸ مگاژول بر متر مربع می‌باشد. بیشینه مقدار تابش دریافتی، در ماه تیر با مقدار ۳۰/۲۴ مگاژول بر مترمربع اتفاق می‌افتد و مناطق جنوب و جنوب‌شرق تا مرکز پهنه به‌خصوص ایستگاه نهبندان و به ترتیب فصول تابستان و بهار از نظر دریافت تابش خورشیدی، پتانسیل بیش‌تری دارند.

کلمات کلیدی: تابش خورشیدی، ساعت آفتابی، مدل فرر، آنگستروم- پرسکات، شمال‌شرق ایران.

۱- کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه زنجان، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۲- دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

Human & Environment., No. 47, Winter 2019

Calibration of earth surface received radiation in north east of Iran

Mahnaz Rostamian [1*] *(Corresponding Author)*
mrostamian1394@yahoo.com
Amir Hossein Halabian [2]

Abstract

The solar radiation reached the earth surface (RS) has wide applications in many areas of agriculture engineering, irrigation and hydrology and that's why various methods have been represented for its estimation, which Angstrom – Prescott equation is one of the most important equation in this field. This equation has experimental coefficients that are different for any situation. Because of the importance of Rs, various methods have developed for its estimation. The radiation reached to earth surface is evaluated by using average daily sunny hours data of synoptic affiliated to the general state metrological office in the north of Khorasan, Khorasan Razavi and southern Khorasan 1988- 2016. The Angstrom – prescient method has been used for estimating solar radiation of earth surface in the studied area. In this research, the a & b coefficients were calculated by using Ferrer's method fastly and then have been placed in Angstrom equation. Finally, the radiation equivalent map of the studied area has been drawn and analyzed by using kriging interpolation model. The research outcome indicated that southern, south-east regions and at the next level, the center of the studied area especially Nehbndan station have more potential for receiving solar radiation. The minimum monthly received radiation of area during January and December month in the north and northwest of this region, which are 7.98 and 7.36 megajoules per square meter respectively. The maximum received radiation of area occurs in July about 30.24 megajoules. South and south-east regions up to the center of the of the area Nehbandan station have more potential for receiving in terms of radiation during summer & spring seasons respectively.

Key Words: Solar Radiation, Sundial, Ferrer Model, Angstrom- Prescott, North East of Iran.

1- MSc in Climatology, University of Zanjan, Iran. **(Corresponding Author)*
2-Associate Professor, Department of Geography, Payame Noor University, Tehran, Iran.

مقدمه

انرژی تابشی خورشید سرمنشا انرژی‌های روی کره زمین است که یکی از منابع مهم انرژی پاک به ویژه در کشور ما است. انرژی خورشید از معروف‌ترین انرژی‌های پاک و انرژی‌های غیر فسیلی است و استفاده از آن کم‌ترین آلودگی را در محیط زیست به وجود می‌آورد. دریافت اطلاعات انرژی خورشید به دو روش امکان‌پذیر است. روش اول اندازه‌گیری مستقیم انرژی خورشید توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری مانند پیرانومتر و پیرهیلومتر می‌باشند. در روش دوم که با استفاده از روش‌های تجربی به برآورد تابش می‌پردازد. مهم‌ترین پارامتر که در بیش‌تر معادلات تجربی برآورد تابش خورشیدی از آن استفاده می‌شود، ساعات آفتابی است. تحقیقات نشان داده است که ساعات آفتابی مهم‌ترین عامل تعیین کننده‌ی میزان تابش خورشیدی است. هدف از پژوهش حاضر واسنجی و برآورد مقدار انرژی دریافتی در سطح زمین در سه استان خراسان‌شمالی، رضوی و جنوبی، با استفاده از روش تجربی آنگستروم[1]و نیز با کمک داده های ساعت آفتابی و عرض جغرافیایی می باشد، از آنجا که هزینه دستگاه‌های اندازه گیری بالا بوده؛ با استفاده از روش‌های فیزیکی و محاسبات سعی می شود تا مقدار تابش با کم‌ترین مقدار خطا برآورد گردد.

پیشینه پژوهش

در ایران و جهان تاکنون پژوهش‌های زیادی توسط محققان مختلف در زمینه برآورد انرژی خورشیدی با روش های مختلفی صورت گرفته است. از جمله این مطالعات می توان به موارد زیر اشاره نمود: چو و لی[2]با استفاده از روش انگستروم به برآورد تابش خورشیدی در مالزی پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که در طول یک ماه همبستگی خطی وابستگی رخداد فرین‌های بیشینه و کمینه روزانه طول ساعت آفتابی بسیار ضعیف است. برآوردهای بدست آمده برای شهرهای نزدیک تایلند و سنگاپور موافقت بیش‌تری را با داده‌های این کشورها نشان دادند (۱). لوپز و همکاران[3] به برآورد تابش خورشیدی از داده‌های مودیس[4]در جنوب اسپانیا پرداختند. آن‌ها یک پدیده دیگر به مدل پارامتری برای تخمین تابش خورشیدی تحت شرایط ابرناکی اضافه نمودند. محتوای بخار آب قابل بارش جو تنها ورودی تجربی مدل می‌باشد (۲). ماکوچی و همکاران[5] مدلی جدید برای برآورد و ارزیابی تابش خورشیدی در مراکش شمالی ارایه دادند نتایج‌شان نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی برای برآورد تابش خورشیدی در تمام فصل‌های سال برای موقعیت مورد مطالعه و برای روز مورد نظر با استفاده از ورودی‌های ارتفاع (متر)، طول جغرافیایی (درجه) و عرض جغرافیایی (درجه) مورد استفاده قرار می گیرد (۳). ژانک و همکاران[6] به مرور انتقادی بر مدل‌های مورد استفاده برآورد تابش خورشیدی طی یک دهه قبل پرداختند. در این مطالعه روش‌های مورد استفاده در مقالات مرتبط با تابش خورشید مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های کسری زمانی تابش آفتاب و شبکه‌های عصبی مصنوعی عملکرد مشابهی دارند که برای برآورد ماهانه متوسط رزوانه تابش جهانی استفاده می‌شود. در حالی که بیش‌تر کارها برای مطالعه روش برآورد به فواصل زمانی کوتاه‌تر و مکانیزم‌های اتمسفر برای تابش خورشید نیاز دارند (۴). ربیع و همکاران[7]با استفاده از داده‌های چند سال اخیر و مدل شبکه های عصبی مصنوعی برای برآورد متوسط روزانه تابش خورشیدی در کویت پرداختند. مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی قادر بوده با استفاده از روش غیرخطی به پیش‌بینی بپردازد. توسعه پیش‌بینی وابسته به این است که دیدگاه‌های مقامات کشوری، سرمایه‌گذاران و نیروی مهندسی سیستم، و تعیین مکان‌های مناسب برای تاسیسات خورشید و شایستگی فنی-اقتصادی با یکپارچه سازی

1-Angstrom
2-S.L. Lee

3-López et al
4-MODIS
5-Mghouchi et al
6-Zhang et al
7-Rabee et al

انرژی خورشیدی در مقیاس طولانی مدت باشد (۵). یالدریم و همکاران[1] به برآورد روزانه تابش جهانی خورشید با استفاده از رابطه کاربری گرافیکی در منطقه مدیترانه شرقی ترکیه در یک دوره ۱۱ ساله پرداختند. آن‌ها روش‌های مختلف مدل های مختلف تابش خورشیدی را تحلیل نمودند. همچنین یک مدل بهینه شده بر اساس شبکه عصبی مصنوعی و مدل آنگستروم - پرسکات برای برآورد تابش خورشیدی جهانی روزانه ارایه دادند. و یک مدل بهینه شده بر اساس شبکه عصبی مصنوعی و مدل آنگستروم - پرسکات [2]برای برآورد تابش خورشیدی جهانی روزانه ارایه دادند (۶) . آچور[3]مدلی ترکیبی برای برآورد تابش خورشیدی ماهانه در جنوب الجزایر برای دوره ۵ ساله ارایه دادند. نتایج به دست آمده آن‌ها نشان داد که مدل جدید هیبرید می‌تواند قادر به پیش بینی تابش خورشیدی جهانی با دقت عالی در این مکان باشد (۷). رودریگو و همکاران[4]با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم ژنتیکی به برآورد تابش جهانی خورشید پرداختند. آن‌ها از تصاویر با یاخته‌های ۳ کیلومتر و در بازه‌ی ژانویه تا دسامبر ۲۰۰۸ بهره بردند. برآیند مطالعه ضریب همبستگی ۹۹ درصد را نشان داد. برآوردهای تولید شده نسبتا دقیق بوده و خطای فضایی نسبتا یکنواختی را نشان دادند. مدل فوق حتی برای روزهای ابری نیز برآوردهای قابل اعتمادی را نشان داده است (۸). خلیلی و رضایی صدر به برآورد تابش کلی خورشید در گستره ایران بر مبنای داده‌های اقلیمی در دوره (۱۹۶۶-۱۹۹۱) باروش انگستروم پرداختند و نتایج آنها نشان داد که به جز ایستگاه‌های جاسک و زاهدان که آنالیزها منجر به رابطه معنی‌داری برای آن‌ها نشده است، در سایر ایستگاه‌ها روابط در سطح ۰/۰۱ معنی دار می‌باشد. ضریب A معادله آنگستروم در شبکه تابش‌سنجی ایران بین ۰/۲۱ در یزد تا ۰/۳۹ در کرمانشاه متفاوت می‌باشد (۹). صفائی و همکاران در تحقیقی به برآورد پتانسیل تابش خورشیدی در ایران و تهیه اطلس تابشی آن در یک دوره ۵ تا ۱۱ ساله با استفاده از سه مدل ریاضی: آنگستروم، روش حداکثر احتمال و مدل هیبرید اقدام کردند و مدل هیبرید بهترین برازش را با این داده‌ها داشت و حاصل کار آنها ۱۲ نقشه مربوط به میانگین روزانه تابش کلی خورشیدی در هر ماه است (۱۰). علیزاده و خلیلی در پژوهشی به تعیین ضرایب معادله آنگستروم و توسعه یک معادله رگرسیونی برآورد تابش خورشیدی در مشهد در سالهای ۱۳۸۰ الی ۱۳۷۸ ضرایب رابطه آنگسترم – پرسکات واسنجی پرداختند و همچنین یک معادله رگرسیونی منطقه‌ای ارائه دادند نتایج آنالیز آماری روابطی که بررسی کردند نشان داد که دقت معادله منطقه ای چند متغیره با رابطه آنگستروم – پرسکات اختلاف معنی داری نداشته است (۱۱). یزدان پناه و همکاران در تحقیقی برآورد تابش کلی خورشید در سطح افقی زمین در اصفهان با استفاده از آمار هواشناسی ایستگاه ازن سنجی اصفهان در دوره آماری ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۷ نسبت به یافتن مدل مناسب برآورد شدت تابش خورشیدی رسیده به سطح از روی آمار ساعات آفتابی با استفاده از مدل آنگستروم اقدام کردند ونتایج این تحقیق نشان داد مدل تهیه شده بویژه برای ماه‌های می و آگوست دقت بسیار بالایی دارد. و مقدار ضریب رگرسیون مدل ساخته شده ما معادل ۰/۹۱ است، ضرایب رگرسیون برای مدل‌های، فرر و ام سی کلوچ ۰/۶ و ۰/۷ است (۱۲). معینی و همکاران در تحقیقی به برآورد تابش خورشیدی در ایران با استفاده از یک مدل بهینه پرداختند و از مدل آنگستروم برای برآورد میزان تابش خورشید روی سطح افقی بهره گرفتند و تابش کل را برای نقاط مختلف ایران وهمچنین محاسبه طول روز و تابش فراجو را برآورد کردند (۱۳). سبزی‌پرور و بیات‌ورکشی به ارزیابی دقت روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و عصبی – فازی در شبیه‌سازی تابش کل خورشیدی طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۶ در ایستگاه‌های کرمان، ارومیه، شیراز و اصفهان پرداختند و و نتیجه گرفتند روابط تجربی مورد استفادشان در تخمین تابش خورشیدی موید ارتباط مناسب بین پارامترهای هواشناسی و مقدار تابش خورشیدی می‌باشد و بهترین مدل شبکه عصبی مصنوعی با تابع فعالیت تانژانت

1-Yıldırım et al
2-Angstrom- Prescott
3-Achour et al
4-Rodriguez et al

هایپربولیک در ایستگاه کرمان می‌باشد (۱۴). موسوی‌بایگی و اشرف در تحقیقی به شناسایی مناطق کم‌ترین میزان ابرناکی به منظور پهنه‌بندی نواحی پرتابش کشور در دوره ۱۳۸۷-۱۳۶۸ با روش درون یابی اسپیلاین (spline) اقدام نمودند و نتایج آن‌ها نشان داد که بیش‌ترین روزهای آفتابی در فروردین ماه متعلق به شهرستان بافت در اردیبهشت ماه متعلق به شهرستان خاش بوده است و همچنین اغلب مناطق مناطق ایران از استعداد و قابلیت بالایی برای استفاده از انرزی تجدیدپذیر خورشیدی برخوردارند (۱۵). پیری و همکاران در پژوهشی به مدل‌سازی تابش خورشید رسیده به زمین با استفاده از ANFIS و مدل‌های تجربی ایستگاه‌های زاهدان و بجنورد در دوره آماری به ترتیب ۵ تا ۷ ساله پرداختند و دو روش تجربی را جهت برآورد تابش روزانه خورشید واسنجی و ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند که مدل نرو فازی برآورد بهتری نسبت به دو مدل تجربی در برآورد تابش دارد (۱۶). زمانی محی آبادی در تحقیقی به پیش بینی لحظه‌ای تابش کل خورشید در شهر رفسنجان توسط شبکه عصبی برای یک سال پرداخت و نتیجه گرفت که شاخص‌های آمار میانگین خطای بایاس (MBE[1]) ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$[2]) و t برای شبکه عصبی بترتیب ۰/۰۰۳۷، ۳۶/۵۳۶۶ و ۰/۰۲۳۲ می باشند که نمایان‌گر عملکرد خوب مدل طراحی شده در شبکه عصبی است (۱۷). عرفانیان و بابایی حصار در پژوهشی به ارزیابی مدل هیبرید در تخمین تابش خورشیدی روزانه در تعدادی از ایستگاه‌های تابش‌سنجی ایران پرداختند. و مقدار کم معیارهای خطا برای مدل هیبرید بیان‌گر کارایی نسبتا بالای این مدل در تخمین تابش خورشیدی ایستگاههاس انتخابی در مقیاس روزانه می‌باشد (۱۸). هوشنگی و همکاران در تحقیقی به بررسی منطقه‌ای پتانسیل تابش خورشیدی با ارزیابی و بهینه سازی روش‌های درون یابی در سطح کشور ایران و نتایج حاصل با اعتبار سنجی متقابل مقایسه شدند. و بررسی نتایجشان نشان داد که بهینه سازی عوامل موثر در روش‌های درون یابی موجب افزایش همگرایی ۸/۳ درصدی مقادیر نتایج می‌گردد (۱۹).کرم‌پور و همکاران در پژوهشی توازن تابش در سطح شهر یزد در ماه ژانویه ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ و میانگین ماهانه ساعتی سپیدایی، شار تابش خالص در شرایط هوای صاف و ابری واکاوی کردند و به این نتیجه رسیدند که میزان سپیدایی غرب شهر به دلیل ساخت شهری بیش‌تر از شرق شهر است. و مقدار آن در روزهای که سطح شهر مرطوب بوده تا ۲ درصد کاهش پیدا می‌کند(۲۰). مجرد و همکاران با به کارگیری مدل بهینه شده‌ی برد و هول استورم در دوره‌ی زمانی ۲۰۰۹-۱۹۹۰ اقدام به برآورد تابش خورشیدی دریافتی سطح زمین در استان کرمانشاه نمودند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد بین مقادیر تابش اندازه گیری شده با پیرانومتر و مقادیر برآورد شده توسط مدل اختلاف کمی وجود دارد که نشان دهنده‌ی توانایی مدل در برآورد تابش است. و در فصول پاییز و زمستان به دلیل نقش تابش پراکنده، اختلاف تابش در مناطق مختلف استان کاهش می‌یابد (۲۱). فلاح قالهری و شاکری با به کارگیری مدل‌های آنگستروم – پرسکات به واسنجی ضرایب رابطه آنگستروم – پرسکات در ایستگاه‌های منتخب استان خراسان رضوی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که بین مقادیر تابش اندازه‌گیری شده با پیرانومتر و مقادیر تابش برآورد شده توسط رابطه بلکه اختلاف کمی وجود دارد. و همچنین نتایج حاصل از پهنه‌بندی تابش نشان داد مناطق جنوبی استان از نظر دریافت تابش خورشیدی، پتانسیل بیش‌تری دارند (۲۲).

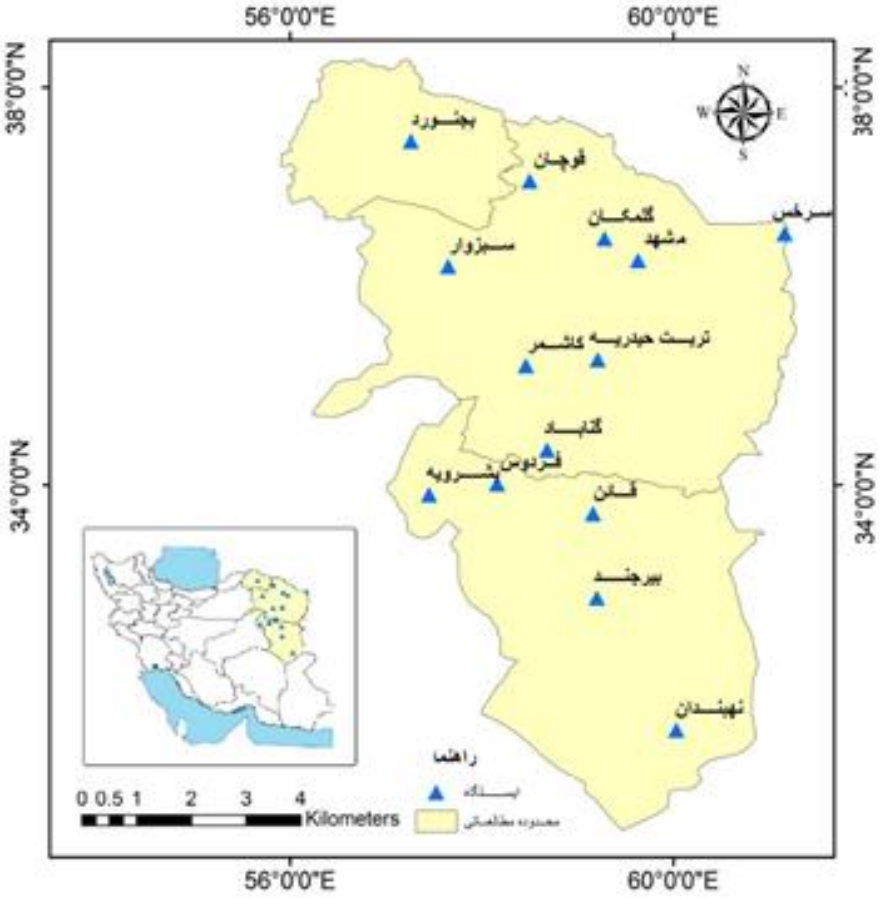
مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، پهنه‌ی شمال‌شرق متشکل از استان‌های خراسان‌جنوبی، خراسان رضوی وخراسان شمالی واقع در طول جغرافیایی از ۵۵ درجه و ۵۵ دقیقه و۵۳ ثانیه غربی تا ۶۱ درجه و ۱۷ دقیقه و ۲ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی از ۳۰ درجه و ۲۹ دقیقه و ۳۳ ثانیه جنوبی تا ۳۸ درجه و ۱۸ دقیقه و ۳ ثانیه جنوبی است مساحت پهنه ۵/ ۲۳۹۷۳۰ کیلومتر مربع می‌باشد(شکل ۱).

1-MBE
2-RMSE

این استان ها تحت تاثیر توده هوای سرد قطبی، سیبری ، تـوده هوای مدیترانه‌ایی و توده هوای گـرم و خشـک (پرفشـار جنـب حاره) قرار دارند که شرایط اقلیمی متفاوتی را برای این استان-ها رقم می زنند.



شکل۱-موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه به همراه ایستگاهای منتخب

همان‌طور که در جدول ۱ مشـاهده می‌شـود کم‌تـرین میـانگین مجموع ساعات آفتـابی بـه ترتیـب ایسـتگاه بجنـورد در اسـتان خراسان‌شمالی با ۷/۶ و در مرتبـه بعـدی ایسـتگاه‌های قوچـان، گلمکان، سرخس، مشـهد در اسـتان خراسان‌رضـوی بـا مقـادیر ۷/۷، ۸/۸،۰/۰ ،۸/۱ دارا می‌باشند و بیش‌ترین میانگین مجمـوع سـاعات آفتـابی در جنوب‌شـرق و مرکـز پهنـه بـه ترتیـب در ایستگاه‌های نهبندان و قائن و بیرجند و فرودس با مقـادیر ۹/۲، ۹/۱ به خود اختصاص داده‌اند. انحراف معیار میـزان پراکنـدگی داده‌ها را نسبت به میانگین می‌سنجد.کم‌ترین نوسانات مجمـوع ساعات آفتابی در طول پهنه در ایستگاه‌های نهبندان و بیرجنـد بـا مقـادیر (۱/۷، ۱/۹) و بیش‌تـرین نوسـانات در ایسـتگاه‌های سرخس و مشهد و گلمکان به ترتیب با مقادیر (۲/۸، ۲/۷، ۲/۵) مشاهده شد.

جدول ۱- آمار توصیفی ساعات آفتابی ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه طی سال‌های (۲۰۱۶-۱۹۸۸)

استان	ایستگاه	میانگین	انحراف معیار	واریانس یا پراش	کمینه	بیشینه
خراسان جنوبی	بشرویه	۸/۳	۲/۲	۴/۸	۵/۳	۱۱/۸
	بیرجند	۹/۱	۱/۹	۳/۶	۶/۶	۱۱/۹
	فردوس	۹/۱	۲/۱	۴/۲	۶/۰	۱۲/۱
	قائن	۹/۱	۲/۱	۴/۶	۶/۲	۱۲/۳
	نهبندان	۹/۲	۱/۷	۲/۸	۶/۸	۱۱/۸
خراسان رضوی	تربت حیدریه	۸/۹	۲/۳	۵/۵	۵/۸	۱۲/۳
	سبزوار	۸/۵	۲/۲	۴/۷	۵/۶	۱۱/۵
	سرخس	۸/۰	۲/۸	۷/۹	۴/۳	۱۲/۰
	قوچان	۷/۷	۲/۴	۶/۰	۴/۶	۱۱/۳
	کاشمر	۸/۸	۲/۲	۴/۷	۵/۸	۱۱/۹
	گلمکان	۸/۰	۲/۵	۶/۲	۵/۰	۱۱/۶
	گناباد	۸/۸	۲/۱	۴/۳	۶/۰	۱۲/۰
	مشهد	۸/۱	۲/۷	۷/۳	۴/۶	۱۲/۱
خراسان شمالی	بجنورد	۷/۶	۲/۳	۵/۵	۴/۶	۱۰/۹

روش تحقیق

در این تحقیق برای برآورد میزان تابش دریافتی سطح زمین در استان‌های خراسان‌رضوی، خراسان‌جنوبی و خراسان شمالی از میانگین داده‌های روزانه ساعات آفتابی ۱۳ ایستگاه سینوپتیک منطقه که دارای آمار طولانی، طی یک بازه‌ی زمانی ۲۸ ساله (۲۰۱۶-۱۹۸۸) بودند از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد و سپس استفاده گردید، البته اندازه‌گیری مستقیم انرژی خورشید توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری مانند پیرانومتر [1]پیرهیلومتر [2]می‌باشد. در منطقه مورد بررسی، اکثر ایستگاه‌ها مجهز به دستگاه‌های اندازه‌گیری تابش خورشید نبودند، یا اندازه‌گیری تابش در آن نقاط به صورت پراکنده می‌باشد لذا به برآورد مقدار تابش دریافتی سطح زمین در شمال‌شرق ایران پرداخته شد، در این تحقیق ابتدا با استفاده از مدل فرر ضرایب a و b محاسبه گردید سپس با جایگذاری این ضرایب در معادله آنگستروم – پرسکات انرژی خورشید برآورد گردید. (روابط ۶-۱). مقدار تابش دریافتی سطح زمین در خراسان‌های رضوی،شمالی، جنوبی برای۱۲ ماه براساس روش کریجینگ [3] نقشه آنها در Arc GIS ترسیم شد شکل (۲).

مدل انگستروم :

پریسکات از طریق رابطه زیر برآورد می گردد (۲۱):

$$\frac{\overline{H}}{\overline{H}_0} = a + b\left(\frac{\overline{n}}{N}\right) \quad (1)$$

در رابطه فوق $\overline{H}$ بیان‌گر میانگین تابش کل روزانه درهر ماه می‌باشد.

$$\overline{H}_0 = \frac{24 \times 3.6 \times 10^{-3} \times I_{sc}}{\pi} \times \left[1 + 0.033 \cos\left[360 \frac{\overline{D}}{365}\right]\right] \times \quad (2)$$

$$cos\emptyset cos\delta sin\omega + \omega sin\emptyset sin\delta$$

$\overline{H}_0$ بیان‌گر تابش اندازه‌گیری شده در خارج از جو می‌باشد مقدارH_0 از رابطه (۲) بدست می‌آید: که در آن $\overline{D}$ شماره

1-Pyranometer
2-Pyridomometer
3-Kriging

ژوولیوسی ، I_{sc} ثابت خورشید که معـادل ۱۳۶۷ Wm^{-2} ، $\emptyset$ عرض جغرافیایی محل و δ زاویه میل که از رابطـه (۳) زیـر بـه دست می‌آید: (۱۲).

$$\delta = 23.45\sin(360\frac{248+n}{365}) \quad (۳)$$

که در آن ω (زاویه ساعتی خورشید در هنگام غروب) از رابطـه زیر به دست می‌آید:

$$\omega = cos^{-1}(-tan\emptyset tan\delta) \quad (۴)$$

$\overline{n}$بیان‌گر میانگین ماهیانه ساعات آفتـابی روزانـه و $\overline{N}$ میـانگین ماهیانه ماکزیمم ساعات آفتابی (طول روز) می‌باشد و مقـدار آن از رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$\overline{N} = \frac{2}{15}\omega_s \quad (۵)$$

از مدل فرر برای بدست آوردن مقـادیر (a,b) در بـرآورد تـابش کلی (درسطح افقی) استفاده شده است(رابطه۶). مدل فرر به شرح زیر است: (۱۲).

$$a= -0.27+1.75\ (\overline{S}/\overline{S}_0) - 1.34\ (\overline{S}/\overline{S}_0)^2 \quad (۶)$$

$$b= 1.32-2.90\ (\overline{S}/\overline{S}_0) + 2.30\ (\overline{S}/\overline{S}_0)^2$$

یافته ها

همـان طـور کـه در جـدول ۲ مشـاهده می‌شـود، بیش‌تـرین میانگین تابش خورشیدی ماهانه در جنوب شرق پهنه مورد نظر در ایسـتگاه نهبنـدان بامقـدار ۲۰/۴ و در مرتبـه هـای بعـدی ایستگاه های بیرجند و قائن ، فردوس ، گناباد و تربـت حیدریـه به ترتیب با مقادیر ۱۹/۹، ۱۹/۹، ۱۹/۷، ۱۹/۳، ۱۹/۳ مگاژول بر متر مربع را به خود اختصاص داده‌اند. اکثر ایسـتگاه‌ها نوسـانات تابش خورشـیدی درون سـالانه نسـبتا زیـادی را نشـان دادنـد. ایستگاه سرخس با انحراف معیار ۷/۵ بیشینه نوسـانات را نشـان داده است. و کمینه نوسانات در ایسـتگاه نهبنـدان و بـا انحـراف معیار ۶ مشاهده شده است. در این بین ایستگاه های سرخس و بجنورد حداقل متوسط تابش خورشیدی دریـافتی را بـا حـدود ۷/۵ و ۷/۶ مگاژول بر متر مربع را نشان دادند. بیشـینه متوسـط روزانه تابش را ایستگاه قائن و تربت حیدریه به ترتیب با حـدود ۳۰/۳ و ۳۰ مگاژول بر متر مربع را تجربه کرده است.

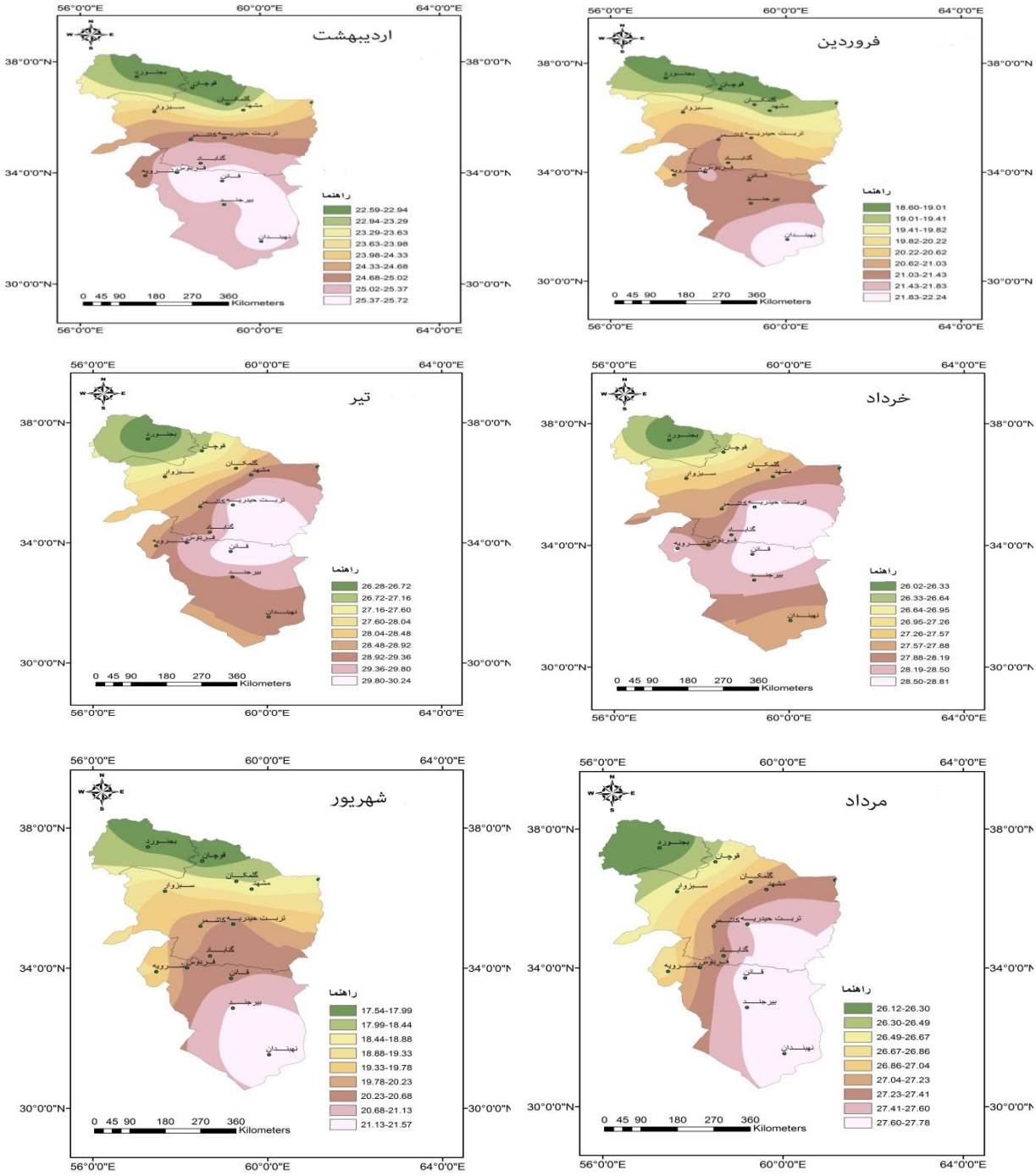
جدول۲- آمارتوصیفی تابش خورشیدی ماهانه (۲۰۱۶-۱۹۸۸) برحسب مگاژول بر متر مربع در روز

ایستگاه	میانگین	انحراف معیار	واریانس	کمینه	بیشینه
بیرجند	۱۹/۹	۶/۳	۴۰/۳	۱۱/۰	۲۹/۳
بشرویه	۱۸/۹	۶/۷	۴۵/۰	۹/۲	۲۸/۹
نهبندان	۲۰/۴	۶/۰	۳۶/۰	۱۱/۹	۲۹/۱
قائن	۱۹/۹	۶/۹	۴۷/۹	۱۰/۳	۳۰/۳
فردوس	۱۹/۷	۶/۷	۴۴/۶	۱۰/۳	۲۹/۶
قوچان	۱۷/۳	۶/۹	۴۷/۲	۷/۸	۲۷/۲
گلمکان	۱۷/۹	۷/۰	۴۹/۰	۸/۲	۲۸/۱
گناباد	۱۹/۳	۶/۶	۴۳/۷	۱۰/۰	۲۹/۳
کاشمر	۱۹/۱	۶/۸	۴۶/۳	۹/۵	۲۸/۹
مشهد	۱۸/۰	۷/۴	۵۴/۸	۸/۱	۲۹/۲
سبزوار	۱۸/۵	۶/۷	۴۵/۵	۸/۹	۲۷/۸
سرخس	۱۷/۹	۷/۵	۵۶/۹	۷/۵	۲۹/۰
تربت حیدریه	۱۹/۳	۷/۲	۵۱/۶	۹/۴	۳۰/۰
بجنورد	۱۷/۱	۶/۷	۴۴/۷	۷/۶	۲۶/۳

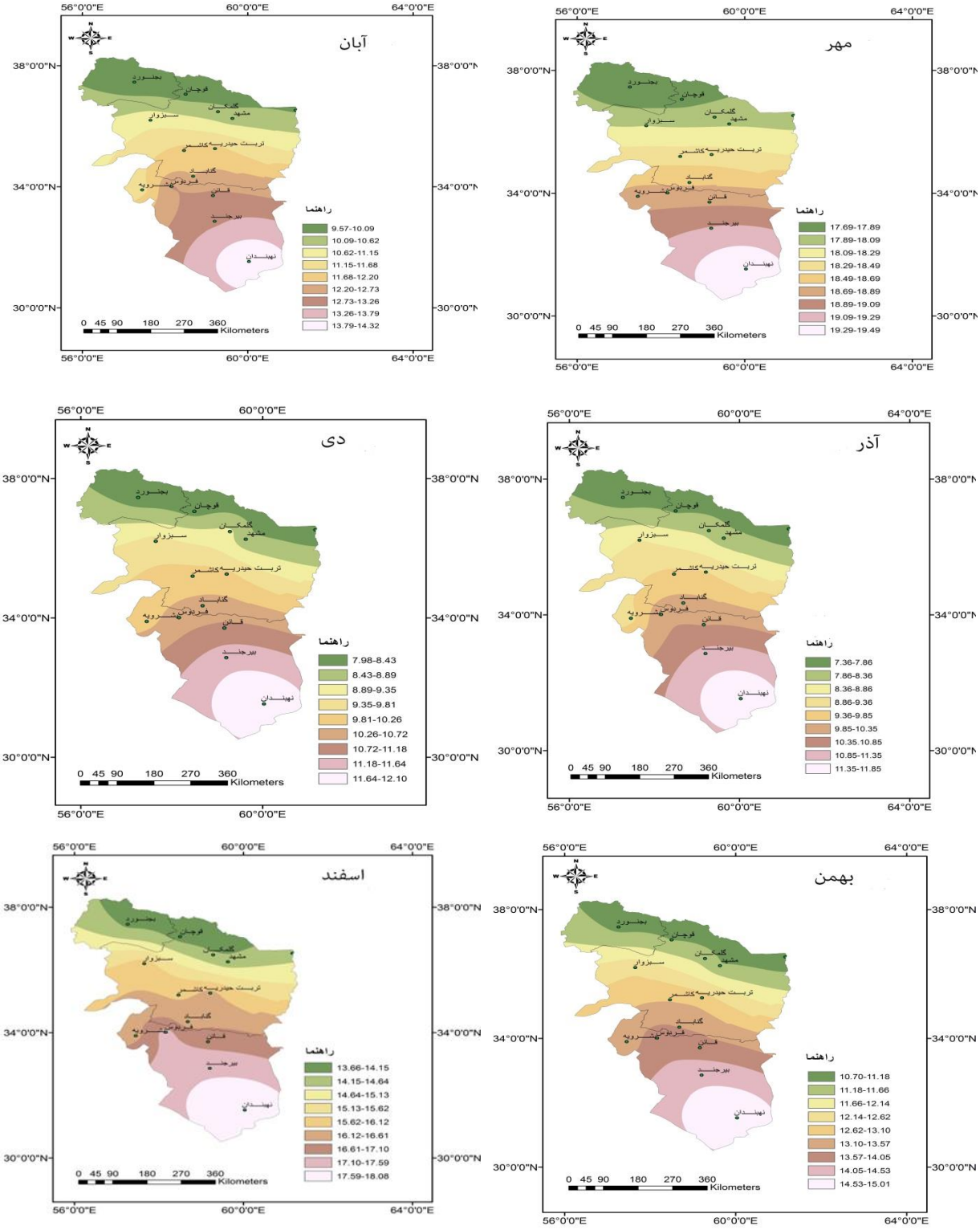
باتوجه به نقشه‌های شکل ۲ مشاهده می‌شود کم‌ترین مقادیر تابش دریافتی ماهانه‌ی پهنه در ماه‌های دی و آذر در شمال و شمال غرب پهنه رخ می‌دهد که به ترتیب مقادیر ۷/۹۸، ۷/۳۶ مگاژول بر متر مربع می‌باشد. بیش‌ترین مقدار تابش دریافتی پهنه در ماه تیر با مقدار ۳۰/۲۴ مگاژول بر مترمربع اتفاق می‌افتد ودر مرتبه های بعدی به ترتیب ماه‌های خرداد، مرداد، اردیبهشت و فروردین ۲۸/۸۱، ۲۷/۷۸، ۲۵/۷۲ و ۲۲/۲۴ مگاژول بر متر مربع در جنوب‌شرق و مرکز پهنه مورد نظررا به خود اختصاص داده‌اند. افزایش مقادیر تابش در ماه‌های گرم سال، در مرحله نخست به خاطر افزایش زاویه خورشید از فصل سرد به گرم می‌شود. از طرفی دیگر در ماه‌های سرد سال ابرناکی آسمان بیش‌تر است و باعث کاهش دریافتی خواهد بود در فصل زمستان به دلیل نقش تابش پراکنده، اختلاف تابش در پهنه مورد نظر کاهش می‌یابد. فصل تابستان و در مرتبه بعدی فصل بهار بیش‌ترین مقدار تابش خورشیدی را به خود اختصاص داده‌اند. . با مشاهده نقشه‌های فصل پاییز مشاهده می‌شود که همچنان بیشینه تابش دریافتی در جنوب‌شرق پهنه، ولی دامنه آن به طرف مرکز در حال گسترش است و کمینه تابش دریافتی درهمچنان در شمال پهنه، متمرکز شده است. کم‌ترین مقدار تابش در ماه آبان با مقدار۹/۵۷ مگاژول و بیش‌ترین مقدار تابش در ماه مهر با مقدار ۱۹/۴۹ مگاژول را به خود اختصاص داده‌اند. در فصل زمستان بیشینه تابش دریافتی در جنوب‌شرق پهنه، در ایستگاه نهبندان و کمینه تابش دریافتی در شمال پهنه، در ایستگاه‌های قوچان و بجنورد متمرکز شده است. در بین ماه‌های فصل زمستان کمینه تابش در ماه دی با ۷/۹۸ مگاژول و در ماه اسفند بیشینه تابش با ۱۸/۰۸ مگاژول را به خود اختصاص داده است. در فصل بهار بیشینه تابش در جنوب‌شرق پهنه، و درماه‌های اردیبهشت و خرداد تا مرکز پهنه و ایستگاه‌های بیرجند و قائن گسترش یافته اند. و کم‌ترین مقدار تابش همچنان در شمال پهنه، قرار دارد. کم‌ترین مقدار تابش در ماه فروردین با مقدار ۱۸/۶۰ مگاژول و بیشینه تابش در ماه خرداد با مقدار ۲۸/۸۱ مگاژول متمرکز شده است. در فصل تابستان کمینه تابش در ایستگاه بجنورد در شمال پهنه محدود شده است. و بیشینه تابش از جنوب‌شرق پهنه جابجا شده است به طوری‌که در ماه‌های مرداد و تیر بیش‌ترین تابش در شرق و مرکز پهنه متمرکز شده است. کم‌ترین تابش دریافتی در ماه شهریور با مقدار ۱۷/۵۴ مگاژول و بیش‌ترین تابش دریافتی در ماه تیر با مقدار ۳۰/۲۴ مگاژول را به خود اختصاص داده‌اند. جدول۳ نتایج محاسبات تابش خورشیدی را نشان می‌دهد. و ملاحظه می‌شود ماه دی کم‌ترین میانگین تابش خورشیدی دریافتی با مقدار ۹/۸ مگاژول برمتر مربع در پهنه مطالعاتی دارد و بیشینه میانگین تابش دریافتی به ترتیب در ماه‌های تیر، خرداد ، مرداد و اردیبهشت با مقادیر ۲۸/۸، ۲۷/۸، ۲۷/۲، ۲۴/۴ مگاژول بر متر مربع متمرکز شده است. همچنین با توجه به نتایج جدول ۳ مشاهده می‌شود کم‌ترین نوسانات در طول پهنه به ترتیب در ماه‌های مهر، خرداد و اردیبهشت با مقادیر ۰/۵، ۰/۸، ۱/۰ مگاژول بر متر مربع و بیش‌ترین نوسات در طول پهنه در ماه آبان به مقدار ۱/۴ مگاژول و در ماه‌های آذر، اسفند و بهمن با مقدار ۱/۳ مگا ژول را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول۳-آمار توصیفی متوسط ماهانه تابش خورشیدی طی سال‌های (۲۰۱۶-۱۹۸۸) برحسب مگاژول بر متر مربع در روز

ایستگاه	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
میانگین	۹/۸	۱۲/۷	۱۵/۸	۲۰/۴	۲۴/۴	۲۷/۸	۲۸/۸	۲۷/۲	۱۹/۶	۱۸/۴	۱۱/۶	۹/۳
بیشینه	۱۲/۱	۱۵/۰	۱۸/۱	۲۲/۳	۲۵/۷	۲۸/۸	۳۰/۳	۲۸/۹	۲۱/۶	۱۹/۵	۱۴/۳	۱۱/۹
کمینه	۸/۱	۱۰/۸	۱۳/۹	۱۸/۸	۲۲/۷	۲۶/۰	۲۶/۳	۲۵/۲	۱۷/۷	۱۷/۷	۹/۷	۷/۵
انحراف‌معیار	۱/۲	۱/۳	۱/۳	۱/۱	۱/۰	۰/۸	۱/۱	۱/۱	۱/۲	۰/۵	۱/۴	۱/۳
واریانس	۱/۵	۱/۷	۱/۸	۱/۱	۱/۱	۰/۶	۱/۱	۱/۲	۱/۴	۰/۳	۱/۹	۱/۷



شکل ۲- مقدار تابش دریافتی سطح زمین در خراسان رضوی، شمالی، جنوبی (۱۹۸۸-۲۰۱۶) با مدل آنگستروم بر حسب مگاژول بر متر مربع



ادامه شکل ۲- مقدار تابش دریافتی سطح زمین در خراسان رضوی، شمالی، جنوبی (۱۹۸۸-۲۰۱۶) با مدل آنگستروم بر حسب مگاژول بر متر مربع

بحث و نتیجه گیری

تابش خورشیدی مهم‌ترین عنصر هواشناسی است که به صورت مستقیم و غیر مستقیم بـر تمـام فرآینـدهای آب و هـوایی اثـر می‌گذارد . در بسیاری از ایستگاه‌های هم‌دید پهنـه مـورد نظـر، دسـتگاه پیرانـومتر کـه مسـتقیما مقـدار تـابش خورشـیدی را اندازه‌گیری می‌کند وجود نداشت. در این پژوهش بـرای بـرآورد تابش خورشیدی از روش تجربی آنگستروم – پرسکات اسـتفاده شد و ضرایب aو b با استفاده از مدل فرر محاسبه گردیـد. با توجه به مدل مورد استفاده و نقشه‌های حاصل از مـدل درون یابی کریجینگ، شکل ۲ مشخص شد که به ترتیب از شمال بـه جنوب بر میزان تابش دریافتی سطح گستره مورد مطالعه افزوده می‌شود، کمینه تابش خورشیدی در گستره شمالی و بیشینه آن در بخش جنوبی گستره مطالعاتی که ایستگاه نهبندان نماینـده آن است مشاهده گردید. به میزان نزدیک شـدن بـه دوره گـرم سـال بـر میـزان تـابش خورشـیدی گسـتره مطالعـاتی افـزوده می‌گردد به همان نسبت منطقـه بیشـینه تـابش خورشـیدی در سمت شرق و مرکز گستره مطالعاتی و در محدوده ایسـتگاه‌های قائن، بیرجند و تربت حیدریه متمرکز شده ولی کماکان کمینـه ساعت آفتابی در شمال گسـتره و محـدوده ایسـتگاه بجنـورد و بیشینه آن در ایستگاه نهبندان متمرکـز اسـت. مـاه هـای تیـر، خرداد و مرداد بیشینه میزان تابش خورشیدی را نشان دادند.

از آن‌جا که در جنـوب منطقـه مـورد مطالعـه ارتفـاع خورشـید بیش‌تر است، لذا تابش بیش‌تری نسبت به نواحی شمالی دریافـت می دارد. ماه آذر و دی نیز کمینه میزان تابش خورشـیدی را در پهنه مورد مطالعه نشـان داده اسـت. اکثـر ایسـتگاه‌ها نوسـانات تابش خورشیدی زیادی مشاهده می‌شـود. نتـایج بدسـت آمـده حاکی از آن است که در مناطق مورد بررسـی سـاعات آفتـابی و عرض جغرافیایی نقش زیادی در تابش بیشتر مناطق مورد نظـر داشته است و مناطقی که ساعات آفتابی کم‌تری و هوای سردی داشته‌اند تابش کم‌تری را به خود اختصاص داده است، لذا بهتـر است مدل های مربوطه را توسعه داد تا از متغیـر هـای اقلیمـی بیش‌تری جهت برآورد تابش استفاده گردد.

منابع

1. Donald G.S., Chuah, S.L. Lee, 1981. Solar radiation estimates in Malaysia. Solar Energy, Vol. 26, pp. 33-40.
2. López a, G., Batllesb, F.J., 2014. Estimating solar radiation from MODIS data. Energy Procedia, Las Vegas, NV (U.S.), 49 (2014), 2362-2369.
3. El Mghouchi, Y., El Bouardi, A., Choulli, Z., Ajzoul, T., 2014. New model to estimate and evaluate the solar radiation., International Journal of Sustainable Built Environment, Vol.3 , pp.225–234
4. Zhang, J., Zhao, L, Deng, S., Xu, W., Zhang, Y., 2017. A critical review of the models used to estimate solar radiation. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 70, pp. 314-329.
5. Bou-Rabee, M., Sulaiman, S., Saleh, M.S., 2017. Using artificial neural networks to estimate solar radiation in Kuwait. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 72, pp. 434-438.
6. Yıldırım, H.B, Çelik, O., Teke, A., Barutçu, B., 2018. Estimating daily global solar radiation with graphical user interface in eastern Mediterranean region of Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 82, pp. 1528-1537.
7. Achour, L., Bouharkat, M., Assas, O., Behar, O., 2017. Hybrid model for estimating monthly global solar radiation for the southern of Algeria: (Case study: Tamanrasset, Algeria). Energy, Vol. 135, pp. 526-539.
8. Linares-Rodriguez, A., Ruiz-Arias, J.A., Pozo-Vazquez, D., Tovar-Pescador, J., 2013. An artificial neural network ensemble model for

estimating global solar radiation from Meteosat satellite images. Energy, Vol. 61, pp. 636-645.

۹. خلیلی، علی، رضایی صدر، حسن، « برآورد تابش کلی خورشید در گستره ایران بر مبنای داده‌های اقلیمی»، مجله تحقیقات جغرافیایی، پاییز ۱۳۷۶، شماره ۴۶.

۱۰. صفائی، بتول، خلجی اسدی، مرتضی، تقی زاده، حبیب، جیلاوی، افسانه، طالقانی، گیتی، دانش، ماندانا، « برآورد پتانسیل تابش خورشیدی در ایران و تهیه اطلس تابشی آن»، مجله علوم و فنون هسته‌ای، ۱۳۸۴، شماره ۳۳.

۱۱. علیزاده، امین، خلیلی، نجمه، « تعیین ضرایب معادله آنگستروم و توسعه یک معادله رگرسیونی برآورد تابش خورشیدی (مطالعه موردی: منطقه مشهد) »، مجله آب و خاک، بهار ۱۳۸۸، جلد ۲۳، شماره ۱.

۱۲. یزدان پناه، حجت اله، « برآورد تابش کلی خورشید در سطح افقی زمین در اصفهان»، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، بهار ۱۳۸۹، شماره ۳۷.

۱۳. معینی، سام، جوادی، شهرام، کوکبی، محسن، دهقان منشادی، محسن، « برآورد تابش خورشیدی در ایران با استفاده از یک مدل بهینه»، نشریه انرژی ایران، تابستان ۱۳۸۹، شماره ۲.

۱۴. سبزی پرور، علی‌اکبر، بیات‌ورکشی، مریم، « ارزیابی دقت روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و عصبی- فازی در شبیه‌سازی تابش کل خورشیدی»، مجله پژوهش فیزیک ایران، زمستان ۱۳۸۹، جلد ۱۰، شماره ۴.

۱۵. موسوی بایگی، محمد، اشرف، بتول، « شناسایی مناطق با کم‌ترین میزان ابرناکی به منظور پهنه بندی نواحی پرتابش کشور»، نشریه آب و خاک، مرداد- شهریور ۱۳۹۰، جلد ۲۵، شماره ۳.

۱۶. پیری، جمشید، انصاری،حسین، فریدحسینی، علیرضا، « مدل‌سازی تابش خورشید رسیده به زمین با استفاده از ANFIS و مدل‌های تجربی (مطالعه موردی: ایستگاه‌های زاهدان و بجنورد) »، نشریه انرژی ایران، پاییز ۱۳۹۲، شماره۳.

۱۷. زمانی محی آبادی، مصطفی، « پیش بینی لحظه‌ای تابش کل خورشید در شهر رفسنجان توسط شبکه عصبی»، نشریه انرژی ایران، زمستان ۱۳۹۲، شماره ۴.

۱۸. عرفانیان، مهدی، بابایی حصار، سحر، « ارزیابی مدل هیبرید در تخمین تابش خورشیدی روزانه در تعدادی از ایستگاه‌های تابش سنجی ایران»، نشریه آب و خاک، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۲، جلد۲۷، شماره ۱.

۱۹. هوشنگی، نوید، آل شیخ، علی اصغر، هلالی، حسین، « بررسی منطقه‌ای پتانسیل تابش خورشیدی با ارزیابی و بهینه‌سازی و روش‌های درون‌یابی در سطح کشور ایران»، فصلنامه برنامه ریزی منطقه‌ای، زمستان ۱۳۹۳، شماره ۱۶.

۲۰. کرم‌پور، مصطفی، محمدی، حسین، خوش اخلاق فرامرز، قائمی، هوشنگ، « توازن تابش در سطح شهر یزد در ماه ژانویه ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸»، فصل‌نامه آمایش محیط، شماره ۳۲.

۲۱. مجرد، فیروز، فتح نیا، امان الله، رجایی، سعید، « برآورد تابش خورشیدی دریافتی سطح زمین در استان کرمانشاه»، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، بهار ۱۳۹۴، شماره ۱۹.

۲۲. فلاح قالهری، غلامعباس، شاکری، فهیمه، « واسنجی ضرایب رابطه آنگستروم – پرسکات در ایستگاه‌های منتخب استان خراسان رضوی»، نشریه دانش آب و خاک، پاییز ۱۳۹۵، جلد ۲۵، شماره ۳.