

تعیین زاویه بهینه پنل‌های خورشیدی در جزیره کیش

عباسعلی آروین^{۱*}، بهرام نجف‌پور^۲، علیرضا ترنجی^۳

^۱عضو هیأت‌علمی دانشگاه پیام نور

^۲استادیار و عضو هیأت‌علمی دانشگاه پیام نور

^۳کارشناسی‌ارشد اقلیم‌شناسی

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۱۸

چکیده

بهره‌گیری از انرژی تابش خورشید در جزیره کیش به عنوان قطب گردشگری، نقش مؤثری در حفظ محیط زیست و افزایش جذابیت این جزیره دارد. هدف این پژوهش تعیین پتانسیل انرژی تابشی خورشید و زاویه بهینه پنل‌های خورشیدی به منظور بهره‌گیری از انرژی‌های پاک در جزیره کیش است. مدل تخمین تابش بر اساس داده‌های روزانه تابش‌سنجی و اقلیمی ایستگاه بندرعباس به دست آمد. اعتبار مدل و صحت مقادیر برآورد شده با استفاده از میانگین خطای بایاس و ریشه میانگین مجموع مربع خطاها و نیز ضریب همبستگی بین مقدار پیش‌بینی شده و مقدار مشاهده شده تأیید گردید. نتایج نشان داد مدل مبتنی بر ضریب روشنایی و ابرناکی آسمان تخمین دقیق‌تری از مقدار تابش دریافتی در سطح افقی به دست می‌دهد. نتایج حاصل از تعمیم مدل نشان داد بالاترین پتانسیل تابش نه در اول تابستان و مصادف با بالاترین زاویه تابش، بلکه منطبق بر ماه ژوئن است که دارای بالاترین ضریب روشنایی و کمترین میزان ابرناکی در جزیره کیش است؛ همچنین روش‌های مختلف برای تعیین زاویه بهینه پنل‌های خورشیدی بررسی شدند و سرانجام از مدل اسکیکر برای تعیین زاویه بهینه پنل‌های خورشیدی استفاده شد. مدل دافی و بکمن نیز برای مقایسه مقدار تابش دریافتی در سطح زوایای پنل خورشیدی و تابش در سطح افق استفاده شد. نتایج نشان داد متوسط ماهانه شیب مناسب پنل‌های خورشیدی برای ژوئن حداقل ۴ درجه و برای ژانویه و دسامبر حداکثر ۵۰ درجه نسبت به امتداد افق است. با اعمال زاویه مناسب بر پنل‌ها، مقدار تابش در ماه ژانویه و دسامبر به ترتیب ۴۸ و ۵۵ درصد افزایش نشان می‌دهد. میزان افزایش متوسط سالانه در سطح پنل ۱۵/۲ درصد بیشتر از سطح افقی است.

واژه‌های کلیدی: جزیره کیش، تابش خورشیدی، مدل تخمین، ضریب روشنایی

مقدمه

انرژی خورشیدی در ایران ۱۶۰۰ برابر انرژی صادراتی ایران در سال ۱۳۶۹ یعنی معادل ۹۵۲/۵ میلیون بشکه نفت است (جعفرپور و کارشناس، ۱۳۸۰: ۴۵). در کشور ما نیروگاه خورشیدی ۲۵۰ کیلوواتی شیراز در حال راه‌اندازی است که شروع خوبی جهت کسب دانش و توسعه این صنعت می‌باشد.

از آنجایی که جزیره کیش منطقه‌ای گردشگری است، ضروری‌ست اقدامات لازم در راستای حفظ محیط زیست صورت گیرد. از طرفی به دلیل این‌که به‌جز چند منطقه بسیار کم که از انرژی خورشیدی استفاده می‌کنند، تولید انرژی الکتریکی در جزیره‌ی کیش تنها از طریق سوزاندن سوخت (گاز یا گازوییل) در توربین‌های گازی یا ژنراتورهای گازوییلی صورت

انرژی خورشید یکی از منابع تأمین انرژی رایگان، پاک و عاری از اثرات مخرب زیست‌محیطی است که از دیرباز به روش‌های گوناگون مورد استفاده بشر قرار گرفته است. هم‌اکنون با به‌کارگیری جمع‌کننده‌های خورشیدی می‌توان تا حد بسیار زیادی از این منبع انرژی بی‌پایان، پاک و رایگان استفاده کرد و در مصرف سوخت‌های فسیلی صرفه‌جویی نمود. ایران از جمله کشورهای است که روی کمربند خورشیدی قرار دارد و سالانه میزان بسیار بالایی از انرژی خورشیدی را دریافت می‌کند. برآوردها نشان می‌دهد که دریافت

*نویسنده مسئول: a_arvin@pnu.ac.ir

می‌گیرد. ضرورت استفاده از چند منبع انرژی در هنگام بروز مشکل یا حادثه پیش‌بینی نشده دلیل دیگر بر استفاده از انرژی خورشیدی است؛ همچنین هزینه‌ی نسبتاً بالا و روزافزون استفاده از سوخت‌های فسیلی و محدود بودن این منابع و ضرورت حفظ آن‌ها برای نسل‌های آینده، گران بودن تجهیزات از قبیل توربین‌ها و استحلاک بالای آن به دلیل هوای مرطوب منطقه، دلیلی دیگر برای استفاده از انرژی خورشیدی در جزیره است.

اهداف آمایشی این پژوهش، بررسی و آمایش انرژی‌های نو در کشور و در مناطق استراتژیک کشور است؛ لذا راهکار مناسب برای تعیین میزان تابش در جزیره‌ی کیش ارائه شده است؛ همچنین روش مناسب برای تعیین زوایای مناسب پنل‌های خورشیدی برای هر ماه به منظور بهره‌گیری بهتر از انرژی تابش خورشید ارائه شده است که از دیگر اهداف آمایشی این پژوهش می‌باشد.

سابقه استفاده از انرژی خورشیدی بسیار طولانی و قدیمی است. شاید حضرت سلیمان اولین فردی بود که از این انرژی به‌عنوان سلاح استفاده کرد. بعدها، ارشمیدس با آینه، نور خورشید را متمرکز نموده و با انعکاس آن، کشتی‌های دشمنان کشورش را سوزاند. به منظور بهره‌گیری از انرژی خورشیدی مطالعات بسیاری در کشور صورت گرفته است. برای مثال صمیمی (۱۹۹۴) کشور ایران از لحاظ تابش خورشیدی سالانه به چهار منطقه‌ی تابش کمتر از ۳۵۰، تابش متوسط بین ۳۵۰ تا ۳۹۰، تابش زیاد بین ۳۹۰ تا ۴۳۰ و منطقه تابش خیلی زیاد بیشتر از ۴۳۰ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز تقسیم‌بندی کرده است. طبق نقشه‌ی صمیمی، جزیره کیش در زمره مناطق با تابش خیلی زیاد قرار می‌گیرد. خلیلی و رضایی‌صدر (۱۳۷۶: ۱۷) با استفاده از آمار ساعات آفتابی و میزان ابرناکی و نیز رطوبت نسبی ۸۵ ایستگاه سینوپتیک کشور در دوره ۱۹۹۶-۱۹۹۱ رابطه آنگستروم و رابطه نمایی رطوبت نسبی را برای تخمین تابش در ایران پیشنهاد داد. صابری‌فر (۱۳۸۹: ۴۷) پتانسیل تابش خورشیدی را در سیستم‌های

فتوولتایک و آبگرمکن‌های خورشیدی در استان خراسان جنوبی بررسی کردند و استان خراسان جنوبی را به پنج منطقه تابشی تقسیم‌بندی نمودند. سام معینی و همکاران (۱۳۸۹: ۷۷) از پارامترهای مختلف هواشناسی همچون دما، بارندگی، رطوبت، ساعات آفتابی، مقدار ابرناکی به تخمین مقدار تابش در ایستگاه یزد با استفاده از مدل آنگستروم پرداختند و مقادیر پیش‌بینی شده را با شاخص خطا آزمودند. نتایج نشان داد مدل آنگستروم از دقت بالایی برای تخمین تابش برخوردار است. موسوی بایگی و اشرف (۱۳۹۰: ۶۷۳) مناطق پرتابش ایران را بر اساس میزان مناطق کم ابر ایران، از طریق روابط همبستگی بین میزان ابرناکی و میزان تابش دریافتی در ۱۲۰ ایستگاه سینوپتیک کشور تعیین نمودند. کمترین میزان ابرناکی بر مناطق جنوب شرقی و جنوبی کشور منطبق بود که به همین ترتیب بر میزان ابرناکی به سمت شمال و شمال غرب کشور افزوده می‌شود. کاظمی و مردی (۱۳۹۰: ۷۳) تابش اندازه‌گیری شده را با مقدار تابش تخمین زده شده توسط مدل دافی بکمن در ایستگاه سینوپتیک دانشگاه آزاد تهران واحد جنوب در یک دوره آماری از ۹ آگست تا ۱۱ اکتبر ۲۰۱۱ مقایسه کردند و نتایج را بر اساس کاهش میزان خطای پیش‌بینی تأیید نمودند. بهرامی و عباس‌پور ثانی از مدل غیرایزوتروپیک KT برای تعیین زاویه بهینه پنل‌های خورشیدی در منطقه کرج استفاده کردند. دشتکی‌پور و همکاران (۱۳۹۳: ۵۵) برای برآورد مقدار تابش خورشیدی از دو مدل؛ خطی آنگستروم و مدل خطی دیگری که پارامتر تاثیر گذار مستقل موثر آن، سینوس زاویه میل خورشید است، در شهرهای کرمان، یزد و زاهدان استفاده کردند. نتایج نشان داد میانگین ماهیانه مقدار کل تابش خورشیدی بر روی یک سطح افقی به عوامل نجومی، هندسی، جغرافیایی و هواشناسی آن منطقه ارتباط دارد و مدل خطی مبتنی بر سینوس میل خورشید نتایج بهتر و دقیق‌تری نسبت به مدل خطی آنگستروم دارد. همچنین در خارج از کشور جی ای داویس^۱ (۱۹۸۹: ۱۵۳) مدل‌های

برای سنجش مقدار تابش پراکنده ساعتی دریافتی بر روی سطوح شیب‌دار جنوب شرق برزیل استفاده کردند. نتایج نشان داد با افزایش ضریب انتقال تابش اتمسفر و نیز مقدار شیب، مقدار تابش پخش شده افزایش می‌یابد. بهترین مدل‌های تخمین ناهمسانگر مدل‌های؛ ما و اقبال^۹، هی^{۱۰}، ریندل و همکاران^{۱۱}، ویلموت^{۱۲} و مدل‌های همسانگر؛ بدسکو و کوروناکیس^{۱۳} و کیرکاموسولار^{۱۴} هستند. دیوید آمو و همکاران^{۱۵} (۲۰۱۳: ۵) مدل رگرسیونی چندگانه را برای تخمین تشعشع خورشیدی بر روی سطوح افقی بر اساس ساعات آفتابی در پورت هارکورت نیجریه بکار بردند و نتایج را با استفاده از خطای تخمین و ریشه مربع خطای تخمین مورد سنجش قرار دادند. دبازیت داتا و همکاران^{۱۶} (۲۰۱۴: ۹۸) تشعشع بر روی سطوح افقی و شیب دار را برای ۶ منطقه بنگلادش با استفاده از مدل‌های رگرسیونی محاسبه نمودند و نواحی با پتانسیل بالای تشعشع خورشیدی را تشخیص دادند. آزام خسونه و همکاران^{۱۷} (۲۰۱۵: ۱۹۱) زاویه مناسب پنل‌های خورشیدی را در نواحی شمالی اردن بررسی کردند

قلمرو پژوهش و داده‌ها

اگر چه موضوع و هدف این پژوهش تعیین پتانسیل انرژی تابشی در جزیره کیش است؛ لیکن با توجه به اینکه در ایستگاه کیش اکتینوگراف برای اندازه‌گیری مقدار تابش در سطح زمین وجود ندارد، از روش‌های تخمین تجربی برای تعیین مقدار تابش دریافتی در جزیره استفاده شد. برای این منظور از داده‌های روزانه میزان تابش، ساعات آفتابی و ابرناکی آسمان در ایستگاه بندر عباس در یک دوره آماری ۱۴ ساله از ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۹ برای بدست آوردن مدل تخمین

مختلف را برای تخمین تابش بر روی سطوح افقی ارزیابی کرد و نشان داد مدل لایه ابر بهترین تخمین از مقدار تابش نشان می‌دهد. چیبیر و چیبانی^۱ (۱۹۹۹: ۱۰۵) متوسط ماهانه تابش روزانه را با استفاده از مدل باربارو که توسط سایر نویسندگان تعدیل شده و نیز مدل رگرسیونی تخمین زدند و مدل مناسب را برای تخمین تابش در الجزایر ارائه دادند. ال‌سبایی و ترابیا^۲ (۲۰۰۵: ۱۶۵) مدل آنگستروم را جهت برآورد مقدار تابش در پنج ایستگاه مصر توسعه دادند و نتایج به دست آمده را با استفاده از MPE, RMSE, MBE مورد ارزیابی قرار دادند. داده‌های اقلیمی مورد استفاده در این مدل‌ها ضریب روشنایی و ابرناکی بوده است. نتایج ایشان نشان داد از این مدل می‌توان برای محاسبه تابش در همه مناطق مصر استفاده گردد. صفری پور و مهرابیان (۲۰۱۱: ۱۵۵۰) تابش کلی و تابش پراکنده اندازه‌گیری شده در ایستگاه کرمان را با تابش برآورد شده توسط مدل برد و هالستروم^۳ و نیز مدل‌های رگرسیونی با همدیگر مقایسه کردند. نتایج ایشان نشان داد مدل‌های رگرسیونی روشی مناسب برای برآورد مقدار تابش در مناطق فاقد داده تابش‌سنجی است. الرواحی و همکاران^۴ (۲۰۱۱) تابش ساعتی را بر روی سطوح افقی و شیب دار در مسقط عمان پیش‌بینی کردند و بهترین شیب را جهت بالاترین راندمان برای نصب جمع‌کننده‌های خورشیدی ارائه دادند. شیام و اگراوال^۵ (۲۰۱۱) از عناصر درجه حرارت و ساعات آفتابی به منظور محاسبه مقدار تابش در سطوح افقی و شیب‌دار در دهلی با استفاده از مدل اصلاح شده اورگیل و هولندز^۶ استفاده نمودند و فاکتور شیب را با روش کلین^۷ محاسبه نمودند. روش ارائه شده می‌تواند برای محاسبه تشعشع کلی و پراکنده بر روی سطوح افقی و شیب‌دار استفاده گردد. سوزا و اسکوبی^۸ (۲۰۱۳) از ۲۰ مدل

9. Ma and Iqba

10. Hay

11. Reindl et al.

12. Willmott

13. Badescu and Koronakis,

14. Circumsolar

15. Mfon David Umoh et al.

16. Debazit Datta et al.

17. Khasawneh et al

1. M. Cheggar and A. Chibani

2. A. A. El-Sebaai1 and A. A. Trabeca

3. Bird and Hulstrom

4. Al-Rawahi et al.

5. Shyam and. Aggarwal

6. Orgill and Hollands

7. Klein

8. Souza and Escobedo

باعث شده مورد توجه دولتها برای سرمایه گذاری به عنوان یک منطقه گردشگری از قبل از انقلاب تا کنون باشد. این امر با استقبال خوب مردم نیز مواجه بوده و همواره به عنوان یک مقصد گردشگری مطرح می‌باشد. از این رو بررسی ابعاد مختلف اقتصادی آن می‌تواند به بهینه شدن و افزایش صرفه اقتصادی ارائه خدمات مناسب به گردشگران منجر شود. در این زمینه تولید انرژی ارزان قیمت یکی از دغدغه‌های اصلی مسئولین سازمان منطقه آزاد کیش است که این پژوهش در پاسخ به این نیاز مردم و مسئولین در جزیره است.

تابش استفاده شده است؛ همچنین از داده‌های ساعات آفتابی و ابرناکی ایستگاه سینوپتیک کیش در دوره اقلیمی مشابه برای تخمین مقدار دریافت انرژی تابشی خورشیدی در جزیره کیش استفاده شده است.

جزیره کیش با مساحت ۹۱ کیلومتر مربع از جمله جزایر مرجانی خلیج فارس است. منطقه پیرامون ساحلی آن ۴۳ کیلومتر و شکل تقریباً بیضی دارد. این جزیره در فاصله ۱۸ کیلومتری بندر گرز (بندر آفتاب) در خلیج فارس قرار دارد (شکل ۱). موقعیت ویژه جزیره کیش تحت تأثیر سواحل زیبای ماسه‌ای و آبهای شفاف، خاک حاصل از اسکلت مرجانی آن و ...



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه (منبع: سازمان منطقه آزاد کیش)

خورشیدی استفاده کرده‌اند (خلیلی و رضایی صدر ۱۳۷۶)، صمیمی (۱۳۷۳)، سام معینی و همکاران (۱۳۸۹) ال‌سبایی و ترابیا (۲۰۰۵)، صفری پور و مهربابیان (۲۰۱۱) دبازیت داتا و همکاران (۲۰۱۴)، دیوید آمو و همکاران (۲۰۱۳). در این پژوهش نیز از عناصر اقلیمی ساعات آفتابی و ابرناکی برای تخمین میزان تابش در جزیره کیش استفاده شده است. روش و مراحل انجام کار به شرح زیر بوده است. ابتدا مقدار تابش در بالای جو برای ایستگاه بندر

روش کار

بهترین راه اندازه‌گیری انرژی خورشیدی، نصب پیرانومترها در ایستگاه‌ها و خواندن اطلاعات ضبط شده توسط آن‌ها می‌باشد. در نبود دستگاه‌های اندازه‌گیری مدل‌های تجربی می‌توانند مفید واقع شوند. این مدل‌ها بر اساس عناصر اقلیمی به پیش‌بینی و تخمین میزان انرژی خورشیدی می‌پردازند. بسیاری از محققین در مدل‌های تجربی از ساعات آفتابی، ابرناکی، رطوبت نسبی، عرض جغرافیایی و دما برای برآورد انرژی

رابطه ۳:

$$\cos \theta = \frac{\sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma + \omega \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega}{\cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega}$$

و یا

رابطه ۴:

$$\cos \theta = \cos \theta_z \cos \beta + \sin \theta_z \sin \beta \cos(\gamma_s - \gamma)$$

در این روابط:

δ زاویه میل تابش خورشید

ϕ عرض جغرافیایی محل

β زاویه شیب

γ آزیموت سطح شیب، نسبت به جنوب صفر، در جهه شرق منفی از ۰ تا ۱۸۰- درجه و به سمت غرب مثبت از ۰ تا ۱۸۰+

ω زاویه ساعتی خورشید، در صبح منفی و در بعد از ظهر مثبت به ازاء هر ساعت ۱۵ درجه.

γ_s جهت زاویه تابش خورشید، جنوب صفر، در جهت شرق منفی و از ۰ تا ۱۸۰- درجه و به سمت غرب مثبت که از ۰ تا ۱۸۰+ تغییر می‌کند

روش‌های مختلفی نیز برای تعیین زاویه بهینه پنل‌های خورشیدی ارائه شده است برای مثال هیوود^۲ (۱۹۷۱) رابطه زیر را که بسیار ساده نیز هست برای زاویه بهینه پنل پیشنهاد داده است:

$$\beta_{opt} = \phi - 10^\circ \quad \text{رابطه ۵:}$$

بر این اساس با توجه به عرض جغرافیایی کیش که ۳۰° و ۲۶° می‌باشد، زاویه بهینه پنل‌های خورشیدی در جزیره کیش ۳۰° و ۱۶° خواهد بود. لاند^۳ (۱۹۸۰) رابطه زیر را پیشنهاد داده است که علامت + برای اوقات زمستان است و علامت منفی - برای فصل تابستان استفاده می‌شود.

$$\beta_{opt} = \phi \pm 15^\circ \quad \text{رابطه ۶:}$$

بر اساس رابطه فوق زاویه بهینه پنل‌های خورشیدی در جزیره کیش در زمستان ۳۰° و ۴۱° خواهد بود و در تابستان ۳۰° و ۱۱° می‌باشد. دافی و بکمن

عباس بر اساس مدل (جان و ویلیام^۱ ۱۹۸۰ : ۳۰) بر حسب ژول محاسبه گردید. سپس رابطه آنگسترم با استفاده از رگرسیون خطی برای ایستگاه بندرعباس بسط داده شد و مقدار تابش دریافتی بر روی سطح زمین بر اساس مقدار ابرناکی و ضریب روشنایی خورشید محاسبه گردید. ضریب همبستگی بین متغیرهای مؤثر بر مقدار تابش دریافتی بر سطح زمین و مؤلفه‌های ابرناکی و ضریب روشنایی $R=0.745$ که با ضریب تبیین $R^2=0.555$ در سطح اطمینان ۹۹٪ معنادار است. ضریب همبستگی بین مقدار نسبت تابش بر سطح زمین بر تابش بالای جو ($\frac{H}{H_0}$) با ضریب درخشندگی خورشید ($\frac{n}{N}$) $R=0.738$ و با ابرناکی آسمان $R=0.721$ است.

مدل رگرسیونی تخمین تابش در ایستگاه بندرعباس به صورت رابطه ۱ است.

$$\frac{H}{H_0} = 0.346 + 0.418 \frac{n}{N} - 0.001C \quad \text{رابطه ۱:}$$

در این رابطه:

H مقدار تابش دریافتی در سطح زمین است

H_0 مقدار تابش دریافتی در بالای جو

N تعداد ساعات آفتابی واقعی

N تعداد ساعات آفتابی نجومی

C ابرناکی آسمان

با توجه به اینکه مقدار تابش در سطح تخت پنل از جمله شیب پنل و جهت شیب آن بستگی دارد؛ لذا نیاز دارد که مقدار تابش در هر موقع از روز بر روی سطح پنل تخمین زده شود. جهت تخمین مقدار تابش در هر سطح شیب روش‌های مختلفی ارائه شده است. در این پژوهش از روش دافی بکمن (۱۹۸۰) استفاده شد که رابطه آن به شکل زیر است.

مقدار تابش بر سطح شیب پنل از رابطه ۲ محاسبه شد.

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad \text{رابطه ۲:}$$

در این رابطه:

θ زاویه برخورد تابش: زاویه بین پرتو تابش به سطح و خط برخورد نرمال که از رابطه ۳ یا ۴ بدست می‌آید.

θ_z زاویه زنیت خورشید

با این حال در این تحقیق از مدل اسکیکر (۲۰۰۹) برای تعیین زاویه بهینه پنل‌های خورشیدی استفاده شد که بتواند ارزیابی بهتری از موقعیت پنل‌ها در جزیره ارائه نماید. برای تعیین زاویه بهینه پنل در مقیاس روزانه می‌توان از رابطه ۷ و در مقیاس ماهانه از رابطه ۸ بهره برد.

$$\beta_{opt} = \phi - \tan^{-1} \left[\frac{h_{SS}}{\sin h_{SS}} \tan(\delta) \right] \quad \text{رابطه ۷}$$

(۱۹۸۰) پیشنهاد دادند زاویه بهینه پنل‌های خورشیدی می‌تواند بین ۱۰+ تا ۲۰+ درجه عرض جغرافیایی به ترتیب برای تابستان و زمستان تغییر کند. بر این اساس زاویه بهینه پنل‌های خورشیدی در جزیره کیش در تابستان ۳۰' و ۳۶° تا ۳۰' و ۴۶° و در زمستان بین ۳۰' و ۴۶° تا ۳۰' و ۵۶° درجه متغیر باشد.

$$\beta_{opt} = \phi - \tan^{-1} \frac{X}{Y} \quad \text{رابطه ۸}$$

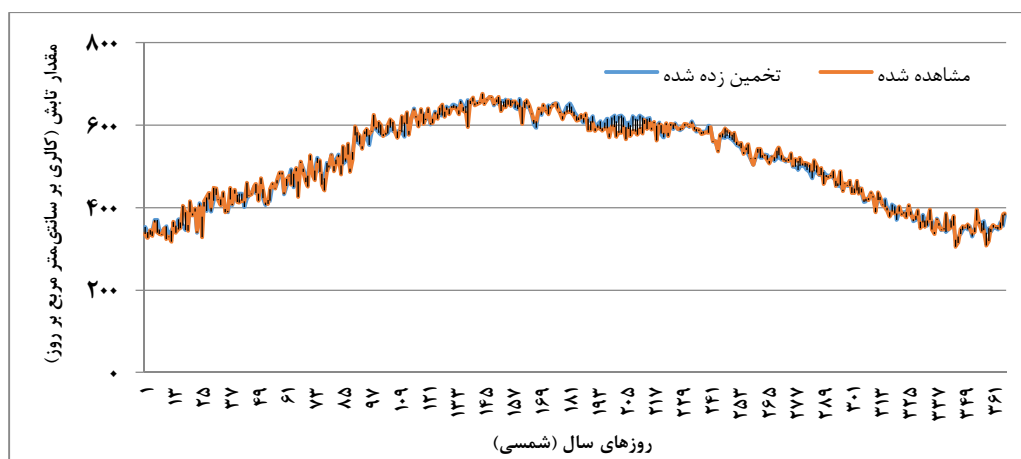
$$X = \sum_{n=n1}^{n=n2} \frac{24}{\pi} I_0 \left[1 + 0.034 \cos \left(\frac{2\pi n}{365} \right) \right] \sin(\delta) h_{SS}$$

$$Y = \sum_{n=n1}^{n=n2} \frac{24}{\pi} I_0 \left[1 + 0.034 \cos \left(\frac{2\pi n}{365} \right) \right] \sin(\delta) \sin(h_{SS})$$

بندعباس در شکل شماره ۱ نشان می‌دهد مدل دقت بالایی برای تخمین تابش دارد. همانطور که در شکل مشاهده می‌کنید مقدار برآورد شده با مقدار اندازه‌گیری شده بسیار نزدیک است و این بر اعتبار مدل در برآورد تابش تأکید دارد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج بدست آمده، بهترین مدل تخمین تابش در جزیره کیش مدلی است که ضریب روشنایی و ابرناکی آسمان را مورد لحاظ قرار دهد. مقایسه مقدار تابش برآورد شده توسط مدل و مقدار تابش اندازه‌گیری شده توسط تابش‌سنج در ایستگاه



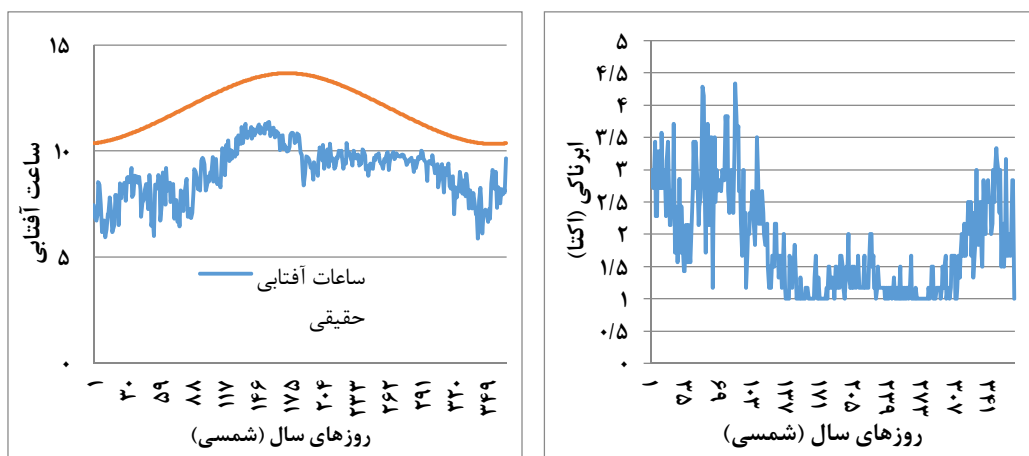
شکل ۱: مقایسه مقدار تخمین زده شده توسط مدل و مقدار اندازه‌گیری شده تابش در یافتی در سطح افقی زمین برای ایستگاه بندرعباس بر حسب کالری بر سانتی‌متر مربع بر روز

بیشتر از مقدار ثبت شده توسط دستگاه می‌باشد. ضریب همبستگی بین مقدار اندازه‌گیری شده و مقدار برآورد شده در ایستگاه بندرعباس برابر با $r=0/986$ به دست آمد که نشانگر دقت مدل برای برآورد مقدار تابش در رویه افقی سطح زمین است.

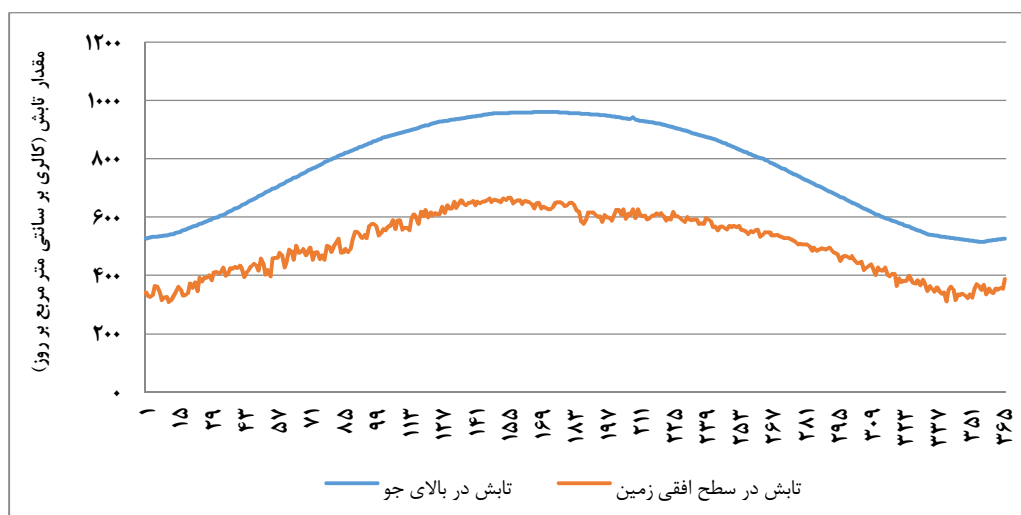
همچنین برای اطمینان از صحت مدل از رابطه میانگین خطای بایاس جهت آنالیز خطای پیش‌بینی بهره‌گیری شد. بر اساس آنالیز خطای پیش‌بینی میانگین مقدار برآورد شده $+0/48$ می‌باشد و نشانگر این است که مقدار برآورد شده توسط مدل اندکی

صورتی که گرمترین ماه سال یعنی جولای دارای ۹/۴۵ ساعت آفتابی حقیقی دارد که همین عامل به کاهش ضریب روشنایی خورشید در این ماه منجر شده است؛ همچنین متوسط میزان ابرناکی ماه ژوئن ۱/۱۲ ولی برای ماه جولای ۱/۳۲ است. کاهش ضریب روشنایی و افزایش میزان ابرناکی موجب کاهش تابش دریافتی در سطح زمین در اول تابستان مصادف با بالاترین زاویه تابش خورشید شده است. با مقایسه نمودارهای اشکال این موضوع به چشم می‌خورد.

در ادامه، مقدار تابش در سطح افقی زمین با استفاده از مدل تمین تابش و بر اساس مبنای ضریب روشنایی و ابرناکی آسمان ایستگاه جزیره کیش محاسبه شد. میانگین سالانه تعداد ساعات آفتابی نجومی در جزیره کیش ۱۲ ساعت و تعداد ساعات آفتابی حقیقی ۹ ساعت است و لذا متوسط ضریب درخشندگی یا روشنایی خورشید ۰/۷۵ است. البته همانطور که در شکل ۲ مشخص است بالاترین ساعات آفتابی با ۱۰/۶۸ ساعت مربوط به ماه ژوئن است در



شکل ۲: سمت راست؛ میزان ابرناکی آسمان بر حسب اکتا در جزیره کیش و سمت چپ؛ مقایسه تعداد ساعات آفتابی نجومی و تعداد ساعات آفتابی واقعی اندازه‌گیری شده توسط آفتابنگار در جزیره کیش



شکل ۳: مقدار تابش بر آورد شده در سطح افقی و تابش دریافتی در بالای جو در جزیره کیش بر حسب کالری بر سانتی متر مربع بر روز

سانتیمتر مربع در روز است. همچنین ماه ژوئن با متوسط تابش ۵۶۳/۱ کالری بر سانتیمتر مربع

بر اساس مدل برآورد تابش (رابطه ۱) مقدار متوسط سالیانه تابش بر جزیره کیش ۵۰۸/۷ کالری بر

غرب غروب می‌کند. در ۲۱ مارس و ۲۱ سپتامبر خورشید در ۹۰ درجه شرقی طلوع و ۲۷۰ درجه غربی غروب می‌کند و در ۲۱ ژوئن خورشید از ۶۴ درجه شمال شرق طلوع و در ۲۹۶ درجه شمال غرب غروب می‌کند.

به‌منظور حداقل کردن زاویه تابش خورشید (عمود کردن پرتو خورشید بر سطح تخته پنل) نیاز است که برای هر ساعت روز زاویه تخته نسبت به تابش تغییر کند. این امر نیاز به یک سیستم هوشمند تغییر زاویه پنل خورشیدی دارد که مستلزم صرف هزینه بسیار است که ممکن است مقرون به صرفه نباشد. لیکن برای اینکه حداکثر استفاده از تابش به عمل آید، بهتر است زوایای تخته‌های فتولتادیک را در هر ماه یا حداکثر برای هر فصل تنظیم نمایم تا استفاده بیشتری از انرژی خورشید حاصل آید. و گرنه در نظر گرفتن تنها یک زاویه برای سال صرفه اقتصادی ندارد. با این حال متوسط فصلی زاویه مناسب پنل‌ها نسبت به امتداد عمود در جدول ۱ نشان داده شده است.

بیشترین میزان تابش ماهانه و دسامبر با متوسط ماهانه ۲۹۷ کمترین مقدار تابش را دریافت می‌دارد؛ بنابراین بر اساس طبقه‌بندی صمیمی که مناطق با تابش خیلی زیاد را تابش دریافتی بیشتر از 430 cal/cm^2 در روز تعریف می‌کند (صمیمی، ۱۳۶۴)، جزیره کیش در زمره مناطق با تابش خیلی زیاد تعریف می‌گردد.

تعیین زاویه مناسب پنل‌های خورشیدی: میزان اشعه خورشید دریافت بر روی یک سطح یا جمع‌کننده‌ی خورشیدی در طول سال تغییر می‌کند. به منظور تعیین زاویه مناسب تخته‌های فتولتائیک خورشیدی برای بهره‌گیری از انرژی تابشی مستقیم خورشید از رابطه اسکیکر (۲۰۰۹) استفاده شد. بر اساس محاسبات انجام شده زاویه میل و ارتفاع خورشید و نیز زمان طلوع و غروب خورشیدی از نظم معینی پیروی می‌کند و همین موضوع در محاسبات شیب مناسب پنل‌ها مورد ملاحظه و توجه قرار گرفته است. برای مثال در ۲۱ دسامبر خورشید در ۱۱۶ درجه جنوب شرق طلوع و در ۲۴۴ درجه در جنوب

جدول ۱: زاویه مناسب پرتو تابش خورشیدی برای نصب پنل‌های خورشیدی در جزیره کیش (زاویه نسبت به حالت عمود محاسبه شده است).



ماه می‌باشد. بر این اساس کمترین زاویه مناسب شیب پنل در ماه ژوئن برابر با ۴ درجه نسبت امتداد افقی است و بیشترین زاویه مربوط به ژانویه و دسامبر ۵۰ درجه نسبت به حالت افق است. θ/θ_z زاویه بین پرتو تابش به سطح و خط برخورد نرمال نسبت به زاویه زنیت خورشید و نیز H_{panel} و H_{horz} مقدار تابش در سطح افقی و سطح پنل است.

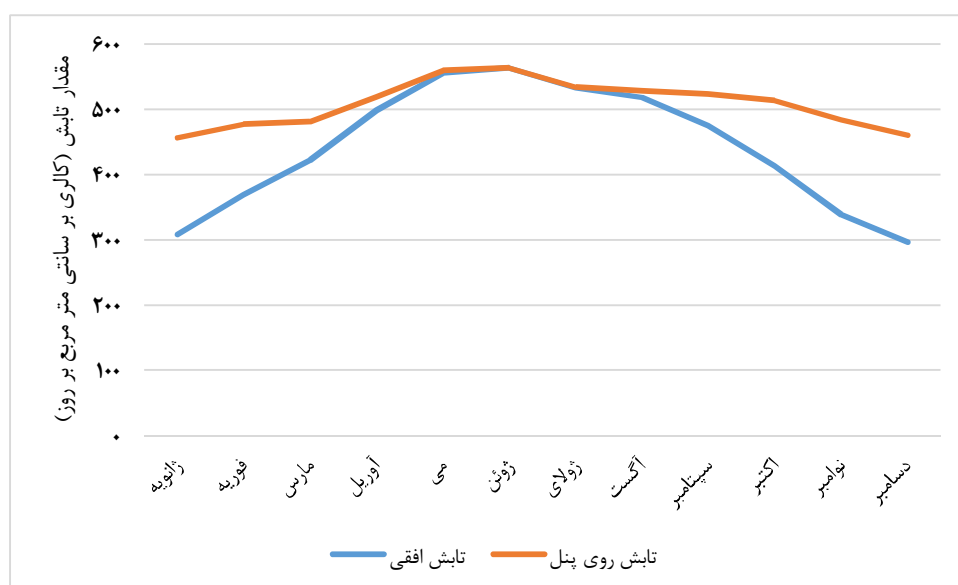
جدول ۲: مختصات تابش و زوایای متوسط مناسب تخته پنل‌های خورشیدی نسبت به حالت افقی و مقایسه تابش دریافت شده در سطح افقی و شیب پنل‌ها در ماه‌های مختلف سال.

در جدول ۲ جزئیات مختصات تابش خورشید در ماه‌های مختلف سال و نیز متوسط ماهانه زوایای مناسب پنل‌های خورشید برای ماه‌های مختلف سال محاسبه و درج گردیده است. در این جدول δ و α و Z به ترتیب زاویه میل خورشید، ارتفاع خورشید و زاویه زنیت خورشید در روز میانه هر ماه است و β_{opt} زاویه مطلوب پنل خورشیدی نسبت به حالت افقی در هر

| H_{panel} | H_{horz} | θ/θ_z | β_{opt} | Z | α | δ | |
|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------|----------|----------|---------|
| ۴۵۷ | ۳۰۸/۸ | ۱/۴۸ | ۵۰ | ۴۷/۶۸ | ۴۲/۲۳ | -۲۱/۲۷ | ژانویه |
| ۴۷۶/۸ | ۳۶۹/۶ | ۱/۳۹ | ۳۵ | ۳۹/۷۹ | ۵۰/۲۱ | -۱۳/۲۹ | فوریه |
| ۴۸۱/۵ | ۴۲۲/۴ | ۱/۱۴ | ۲۷ | ۲۸/۹۲ | ۶۱/۰۸ | -۲/۴۲ | مارس |
| ۵۱۹/۱ | ۴۹۹/۱ | ۱/۰۴ | ۱۹ | ۱۶/۷۲ | ۷۲/۲۸ | ۹/۷۸ | آوریل |
| ۵۵۹/۳ | ۵۵۶ | ۱/۰۰۶ | ۱۱ | ۷/۴۷ | ۸۲/۵۳ | ۱۹/۰۳ | می |
| ۵۶۳/۹ | ۵۶۳/۱ | ۱/۰۰۱۴ | ۴ | ۳/۱۵ | ۸۶/۸۵ | ۲۳/۳۵ | ژوئن |
| ۵۳۴/۱ | ۵۳۳/۴ | ۱/۰۰۱۳ | ۱۱ | ۵/۱۵ | ۸۴/۸۵ | ۲۱/۳۵ | جولای |
| ۵۲۸/۷ | ۵۱۸/۳ | ۱/۰۲ | ۱۹ | ۱۳/۰۵ | ۷۶/۹۵ | ۱۳/۴۵ | اگست |
| ۵۲۳/۲ | ۴۷۵/۶ | ۱/۱ | ۲۷ | ۲۴/۶۹ | ۶۵/۳۱ | ۱/۸۱ | سپتامبر |
| ۵۱۳/۲ | ۴۱۳/۹ | ۱/۲۴ | ۳۵ | ۳۶/۶۷ | ۵۳/۵۳ | -۹/۹۷ | اکتبر |
| ۴۸۳/۹ | ۳۳۸/۴ | ۱/۴۳ | ۴۳ | ۴۵/۸۸ | ۴۴/۱۳ | -۱۹/۳۸ | نوامبر |
| ۴۶۰/۳ | ۲۹۷ | ۱/۵۵ | ۵۰ | ۴۹/۸۷ | ۴۰/۱۳ | -۲۳/۳۷ | دسامبر |
| ۵۰۸/۴ | ۴۴۱/۳ | | | | | | متوسط |

مقدار تابش در سطح زاویه مناسب پنل‌های خورشیدی بطور متوسط در سال ۱۵/۲ درصد بیشتر از تابش در سطح افقی است. افزایش میزان تابش دریافتی بر سطح افقی در ماه‌های سرد سال بیشتر است و با اعمال زاویه مناسب بر پنل‌ها، مقدار تابش در ماه ژانویه و دسامبر به ترتیب ۴۸ و ۵۵ درصد افزایش نشان می‌دهد.

بر اساس جدول ۲ با توجه به موقعیت جزیره کیش در عرض جغرافیایی 30° و 26° که فقط 3° و 30° با مدار رأس السرطان فاصله دارد. کمترین زاویه‌ای که باید در اول روز تابستان به پنل خورشیدی داده شود 3° و 3° نسبت به امتداد افق خواهد بود. با این حال شیب مناسب در ماه ژوئن به‌طور متوسط 4° درجه است. بر اساس همین جدول و نیز نمودار شکل ۴،



شکل ۴: مقایسه مقدار تابش دریافتی خورشید در سطح افقی و سطح پنل‌های خورشید

نتیجه‌گیری

گردشگری در مقیاس ملی و بین‌المللی است و حفظ حیات زیستی و جلوگیری از آلودگی هوا و آب در آن

با عنایت به اینکه جزیره کیش منطقه مورد هدف

۲. خلیلی، علی. رضایی‌صدر، حسن. ۱۳۷۶. برآورد تابش کلی در گستره ایران بر مبنای داده‌های اقلیمی، تحقیقات جغرافیایی، شماره پیاپی ۴۶، صص ۳۵-۱۵.
۳. جعفرپور، خسرو. کارشناس، محمود. ۱۳۸۰. ضریب ابر و کاربرد آن در برآورد تابش انرژی خورشیدی در اقلیم‌های مختلف آب و هوایی ایران، نشریه انرژی ایران، شماره ۱۱، صص ۵۶-۴۵.
۴. جعفر کاظمی، فرزاد. مردی، حسین. ۱۳۹۰. بررسی داده‌های تابش خورشید در ایستگاه سینوپتیک دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، مجله مهندسی مکانیک، شماره ۸۰، صص ۷۵-۶۸.
۵. دشتکی‌پور، محمد هادی. جهانشاهی‌جواران، ابراهیم. صفاری‌پور، محم حسن. منصور، سیدحسین. ۱۳۹۳. تاثیر ثابت خورشیدی بر میزان تابش کل خورشیدی روزانه دریافتی در یک سطح افقی، ششمین همایش علمی تخصصی انرژی های تجدید پذیر، پاک و کارآمد، تهران.
۶. سام‌معینی، جواد. شهرام، دهقان. منشادی، محسن. اسماعیلی، رضا. ۱۳۸۹. برآورد پتانسیل تابش خورشیدی در شهر یزد، نشریه انرژی ایران، صص ۷۸-۷۱.
۷. موسوی‌باگی، محمد. اشرف، بتول. ۱۳۹۰. شناسایی مناطق با کمترین میزان ابرناکی به‌منظور پهنه بندی نواحی پرتابش کشور، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۳، صص ۶۷۵-۶۶۵.
۸. صابری‌فرو، رستم. ۱۳۸۹. پتانسیل بهره مندی از انرژی خورشیدی در استان خراسان جنوبی، اقتصاد انرژی، شماره ۱۳۲-۱۳۱، صص ۴۷-۴۳.
۹. صمیمی، جلال. ۱۳۷۳. برآورد تابش خورشیدی بر اساس ارتفاع و کاربرد آن در اقلیم خورشیدی ایران، مجله فیزیک، شماره ۱، صص ۱۸ تا ۲۶.

10. Al-Rawahi, N.Z., Zurigat, Y.H. and Al-Azri, N.A. 2011. Prediction of Hourly Solar Radiation on Horizontal and Inclined Surfaces for Muscat/Oman the Journal of Engineering Research, 8 (2): 19-31.
11. Cheggar, M. and Chibani, A. 1999. Methods for Computing Global Solar Radiation Rev. Energ. Ren, 24:105-108.
12. Davies, J.A. 1989. Evaluation of Selected Model for Estimating solar radiation on Horizontal Surfaces, Solar Energy, 43(3): 153-168.

اهمیت زیادی دارد، از این رو بهره‌برداری از انرژی‌های نو و پاک به خصوص انرژی خورشیدی باید در اولویت قرار گیرد. در این تحقیق با استفاده از داده‌های تابش‌سنجی ایستگاه بندرعباس (نزدیک‌ترین ایستگاه دارای داده‌های تابش‌سنجی به جزیره کیش) به تعیین مدل تخمین تابش به منظور تعیین پتانسیل تابش خورشیدی در هر یک از روزهای سال پرداخته شد. مزیت این تحقیق نسبت به سایر تحقیقات مشابه این است که از داده‌های روزانه بهره‌گیری شده است لذا پتانسیل تک تک روزها برای استفاده از سیستم‌های خورشیدی مشخص است. نتایج این پژوهش نشان داد بالاترین پتانسیل تابش نه در اول تابستان و مصادف با بالاترین زاویه تابش، بلکه منطبق بر ماه ژوئن است که دارای بالاترین ضریب روشنایی و کمترین میزان برناکی در جزیره کیش است. با این حال جزیره کیش با متوسط تابش ۵۰۸/۷ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز از جمله مناطق با پتانسیل بالا برای بهره‌گیری از انرژی تابش خورشیدی در سیستم‌های فتوولتائیک، سردکننده‌ها و نیز آبگرمکن‌های خورشیدی است. در این تحقیق از رابطه اسکیکر (۲۰۰۹) برای برآورد شیب مناسب پنل‌های خورشیدی و رابطه دافی و بکمن (۱۹۸۰) برای تعیین میزان تابش در سطح پنل در هر موقع از روز و سال استفاده شد. بر اساس نتایج حاصل از کاربرد دو مدل فوق، زوایای مناسب پنل‌های خورشیدی از حداقل ۴ درجه در ماه ژوئن تا حداکثر ۵۵ درجه نسبت به امتداد افق در ماه‌های ژانویه و دسامبر تغییر می‌کند. با بکارگیری زوایای مناسب داده شده در این پژوهش، بطور متوسط سالیانه می‌توان ۱۵/۲ درصد تابش روی سطح تخته‌های خورشیدی را افزایش داد. حداکثر این افزایش در ماه‌های ژانویه و دسامبر به ترتیب ۴۸ و ۵۵ است.

منابع

۱. بهرامی، الهه. عباسپورثانی، کمال. ۱۳۹۱. تعیین زاویه شیب بهینه آرایه‌های خورشیدی در شرایط اقلیمی کرج نشریه انرژی ایران، دوره ۱۵ شماره ۲، صص ۴۴-۳۷.

20. Qais Azzam Khasawneh, Qatada Abdullah Damrab, Omaymah Husni Bany Salmanb, 2015. Determining the Optimum Tilt Angle for Solar Applications in Northern Jordan *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 9 (3): 187–193.
21. Safaripour, M.H. and Mehrabian, M.A. 2011. Predicting the direct, diffuse, and global solar radiation on a horizontal surface and comparing with real data, *Heat Mass Transfer*, 47: 1537–1551.
22. Samimi, J. 1994. Estimation of Height-Dependent Solar Irradiation and Application to the Solar Climate of Iran, *Solar Energy*, 52(5): 401-409.
23. Shyam S. Chandel, and Rajeev Aggarwal, K. 2011. Estimation of Hourly Solar Radiation on Horizontal and Inclined Surfaces in Western Himalayas *Smart Grid and Renewable Energy*, 2: 45-55.
24. Skeiker, K. 2009. Optimum tilt angle and orientation for solar collectors in Syria". *Energy Conversion and Management*, 50: 2439–2448.
25. Souza, A.P. and Escobedo, J.F. 2013, Estimates of Hourly Diffuse Radiation on Tilted Surfaces in Southeast of Brazil *International Journal of Renewable Energy Research*, 3(1).
13. Debazit Datta, Suman Chowdhury, Apurba kumar Saha, Md. Moksud Islam (Ilan), Mohammad Mahbubur Rahman, 2014, Tilted And Horizontal Solar Radiation For 6 Zones In Bangladesh, *International Journal of Scientific & Technology Research*, 3(2).
14. Duffie J.A. and Bekman W.A., 1980. *Solar Engineering Thermal Processes*, Second Edition, A Wiley Interscience Publication, New York.
15. El-Sebaai A.A. and Trabea, A.A. 2005. Estimation of Global Solar Radiation on Horizontal Surfaces Over Egypt, *Egypt. J. Solids*, 28: 1.
16. Heywood, H. 1971. Operating experience with solar water heating. *JIHV*, 39: 63–69.
17. Jasmina Radosavljević, Amelija Đorđević, 2001. Defining of the Intensity of Solar Radiation on Horizontal and Oblique Surfaces on Earth, *Working and Living Environmental Protection*, 2(1): 77– 86.
18. Lunde, P.J. 1980. *Solar thermal engineering*, New York: Wiley.
19. Mfon David Umoh, Sunday O. Odo, Ye-Obong N. Udoakan, 2014. Estimating global solar radiation on Horizontal Surface from sunshine hourse over Port Harcurt, Nigeria, *Journal of Electrical and Electronics Engineering Research*, 6(1): 1-5.

