نشریه هواشناسی و علوم جوّ
جلد ۶، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۲، صفحات ۵۶ - ۷۲

تخمین ساعات آفتابی با استفاده از داده‌های یک دقیقه‌ای تابش کلی

مهدی رضائی*[۱]، محمد حسن باقری شکیب[۲]، سعید باقری[۳]، علی اکبر بهراملو[۴]

[۱] دکتری فیزیک، اداره کل هواشناسی استان همدان، همدان، ایران
[۲] کارشناس ارشد آب و هواشناسی، اداره کل هواشناسی استان همدان، همدان، ایران
[۳] کارشناسی ارشد هواشناسی، اداره کل هواشناسی استان همدان، همدان، ایران
[۴] کارشناس ارشد شیمی، اداره کل هواشناسی استان همدان، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴

چکیده

در این پژوهش مدلی را برای تخمین ساعات آفتابی با استفاده از داده های یک دقیقه ای تابش کلی آسمان پیشنهاد داده‌ایم. با تهیه یک برنامه نرم‌افزاری بر اساس مدل پیشنهادی، در چهار ایستگاه هواشناسی فرودگاه همدان، بندرانزلی، آمل و تویسرکان ساعات آفتابی را در روزهای مختلف سال از داده‌های تابش استخراج نموده و مقادیر به دست آمده را با ساعات آفتابی اندازه‌گیری شده توسط دستگاه آفتاب نگار مقایسه نمودیم. نتایج نشان می‌دهند که میانگین اختلاف مقدار تخمینی و مقدار واقعی ساعات آفتابی در ایستگاه بندر انزلی ۰.۸۱ ساعت، در ایستگاه آمل ۰.۷۴ ساعت، در ایستگاه فرودگاه همدان ۰.۵ ساعت و در ایستگاه تویسرکان ۰.۳ ساعت است. همچنین خطای جذر میانگین مربعات داده‌های به دست آمده از روش پیشنهادی بین ۰.۱۵۴ تا ۰.۸۷۵ ساعت در هر روز تغییر می کند که در مقایسه با نتایج به دست آمده از پژوهش‌های گذشته نتیجه مطلوبی است. در مجموع مقایسه این نتایج با نتایج پژوهش‌هایی که پیش از این بر روی مدل‌های پیشنهادی دیگر انجام شده نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی ما می‌تواند جایگزین مناسبی برای دستگاه آفتاب نگار باشد.

کلمات کلیدی: ساعات آفتابی، آفتاب نگار، تابش کلی، هواشناسی

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: rezaei@irimo.ir

مقدمه

ساعات آفتابی یکی از کمیت‌هایی است که در ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری می‌شود. این کمیت همان‌گونه که از نامش پیداست با روشنایی خورشید در ارتباط است. با توجه به عدم وجود ابزار مناسب برای اندازه‌گیری تابش در گذشته، روش‌های مختلفی برای تخمین تابش مورد بررسی قرار گرفته است (آلمورکس و همکاران، ۲۰۰۵، ایزیمون و مایر، ۲۰۰۲)[1]. برای مطالعه تابش خورشیدی عناصر متعددی باید مورد بررسی قرار گیرند که در عمل نمی‌توان همه این عناصر را در معادلات وارد کرد. بنابراین تنها از تعداد محدودی از این عناصر برای تخمین تابش استفاده می‌شود (حجازی زاده و همکاران، ۱۳۹۷). تخمین مقدار تابش روزانه بر اساس تفاوت بین دمای حداکثر و حداقل روشی است که در برخی مدلها مورد استفاده قرار گرفته است. اما بررسی‌ها نشان می‌دهند که مدل‌های تجربی که بر این اساس شکل گرفته‌اند بیشتر در مناطق خشک قابل استفاده هستند و دقت آنها در مناطق مرطوب کاهش می‌یابد (فرجی مهیاری و همکاران، ۱۳۹۴). اگر چه در بسیاری از مدل‌های تجربی مورد استفاده کمیت‌های دیگری چون عرض جغرافیایی، رطوبت نسبی، دما و ارتفاع وارد شده‌اند اما نتایج نشان می‌دهند که مهمترین عامل تعیین تابش خورشیدی ساعات آفتابی است (مجرد و همکاران، ۱۳۹۴). در این خصوص مدل‌های متعددی نیز ارائه شده که برخی از آنها بر مبنای ساعات آفتابی است (میان آبادی و همکاران، ۱۳۹۱). از جمله مدل‌های پرکاربرد در این زمینه می‌توان به مدل آنگستروم- پرسکات[2] اشاره کرد (آنگستروم، ۱۹۲۴، پرسکات، ۱۹۴۰). سوئرک و همکاران (۲۰۱۳) با مقایسه و بررسی روابط مختلف پیشنهاد شده برای تعیین ارتباط ساعات آفتابی و تابش خورشیدی، در نهایت حالت تعمیم یافته‌ای از معادله آنگستروم-پرسکات را به عنوان بهترین رابطه پیشنهاد کردند. بررسی‌های آنها نشان داد رابطه پیشنهادی سازگاری خوبی با اندازه‌گیری‌های واقعی دارد و به خوبی می‌تواند ارتباط بین تابش خورشیدی و ساعات آفتابی را توصیف نماید. یکی دیگر از مدل‌های تخمین ساعات آفتابی مدلی است که بر اساس روش ماشین بردار پشتیبان[3] طراحی شده است (کابا و همکاران، ۲۰۱۷). در این روش ترکیب‌های متفاوتی از شش کمیت پوشش ابر، دمای بیشینه، دمای کمینه، رطوبت نسبی، سرعت باد و طول روز نجومی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقایسه نتایج مدل با مقادیر به دست آمده از اندازه‌گیری مستقیم ساعات آفتابی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی برای تخمین ساعات آفتابی روش موفقی بوده است. رباع (۲۰۰۸) از داده‌های مقدار ابر برای تخمین ساعات آفتابی در مصر استفاده کرد. نتایج آنها نشان داد که خطای مقدار تخمینی از حدود ۷ درصد تجاوز نمی‌کند. در پژوهش انجام شده توسط معینی و همکاران، برای تخمین میزان تابش خورشیدی در مناطق مختلف ایران از داده‌های ساعات آفتابی استفاده شده و بدین صورت طول روز و مقدار تابش فراجو برای مناطق مختلف اقلیمی ایران برازش شده است (معینی و همکاران، ۱۳۸۹). در پژوهشی دیگر شش مدل تجربی برای تخمین تابش خورشیدی در ایستگاه اهواز مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌اند که از بین مدل‌های مورد مطالعه روش انگستروم-پرسکات واسنجی شده توسط کاشفی پور و سپاسخواه، به‌عنوان مناسب‌ترین شیوه تخمین تابش در مقیاس روزانه انتخاب شده است (شیرمحمدی علی اکبرخانی و شجاعی، ۱۳۹۷). با توجه به اینکه تنها داده بلند مدت قابل اعتماد در ارتباط با تابش خورشید، همین داده‌های ساعات آفتابی می‌باشد استفاده از آن برای مطالعه روند تغییرات میزان تابش در بلند مدت نیز بسیار مفید خواهد بود. در پژوهشی با هدف اندازه‌گیری تاثیر

[1] Almorox, Iziomon, Mayer
[2] Angstrom-Prescott
[3] support vector machine (SVM)

تغییرات اقلیمی بر روند تغییرات زمانی کمیت‌های مختلف اقلیمی از جمله ساعات آفتابی، داده‌های ۴۵ ساله تعدادی از ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج آن نشان می‌دهد ساعات آفتابی تقریبا در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح کشور روند صعودی داشته است (گلکار حمزیی یزد، ۱۳۸۹). همچنین تغییرات مولفه‌های مختلف اقلیمی از جمله ساعات آفتابی در کشور در سال‌های آینده تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گرفته است (کلانکی و همکاران، ۱۴۰۱). اگر چه جدا سازی تمام طول موج‌های موجود در نور گسیل شده از خورشید امکان‌پذیر نیست، اما در مقایسه با طیف طول موج‌های موجود، این کمیت بیشتر با تابش در محدوده نور مرئی در ارتباط است. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که هر گونه تغییر در طول موج‌های مختلف موجود در تابش ورودی به جو می‌تواند بر روی عناصر مختلف اقلیمی تاثیرگذار باشد. برای نمونه نوسانات دما و بارش در برخی ایستگاه‌ها نسبت به نوسانات چرخه لکه‌های خورشیدی در طول زمان وابسته است (خسروی و جلیلیان، ۱۳۹۳). در پژوهشی مشابه، امیدوار و همکاران تاثیر لکه‌های خورشیدی را بر دمای دو ایستگاه شیراز و کرمان در بازه زمانی ۱۹۵۰-۲۰۱۰ مورد بررسی قرار داده‌اند (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۵). تغییرات فضا-زمانی ساعات آفتابی در کشور در پژوهش (مجرد و مرادی، ۱۳۹۳) مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن نشان می‌دهد در تمام مناطق کشور، ساعات آفتابی روند رو به افزایش دارد. نتایج این تحقیق همچنین بر نقش مهم عرض جغرافیایی بر توزیع مکانی ساعات آفتابی تاکید دارد. مرور این پژوهش‌ها و سایر پژوهش‌هایی که موضوع ساعات آفتابی را مورد بررسی قرار داده‌اند نشان می‌دهد دو کمیت تابش و ساعات آفتابی در مباحث هواشناسی و اقلیم‌شناسی از اهمیت بالایی برخوردار بوده و همچنین ارتباط نزدیکی با هم دارند.

نخستین طراحی برای اندازه گیری ساعات آفتابی، دستگاه نسبتا ساده ای بود که به آفتاب‌نگار کمپل-استوکس[1] شهرت دارد. این ابزار از سال ۱۸۸۰ میلادی در ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده قرار گرفت و نسخه‌های ارتقا یافته آن هنوز هم در شبکه‌های دیدبانی از جمله شبکه دیدبانی در ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد. اساس کارکرد این وسیله به گونه‌ایست که پرتو نور خورشید را توسط یک لنز بر روی کارت مخصوص متمرکز می‌کند. بازه‌های زمانی که در آنها کانونی شدن پرتوها باعث سوختگی کارت می‌شوند به عنوان ساعت‌های آفتابی و بقیه موارد که با سوختن کارت همراه نیست به عنوان ساعات ابری در نظر گرفته می‌شوند. از آنجا که در گذشته هیچ قاعده بین‌المللی در مورد ابعاد و کیفیت قطعات ویژه این آفتاب‌نگار وجود نداشت، به کارگیری استانداردهای متفاوت باعث تولید مقادیر متفاوتی از کمیت ساعات آفتابی شده بود. برای رفع این مشکل و همسان سازی داده‌ها در سرتاسر شبکه دیدبانی، طراحی خاصی از آفتاب نگار کمپل-استوکس به عنوان ابزار استاندارد اندازه‌گیری ساعات آفتابی پیشنهاد گردید. در اسناد بین المللی هواشناسی از این نوع آفتاب نگار تحت عنوان " آفتاب نگار مرجع موقت"[2] یاد می‌شود. در نام‌گذاری این استاندارد کلمه موقت استفاده شده، چرا که برنامه‌ریزی بدین صورت بوده که مزایای ناشی از به‌کارگیری این استاندارد در یک بازه زمانی موقت به عنوان دوره گذار مورد استفاده قرار گیرد، تا زمانی که یک تعریف فیزیکی دقیق برای طراحی آفتاب نگار خودکار و از لحاظ مقیاس‌های اندازه‌گیری، نزدیک به آفتاب‌نگار مرجع موقت یافت شود. بررسی مقدار آستانه شدت تابش برای سوزاندن کارت آفتاب‌نگار در ایستگاه‌های مختلف نشان داده که این آستانه در بازه ۷۰ تا ۲۸۰ وات بر متر مربع در نوسان است (بایدر، ۱۹۵۸، بومگارتنر، ۱۹۷۹). پژوهش‌های بیشتر، که اغلب با

[1] Campbell-Stokes

[2] interim reference sunshine recorder (IRSR)

استفاده از آفتاب نگار مرجع موقت در فرانسه انجام شده یک مقدار میانگین ۱۲۰ وات بر متر مربع را به عنوان آستانه تابش برای سوزاندن کارت پیشنهاد می‌دهد. به دنبال این پژوهش‌ها و بر اساس مصوبات دهمین نشست کمیسیون ابزار و روش‌های دیدبانی در سال ۱۹۸۹ [1]، سازمان جهانی هواشناسی مدت ساعات آفتابی را این‌گونه تعریف می‌کند: مجموع ساعات آفتابی در یک بازه زمانی مشخص، مجموع زمان‌هایی است که در آن‌ها شدت تابش مستقیم خورشیدی بیش از ۱۲۰ وات بر متر مربع بوده است.

پیش از این در مطالعات و پژوهش‌های مختلف، روش‌های متفاوتی برای تخمین و یا اندازه‌گیری ساعات آفتابی پیشنهاد شده و مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برای نمونه (حجام و جامعی،۱۳۸۸) برای برآورد ساعات آفتابی روش‌های مختلفی شامل استفاده از روش آنگستروم، ایجاد رابطه خطی بین ساعات آفتابی و متوسط دما و همچنین تخمین ساعات آفتابی از طریق یافتن ضریبی بین طول روز واقعی و طول روز نجومی را با هم مقایسه نموده‌اند. نتایج آنها نشان داد که برآورد ساعات آفتابی در ایستگاه‌های فاقد آمار با استفاده از رابطه آن با نسبت طول روز واقعی و نجومی از نظر آماری ممکن و معنی‌دار است. در نمونه‌ای دیگر (کرباسی، ۱۳۹۵) برای بازسازی داده‌های مفقوده ساعات آفتابی، از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده کرده است. البته این رویکرد تنها برای بازسازی داده‌های مفقوده به کار گرفته شده و جایگزینی برای روش مرسوم اندازه‌گیری ساعات آفتابی ارائه نمی‌دهد. مونس‌خواه و همکاران (۱۴۰۱) نیز شبکه‌های عصبی مصنوعی را در کنار روش‌های دیگری چون جنگل‌های تصادفی، روش‌های آماری نسبت نرمال، مختصات جغرافیایی و ضریب همبستگی وزنی برای بازسازی داده‌های ساعات آفتابی به کار برده‌اند. نتایج آنها نشان داد شبکه‌های عصبی مصنوعی و مختصات جغرافیایی بهترین عملکرد را در بین روش‌های مورد بررسی برای تخمین ساعات آفتابی دارند. امروزه در کنار استفاده از آفتاب‌نگار مرجع که هنوز یکی از پرکاربردترین ابزار اندازه‌گیری ساعات آفتابی است، روش‌های دیگری نیز برای اندازه‌گیری ساعات آفتابی وجود دارد. برخی از این روش‌ها را می‌توان در چند دسته به صورت زیر تقسیم‌بندی کرد:

۱- روش تابش سنجی مستقیم[2]: در این روش شدت تابش مستقیم دریافتی از خورشید به وسیله دستگاه پیرهلیومتر اندازه‌گیری می‌شود. زمان‌هایی که در آن شدت تابش از آستانه ۱۲۰ وات بر متر مربع بزرگتر باشد به عنوان آفتابی در نظر گرفته می‌شود. در پایان مجموع دقایقی که شرایط فوق را دارا بوده‌اند به عنوان ساعات آفتابی در نظر گرفته می‌شود.

۲- روش تابش‌سنجی[3]: در این روش معمولا از دو دستگاه تابش‌سنج استفاده می‌شود که یکی تابش کلی و دیگری تابش پراکنده نور خورشید را اندازه‌گیری می‌کند. اختلاف مقادیر اندازه‌گیری شده توسط دو دستگاه میزان تابش مستقیم را مشخص می‌کند. در اینجا هم مجموع دقایقی که در آنها تابش مستقیم بیشتر از مقدار آستانه بوده است به عنوان ساعات آفتابی در نظر گرفته می‌شود.

۳- روش اسکن نمودن آسمان[4]: در این روش با اسکن نمودن مداوم بخش‌های مختلف آسمان و اندازه‌گیری تفاوت مقادیر تابش اندازه‌گیری شده و در نهایت با مقایسه نتایج با آستانه پیشنهادی سازمان جهانی هواشناسی دقایق

[1] Recommended by the Commission for Instruments and Methods of Observation at its tenth session (1989) through Recommendation 16 (CIMO-X).

[2] Pyrheliometric method
[3] Pyranometric method
[4] Scanning method

آفتابی و ابری بودن آسمان را مشخص می‌کنند.

اما از بین روش‌های ذکر شده در بالا روش دوم کاربرد بیشتری دارد و ساده‌سازی‌های مختلفی هم بر روی این روش انجام شده است. بطور مثال در یک مورد خاص، با استفاده از مطالعات آماری فرمول‌بندی خاصی برای استفاده ساده‌تر از روش تابش‌سنجی ارائه شده است (سونتاگ و برنس، ۱۹۹۲)[1]. همچنین برای ساده‌سازی تخمین مقدار ساعات آفتابی، الگوریتم‌های مختلفی ارائه شده که در آنها با استفاده از اطلاعات خروجی یک دستگاه پیرانومتر ساعات آفتابی را تعیین می‌کنند. برای نمونه اسلب و مونا[2] با ساده‌سازی روابط بین تابش و ابری بودن آسمان الگوریتمی برای اندازه‌گیری ساعات آفتابی ارائه نموده‌اند (اسلوب و مونا، ۱۹۹۱). جزئیات این الگوریتم در ضمیمه 8.A سند شماره ۸ سازمان جهانی هواشناسی آمده است (سند شماره ۸ سازمان جهانی هواشناسی، ۲۰۱۷). عدم قطعیت نتایج این الگوریتم ۰.۶ ساعت در روز است، اگر چه نتایج یک پژوهش نشان داده که در برخی موارد عدم قطعیت توسعه یافته تا یک ساعت در روز افزایش می‌یابد (هاینسن و نپ، ۲۰۰۷، وریخ و همکاران، ۲۰۱۲)[3]. روش کارپنتراس[4] روش دیگری برای تخمین ساعات آفتابی به روش تابش‌سنجی است که بر اساس فرمول‌بندی و محاسبه مقادیر یک دقیقه‌ای آستانه تابش کلی به عنوان تابعی از عوامل تیره کننده جو و ارتفاع خورشیدی (h) برنامه‌ریزی شده است. جزئیات این الگوریتم که عدم قطعیت توسعه یافته آن حدود ۰.۷ ساعت در روز است، در ضمیمه 8.B سند شماره ۸ سازمان جهانی هواشناسی آمده است. بهینه سازی‌هایی هم روی روش کارپنتراس انجام شده که در آن با استفاده از میانگین‌های یک دقیقه‌ای تابش کلی و تابش مستقیم در یک بازه حداقل چهار ساله، ضرایبی را تعیین می‌کنند که در فرمول‌بندی و محاسبه آستانه تابش در یک محل خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد. این بهینه‌سازی منجر به کاهش خطای نسبی در نتایج به دست آمده از روش کارپنتراس می‌شود(مورل و همکاران، ۲۰۱۲)[5]. در سال‌های اخیر با گسترش کاربرد ماهواره‌های هواشناسی، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای نیز برای تخمین ساعات آفتابی مورد توجه قرار گرفته است. در این خصوص مطاعات متعدد انجام شده و روش‌های مختلفی نیز برای تخمین ساعت آفتابی با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای پیشنهاد شده است (گود،۲۰۱۰; شمیم و همکاران،۲۰۱۲; آکین‌اوغلو و انرروشن،۲۰۱۳; کاندیرماز و کابا،۲۰۱۴). در همین راستا (وو و همکاران،۲۰۱۶) با استفاده از داده‌های ماهواره زمینی Fengyun-2G ضریبی را تحت عنوان ضریب ساعات آفتابی نوع ابر تعریف کردند. با استفاده از این ضریب برای هر نوع ابر به دست آمده از داده‌های ماهواره عددی به عنوان ساعات آفتابی تعیین و در طول روز این مقادیر با هم جمع می‌شوند. صحت‌سنجی این روش از طریق مقایسه با داده‌های واقعی ساعات آفتابی به دست آمده از ایستگاه‌های سطح زمین انجام و مشخص شد این روش، روش مناسبی برای تخمین ساعات آفتابی است. همچنین در پژوهش دیگری (ژو و همکاران،۲۰۲۰) برای تخمین ساعات آفتابی روشی را پیشنهاد داده‌اند که در آن ساعات آفتابی را با استفاده از مقدار کلی ابر اندازه‌گیری شده توسط ماهواره هواشناسی Fengyun-2G تخمین می‌زنند. در این روش با استفاده از مقدار پوشش ابر به دست آمده از اطلاعات ماهواره مذکور در بازه زمانی طلوع آفتاب تا غروب آن، و تعیین روابطی که این کمیت را به ساعات آفتابی ارتباط می‌دهد، ساعات آفتابی را تعیین می‌کنند. مقایسه نتایج به دست آمده از این روش با مقادیر به دست آمده از ایستگاه‌های هواشناسی زمینی سازگاری دارد. به

[1] Sonntag, D. and K. Behrens
[2] Slob and Monna
[3] Hinssen and Knap, Vuerich
[4] Carpentras
[5] Morel

دنبال روش‌های گفته شده، در این پژوهش ما به دنبال تعیین الگوریتم جدیدی برای تخمین ساعات آفتابی به روش تابش‌سنجی هستیم. اهمیت طراحی یا شناسایی چنین الگوریتم‌هایی با توجه به پیشرفت فناوری و تغییراتی که در فرایند جمع‌آوری داده‌های هواشناسی در کشور رخ داده، کاملا محسوس است. طراحی فرایندهای جدید جمع‌آوری داده از سطح ایستگاه‌های هواشناسی علاوه بر کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی و اعتماد در اندازه‌گیری‌ها، باعث شده داده‌های مختلف در بازه‌های زمانی کوتاه مدت توسط ایستگاه‌های خودکار جمع-آوری شده و در اختیار کاربر قرار گیرد(محرمی آزاد و صفایی، ۱۳۹۷). در همین راستا بسیاری از ایستگاه‌ها در شبکه دیدبانی هواشناسی در ایران خودکار شده و بدون حضور دیدبان اداره می‌شوند. در چنین شرایطی یکی از داده‌هایی که از دسترس خارج شده، داده ساعات آفتابی است. بنابراین طراحی یک الگوریتم که بر اساس آن بتوان با استفاده از کمیت‌های قابل اندازه‌گیری با ایستگاه خودکار، ساعات آفتابی را به دست آورد می‌تواند بسیار مفید و ارزنده باشد. چرا که این کمیت علاوه بر سابقه تاریخی، یکی از کاربر پسندترین داده‌های مرتبط با تابش، به ویژه در بخش کشاورزی است. در ادامه این پژوهش ابتدا به معرفی جزئیات روش طراحی لگوریتم پیشنهادی پرداخته‌ایم. سپس نتایج به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی را ارائه و مورد بررسی قرار داده‌ایم. در نهایت در بخش نتیجه‌گیری، یافته‌های این پژوهش را جمع‌بندی و ارائه نموده‌ایم.

مواد و روش‌ها

همان طور که پیشتر گفته شد در شبکه‌های دیدبانی هواشناسی در کشورهای مختلف جهان، از جمله شبکه هواشناسی کشور ما، معمولاً از دو نوع وسیله برای اندازه‌گیری تابش خورشید استفاده می‌شود. مرسوم‌ترین ابزار، آفتاب‌نگار است که فقط مدت تابش خورشید را ثبت می‌کند و دیگری دستگاه‌های تابش‌سنج هستند که شدت تابش خورشید را اندازه‌گیری می‌کنند. به دنبال خودکارسازی ایستگاه‌های هواشناسی و در برخی موارد حذف دیدبان در ایستگاه‌های تمام خودکار، عملا استفاده از آفتاب‌نگار و اندازه‌گیری ساعات آفتابی از دستور کار چنین ایستگاه‌هایی خارج شده است. از سوی دیگر همان‌گونه که در مقدمه هم ذکر شد، استفاده از دستگاه آفتاب‌نگار که از آن در اسناد رسمی به عنوان "آفتاب نگار مرجع موقت" یاد می‌شود صرفا برای یک دوره گذار پیشنهاد شده، تا زمانی که تعریف دقیقی برای اندازه‌گیری ساعات آفتابی با استفاده از ابزار سنجش خودکار فراهم شود. از این رو جایگزینی آفتاب نگار با استفاده از ابزار سنجش خودکار تابش در اسناد سازمان جهانی هواشناسی پیش‌بینی شده است. در همین راستا در پروژه اخیر به دنبال طراحی الگوریتمی بوده‌ایم که بر اساس آن و با استفاده از امکانات مرسوم و موجود در ایستگاه‌های شبکه دیدبانی کشور بتوانیم ساعات آفتابی را اندازه‌گیری نماییم. بیشترین نیاز در این خصوص، در ایستگاه‌های تمام خودکار (بدون دیدبان کشیک) مشاهده می‌شود. از طرفی با توجه به وجود سنسور اندازه‌گیری تابش کلی در اغلب این ایستگاه‌ها، یافتن روشی برای تخمین ساعات آفتابی با استفاده از تابش کلی مفید خواهد بود. بررسی‌های مختلف برای یافتن یک رابطه معقول بین میزان تابش کلی اندازه‌گیری شده در ایستگاه و ساعات آفتابی انجام شد. با مقایسه داده‌های یک دقیقه‌ای به دست آمده از سنسور تابش با کارت آفتاب نگار، به دنبال اندازه‌گیری مقدار آستانه‌ای بودیم که مرز بین حالت ابری و آفتابی باشد. بررسی‌ها نشان داد که این آستانه در ساعات مختلف روز مقادیر متفاوتی دارد. در ایستگاه‌های مختلف هم مقدار تابش آستانه متفاوت خواهد بود. بنابراین به جای یافتن یک مقدار ثابت به عنوان آستانه آفتابی یا ابری بودن، الگوریتمی را طراحی کرده‌ایم که این آستانه را در ساعات مختلف روز در هر ایستگاه با

استفاده از داده‌های پنج روز گذشته همان ایستگاه مشخص می‌کند. الزامات مورد نیاز برای عملیاتی نمودن این برنامه، دسترسی به داده‌های تابش یک دقیقه‌ای ایستگاه در پنج روز گذشته است که عملا در تمام ایستگاه‌های خودکار کشور امکان‌پذیر است. فرایند انجام کار بدین شکل است که نرم‌افزار با بررسی داده‌های یک دقیقه‌ای در پنج روز گذشته و تعیین بیشترین شدت تابش ثبت شده در همان لحظه از روز، مقداری برای اختلاف تابش آستانه مشخص می‌کند. برای یافتن مقدار مناسب اختلاف تابش آستانه بر اساس مقادیر تابش بیشینه لحظه مورد نظر در بازه زمانی پنج روز گذشته، مقادیر و روابط مختلفی را آزمایش کردیم. در نتیجه این آزمون و خطا به رابطه زیر رسیدیم که با استفاده از آن بهترین نتایج به دست آمدند:

$$I_{tre} = 30 + \frac{I_{max}}{3} \qquad (۱)$$

در این رابطه I_{tre} معرف اختلاف تابش آستانه و I_{max} معرف بیشترین شدت تابش ثبت شده در همین لحظه در پنج روز گذشته است. لازم به ذکر است مقادیر ثابتی که در رابطه آمده صرفا با آزمون و خطا به دست آمده‌اند. چنانچه اختلاف شدت تابش لحظه حاضر با مقدار بیشینه کوچک‌تر از این اختلاف آستانه باشد، نرم افزار دقیقه حاضر را آفتابی و در غیر این صورت آن را جزء دقایق ابری در نظر می‌گیرد. بنابراین برای هر دقیقه از روز با فرض اینکه شدت تابش لحظه‌ای اندازه‌گیری شده برابر با I_0 باشد خواهیم داشت:

$$if\ (I_{max} - I_0 < I_{tre}) \rightarrow Suny \qquad (۲)$$

$$if\ (I_{max} - I_0 > I_{tre}) \rightarrow Cloudy \qquad (۳)$$

به این ترتیب دقایق آفتابی با مقدار ۱ و دقایق ابری با مقدار صفر بازگردانده می‌شوند و درنهایت جمع تمامی این مقادیر در یک روز، نشانگر ساعات آفتابی همان روز است. به صورت خلاصه مراحل کار بدین صورت است:

۱- استخراج و ثبت دقیقه‌ای داده‌های تابش برای ایستگاه مورد نظر در طول روز.

۲- استخراج و ثبت دقیقه‌ای تابش برای ۵ روز قبل.

۳- استخراج بیشترین مقدار برای تابش دقیقه خاص از بین اعداد تابش ۵ روزه.

۴- محاسبه اختلاف آستانه با استفاده از بیشترین مقدار به دست آمده.

۵- محاسبه اختلاف تابش فعلی با بیشترین مقدار تابش استخراج شده در مرحله ۳.

۶- مقایسه نتایج مراحل ۴ و ۵.

۷- اعمال شرط وقوع دقیقه آفتابی (اگر نتیجه مرحله ۵ از مرحله ۴ کوچکتر باشد آفتابی و در غیر این صورت ابری لحاظ می‌شود.)

۸- استخراج و ثبت دقیقه به دقیقه ساعات آفتابی و ابری و در پایان تجمیع دقایق آفتابی با استفاده از نرم افزار.

همان‌گونه که در بالا گفته شد برای ورودی نرم‌افزار به داده‌های یک دقیقه‌ای تابش نیاز داریم و برای اینکه بتوانیم سنجشی از میزان دقت الگوریتم پیشنهادی داشته باشیم باید به داده ساعات آفتابی به دست آمده از آفتاب-نگار هم دسترسی داشته باشیم. بدین منظور از داده‌های موردی دو ایستگاه سینوپتیک در استان همدان به شرح جدول زیر استفاده کرده‌ایم. همچنین برای اطمینان از صحت عملکرد نرم‌افزار در اقلیم‌های متفاوت، داده‌های دو ایستگاه سینوپتیک انزلی در استان گیلان و کشاورزی آمل در استان مازندران را نیز مورد استفاده و بررسی قرار

داده‌ایم. مهمترین عامل برای انتخاب ایستگاه، دسترسی به داده‌های مورد نیاز برای اجرای برنامه بوده است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی که داده‌های آنها مورد استفاده قرار گرفته است.

نام ایستگاه	کد ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
فرودگاه همدان	**40768**	**48.54**	**34.86**	**1740.8**
تویسرکان	**40886**	**48.43**	**34.55**	**1783.2**
بندرانزلی	**40718**	**49.45**	**37.47**	**-23.6**
آمل	**99309**	**52.38**	**36.46**	**23.7**

بحث و نتایج

برای اطمینان از درستی عملکرد نرم افزار، برنامه را برای چند روز مختلف و در ماه‌های مختلف سال اجرا کردیم. برای این کار دو مورد از ایستگاه‌های هواشناسی فعال در استان همدان شامل ایستگاه هواشناسی سینوپتیک فرودگاهی همدان و سینوپتیک اصلی تویسرکان را به صورت موردی انتخاب نمودیم. در کنار این دو ایستگاه برای اطمینان از عملکرد نرم‌افزار در اقلیمی متفاوت، دو ایستگاه هواشناسی بندر انزلی و آمل را نیز اضافه کردیم. مقادیر ساعات آفتابی محاسبه شده توسط نرم‌افزار و همچنین مقادیر قرائت شده از کارت آفتاب‌نگار همان روز ایستگاه برای چهار ایستگاه مورد بررسی، در جداول ۲ و ۳ قابل مشاهده است. همچنین نمودار مقایسه ساعات آفتابی محاسبه شده توسط نرم‌افزار و مقادیر به دست آمده از دستگاه آفتاب‌نگار برای چهار ایستگاه در شکل-های ۱ تا ۴ قابل مشاهده است. نتایج نشان می‌دهند که میانگین اختلاف ساعات آفتابی محاسبه شده توسط نرم-افزار با مقدار به دست آمده از کارت آفتاب‌نگار در ایستگاه فرودگاه همدان ۰.۵ ساعت، در ایستگاه تویسرکان ۰.۳ ساعت، در ایستگاه بندر انزلی ۰.۸ ساعت و در ایستگاه آمل ۰.۷ ساعت در هر روز است. مقدار تخمینی در برخی موارد بیشتر از مقدار واقعی و در برخی موارد کمتر از مقدار واقعی بوده است. البته باید این نکته را نیز در نظر گرفت که ساعات آفتابی به دست آمده از آفتاب‌نگار هم گاهی شامل خطاهایی است که در فرایند داده‌برداری غیر قابل رفع است. در بسیاری از روزها که به دفعات وضعیت آسمان از آفتابی به ابری و یا بالعکس تغییر می‌کند، محاسبه مقدار سوختگی کارت مشکل شده و دیدبان در قرائت ساعات آفتابی دچار خطا می‌شود. به گونه‌ای که اگر یک کارت با چنین شرایطی در اختیار چند دیدبان متفاوت قرار گیرد احتمال اینکه هر یک از دیدبان‌ها مقدار سوختگی کارت را تا چند دهم ساعت با اختلاف نسبت به یکدیگر تخمین بزنند چندان دور از ذهن نیست. نکته جالبی که در شکل‌های ۳ و ۴ به چشم می‌خورد تغییرات اختلاف ساعات آفتابی تخمینی، در روزهای ابری است. اغلب در چنین روزهایی مقدار ساعات آفتابی تخمین زده شده توسط نرم‌افزار مقادیر بیشتری را نسبت به ساعات آفتابی اندازه‌گیری شده توسط آفتاب‌نگار به دست می‌دهد. این موضوع را می‌توان به دقت بالاتر نرم‌افزار مرتبط دانست. چرا که در مواردی که خورشید برای دقایق کوتاهی از پوشش ابر خارج شده و دوباره پشت ابر قرار می‌گیرد، عمدتا فرصت لازم برای سوزاندن کارت فراهم نمی‌شود. در حالی که نرم‌افزار که از داده‌های یک دقیقه‌ای تابش استفاده می‌کند قادر است همین مقادیر کوتاه مدت از آفتابی بودن آسمان را نیز اندازه‌گیری و در محاسبات وارد کند. این نکته به ویژه در اطلاعات ایستگاه‌های انزلی و آمل مشاهده می‌شود که با توجه به نوع اقلیم و آب و هوای منطقه، تغییرات میزان و تراکم ابر در طول روز بیشتر است. در شکل‌های ۵ و ۶

نمودار ستونی اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقدار تخمینی توسط نرم‌افزار برای چهار ایستگاه مورد مطالعه گزارش شده است. کمترین اختلاف مشاهده شده بین مقدار تخمینی و مقدار واقعی صفر است که سه بار در اطلاعات به دست آمده از ایستگاه تویسرکان، دو بار در اطلاعات بندر انزلی و یک بار در اطلاعات به دست آمده از ایستگاه همدان مشاهده شد. از سوی دیگر بیشترین اختلاف بین مقدار تخمینی و مقدار واقعی در بندر انزلی و آمل ۲.۱ ساعت بوده که یک بار در داده‌ها مشاهده گردید. بیشینه اختلاف در داده‌های ایستگاه همدان یک ساعت بوده که تنها یک باراتفاق افتاده، در حالیکه بالاترین اختلاف ثبت شده در تویسرکان ۰.۷ ساعت بوده است. با توجه به این که روزهای مورد بررسی به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند[1]، نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که روش مورد استفاده در مقایسه با روش های موجود از دقت نسبتا بالاتری برخوردار است. لازم به یادآوری است که برای روش‌های مورد استفاده قبلی میانگین اختلاف بیشتر از ۰.۶ ساعت در منابع گزارش شده است. برای بررسی دقیق‌تر کیفیت داده‌های تخمینی، خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)[2] را برای داده‌های تخمینی هر ایستگاه به صورت جداگانه محاسبه کرده‌ایم. همان گونه که در جداول ۱ و ۲ گزارش شده، مقدار خطای جذر میانگین مربعات در ایستگاه بندر انزلی ۰.۸۷۵ ساعت در هر روز، ایستگاه آمل ۰.۸۴ ساعت در روز، ایستگاه فرودگاه همدان ۰.۳۰۴ ساعت در روز و در نهایت در ایستگاه تویسرکان ۰.۱۵۴ ساعت در هر روز بوده است. مقادیر بزرگتر خطا که در نتایج به دست آمده برای دو ایستگاه بندر انزلی و آمل مشاهده گردید را می‌توان به دقت ابزارهای مورد استفاده منتسب نمود. به طور مشخص اقلیم متفاوت این دو ایستگاه نسبت به ایستگاه‌های همدان و تویسرکان باعث شده که ساعات آفتابی در این ایستگاه‌ها کمتر، و مقدار تغییرات وضعیت آسمان در این ایستگاه‌ها بیشتر باشد. با تغییر مداوم وضعیت آسمان در طول روز، از ابری به آفتابی و بالعکس، دقت اندازه‌گیری دستگاه آفتاب‌نگار کاهش پیدا می‌کند. چرا که دقت اندازه‌گیری در این ابزار دهم ساعت (معادل با شش دقیقه) است، در حالی که دقت نرم‌افزار از مرتبه یک دقیقه است. علاوه بر این افزایش خطای دیدبان در قرائت کارت آفتاب‌نگار در چنین روزهایی، باعث افزایش اختلاف می‌شود. مهمترین دلیل بر این ادعا، افزایش اختلاف مقادیر تخمینی نرم‌افزار با مقدار به دست آمده از آفتاب‌نگار در روزهای نیمه ابری است. و نکته جالب‌تر اینکه اغلب در چنین روزهایی نرم‌افزار مقادیر بزرگتری را نسبت به آفتاب‌نگار تخمین می‌زند.

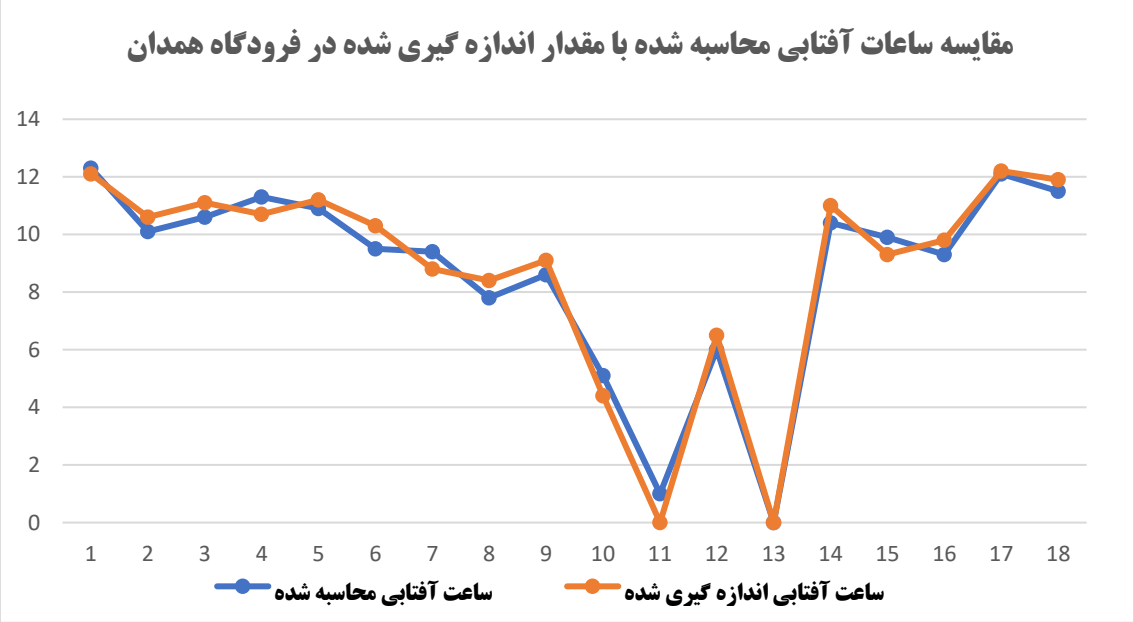
جدول ۲: مقایسه ساعات آفتابی اندازه‌گیری شده و مقدار تخمین زده شده توسط نرم‌افزار برای ایستگاه‌های سینوپتیک فرودگاهی همدان و تویسرکان

تاریخ	ایستگاه فرودگاه همدان		تاریخ	ایستگاه تویسرکان	
	تخمین نرم‌افزار	کارت آفتاب نگار		تخمین نرم‌افزار	کارت آفتاب نگار
۲۰۱۹-۰۷-۲۰	۱۲.۳	۱۲.۱	۲۰۱۹-۰۷-۲۰	۱۲.۳	۱۱.۹
۲۰۱۹-۰۸-۱۰	۱۰.۱	۱۰.۶	۲۰۱۹-۰۷-۲۵	۱۲.۳	۱۲.۱
۲۰۱۹-۰۸-۲۰	۱۰.۶	۱۱.۱	۲۰۱۹-۰۸-۱۰	۸.۵	۸.۹
۲۰۱۹-۰۹-۱۰	۱۱.۳	۱۰.۷	۲۰۱۹-۰۸-۲۰	۱۱.۲	۱۱.۲
۲۰۱۹-۰۹-۲۰	۱۰.۹	۱۱.۲	۲۰۱۹-۰۹-۱۰	۱۱.۵	۱۰.۹

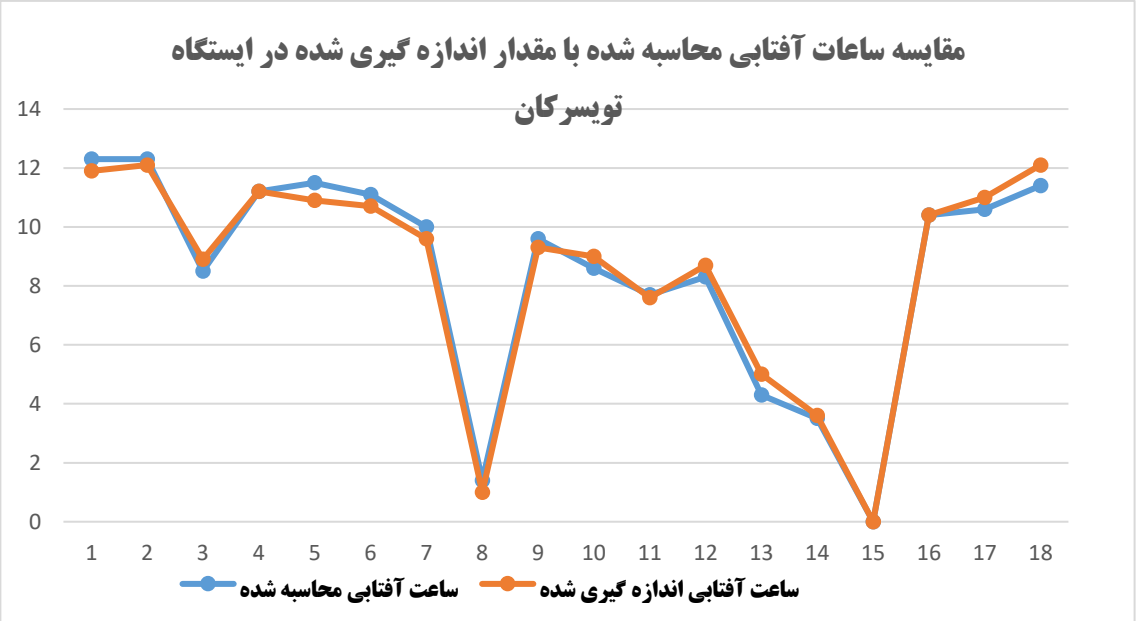
[1] لازم به ذکر است که منحصرا از روزهایی برای مقایسه استفاده شده که دسترسی به آمار یک دقیقه ای تابش در روزهای قبل از آن امکان پذیر بوده است.

[2] root-mean-square error

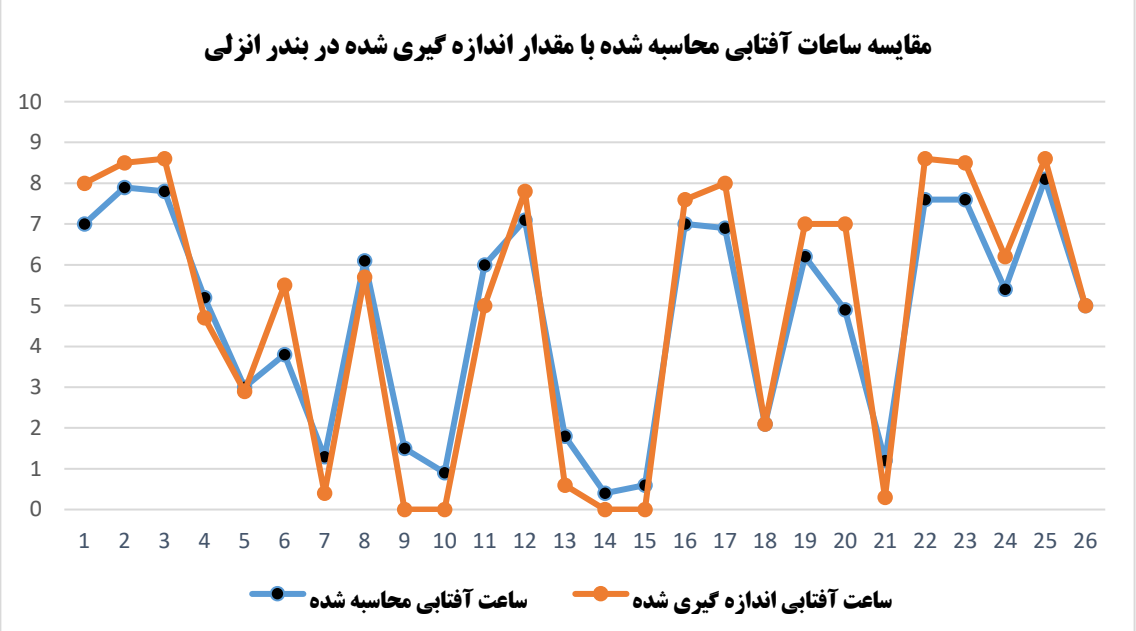
۲۰۱۹-۱۰-۱۰	۹.۵	۱۰.۳	۲۰۱۹-۰۹-۲۰	۱۱.۱	۱۰.۷
۲۰۱۹-۱۱-۱۰	۹.۴	۸.۸	۲۰۱۹-۱۰-۱۱	۱۰	۹.۶
۲۰۱۹-۱۲-۱۰	۷.۸	۸.۴	۲۰۱۹-۱۰-۲۲	۱.۴	۱
۲۰۱۹-۱۲-۲۰	۸.۶	۹.۱	۲۰۱۹-۱۱-۱۰	۹.۶	۹.۳
۲۰۲۰-۰۱-۱۰	۵.۱	۴.۴	۲۰۱۹-۱۱-۲۱	۸.۶	۹
۲۰۲۰-۰۱-۲۲	۱	۰	۲۰۱۹-۱۲-۱۰	۷.۷	۷.۶
۲۰۲۰-۰۲-۱۵	۶	۶.۵	۲۰۱۹-۱۲-۲۰	۸.۳	۸.۷
۲۰۲۰-۰۲-۲۵	۰	۰	۲۰۲۰-۰۱-۲۰	۴.۳	۵
۲۰۲۰-۰۳-۱۰	۱۰.۴	۱۱	۲۰۲۰-۰۱-۲۵	۳.۵	۳.۶
۲۰۲۰-۰۳-۲۵	۹.۹	۹.۳	۲۰۲۰-۰۲-۲۵	۰	۰
۲۰۱۹-۰۴-۲۵	۹.۳	۹.۸	۲۰۲۰-۰۳-۱۰	۱۰.۴	۱۰.۴
۲۰۲۰-۰۵-۰۹	۱۲.۱	۱۲.۲	۲۰۲۰-۰۵-۰۹	۱۰.۶	۱۱
۲۰۲۰-۰۵-۲۲	۱۱.۵	۱۱.۹	۲۰۲۰-۰۵-۱۵	۱۱.۴	۱۲.۱
RMSE=0.304 h/day			RMSE=0.154 h/day		



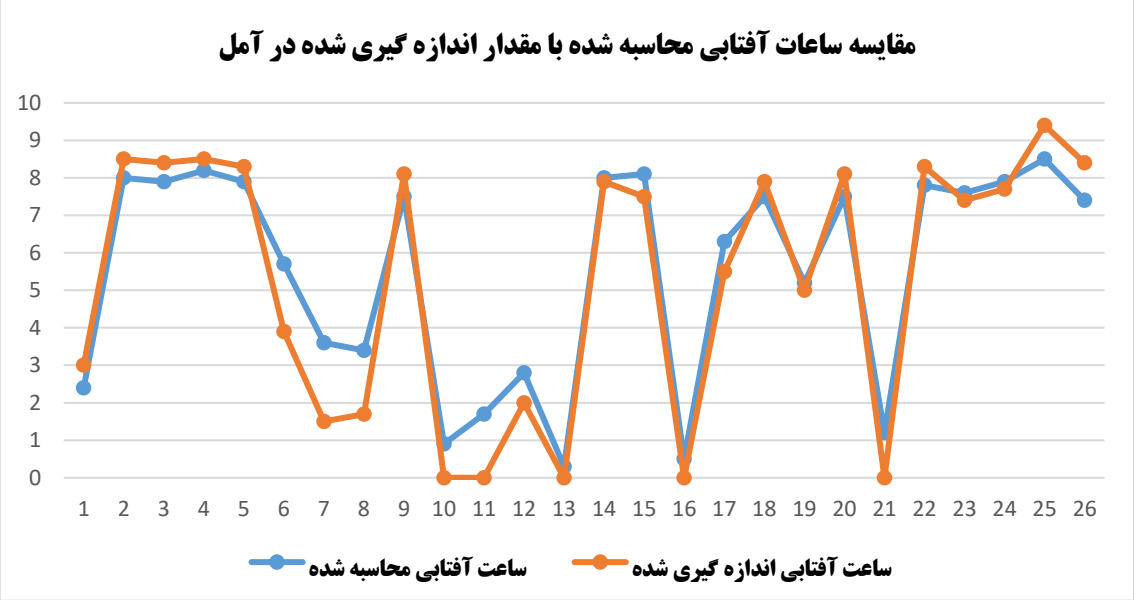
شکل ۱: نمودار مقایسه ساعات آفتابی اندازه‌گیری شده و مقدار تخمین زده شده توسط نرم‌افزار برای ایستگاه فرودگاهی همدان



شکل ۲: نمودار مقایسه ساعات آفتابی اندازه‌گیری شده و مقدار تخمین زده شده توسط نرم‌افزار برای ایستگاه تویسرکان



شکل ۳: نمودار مقایسه ساعات آفتابی اندازه‌گیری شده و مقدار تخمین زده شده توسط نرم‌افزار برای ایستگاه بندر انزلی

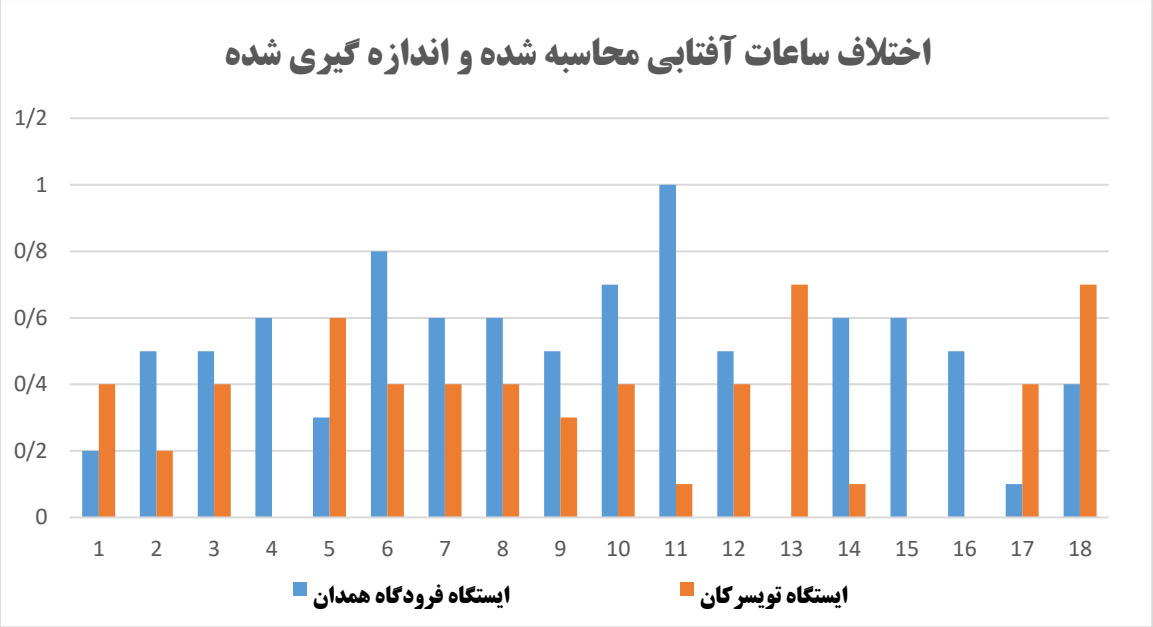


شکل ۴: نمودار مقایسه ساعات آفتابی اندازه‌گیری شده و مقدار تخمین زده شده توسط نرم‌افزار برای ایستگاه آمل

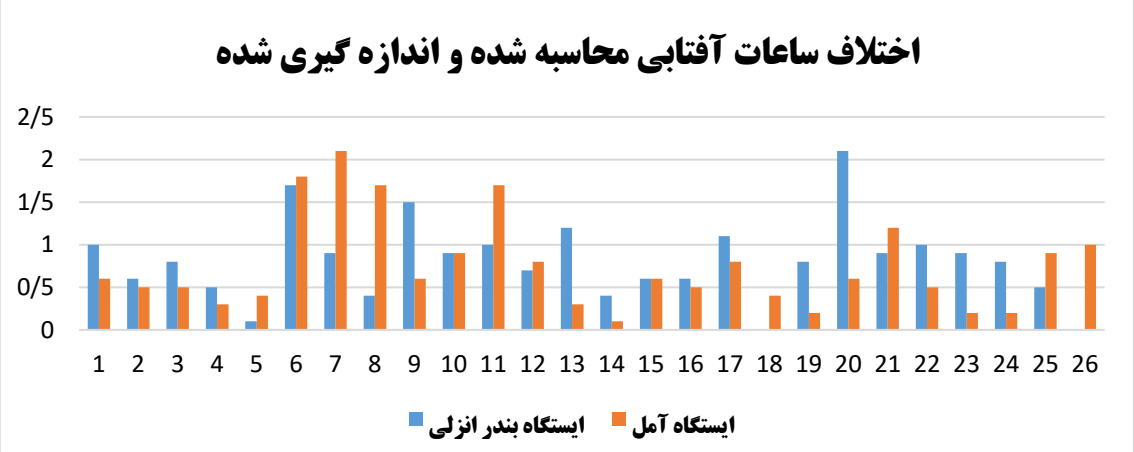
جدول ۳: مقایسه ساعات آفتابی اندازه‌گیری شده و مقدار تخمین زده شده توسط نرم‌افزار برای ایستگاه‌های سینوپتیک بندر انزلی و آمل

تاریخ	ایستگاه بندر انزلی		تاریخ	ایستگاه آمل	
	تخمین نرم‌افزار	کارت آفتاب نگار		تخمین نرم‌افزار	کارت آفتاب نگار
۲۰۲۳-۱۲-۰۱	۷.۰	۸.۰	۲۰۲۳-۱۲-۰۱	۲.۴	۳.۰
۲۰۲۳-۱۲-۰۲	۷.۹	۸.۵	۲۰۲۳-۱۲-۰۲	۸.۰	۸.۵
۲۰۲۳-۱۲-۰۳	۷.۸	۸.۶	۲۰۲۳-۱۲-۰۳	۷.۹	۸.۴
۲۰۲۳-۱۲-۰۵	۵.۲	۴.۷	۲۰۲۳-۱۲-۰۴	۸.۲	۸.۵
۲۰۲۳-۱۲-۰۶	۳.۰	۲.۹	۲۰۲۳-۱۲-۰۵	۷.۹	۸.۳
۲۰۲۳-۱۲-۰۷	۳.۸	۵.۵	۲۰۲۳-۱۲-۰۶	۵.۷	۳.۹
۲۰۲۳-۱۲-۰۹	۱.۳	۰.۴	۲۰۲۳-۱۲-۰۷	۳.۶	۱.۵
۲۰۲۳-۱۲-۱۰	۶.۱	۵.۷	۲۰۲۳-۱۲-۰۸	۳.۴	۱.۷
۲۰۲۳-۱۲-۱۱	۱.۵	۰.۰	۲۰۲۳-۱۲-۱۰	۷.۵	۸.۱
۲۰۲۳-۱۲-۱۳	۰.۹	۰.۰	۲۰۲۳-۱۲-۱۱	۰.۹	۰.۰
۲۰۲۳-۱۲-۱۵	۶.۰	۵.۰	۲۰۲۳-۱۲-۱۲	۱.۷	۰.۰
۲۰۲۳-۱۲-۱۶	۷.۱	۷.۸	۲۰۲۳-۱۲-۱۳	۲.۸	۲.۰
۲۰۲۳-۱۲-۱۷	۱.۸	۰.۶	۲۰۲۳-۱۲-۱۴	۰.۳	۰.۰
۲۰۲۳-۱۲-۱۸	۰.۴	۰.۰	۲۰۲۳-۱۲-۱۵	۸.۰	۷.۹
۲۰۲۳-۱۲-۱۹	۰.۶	۰.۰	۲۰۲۳-۱۲-۱۷	۸.۱	۷.۵
۲۰۲۳-۱۲-۲۰	۷.۰	۷.۶	۲۰۲۳-۱۲-۱۸	۰.۵	۰.۰
۲۰۲۳-۱۲-۲۱	۶.۹	۸.۰	۲۰۲۳-۱۲-۱۹	۶.۳	۵.۵
۲۰۲۳-۱۲-۲۲	۲.۱	۲.۱	۲۰۲۳-۱۲-۲۱	۷.۵	۷.۹
۲۰۲۳-۱۲-۲۳	۶.۲	۷.۰	۲۰۲۳-۱۲-۲۲	۵.۲	۵.۰

۲۰۲۳-۱۲-۲۴	۴.۹	۷.۰	۲۰۲۳-۱۲-۲۳	۷.۵	۸.۱
۲۰۲۳-۱۲-۲۵	۱.۲	۰.۳	۲۰۲۳-۱۲-۲۵	۱.۲	۰.۰
۲۰۲۳-۱۲-۲۶	۷.۶	۸.۶	۲۰۲۳-۱۲-۲۶	۷.۸	۸.۳
۲۰۲۳-۱۲-۲۷	۷.۶	۸.۵	۲۰۲۳-۱۲-۲۷	۷.۶	۷.۴
۲۰۲۳-۱۲-۲۹	۵.۴	۶.۲	۲۰۲۳-۱۲-۲۹	۷.۹	۷.۷
۲۰۲۳-۱۲-۳۰	۸.۱	۸.۶	۲۰۲۳-۱۲-۳۰	۸.۵	۹.۴
۲۰۲۳-۱۲-۳۱	۵.۰	۵.۰	۲۰۲۳-۱۲-۳۱	۷.۴	۸.۴
RMSE=0.875 h/day			RMSE=0.84 h/day		



شکل ۵: نمودار اختلاف ساعات آفتابی اندازه‌گیری شده و مقدار تخمین زده شده توسط نرم‌افزار برای ایستگاه‌های فرودگاه همدان و تویسرکان



شکل ۶: نمودار اختلاف ساعات آفتابی اندازه‌گیری شده و مقدار تخمین زده شده توسط نرم‌افزار برای ایستگاه‌های بندر انزلی و آمل

نتیجه‌گیری

پیش از این الگوریتم‌های مختلفی برای تخمین ساعات آفتابی از داده‌های تابش پیشنهاد شده و مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این پژوهش، روش جدیدی را برای این کار پیشنهاد نموده و به بررسی کمی و کیفی عملکرد روش پیشنهادی پرداخته‌ایم. برای این کار از اطلاعات چهار ایستگاه با مختصات جغرافیایی کاملا متفاوت استفاده کرده‌ایم. در نهایت برای سنجش صحت عملکرد نرم‌افزار از داده‌های اندازه‌گیری شده واقعی در سطح ایستگاه استفاده کردیم. مقایسه نتایج به دست آمده از نرم‌افزار با مقادیر ساعات آفتابی اندازه‌گیری شده با استفاده از آفتاب‌نگار نشان می‌دهد که میانگین اختلاف به دست آمده در مقایسه با میانگین اختلاف گزارش شده از الگوریتم‌هایی که پیش از این مورد استفاده قرار گرفته‌اند از مقدار کمتری برخوردار است. برای اطمینان از کیفیت داده‌های تخمینی و همچنین برای اینکه بتوانیم دقت روش پیشنهادی خود را با روش‌هایی که پیش از این در پژوهش‌های دیگر مورد بررسی قرار گرفته‌اند مقایسه کنیم از ابزار آماری خطای جذر میانگین مربعات استفاده نمودیم. نتایج نشان داد که این کمیت در ایستگاه‌های مختلف بین ۰.۱۵۴-۰.۸۷۵ ساعت در هر روز تغییر می‌کند. مقایسه این نتیجه با نتایج به دست آمده از روش‌های دیگر نشان دهنده کیفیت بالای روش پیشنهادی در این مقاله است. چرا که مقدار خطای جذر میانگین مربعات در روش پیشنهادی (ژو و همکاران،۲۰۲۰) برابر با ۰.۹۷۷ ساعت در روز، در روش پیشنهادی (شمیم و همکاران،۲۰۱۲) بین ۰.۶۶-۲.۳۱ ساعت در روز و در روش پیشنهادی (کاندیرماز و کابا،۲۰۱۴) برابر با ۱.۸۹ ساعت در روز بوده است. لازم به ذکر است بخش بزرگی از اختلاف مشاهده شده بین مقدار تخمینی ساعات آفتابی با مقدار اندازه‌گیری شده توسط آفتاب‌نگار، به ویژه در ایستگاه‌های بندر انزلی و آمل، مربوط به روزهایی است که وضعیت آسمان مدام بین حالت ابری و آفتابی در حال تغییر است. در چنین مواردی اعداد بالاتر به دست آمده از نرم‌افزار نشان دهنده دقت بالاتر روش پیشنهادی ما در مقایسه با آفتاب‌نگار است. چرا که در چنین روزهایی، لحظات آفتابی کوتاه (در حد چند دقیقه) معمولا منجر به سوختن کارت آفتاب‌نگار نمی‌شود. به عبارت بهتر در آفتاب‌نگار دقت اندازه‌گیری مقادیر سوخته کارت پایین و نهایتا در حد دهم ساعت است. در حالی که در روش پیشنهادی این مقاله تک تک دقایق به صورت جداگانه بررسی و نتایج آنها در مقدار تخمینی ساعات آفتابی لحاظ می‌شود. علاوه بر این، نرم‌افزار اخیر از مزایای دیگری نیز برخوردار است که ما را برای بکارگیری آن در مقایسه با سایر روشها ترغیب می‌نماید. برخی از این مزایا عبارتند از:

۱- بر خلاف روش‌های دیگر، در این روش تنها به یک عدد سنسور تابش نیاز داریم.

۲- نرم‌افزار بدون نیاز به هیچ گونه تنظیمات جدید برای هر ایستگاهی قابل استفاده است.

۳- امکان شبیه سازی گرافیکی کارت و همچنین تولید فایل رقومی داده‌های ساعات آفتابی توسط نرم‌افزار وجود دارد.

٤- نصب و استفاده از نرم‌افزار نیازی به سیستم کامپیوتر جداگانه ندارد و بر روی هر سیستمی قابل اجراست.

٥- با توجه به اینکه داده‌های لحظه‌ای و همچنین تعیین آستانه آفتابی و ابری بودن آسمان با یک سنسور واحد سنجیده می‌شوند، کالیبره بودن یا نبودن سنسور خطایی در محاسبات ایجاد نمی‌کند.

٦- از آنجا که در ایستگاه‌های تمام خودکار، دیدبان در ساعات پایانی روز حضور ندارد و امکان تعویض به موقع کارت آفتاب‌نگار

مقدور نیست، استفاده از این روش گزینه مناسبی برای بهبود کیفیت داده‌های ساعات آفتابی خواهد بود.

۷- با توجه به هزینه‌های زیاد ناشی از خرید، استفاده و رقومی‌سازی کارت‌های آفتاب‌نگار، استفاده از این روش باعث صرفه‌جویی مناسبی در این زمینه خواهد شد.

در کنار مزایای اخیر معایبی نیز در استفاده از این روش وجود دارد، از جمله این‌که:

۱- مواقعی که بنا به دلایل مختلف، اختلالی در تولید و یا ذخیره داده‌های یک دقیقه‌ای تابش ایجاد شود، با افزایش داده‌های مفقوده خطای محاسباتی نرم‌افزار افزایش می‌یابد.

۲- مشابه استفاده از سایر سنجنده‌های خودکار، استفاده از این روش هم نیازمند وجود پردازشگر و نیز دسترسی به منبع ذخیره‌سازی داده‌هاست.

با جمع بندی کلیه موارد به نظر می‌رسد استفاده از روش اخیر به ویژه در ایستگاه‌های تمام خودکار گزینه مناسبی برای جایگزینی دستگاه آفتاب‌نگار خواهد بود. همچنین بررسی‌هایی برای بهبود عملکرد نرم افزار در دست انجام است که با تکمیل آن می‌توان به کاهش اختلاف مقدار محاسبه شده با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط دستگاه آفتاب‌نگار امیدوار بود.

منابع

۱- امیدوار، کمال، ابراهیمی، رضا، و جمشیدی مطلق، مرضیه. (۱۳۹۵). بررسی تاثیر لکه های خورشیدی بر دمای ایستگاه های کرمان و شیراز طی نیم قرن اخیر با استفاده از آنالیز موجک. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۵(۱۹)، ۱۷-۳۶.

۲- حجازی زاده، زهرا، کربلایی درئی، علیرضا، و کربلایی، محمدرضا. (۱۳۹۷). برآورد تابش خورشیدی دریافتی سطح زمین در استان اصفهان با مدل برد و هول استورم. جغرافیا و توسعه، ۱۶(۵۱)، ۱۵۹-۱۷۴.

۳- حجام، سهراب و جامعی، مژده،۱۳۸۸،برآورد پارامتر تابش(ساعات آفتابی) و ضرایب آنگستروم در استان خوزستان،دهمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر،کرمان

٤- خسروی، محمود، رستمی جلیلیان، شیما ، ۱۳۹۳، بررسی ارتباط بارش و دمای ایران با چرخه لکه های خورشیدی با استفاده از پالایش موجک، پژوهش های اقلیم شناسی، شماره ۱۹، صص ۵۲-۳۹

٥- شیرمحمدی علی اکبرخانی, زهرا, شجاعی, رضا. (۱۳۹۷). ارزیابی و کارایی مدل‌های برآورد تابش خورشیدی در مقیاس روزانه در شهرستان اهواز. نشریه هواشناسی و علوم جوّ, ۱(۴), ۳۵۰-۳۴۳.

٦- فرجی مهیاری، خدیجه، خانعلی، مجید، فرجی مهیاری، زهرا (۱۳۹۴)، ارزیابی مدل های تجربی برآورد تابش خورشیدی روزانه بر پایه دمای هوا در چهار منطقه آب و هوایی ایران، انرژی ایران دوره هجدهم زمستان ۱۳۹۴ شماره ۴ (پیاپی ۵۶)

۷- کرباسی، مسعود. (۱۳۹۵). بازسازی داده های مفقوده مجموع ماهیانه ساعات آفتابی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱۰(۵)، ۵۷۰-۵۸۰.

۸- کلانکی، مهدی، رمضانی اعتدالی، هادی، و فن اوول، پیتر. (۱۴۰۱). ارزیابی تغییرات مولفه های اقلیمی آینده از شمال تا جنوب غرب ایران. اکوهیدرولوژی، ۹(۲)، ۳۷۳-۳۸۶.

۹- گلکارحمزیی یزد، حمیدرضا. (۱۳۸۹). تاثیر تغییرات اقلیمی بر روند تغییرات سری زمانی برخی از پارامترهای اقلیمی در ایران. جغرافیای طبیعی، ۳(۷)، ۹۲-۱۰۳.

۱۰- مجرد، فیروز، و مرادی، کامران. (۱۳۹۳). نگرشی بر ناموزونی ها و روندهای ساعات آفتابی در ایران. جغرافیا و توسعه، ۱۲(پیاپی ۳۴)، ۱۵۳-۱۶۵.

۱۱- مجرد، فیروز؛ امان الله فتح نیا؛ سعید رجایی (۱۳۹۴)، برآورد تابش خورشیدی دریافتی سطح زمین در استان کرمانشاه، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. شمارهٔ ۱۹ صفحات ۶۹- ۵۵.

۱۲- محرمی آزاد، جعفر ، صفایی، ناصر ، ۱۳۹۷، ارزیابی عملکرد سازمان هواشناسی کشور در جمع آوری داده با رویکرد مدل توسعه یافته کارت امتیازی متوازن، پژوهش های اقلیم شناسی، سال نهم، شماره ۳۹، صص ۱۰۱-۱۱۱

۱۳- معینی سام، جوادی شهرام، کوکبی محسن، دهقان منشادی محسن (۱۳۸۹). برآورد تابش خورشیدی در ایران با استفاده از یک مدل بهینه. نشریه انرژی ایران. ۱۳ (۲) :۱-۱۰

۱۴- مونس خواه, وحید, خالدی علمداری, محمد, هادی, معین, صمدیان فرد, سعید. (۱۴۰۱). مقایسه کارآیی روش‌های هوشمند و آماری در بازسازی داده‌های ساعات آفتابی (مطالعه موردی: شرق حوضه دریاچه ارومیه). هواشناسی کشاورزی, ۱۰(۲), ۲۸-۳۶.

۱۵- میان آبادی، آمنه ، اقتداری، مهرنوش ، فرید حسینی، علیرضا ، ۱۳۹۱، واسنجی دو مدل برآورد تابش خورشیدی و توسعه دو مدل تابش تک پارامتری بر اساس ابرناکی در مشهد، ایران، پژوهش های اقلیم شناسی، سال سوم، شماره ۱۱، ۵۳-۶۴

16- Akinoglu, B. G.; Ener Rusen, S., 2013. Combining the satellite imagery with bright sunshine hours: A review, J. Renewable Sustainable Energy 5, 041802.

17- Almorox, J., M. Benito and C. Hontoria, 2005, Estimation of monthly Angstrom-Prescott equation coefficients from measured daily data in Toledo, Spain, Renewable Energy, No. 30, pp. 931–936.

18- Angstrom, A., 1924, Solar and terrestrial radiation, Quart, J. Roy, Meteorol, Soc, No.50, pp. 121–125.

19- Baumgartner, T., 1979: Die Schwellenintensität des Sonnenscheinautographen Campbell-Stokes an wolkenlosen Tagen. Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, No. 84, Zürich.

20- Bider, M., 1958: Über die Genauigkeit der Registrierungen des Sonnenscheinautographen Campbell- Stokes. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B, 9(2):199–230.

21- Good, E. Estimating daily sunshine duration over the UK from geostationary satellite data. Weather 2010, 65, 324–328.

22- Hinssen, Y.B.L. and W.H. Knap, 2007: Comparison of pyranometric and pyrheliometric methods for the determination of sunshine duration. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 24(5):835–846.

23- Iziomon, M. G. and H. Mayer, 2002, Assessment of some global solar radiation parameterizations, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, No. 64, pp.1631–1643.

24- Kaba, K., Kandirmaz, H. and Avci M., 2017, Estimation of daily sunshine duration using support vector machines, International Journal of Green Energy, 14:4, 430-441.

25- Kandirmaz, H.M.; Kaba, K. Estimation of daily sunshine duration from Terra and aqua MODIS data. Adv. Meteorol. 2014, 613267, 1–9.

26- Morel, J.P., E. Vuerich, J. Oliviéri and S. Mevel, 2012: Sunshine duration measurements using the Carpentras method. Baseline Surface Radiation Network meeting, Postdam, Germany, 1–3 August 2012.

27- Prescott, J. A., 1940, Evaporation from water surface in relation to solar radiation, Trans.Roy. Soc. Austr, No. 64, pp. 114–125.

28- Robaa, S. Evaluation of sunshine duration from cloud data in Egypt. Energy 2008, 33, 785–795.

29- Shamim, M.A.; Remesan, R.; Han, D.W.; Ejaz, N.; Elahi, A. An improved technique for global daily sunshine duration estimation using satellite imagery. J. Zhujiang Univ. Sci. A (Appl. Phys. Eng.) 2012, 13, 717–722.

30- Slob, W.H. and W.A.A. Monna, 1991: Bepaling van een directe en diffuse straling en van zonneschijnduur uit 10-minuutwaarden van de globale straling. KNMI TR136, de Bilt.

31- Sonntag, D. and K. Behrens, 1992: Ermittlung der Sonnenscheindauer aus pyranometrisch gemessenen Bestrahlungsstärken der Global-und Himmelsstrahlung. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, No. 181.

32- Suehrcke, H., S. Bowden, R., Hollands, K.G.T. 2013, Relationship between sunshine duration and solar radiation, Solar Energy, 92,160-171.

33- Vuerich, J.P. Morel, S. Mevel, J. Oliviéri). Paper presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO- 2012). Instruments and Observing Methods Report No. 109. Geneva.

34- WMO, 2012: Updating and development of methods for worldwide accurate measurements of sunshine duration (E.

35- WMO-8, Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, 2017.

36- Wu B, Liu S, Zhu W, Yu M, Yan N, Xing Q. A Method to Estimate Sunshine Duration Using Cloud Classification Data from a Geostationary Meteorological Satellite (FY-2D) over the Heihe River Basin. Sensors (Basel). 2016 Nov 4;16(11):1859. doi: 10.3390/s16111859. PMID: 27827935; PMCID: PMC5134518.

37- Zhu, Weiwei, Bingfang Wu, Nana Yan, Zonghan Ma, Linjiang Wang, Wenjun Liu, Qiang Xing, and Jiaming Xu. 2020. "Estimating Sunshine Duration Using Hourly Total Cloud Amount Data from a Geostationary Meteorological Satellite" Atmosphere 11, no. 1: 26. https://doi.org/10.3390/atmos11010026

Journal of Meteorology and Atmospheric Sciences *Volume 6, Issue 1, Spring and Summer 2023*

Estimation of sunshine duration using one-minute global irradiance measurements

***Mehdi Rezaei* [*1], *Mohammad Hasan Bagherishakib* [2], *Saeid Bagheri* [3], *Ali Akbar Bahramlu* [4]**

[1] *PhD, Hamedan Research Center for Applied Meteorology, Hamedan, Iran*
[2] *MSC, Hamedan Research Center for Applied Meteorology, Hamedan, Iran*
[3] *MSC, Hamedan Research Center for Applied Meteorology, Hamedan, Iran*
[4] *BC, Hamedan Research Center for Applied Meteorology, Hamedan, Iran*

*Corresponding Author Email: *rezaei@irimo.ir*

Received: 12 October 2023, Accepted: 13 February 2024

ABSTRACT

In this paper, we have proposed a new model to estimate sunshine duration using one-minute global irradiance measurements. Preparing a software program upon the proposed model, in four different weather stations of Hamedan Airport, Anzali, Amol and Tuyserkan, we have computed the sunshine duration for different days of the year and compare the results with those obtained from the Campbell-Stokes sunshine recorder. Our results show that the mean value of differences between the estimated parameter and the real values of sunshine duration is 0.81 hours in Anzali station, 0.74 hours in Amol station, 0.5 hours in Hamedan Airport station and 0.3 hours in Tuyserkan station. Furthermore, the root-mean-square error (RMSE) obtained for different stations in this work varies between 0.154 to 0.875 h/day which is a good result compared with previous works. Comparing our results with those obtained in previous papers upon different proposed models indicates that our model can be a good alternative for the Campbell-Stokes sunshine recorder.

Keywords: *sunshine duration, sunshine recorder, global irradiance, meteorology.*

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Rezaei, M.; Bagherishakib, M.H; Bagheri, S; Bahramlu, A.A. (2023). Estimation of sunshine duration using one-minute global irradiance measurements. J. Meteorol. Atmos. Sci., 6(1): 56-72

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal.
This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).