نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص: ۸۹-۱۱۲

J. Energy Conversion
Volume: 9, Issue: 1, 2022: 89-112

DOR: xx.xxxx.x.xxxxxxxx.xxxx.x.x.x.x

# برآورد تابش روزانه‌ی جهانی خورشید با استفاده از روش HDKR: مطالعه موردی- اهواز

**حبیب شعیبی[۱]، مهدی مهرپویا[۲و۴*]، احسان اله عصاره[۳]، محسن ایزدی[۴]، فتح اله پورفیاض[۲و۴]**

۱-دانشجوی دکتری تخصصی، گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.
۲-دانشیار، گروه مهندسی انرژی‌های نو و محیط‌زیست دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۳-استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.
۴-دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.

دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸، بازنگری: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۳۰

## چکیده

یکی از مهمترین مراحل استفاده از هر منبع انرژی تجدید شوندهای برآورد صحیح آن است. تابش خورشیدی جهانی به طور کلی بر روی یک سطح افقی اندازه‌گیری می شود، در حالی که حداکثر مقدار تابش خورشیدی برخوردی بر روی یک سطح شیب‌دار می باشد. با این وجود، به منظور بهره‌گیری کامل از تابش خورشیدی روی سطوح کلکتور، سیستم‌های خورشیدی ثابت معمولی، هم فتوولتائیک خورشیدی و هم کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت، بر روی سطوح شیب‌دار نصب می‌شوند. در این مطالعه به بررسی تخمین انرژی تابشی در سطح افقی و شیب‌دار کلکتورهای خورشیدی از مدل HDKR بهره گرفته‌شده است. در این راستا با استفاده از نرم‌افزار متلب به بررسی میزان انرژی دریافت شده توسط کلکتور خورشیدی در تمام سال پرداخته شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهند که در ایستگاه فرودگاه بین‌المللی اهواز ازنظر متوسط ماهانه، بیش‌ترین مقدار تابش مستقیم برای آسمان صاف مربوط به ماه ژوئن با ۲۰۶ کیلووات در ساعت بر مترمربع و کم‌ترین تابش مربوط به ماه فوریه با ۱۱۳ کیلووات ساعت بر مترمربع می‌باشد.

* **عهده‌دار مکاتبات:** mmhrpuya@gmail.com

**کلمات کلیدی:** انرژی تجدید پذیر، تابش مستقیم، تابش روزانه جهانی، روش HDKR

## ۱- مقدمه

انرژی خورشیدی عظیم‌ترین منبع انرژی در جهان است. این انرژی پاک، ارزان و بی‌پایان، در بیشتر مناطق زمین قابل استحصال است. محدودیت منابع فسیلی و پیامدهای حاصل از تغییرات زیست‌محیطی و آب‌وهوای جهانی، فرصت‌های مناسبی برای رقابت انرژی خورشیدی با انرژی‌های فسیلی خصوصاً در کشورهایی با پتانسیل بالای تابش ایجاد کرده است. سیستم‌های انرژی خورشیدی، فناوری‌های جدیدی هستند که برای تأمین گرما، آب گرم، الکتریسیته و حتی سرمایش منازل مسکونی، مراکز تجاری و صنعتی به کار می‌روند. [۱]. نقش انرژی در توسعه و پیشرفت جوامع بشری از چنان حساسیتی برخوردار است که در صورت نبود آن توسعه تمدن‌ها به شکل امروزی آن، امری محال بود. محدودیت ذخایر نفتی و سایر سوخت‌های فسیلی، جهان را در مهروموم‌های اخیر با مسئله پیچیده چگونگی تأمین انرژی موردنیاز آینده مواجه ساخته است. این امر باعث شده است تا بسیاری از جوامع به دنبال راهکارهایی برای جایگزینی انرژی‌ها تجدید پذیر با انرژی‌های فسیلی، باشند. یکی از

**نحوه استناد به این مقاله:** حبیب شعیبی، مهدی مهرپویا، احسان‌اله عصاره، محسن ایزدی، فتح‌اله پورفیاض. برآورد تابش روزانه جهانی خورشید با استفاده از روش **HDKR**: مطالعه موردی- اهواز. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۱; ۹ (۱) : ۱۱۲-۸۹.



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]

انرژی‌هایی که به‌زودی در دنیا رتبه نخست را به خود اختصاص خواهد داد انرژی خورشیدی است. فناوری ساده، آلوده نشدن هوا و محیط‌زیست و از همه مهم‌تر ذخیره شدن سوخت‌های فسیلی برای آیندگان از دلایل اصلی لزوم استفاده از انرژی خورشید هستند. به‌علاوه استفاده از آن برخلاف انرژی هسته‌ای، خطر و اثرات نامطلوبی از خود باقی نمی‌گذارد و برای کشورهایی که فاقد منابع انرژی زیرزمینی هستند، مناسب‌ترین راه برای دستیابی به نیرو، رشد و توسعه اقتصاد است [۲]. در حال حاضر انرژی خورشیدی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین انرژی‌های تجدید پذیر به‌طور گسترده موردمطالعه و بررسی قرارگرفته است. شواهد بسیاری وجود دارد که نشان می‌دهد انرژی خورشیدی، پتانسیل بالایی برای تأمین بخش قابل‌توجهی از انرژی موردنیاز بسیاری از کشورهای جهان را دارد[۳].

باوجود انتشار گسترده گسترش انرژی تجدید پذیر، اشتهای بی‌وقفه برای مصرف برخی منابع انرژی بر پایه فسیلی در حال افزایش است که نشان‌دهنده آینده‌ای تاریک برای زمین است. در مورد فن‌آوری‌های تجدیدپذیر، به‌خصوص انرژی خورشیدی، منافع اقتصادی و بهره‌برداری قوی دو عامل مهم هستند که به تولید و مصرف انرژی تجدیدپذیر می‌پردازند تا جایگزین فن‌آوری‌های نوین خورشیدی شوند. بنابراین، برای اجرای اصول توسعه پایدار، مهم است که انرژی تولیدشده پاک، به‌راحتی قابل‌دسترس، با هزینه معقولی بدون هیچ‌گونه عوارض جانبی تولید شود[۴, ۵]. انرژی خورشیدی مهم‌ترین منبع انرژی جهان است و نشان‌کرده شده است که پتانسیل قابل‌توجهی برای تأمین بخش قابل‌توجهی از تقاضای انرژی جهان وجود دارد در سال‌های اخیر، استفاده از فناوری‌های مبتنی بر انرژی خورشیدی در سراسر جهان به دلیل مسائل زیست‌محیطی، افزایش سریع قیمت سوخت‌های فسیلی و افزایش مصرف انرژی بسیار محبوب شده است. در دو دهه گذشته، سیستم‌های حرارتی خورشیدی به‌طور گسترده در زمینه‌های مختلف در جهان مورداستفاده قرارگرفته‌اند [۶, ۷]. تابش خورشیدی از ایمن‌ترین، مؤثرترین و اقتصادی‌ترین منابع انرژی است که پتانسیل تبدیل‌شدن به منبع اصلی انرژی در آیندهٔ نه‌چندان دور را دارد. برآورد و تخمین اشتباه تابش دریافتی، بزرگ‌ترین ریسک در پروژهٔ ایجاد یک سایت خورشیدی است. مجریان همواره نیازمند بررسی منبع تابش برای تعیین مکان مناسب سایت خورشیدی و در پی آن تولید انرژی برق و گرما هستند. استفادهٔ بهینه از انرژی خورشیدی نیازمند مکان‌یابی دقیق سایت خورشیدی است. تخمین تابش خورشیدی رسیده با سطح زمین کاربردهای زیادی در علوم معماری، مهندسی انرژی، کشاورزی و هیدرولوژی و .... دارد[۸].

دانستن مقدار تابش خورشیدی در هر محل برای بسیاری از مسائل کاربردی ازجمله تخمین تبخیر - تعرق، طراحی معماری، مدل‌های رشد محصولات کشاورزی و غیره، اهمیت فراوان دارد. اما علیرغم اهمیت اندازه‌گیری این پارامتر به دلیل مشکلات اقتصادی، وسایل و ابزار مناسب اندازه‌گیری تابش مانند سایر پارامترهای هواشناسی ازجمله دما و بارش در همه مناطق موجود نبوده و بنابراین باید به‌گونه‌ای آن را تخمین زد [۹, ۱۰]. این مسئله باعث ترغیب دانشمندان و محققان به‌سوی ارائه و استفاده از مدل‌های تابش شده است. مقادیر تابش به روش‌های مختلفی ازجمله روابط تجربی و رگرسیونی، استفاده از فن سنجش‌ازدور و شبکه‌های عصبی و میان یابی خطی محاسبه می‌شوند[۱۱]. اما از میان همه این روش‌ها مدل‌های تجربی کاربرد گسترده‌تری داشته و از محبوبیت بیشتری نیز بین کاربران برخوردار است. به‌طورکلی مدل‌های تجربی برآورد تابش طول‌موج کوتاه خورشیدی را می‌توان به سه دسته تقسیم‌بندی کرد. اول مدل‌هایی که مبنای آن‌ها ساعات آفتابی است[۱۱]، دوم مدل‌هایی که مبنای آن‌ها دمای هوا است[۱۲] و سوم مدل‌هایی که بر مبنای ابرناکی محاسبه می‌شوند[۱۳]. اگرچه تعداد زیادی از پارامترهای هواشناسی مانند رطوبت نسبی، ابرناکی، دما و ساعات آفتابی بر مقدار تابش خورشیدی مؤثر می‌باشند، اما تحقیقات متعدد نشان داده است که تأثیر ساعات آفتابی بر مقدار تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین، بیش از سایر پارامترها است[۱۱]. بر این اساس مدل‌های مختلفی برای تخمین مقدار تابش خورشیدی پیشنهادشده است که یکی از



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]

مهم‌ترین آن‌ها، مدل آنگستروم است که در سال ۱۹۲۴ ارائه شد. برای برآورد انرژی تابشی خورشید در یک منطقه، مدل‌های ریاضی متعددی توسط پژوهشگران داخلی و خارجی پیشنهادشده است که اکثر این مدل‌ها بر اساس آمار هواشناسی تدوین گردیده‌اند. نخستین بار آنگستروم با به‌کارگیری داده‌های هواشناسی مانند ساعات آفتابی توانست مدل ساده‌ای برای تخمین مقدار (R) در یک سطح افقی تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین در یک سطح افقی ارائه نماید[۱۴] بعد از وی دانشمندان زیادی اقدام به بهبود و تعدیل مدل آنگستروم نموده‌اند که ضرایب تبدیل و داده‌های ورودی آن‌ها به مدل و شرایط اقلیمی بستگی دارد. مدل آنگستروم در سال ۱۹۴۰ توسط پرسکات مجدداً اصلاح گردید[۱۵] مطالعات انجام شده در این زمینه در جدول ۱ آورده شده است.

**جدول۱- مطالعات پیشین انجام شده**

| محققین | کشور | مدل مورد مطالعه | نتایج | رفرنس |
|---|---|---|---|---|
| صمیمی، ۱۹۹۴ | ایران | مدل برای پیش‌بینی تابش خورشید برحسب ارتفاع | پردازش با داده‌های اندازه‌گیری شده در دوره ۱۷ ساله در تهران و همچنین با دوره‌های کوتاه‌مدت سایر شهرها | [۱۶] |
| سوزن و همکاران، ۲۰۰۵ | ترکیه | شبکه عصبی مصنوعی به برآورد پتانسیل تابش خورشیدی | تاثیر داده‌های هواشناسی و جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، ماه، میانگین ساعت آفتابی و میانگین دما) | [۱۷] |
| باکیرسی، ۲۰۰۹ | ترکیه | مدل‌سازی و برآورد میزان تابش خورشیدی | تاثیر میزان ساعات آفتابی، بارش، دمای نقطه شبنم، رطوبت نسبی، دما و فشار هوا | [۱۸] |
| معینی و همکاران، ۲۰۱۰ | ایران (میناب و بندرعباس) | واردکردن ضرایب ثابت اقلیمی در مدل بهینه شدهٔ انگسترو | اثر پارامترهای اقلیمی و محیطی، به‌ویژه رطوبت نسبی، بر کاهش تابش کل دریافتی سطح زمین | [۱۹] |
| صفاری پور و مهرابیان، ۲۰۱۱ | ایران، کرمان | پیش‌بینی میانگین کل تابش خورشیدی روزانه از یک رابطه رگرسیون خطی | تأثیر هفت پارامتر جغرافیایی و هواشناسی | [۲۰] |
| سیوامدهاویی و سامئول سیلوارج[1] ، ۲۰۱۲ | هند (تامیل ناد) | پیش‌بینی میانگین ماهانه تابش خورشیدی جهانی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی | تخمین میانگین ماهانه تابش جهانی روزانه هر مکانی در تامیل نادو | [۲۱] |
| مائوفنلین[2] و همکاران، ۲۰۱۳ | چین | مدل‌های کلی برای تخمین تابش روزانه جهانی خورشید | مدل‌های مبتنی بر دما و آفتاب، برای هر سایت | [۲۲] |
| آجایی[3]، ۲۰۱۴ | نیجریه | تخمین تابش روزانه خورشیدی جهانی | طراحی و کارآمد بودن برنامه‌های کاربردی خورشیدی | [۲۳] |
| ویکتور اچ.کوج[4] و همکاران، ۲۰۱۶ | مکزیک (شبه‌جزیره یوکاتان) | سیزده مدل تجربی برای تخمین تابش روزانه خورشیدی جهانی | تاثیر داده‌های هواشناسی روزانه برای مناطق گرم مرطوب | [۲۴] |
| غلام نیا و | ایران (مرکزی) | مدل‌سازی و پهنه‌بندی انرژی خورشیدی | تأثیر عرض جغرافیایی در تغییرات مکانی Rs | [۲۵] |

[1] V SIVAMADHAVI & R SAMUEL SELVARAJ
[2] Mao-FenLi
[3] Ajayi
[4] Victor H.Quej



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| همکاران، ۲۰۱۷ | | دریافتی در سطح زمین در مناطق خشک و نیمه‌خشک | | |
| کاسیم جیزا[1] و همکاران، ۲۰۱۷ | الجزایر | برآورد تابش خورشیدی جهانی روزانه بر اساس مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی غیرخطی (ANN) | کارآمد بودن مدل ترکیبی نسبت به مدل‌های ARMA و ANN ازنظر میانگین خطای مطلق (MPE) | [۲۶] |
| هان لطفی[2] و همکاران، ۲۰۱۷ | مراکش (فاس) | پیش‌بینی تابش خورشیدی جهانی مستقیم و پراکنده ساعتی از تابش روزانه جهانی با شبکه‌های عصبی مصنوعی | تاثیر پارامترهای رادیومتری و هواشناسی در برآورد سه مدل، ورودی اصلی تابش روزانه جهانی | [۲۷] |
| فرجی مهیاری و همکاران، ۲۰۱۸ | ایران | ارزیابی مدل‌های تجربی برآورد تابش خورشیدی روزانه بر پایه دمای هوا در چهار منطقه آب‌وهوایی | استفاده از مدل‌ها برای تخمین تابش خورشیدی روزانه در مناطق خشک ایران‌که تنها داده‌های دمای هوای در دسترس است، | [۲۸] |
| کاظیم کابا[3] و همکاران، ۲۰۱۸ | ترکیه | برآورد تابش روزانه خورشیدی جهانی با استفاده از آموزش عمیق | متغیرهای اقلیمی، مدت تابش آفتاب، پوشش ابر، دمای حداقل و حداکثر دما به‌عنوان ویژگی‌های ورودی و خروجی به‌عنوان SR و مدل DL نتایج بسیار دقیق و قابل‌مقایسه‌ای را برای تخمین SR روزانه جهانی | [۲۹] |
| گیمنگ کائو[4] و همکاران، ۲۰۲۰ | چین | پهنه‌بندی تابش خورشیدی با خوشه‌بندی k-means بر اساس داده‌ها | مدت‌زمان تابش نسبی خورشید معیار بهینه برای پهنه‌بندی تابش خورشیدی است. | [۳۰] |
| اومیت آگبولات[5] و همکاران، ۲۰۲۱ | ترکیه (کرکلارلی، توکات، نوشهیر و کارامان) | پیش‌بینی تابش خورشیدی جهانی روزانه با استفاده از الگوریتم‌های (ماشین بردار پشتیبانی (SVM)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، هسته و نزدیک‌ترین همسایه (k-NN)، و یادگیری عمیق (DL)) | الگوریتم ANN بهترین الگوریتم برازش در بین همه الگوریتم‌ها است. سپس به ترتیب DL، SVM و k-NN می باشند. | [۲۴] |
| بامهر و ثابت قدم[6]، ۲۰۲۱ | ایران (مشهد) | برآورد داده‌های تابش خورشیدی جهانی بر اساس پارامترهای جوی مشتق از ماهواره | تاثیر ویژگی‌های جوی داده‌های ماهواره‌ای، ازجمله کسر ابر، عمق نوری ابر، عمق نوری آئروسل، توان آئروسل، شاخص آئروسل، و بخارآب قابل رسوب از داده‌های روزانه طیف‌سنج تصویربرداری با وضوح متوسط (MODIS) و ابزار پایش ازن (OMI) استفاده شد. در هر دو روش، خطای تخمین در بهار بیشترین و در پاییز و زمستان کمترین مقدار است. | [۳۱] |
| بیشوا[7] و همکاران، ۲۰۲۱ | نپال | از مدل‌های تجربی مختلف در منطقه نیمه گرمسیری | مقایسه‌ای از پارامترهای هواشناسی مانند دما و ارتباط آن با GSR استفاده شد هر دو مدل گارسیا و چن و لی مقدار GSR مشابه ۱۲٫۸ و ۱۲٫۵ MJ/m2/day را پیش‌بینی می‌کنند. | [۳۲] |
| پراتیما | هند | تجزیه‌وتحلیل مدل‌های پیش‌بینی تابش | توسعه مدل‌های پیش‌بینی تابش خورشیدی | [۳۳] |

[1] KacemGaira
[2] Hanae Loutfi
[3] KazımKaba
[4] QimengCao
[5] ÜmitAğbulut
[6] Sara Bamehr & Samaneh Sabetghadam
[7] Bishwa B. Acharya



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| کوماری[1]، ۲۰۲۱ | | افقی جهانی روزانه مبتنی بر ANN با پارامترهای مختلف هواشناسی منطقه کوهستانی پیش‌بینی دقیق GHI | برای مکان‌های مختلف که ایستگاه‌های نظارت در دسترس نیستند، استفاده شد. | |
| تا ولگییورگیز[2] و همکاران، ۲۰۲۱ | اتیوپی (Lalibela) | ارزیابی تطبیقی مدل‌های مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی و آفتاب در پیش‌بینی تابش روزانه جهانی خورشید | داده‌های متوسط روزانه (ساعت‌های آفتاب، حداکثر دما، حداقل دما بودند. ، سرعت باد، رطوبت نسبی و فشار)، و درحالی‌که میانگین روزانه تابش خورشیدی جهانی خروجی شبکه بود. | [۳۴] |
| حمزه و عبدالمومعین[3]، ۲۰۲۱ | نیجریه | مدل‌سازی آماری تشعشعات خورشیدی جهانی با ساعات آفتابی روزانه- چهار مدل تجربی بر اساس مدل خطی آنگستروم - پرسکات برای پیش‌بینی میانگین ماهانه تابش خورشیدی جهانی روزانه در سطح | افقی بررسی کردند که این چهار مدل تابش خورشیدی را با پارامترهای اقلیمی ساعات آفتابی، دما و رطوبت نسبی مرتبط می‌کند. | [۳۵] |
| زیا الرحمان تاهی[4] و همکاران، ۲۰۲۱ | پاکستان (لاهور) | برآورد تابش پراکنده خورشیدی روزانه از شاخص شفافیت، مدت‌زمان تابش آفتاب و پارامترهای هواشناسی برای شرایط مختلف آب‌وهوایی با ۳۰ مدل | عملکرد مدل‌ها با استفاده از پارامترهای آماری مدت‌زمان آفتاب، شاخص شفافیت، دما، رطوبت نسبی و ضریب تناوب به‌عنوان پارامترهای ورودی مورد ارزیابی قرار گرفت. | [۳۶] |
| زینبانوا[5] و همکاران، ۲۰۲۱ | مراکش | برآورد تابش روزانه خورشیدی جهانی با استفاده از ۲۲ مدل تجربی، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و روش‌های مجموعه مبتنی بر درخت در تخمین تابش روزانه جهانی خورشید (GSR) | مدل با بهترین عملکرد در هر ایستگاه بر اساس سه شاخص آماری، ضریب همبستگی (R)، میانگین مطلق خطای نرمال شده (nMAE) و ریشه میانگین مربع خطای نرمال شده (nRMSE) انتخاب شد. | [۳۷] |
| سعیدالقدیمی[6]، ۲۰۲۱ | عربستان سعودی (العقیق) | تجزیه‌وتحلیل آماری مدل‌های مختلف تابش خورشیدی جهانی | شاخص‌های عملکرد میانگین تابش جهانی و ساعات آفتابی جهانی (GPI) برای تعیین بهترین مدل برای این مکان محاسبه‌شده است | [۳۸] |
| لوی القوسین[7] و همکاران، ۲۰۲۱ | مجارستان (بوداپست) | برآورد آماری شدت تابش پراکنده ساعتی توسعه مدل‌های آماری - عمدتاً مدل‌های رگرسیون و مدل پارامتری مبتنی بر مدل ASHRAE | شاخص (که از تشعشعات فرازمینی و جهانی به دست می‌آید) و تابش جهانی از طریق یک معادله تعمیم‌یافته | [۳۹] |

با توجه به مطالعات انجام شده در دسترس بودن منابع خورشیدی یک مکان به پارامترهای هواشناسی محلی بستگی دارد. پیش‌بینی تابش خورشیدی جهانی برای مناطق ازنظر جهت دادن به سیستم‌های تبدیل انرژی خورشیدی (طراحی، مدل‌سازی و بهره‌برداری)، انتخاب مناطق مناسب و حتی سیاست‌های سرمایه‌گذاری آینده تصمیم‌گیرندگان از اهمیت بالایی برخوردار است. ایران ازجمله کشورهایی است که دارای پتانسیل بالایی درزمینه استفاده منابع تجدید پذیر است در نواحی پرتابش واقع‌شده است. مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از تجهیزات خورشیدی در ایران مناسب است و می‌تواند بخشی از انرژی

[1] Pratima Kumari
[2] TA Woldegiyorgis
[3] Hamza, B and Abdulmuminu
[4] Zia ul RehmanTahir
[5] ZinebBounoua
[6] Saeed A. Al-Ghamdi
[7] Loiy Al-Ghussain



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]

موردنیاز کشور را تأمین نماید. همچنین کشوری است که به گفته متخصصان این فن، باوجود بین ۲۴۰ تا ۲۵۰ روز آفتابی در بیش از دوسوم آن و متوسط تابش ۴/۵ تا ۵/۵ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز و تقریباً ۸۰ درصد از مساحت آن دارای ۵ کیلووات ساعت در مترمربع است و از کشورهای با پتانسیل بالا در زمینه انرژی خورشیدی معرفی‌شده است [۴۰, ۴۱]. قرار گرفتن استان خوزستان در منطقه گرم و خشک کره زمین و تابش مستقیم نور خورشید در بیشتر فصل‌های سال ظرفیت مناسبی برای استفاده از این انرژی خدادادی فراهم کرده است. ظرفیت بهره‌برداری از انرژی خورشیدی در خوزستان بسیار بالا است زیرا انرژی خورشیدی تابعی از دما و طولانی بودن روز، میزان تشعشع قابل دریافت و صافی آسمان است از سوی دیگر، استان خوزستان که یکی از کم بارش ترین استان‌های کشور است، از شرایط مناسبی برای استفاده از انرژی خورشیدی برخوردار است چون اغلب روزهای سال، آفتاب مناسب در این استان می‌تابد و استفاده از انرژی خورشیدی را باوجود هزینه بالا، به‌صرفه کرده است[۴۲, ۴۳]. هدف از این پژوهش بدست آوردن میزان تابش و در نتیجه تخمین انرژی تابشی برروی سطوح افقی و شیبدار در اهواز مرکز استان خوزستان برای استفاده در تامین انرژی الکتریکی و گرمایی در صنایع می باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

ازآنجایی‌که انرژی خورشیدی تابع دما، طول روز، میزان تشعشع قابل دریافت و صافی آسمان است برای بهره‌برداری از آن می‌بایست مقدار و شرایط آن‌ها را موردبررسی قرارداد. معادلات حاکم تابش خورشیدی را بررسی می‌کنیم. برای تحلیل انرژی تابشی رسیده به زمین در برنامه متلب کد نویسی شده است. کد نوشته‌شده دارای دو بخش می‌باشد که بخش اول مربوط به قسمتی است که معادلات تابشی کلی روی سطح شیب‌دار را در نظر می‌گیرد. سه مدل برای حل و محاسبه تابش کلی روی سطح شیب‌دار پیشنهاد می‌شود[۴۴-۴۶]. اولین بخش، بخش ایزوتروپیک است؛ یعنی بخشی که تابش یکنواختی را از کل آسمان دریافت می‌کند. دومین بخش، تابش پراکنده محیط خورشید است که ناشی از پراکندگی روبه‌جلوی تابش خورشیدی است و در بخشی از آسمان در اطراف خورشید متمرکز می‌شود. سومین بخش، به‌عنوان درخشندگی افق شناخته می‌شود که نزدیک افق متمرکز و در بیشتر اوقات در آسمان‌های صاف مطرح می‌شود. مدل ایزوتروپیک ساده‌ترین مدل است. محافظه‌کارترین تخمین‌ها مربوط به تابش روی سطح شیب‌دار را ارائه می‌دهد و به‌طور گسترده استفاده‌شده است[۴۷].

کاربرد مدل HDKR (غیرایزوتروپیک) تقریباً شبیه ایزوتروپیک ساده است و نتایجی نزدیک به مقادیر اندازه‌گیری شده می‌دهد. باتوجه به توضیحات مرجع [۴۸] نتایج مدل آنیزوتروپیک HDKR بسیار دقیق می باشند. برای سطوحی که شیب آن‌ها به سمت خط استوا است مدل HDKR پیشنهاد می‌شود. کاربرد مدل پرز (سومین بخش از سه مدل) پیچیده‌تر است و عموماً تابش کلی را روی سطح شیب‌دار، کمی بیشتر از مقدارش پیشگویی می‌کند. بنابراین این روش دارای کمترین محافظه‌کاری در بین سه روش است. این روش با داشتن حداقل اندازه‌گیری‌ها بهترین روش است[۴۹, ۵۰]. مهم‌ترین هدفی که در این پژوهش دنبال می‌شود آگاهی از میزان توان تولید انرژی خورشیدی در اهواز جهت استفاده در بخش‌های صنعتی می‌باشد.

## ۳- معادلات حاکم

خورشید دارای هندسه کروی شکل بوده و اشعه‌های تابشی خورشید پس از طی فاصله طولانی به زمین می¬رسند. میزان انرژی و نور این تابش در خارج از جو، درون جو و بر روی زمین متفاوت و به شرایط مختلف بستگی دارد. اندازه‌گیری تابش و



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]

تشعشع خورشیدی در هر مکانی بسته به شرایط جغرافیایی منطقه، شرایط اقلیمی، زمان و غیره است. در مهندسی گرما خورشیدی و موارد مربوط به اندازه‌گیری تابش و انرژی دریافت شده توسط دستگاه‌ها و وسایل خورشیدی به‌ویژه برای کلکتورهای خورشیدی، هدف اندازه‌گیری میزان تشعشع و تابش خورشیدی در زمان خاص و بر روی زمین است که علاوه بر موارد فوق شرایط محیطی نیز بر روی آن اثرگذار می‌باشد. در این قسمت به بررسی روابط حاکم برتابش خورشیدی می‌پردازیم[۴۹, ۵۰].

### ۳-۱ تابش

با توجه به اینکه تمام تجهیزات گیرنده اشعه خورشید نسبت به افق داری شیب می‌باشند محاسبات تابش سطوح شیب‌دار نسبت به سطح افقی از اهمیت بیشتری برخوردار است. ابتدا تابش ایزوتروپیک و تابش غیرایزوتروپیک را تعریف می کنیم.

### ۳-۱-۱ تابش غیرایزوتروپیک

تابش ایزوتروپیک به ترکیب تابش پراکنده و تابش منعکس شده از زمین گفته می‌شود.

### ۳-۱-۲ آسمان غیرایزوتروپیک

به تابش که مولفه های افقی و پراکنده در آن در نظر گرفته می شود. تابش غیر ایزوتروپیک گفته می شود. سه مدل برای حل و محاسبه تابش کلی روی سطح شیب‌دار پیشنهاد می‌شود. اولین بخش، بخش ایزوتروپیک است؛ یعنی بخشی که تابش یکنواختی را از کل آسمان دریافت می‌کند. دومین بخش، تابش پراکنده محیط خورشید است که ناشی از پراکندگی روبه‌جلوی تابش خورشیدی است و در بخشی از آسمان در اطراف خورشید متمرکز می‌شود. سومین بخش، به‌عنوان درخشندگی افق شناخته می‌شود که نزدیک افق متمرکز و در بیشتر اوقات در آسمانه‌ای صاف مطرح می‌شود. مدل ایزوتروپیک ساده‌ترین مدل است. محافظه‌کارترین تخمین‌ها مربوط به تابش روی سطح شیب‌دار را ارائه می‌دهد و به‌طور گسترده استفاده‌شده است[۴۴-۴۶]. کاربرد مدل HDKR (غیرایزوتروپیک) تقریباً شبیه ایزوتروپیک ساده است و نتایجی نزدیک به مقادیر اندازه‌گیری شده می‌دهد. برای سطوحی که شیب آن‌ها به سمت خط استوا است مدل HDKR پیشنهاد می‌شود. کاربرد مدل پرز (سومین بخش از سه مدل) پیچیده‌تر است و عموماً تابش کلی را روی سطح شیب‌دار، کمی بیشتر از مقدارش پیشگویی می‌کند. بنابراین این روش دارای کمترین محافظه‌کاری در بین سه روش است. این روش با داشتن حداقل اندازه‌گیری‌ها بهترین روش است. برای سطوحی که زاویه $\gamma$ (زاویه بین اشعه‌های خورشید و جهت شمال) از صفر درجه در سمت شمالی قسمت نیمه کروی یا ۱۸۰ درجه در سمت جنوبی نیمه کروی دارند، مدل پرز پیشنهاد می‌شود. در این مقاله، با توجه به برتری مدل HDKR نسبت به حالت ایزوتروپیک و همچنین با در نظر گرفتن کاربرد پرز برای روزهای صاف و با توجه به اینکه تحقیق ما برای تمام ماه‌های سال که همیشه دارای هوای صافی نیست می‌باشد، بنابراین از مدل HDKR استفاده‌شده است[۴۷, ۵۱].

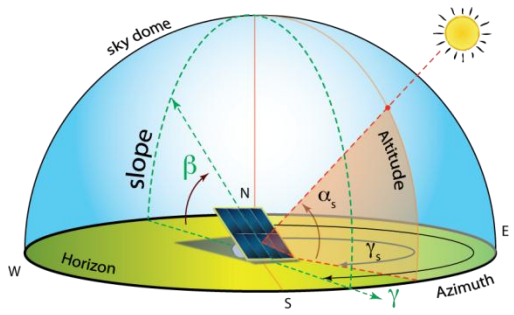
### ۳-۱-۳ زاویه انحراف خورشیدی

در تعیین زاویه بهینه کلکتورهای خورشیدی، دانستن موقعیت خورشید در زمان‌های مختلف روز مفید می‌باشد. زیرا زاویه تابش خورشید با توجه به موقعیت خورشید ساعت‌به‌ساعت تغییر کرده و موجب تغییر مقدار تابش بر روی یک منطقه می‌شود. موقعیت خورشید در مختصات کروی در شکل (۱) نشان داده‌شده است[۴۹, ۵۰].



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]




**شکل ۱- خورشید و زوایای آن با سطح کلکتور خورشیدی شیب‌دار[۵۲]**

با توجه به شکل زوایای برخورد پرتوهای خورشید با سطح شیب‌دار کلکتور خورشیدی طبق تعاریف زیر می‌باشد. زاویه میل خورشیدی، زاویه‌ای است که خط اتصال زمین و خورشید با صفحه استوا می‌سازد این زاویه بین ۲۳/۴۵ و ۲۳/۴۵- تغییر می‌کند و با $\delta_s$ نمایش داده می‌شود این زاویه در شکل ۱ مشخص‌شده است. زاویه میل خورشیدی را می‌توان به‌صورت رابطه۱ بیان کرد[۴۹, ۵۰, ۵۳] :

$$\delta_s = 23.4\ \sin\left(\frac{360}{365}(284 + D)\right) \qquad (۱)$$

در رابطه فوق D شماره روز سال از اول سال میلادی می‌باشد و از اول ژانویه برآورد می‌شود.

زاویه ساعت غروب ($\omega_s$)، زاویه‌ای است برای تعیین طول روز یعنی زمان طلوع و غروب خورشید می‌باشد. برای محاسبه آن، ساعت ۱۲ ظهر به‌عنوان ساعت مبنا در نظر گرفته می‌شود. می توان زاویه ساعت غروب را مطابق رابطه ۲ بدست آورد.

$$H_{SR} = \omega_s = \cos^{-1}(\tan\varphi \tan\delta) \qquad (۲)$$

در رابطه فوق $\varphi$ عرض جغرافیایی می‌باشد. موقعیت زاویه‌ای در شمال و جنوب خط استوا را نشان می‌دهد. مقدار بین ۹۰°- و ۹۰°- تغییر می‌کند و آن‌که برای اهواز ۳۱,۳۰ درجه در نظر گرفته می‌شود. همچنین برای محاسبه طول روز برحسب ساعت نیز از رابطه ۳ استفاده می‌شود[۴۹, ۵۰, ۵۳]:

$$N = \frac{2}{15}\omega_s = \frac{1}{7.5}\omega_s \qquad (۳)$$

در رابطه فوق N طول روز برحسب ساعت می‌باشد.

زاویه زنیت (سمت الراس) $\theta_z$، زاویه بین اشعه‌های خورشید و قائم بر سطح افقی می‌باشد (شکل ۱) و از رابطه ۴ به دست برحسب درجه می‌آید:

$$\theta_z = \cos\varphi \cos\delta_s \cos\omega_s + \sin\varphi \sin\delta_s \qquad (۴)$$

زاویه سمت خورشیدی (زاویه بین اشعه‌های خورشید و جهت شمال) $\gamma_s$: نیز از رابطه زیر برحسب درجه محاسبه می‌گردد. می توان آن را مطابق رابطه ۵ بدست آورد.

$$\gamma_s = \pm \cos^{-1}\left(\frac{\cos\theta_z \sin\varphi - \sin\delta_s}{\sin\theta_z \cos\varphi}\right) \qquad (۵)$$



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]

زاویه برخورد، زاویه بین اشعه‌های خورشید و قائم بر سطح می‌باشد و بنابراین برای سطح افقی همان زاویه زنیت است. برای سایر سطوح ابتدا باید زاویه سمت صفحه (زاویه بین عمود بر سطح و جهت شمال) و سمت خورشید و همچنین زاویه شیب صفحه (نسبت به افق و در جهت شمال) مشخص باشد.(مطابق شکل ۱) مقدار زاویه برخورد از روی هندسه کروی از رابطه ۶ به دست می‌آید.

(۶)

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

تابش[1]: میزان انرژی تشعشعی رسیده به یک سطح بر واحد سطح و به $W/m^2$ بیان می‌گردد.

پرتوافکنی[2]: انرژی رسیده به یک سطح بر اساس واحد سطح آن‌که برابر مجموع تابش رسیده در طول یک‌زمان خاص است که با انتگرال‌گیری از انرژی به ازای المان سطح به دست می‌آید. برای نمایش آن از G استفاده می‌شود. برای تشعشع خورشیدی این مقدار در طول یک روز محاسبه می‌شود و آن را با تشمس یا آفتاب‌گیری[3] معرفی می‌کنند. اگر میزان آفتاب‌گیری برای یک ساعت باشد آن را با I و اگر برای یک روز باشد آن را با H نمایش می‌دهند که بر اساس واحد $J/m^2$ اندازه‌گیری می‌شود.

متوسط توان خورشیدی خارج از جو برابر است با:

ثابت خورشیدی

$$G_{sc} = 1367\ \frac{W}{m^2}$$

برای محاسبه تابش خورشیدی روزانه خارج از جو بر روی سطح افقی از رابطه ۷ استفاده می‌شود[۴۹].

(۷)

$$H_O = \frac{24\times 3600\times G_{sc}}{\pi}\left[1+0.033\cos\left(\frac{360D}{365}\right)\right] \times\left[\cos\varphi\times\cos\delta\times\sin\omega_s + \frac{\pi(\omega_s)}{180}\sin\varphi\times\sin\delta\right] \quad Mj/m^2$$

که در آن G_On تابش عمودی خارج از جو می‌باشد. و از رابطه ۸ محاسبه می‌گردد.

$$G_{On} = G_{sc}\left[1+0.033\cos\left(\frac{360D}{365}\right)\right] \quad Mj/m^2 \qquad (۸)$$

در رابطه ۸ پارامتر $G_{sc}$ ثابت خورشیدی و مقدار آن برابر $۱۳۶۷W/m^2$ می‌باشد[۴۹]. برای محاسبه تابش خورشیدی ساعتی بین دو ساعت خارج از جو بر روی سطح افقی برحسب ساعت مشخص h و یا بین ساعت‌های مشخص $h_1$ و $h_2$ به‌صورت زیر می‌باشد و از رابطه ۹ بدست می آید [۴۹, ۵۰, ۵۳, ۵۴].

$$h^\circ = 15^\circ(Hour - 12) \qquad (۹)$$

[1] Irradiance
[2] Irradiation
[3] Insolation



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]

واحد ساعت $h_1$و $h_2$ برحسب درجه می‌باشد و از رابطه ۱۰ بدست می آید.

$$h_1 = 15^{\circ}(h_1 - 12) = \quad ^{\circ}$$
$$h_2 = 15^{\circ}(h_2 - 12) = \quad ^{\circ} \qquad (۱۰)$$

$I_O$ مقدار تابش ساعتی و از رابطه ۱۱ بدست می آید.

$$I_O = \frac{12 \times 3600}{\pi} G_{On} \times \left[\cos\varphi \times \cos\delta \times \sin(\omega_2 - \omega_1) + \frac{\pi(h_2 - h_1)}{180} \sin\varphi \times \sin\delta\right] \quad {}^{j}/_{m^2} \qquad (۱۱)$$

وقتی $I_O$ از جو عبور می‌کند تحت تأثیر آب‌وهوا قرار می‌گیرد. I از توسط ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری می‌شود. در معادله زیر$k_t$ به‌عنوان شاخص تمیزی هوا و محدوده آن بین ۰و۱ و از رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود [۴۹, ۵۵, ۵۶].

$$I = k_t . I_O \qquad 0 < k_t < 1 \qquad (۱۲)$$
$$K_t = \frac{I}{I_O}$$

محاسبه میزان انرژی با در نظر گرفتن شاخص تمیزی هوا از رابطه ۱۳ بدست می آید.

$$\frac{I_d}{I} = a = \begin{cases} 1 - 0.09\,K_T & K_T \le 0.22 \\ 0.9511 - 0.1604\,K_T + 4.388K_T^2 - 16.638K_T^3 + 12.336K_T^4 & 0.22 < K_T \le 0.8 \\ 0.165 & K_T > 0.8 \end{cases} \qquad (۱۳)$$

محاسبه انرژی رسیده از تابش غیرمستقیم یا پراکنده از رابطه ۱۴ محاسبه می شود.

$$I_d = a \times I \qquad (۱۴)$$
$$I_b = I - I_d$$

همچنین $I_d$ هم به‌طور کامل به سطح زمین نمی‌رسد و تحت تأثیر فاکتور دید آسمان و کلکتور fc-s می‌باشد و از رابطه ۱۵ محاسبه می شود.

$$f_{c-s} = \frac{1 + \cos\beta}{2} \qquad (۱۵)$$

و مقدار بازتابش زمین $\rho_g$ برای روزهای برفی ۰,۶ و روزهای غیر برفی ۰,۲ در نظر گرفته می‌شود و از رابطه ۱۶ محاسبه می شود.

$$I_g = \rho_g . I \qquad (۱۶)$$

انرژی رسیده به سطح شیب‌دار غیرمستقیم زمین $I_g$ برابراست و از رابطه ۱۷ محاسبه می شود:

$$f_{c-g} = \frac{1 - \cos\beta}{2} \qquad (۱۷)$$

وقتی‌که تابش I وارد جو شود به دو قسمت نور مستقیم $I_b$ و غیرمستقیم $I_d$ تقسیم می‌شود. تمامی تابش مستقیم بلکه با ضرایب سطح شیب‌دار $R_b$ دریافت می‌شود. همچنین با استفاده از داده‌های محیطی، شرایط جوی و جغرافیایی و زمان و همچنین مشخصات کلکتور می‌توان مقدار $R_b$ را از رابطه ۱۸ محاسبه کرد[۴۹, ۵۰, ۵۳, ۵۴].



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\varphi} = \frac{\cos(\varphi-\beta)\cos(\delta)\cos(\omega)+\sin(\varphi-\beta)\sin(\delta)}{\cos(\varphi)\cos(\delta)\cos(\omega)+\sin(\varphi)\sin(\delta)} \quad (۱۸)$$

در رابطه فوق φ عرض جغرافیایی و β شیب کلکتور خورشیدی و δ زاویه انحراف خورشیدی می‌باشد. انرژی تابشی رسیده به سطح شیب‌دار از رابطه ۱۹ بدست می آید:

$$I_T = I_b.R_b + f_{c-s}.I_{d+}I_g.f_{c-g} \quad (۱۹)$$

رابطه نهایی انرژی تابشی رسیده به سطح شیب‌دار از رابطه ۲۰ بدست می‌آید:

$$I_T = I_bR_b + I_d\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + I\rho_g\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \quad (۲۰)$$

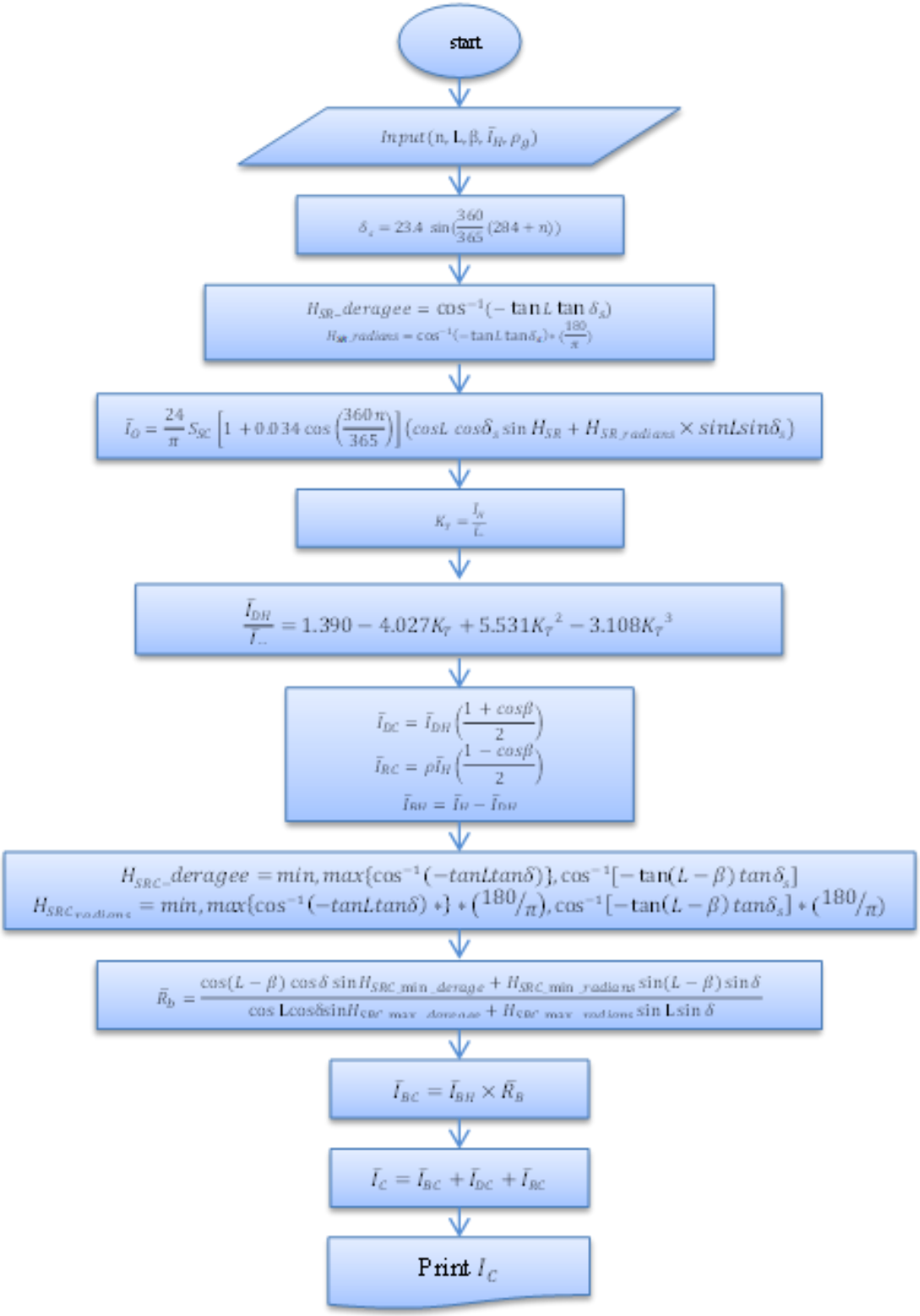
برای بررسی بهتر و کامل‌تر داده‌های نظری با استفاده از معادلات ذکرشده فلوچارت نحوه محاسبه داده‌های نظری برای اندازه‌گیری تشعشع رسیده به کلکتور و در شکل ۲ ارائه‌شده است. این فلوچارت با استفاده از نرم‌افزار متلب ۲۰۱۶ کد نویسی و حل‌شده است. همان‌گونه که در این فلوچارت مشاهده می‌شود، کلیه داده‌ها را می‌توان برای هر کلکتور تخت و در هر شرایط جوی مورد ارزیابی تشعشعی قرارداد. برای محاسبات داده‌های مکان و زمان آن حائز اهمیت است.

### ۳-۲ میزان تابش انرژی خورشیدی در خوزستان

میزان تابش انرژی خورشیدی در نقاط مختلف جهان متغیر بوده و در کمربند خورشیدی زمین بیشترین مقدار را دار است. خوزستان نیز در نواحی پرتابش واقع است و مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از تجهیزات خورشیدی در این استان مناسب بوده و می‌تواند بخشی از انرژی موردنیاز کشور را تأمین نماید[۵۷]. در شکل های ۳ و۴ میزان متوسط تابش نرمال مستقیم و میزان تابش جهانی افقی در کشور ایران آورده شده است.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]

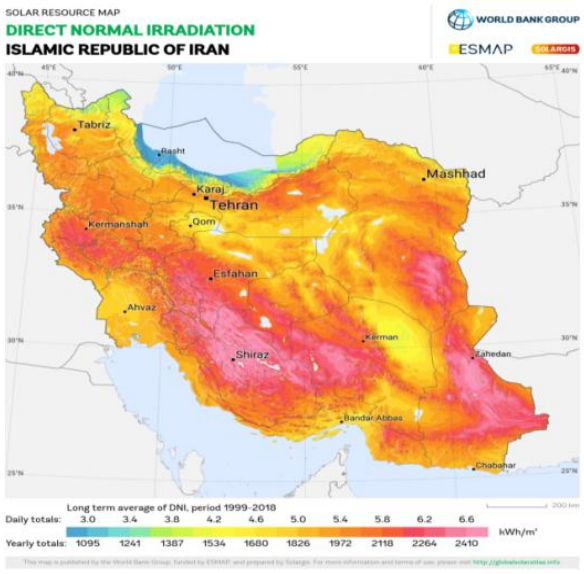



**شکل۲- فلوچارت نحوه محاسبه تشعشع رسیده به زمین**

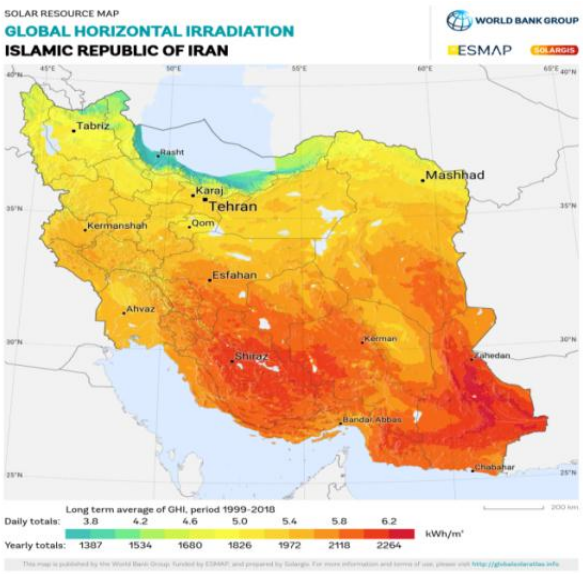


[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]




**شکل ۳- میزان متوسط تابش نرمال مستقیم [۵۸]**

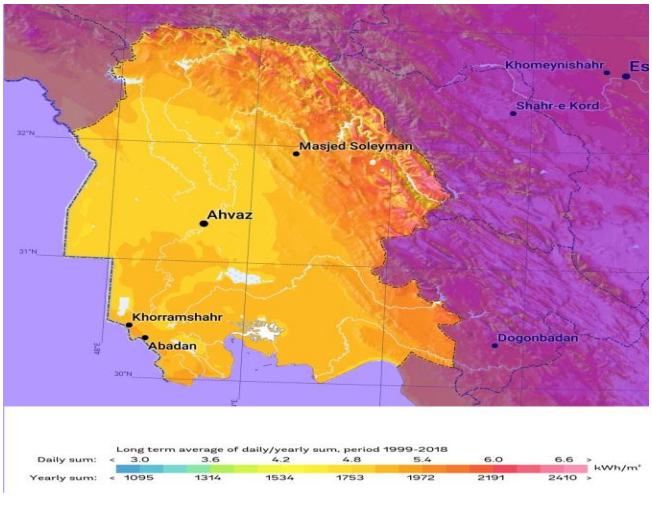



**شکل۴- میزان تابش جهانی افقی [۵۸]**

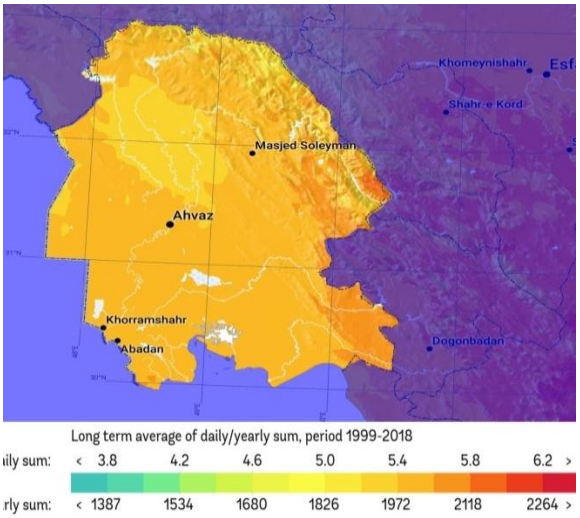
مقدار تابش متوسط تابش نرمال مستقیم، تابش افقی و تابش افقی پخش‌شده سالانه و روزانه استان خوزستان در جـدول ۲ و شکل های ۵ تا ۶ و همچنین طول روز در تمام ماه های سال در شکل ۷ و جدول ۳ آورده شده است**[۵۹]**.

**جدول۲- مقدار تابش استان خوزستان [۵۹]**

| Global Irradiation | | kWh/m$^2$ per year | MJ/m$^2$ per day | MJ/m$^2$ per year | kWh/m$^2$ per day |
|---|---|---|---|---|---|
| Direct Normal Irradiation | DNI | 1804 | 6494 | 17.79 | 4.942 |
| Global Horizontal Irradiation | GHI | 1983 | 7138 | 19.56 | 5.432 |
| Diffuse Horizontal Irradiation | DIF | 806 | 2900 | 7.946 | 2.207 |

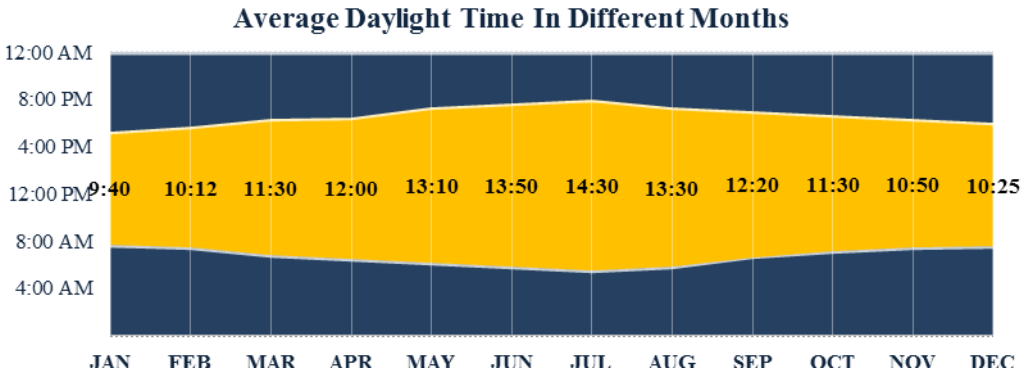



**شکل ۵ -تابش عادی مستقیم [۵۸]**




**شکل ۶ -تابش افقی جهانی [۵۸]**

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]




**شکل۷ -طول روز در ماه‌های سال**

**جدول ۳- میانگین زمان طلوع و غروب خورشید برای تمام ماه‌های سال ۲۰۲۱ میلادی**

| Month | Sunrise Time | Sunset Time | Daylight Hours | Evening Hours |
|---|---|---|---|---|
| Jan | 7:40 AM | 5:20 PM | 9:40 | 6:40 |
| Feb | 7:28 AM | 5:40 PM | 10:12 | 6:20 |
| Mar | 6:50 AM | 6:20 PM | 11:30 | 5:40 |
| Apr | 6:30 AM | 6:30 PM | 12:00 | 5:30 |
| May | 6:10 AM | 7:20 PM | 13:10 | 4:40 |
| Jun | 5:50 AM | 7:40 PM | 13:50 | 4:20 |
| Jul | 5:30 AM | 8:00 PM | 14:30 | 4:00 |
| Aug | 5:50 AM | 7:20 PM | 13:30 | 4:40 |
| Sep | 6:40 AM | 7:00 PM | 12:20 | 5:00 |
| Oct | 7:10 AM | 6:40 PM | 11:30 | 5:20 |
| Nov | 7:30 AM | 6:20 PM | 10:50 | 5:40 |
| Dec | 7:35 AM | 6:00 PM | 10:25 | 6:00 |

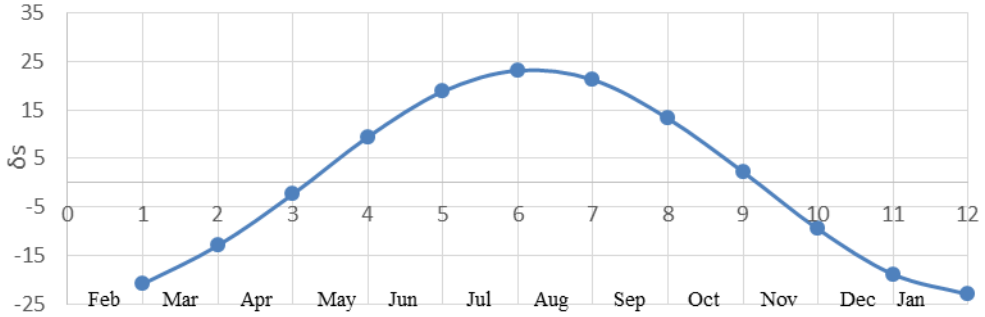
با توجه به اطلاعات جدول ۴ و شکل ۸ و تابش مستقیم به‌دست‌آمده از ناسا و فرودگاه بین‌المللی اهواز تابش رسیده به سطح برای تمام سال آورده شده است.

**جدول۴- محاسبه انرژی تابشی برای سال ۲۰۲۱[۶۰]**

| Month | D For ith Day of Month | For the average Day Of The Month | | $\delta_s$ | $\omega_s$ | $N$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Date | D Day of Year | | | |
| January | i | 17 | 17 | -20.9 | 103.42 | 10.13 |
| February | 31+i | 16 | 45 | -13 | 93.06 | 10.56 |
| March | 59+i | 16 | 75 | -2.4 | 91.46 | 11.49 |
| April | 90+i | 15 | 105 | 9.4 | 84.22 | 12.46 |
| May | 120+i | 15 | 135 | 18.8 | 78.05 | 13.36 |
| June | 150+i | 11 | 162 | 23.1 | 74.97 | 14.03 |
| July | 181+i | 17 | 198 | 21.2 | 76.36 | 13.50 |
| August | 212+i | 16 | 228 | 13.2 | 81.8 | 13.06 |
| September | 243+i | 15 | 258 | 2.2 | 88.66 | 12.11 |
| October | 273+i | 15 | 288 | -9.6 | 95.9 | 11.13 |
| November | 304+i | 14 | 318 | -18.9 | 102.01 | 10.24 |
| December | 334+i | 10 | 344 | -23.05 | 104.99 | 10.01 |

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]



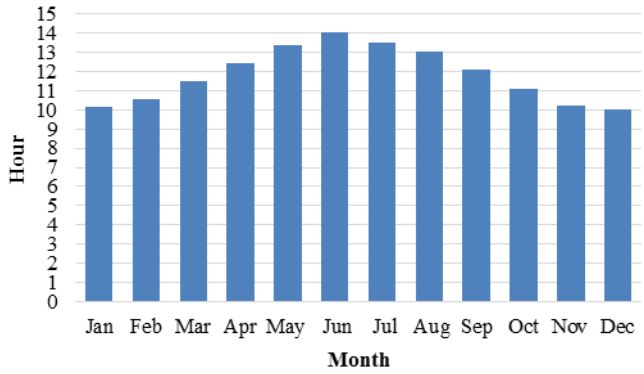

**شکل ۸- زاویه انحراف خورشیدی بر اساس ماه‌های سال**

بیشترین تابش رسیده به اهواز با عرض جغرافیایی ۳۱,۳ شمالی در ماه ژوئن به میزان ۷,۳۱ Kwh/m$^2$.day می‌باشد. طول روز روشن یا ساعات آفتابی مهم‌ترین پارامتر اقلیمی است که نشان‌دهنده میزان انرژی دریافتی مناطق از خورشید می‌باشد. ساعات آفتابی مجموع ساعات ماهانه یا سالانه یک منطقه است. این پارامتر خود تحت تأثیر چند عامل مؤثر برتابش می‌باشد. یکی از این عوامل، مدت‌زمان تابش که تابع عرض جغرافیایی است، که در پارامتر ساعات آفتابی به‌طور مستقیم اثرگذار است و دیگری میزان ابرناکی و غبار آلودگی شدید هوا که هر دو این عوامل با پارامتر ساعات آفتابی رابطه عکس‌دارند.[۴۲]

خوزستان استانی است باوجود بیش از ۳۰۰ روز آفتابی در بیش از دوسوم آن و متوسط تابش ۵/۵ – ۴/۵ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز یکی از استان‌هایی با پتانسیل بالا درزمینه بهره‌برداری انرژی خورشیدی معرفی‌شده است. برخی از کارشناسان انرژی خورشیدی گام را فراتر نهاده و در حالتی آرمانی ادعا می‌کنند که خوزستان در صورت تجهیز مساحت بیابانی خود به سامانه‌های دریافت انرژی تابشی می‌تواند انرژی موردنیاز بخش‌های گسترده‌ای از منطقه را نیز تأمین و درزمینه صدور انرژی برق فعال شود[۴۲] محاسبه میانگین طول روز برحسب ساعت در جدول ۵ و شکل ۹ آورده شده است.

**جدول ۵ -محاسبه میانگین طول روز برحسب** ساعت[۴۳]

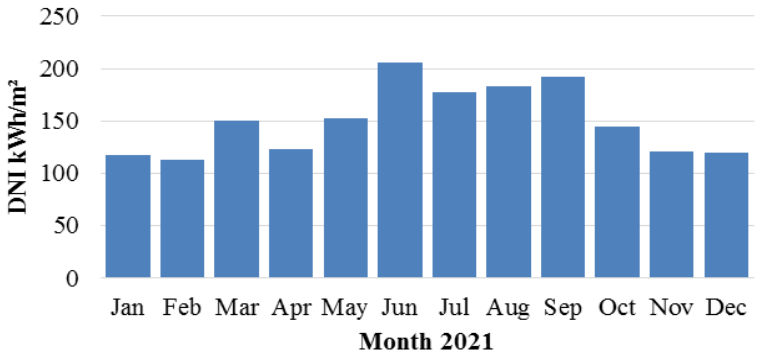
| month | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hour | 10.13 | 10.56 | 11.49 | 12.46 | 13.36 | 14.03 | 13.50 | 13.06 | 12.11 | 11.13 | 10.24 | 10.01 |




**شکل۹- میانگین طول روز ماه برحسب ساعت**

میزان میانگین تابش ساعتی در تمام ماه‌های سال ۲۰۲۱ در شکل ۱۰ و جدول ۶ آورده شده است.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]

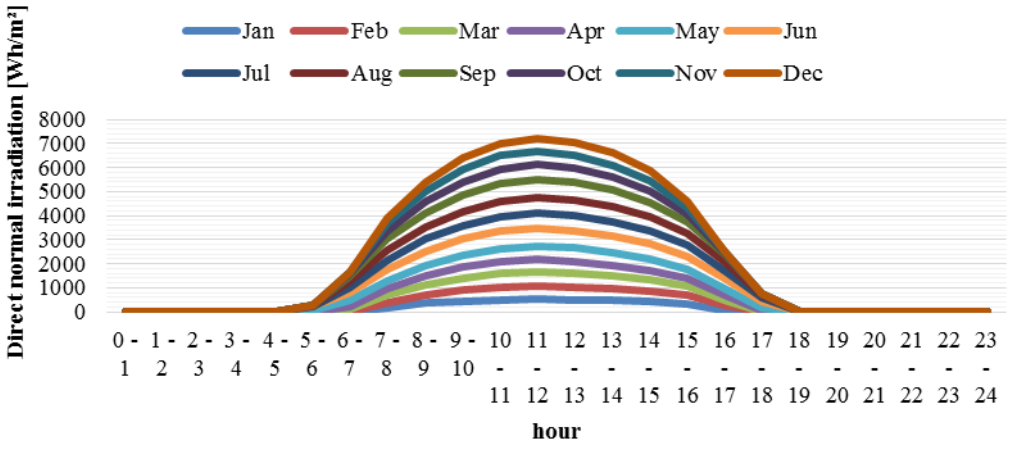



**شکل ۱۰ -میانگین تابش ماه‌های سال**

**جدول ۶- میزان میانگین تابش ساعتی در تمام ماه‌های سال ۲۰۲۱**

| Hour | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 - 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 - 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 - 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 - 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 - 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 - 6 | 0 | 0 | 0 | 8 | 51 | 136 | 42 | 26 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 - 7 | 0 | 4 | 96 | 139 | 223 | 342 | 237 | 235 | 237 | 94 | 33 | 0 |
| 7 - 8 | 170 | 197 | 315 | 277 | 339 | 483 | 376 | 396 | 472 | 349 | 289 | 206 |
| 8 - 9 | 356 | 364 | 421 | 371 | 434 | 587 | 484 | 512 | 591 | 463 | 434 | 393 |
| 9 - 10 | 440 | 455 | 504 | 445 | 510 | 661 | 567 | 599 | 678 | 552 | 505 | 469 |
| 10 - 11 | 495 | 517 | 586 | 486 | 554 | 702 | 615 | 651 | 731 | 609 | 539 | 521 |
| 11 - 12 | 516 | 541 | 620 | 503 | 559 | 718 | 635 | 670 | 747 | 615 | 549 | 542 |
| 12 - 13 | 505 | 521 | 591 | 488 | 553 | 713 | 634 | 661 | 735 | 589 | 527 | 525 |
| 13 - 14 | 475 | 479 | 543 | 448 | 511 | 687 | 604 | 636 | 697 | 540 | 480 | 494 |
| 14 - 15 | 415 | 425 | 492 | 389 | 451 | 633 | 546 | 572 | 626 | 458 | 413 | 427 |
| 15 - 16 | 325 | 345 | 402 | 312 | 368 | 543 | 457 | 477 | 516 | 336 | 253 | 269 |
| 16 - 17 | 75 | 171 | 255 | 206 | 269 | 419 | 336 | 343 | 319 | 79 | 13 | 17 |
| 17 - 18 | 0 | 3 | 24 | 38 | 120 | 232 | 166 | 114 | 35 | 0 | 0 | 0 |
| 18 - 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 13 | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 - 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 - 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 - 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 - 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 - 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sum | 3772 | 4022 | 4849 | 4110 | 4944 | 6870 | 5705 | 5893 | 6384 | 4684 | 4035 | 3863 |

تابش عادی مستقیم برای تمام ماه‌های سال به‌صورت کلی در شکل ۱۱ آورده شده است.



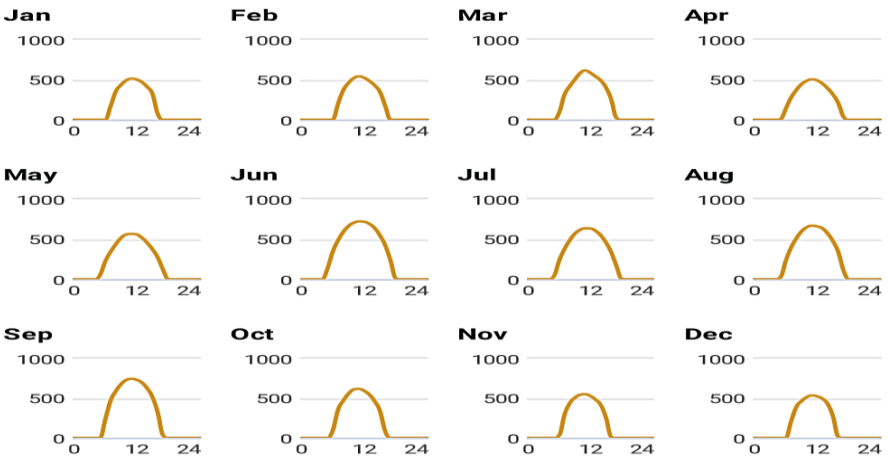

**شکل ۱۱ -تابش عادی مستقیم برای تمام ماه‌های سال به‌صورت کلی [Wh/m²]**



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]

تابش عادی مستقیم برای تمام ماه‌های سال به‌صورت تفکیک‌شده در شکل ۱۲ آورده شده است.

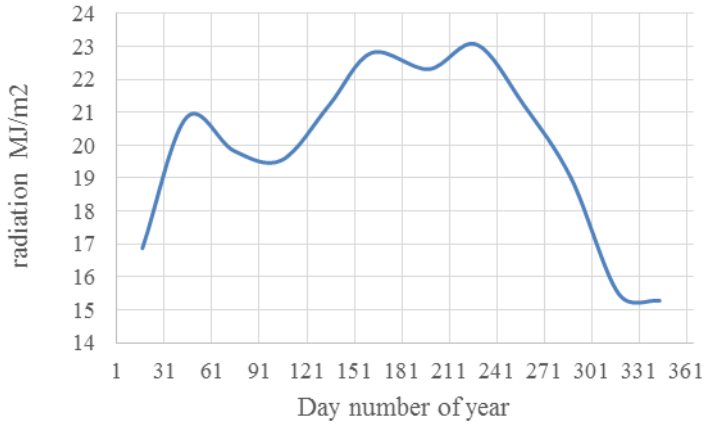



**شکل ۱۲ -تابش عادی مستقیم برای تمام ماه‌های سال به‌صورت تفکیک‌شده [$Wh/m^2$]**

تابش عادی مستقیم روی سطح شیب‌دار برای تمام ماه‌های سال به‌صورت تفکیک‌شده در جدول ۷ و تابش روزانه در شکل ۱۳ آورده شده است.

**جدول۷ -تابش عادی مستقیم روی سطح شیب‌دار برای تمام ماه‌های سال به‌صورت تفکیک‌شده [$Wh/m^2$]**

| Month | D<br>Day of Year | DNI<br>kWh/m²/day | $R_b$<br>- | $I_O$<br>kW/m² | $I_T$<br>kWh/m²/day | $I_T$<br>MJ/m²/day |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Jan** | 17 | 3.20 | 1.6896 | 5.7606 | 4.6579 | 16.7685 |
| **Feb** | 45 | 4.33 | 1.4669 | 6.9832 | 5.7655 | 20.7559 |
| **Mar** | 75 | 4.84 | 1.2127 | 8.6897 | 5.4931 | 19.7753 |
| **Apr** | 105 | 5.44 | 1.0089 | 10.1974 | 5.4192 | 19.5091 |
| **May** | 135 | 6.48 | 0.8772 | 11.1336 | 5.8823 | 21.1761 |
| **Jun** | 162 | 7.31 | 0.8222 | 11.4671 | 6.3233 | 22.7639 |
| **Jul** | 198 | 7.00 | 0.8463 | 11.2703 | 6.1864 | 22.2711 |
| **Aug** | 228 | 6.67 | 0.9498 | 10.5255 | 6.3945 | 23.0203 |
| **Sep** | 258 | 5.44 | 1.1262 | 9.2097 | 5.8837 | 21.1812 |
| **Oct** | 288 | 4.24 | 1.3664 | 7.5410 | 5.2589 | 18.9321 |
| **Nov** | 318 | 3.09 | 1.6220 | 6.0620 | 4.2809 | 15.4114 |
| **Dec** | 344 | 2.83 | 1.7684 | 5.3768 | 4.2161 | 15.1781 |




**شکل ۱۳- تابش به‌صورت روزانه $MJ/m^2$**

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]

**۴- بحث و نتایج:**

میانگین روزانه انرژی تابشی خورشید در ماه مارچ (فروردین) بر اساس مجموع ماهانه انرژی خورشیدی دریافتی و مجموع داده‌های ماهانه می‌باشد با افزایش ارتفاع خورشید رفته‌رفته بر میزان دریافت انرژی تابشی خورشید میانگین روزانه دریافت انرژی تابشی در این ماه ۱۵۰ کیلووات ساعت بر مترمربع می‌باشد. میزان تابش در این اردیبهشت‌ماه ۱۲۳ کیلووات ساعت بر مترمربع می‌باشد. میانگین روزانه انرژی تابشی خورشید در خرداد ماه ۱۵۳ کیلووات ساعت بر مترمربع می‌باشد.

مجموع ماهانه انرژی خورشیدی دریافتی در ماه ژوئن (تیر) بر اساس مجموع داده‌های ماهانه هم‌زمان با بالاترین ارتفاع خورشید میزان تابش به بیشترین مقدار خود رسیده است و از ماه تیر به بعد میزان تابش دریافتی به جهت کم شدن زاویه تابش خورشید کم خواهد شد با وارد شدن به فصل گرم سال میزان تابش دریافتی به ۲۰۶ کیلووات ساعت بر مترمربع بالغ می‌شود که بیانگر شرایط تابشی مساعد در این دوره است. میانگین روزانه انرژی تابشی خورشید در ماه جولای (مرداد) بر اساس داده‌های مجموع ماهانه مرداد فصل گرم و پرتابشی محسوب می‌شود. میزان تابش دریافتی به ۱۱۷ کیلووات ساعت بر مترمربع بالغ می‌شود. میانگین روزانه انرژی تابشی خورشید در ماه آگوست (شهریور) پایین‌تر و طول روز کوتاه‌تر می‌باشد. میزان تابش دریافتی به ۱۸۳ کیلووات ساعت بر مترمربع بالغ می‌شود. در این ماه مقدار تابش دریافتی نسبت به ماه‌های قبل روند رو به کاهشی را طی کرده و از میزان دریافت آن کاسته می‌شود البته روند این تغییرات به‌صورت آرام خواهد بود و فصل تابستان پر تابش‌ترین فصل کشور ازنظر دریافت تابش و آفتاب‌گیری می‌باشد.

میانگین روزانه انرژی تابشی خورشید در سپتامبر (مهرماه) بر اساس داده‌های مجموع ماهانه در طول روز بستگی به موقعیت دایره‌ی روشنایی دارد. و زاویه تابش تعیین‌کننده مقدار تابش دریافتی در واحد سطح می‌باشد در این ماه تابش ۱۹۲ کیلووات بر مترمربع می‌باشد میانگین روزانه انرژی تابشی خورشید در اکتبر (آبان ماه) رفته‌رفته از مقدار تابش دریافتی به‌طور نسبی کاسته شده و به سمت ماه‌های فصل سرد سال پیشروی کرده است. مقدار انرژی دریافتی تا اندازه‌ای به ابرناکی، شفافیت جو، بخارآب جو و آلبدو بستگی دارد. اثر مجموعه‌ی این عوامل تا حد زیادی در تعداد ساعات آفتابی خود را نشان می‌دهد. بر اساس داده‌های مجموع ماهانه در این ماه از مقدار تابش دریافتی به‌طور نسبی کاسته می‌شود در این ماه تابش ۱۴۵ کیلووات ساعت بر مترمربع می‌باشد. میانگین روزانه انرژی تابشی خورشید در نوامبر (آذرماه) بیان‌کننده این است در فصل پاییز که زاویه تابش خورشید به‌تدریج کاهش می‌یابد. بر اساس داده‌های مجموع ماهانه انرژی خورشیدی دریافتی در این ماه ۱۲۱ کیلووات ساعت بر مترمربع می‌باشد. در این ماه با غلبه دوره سرد سال و به‌تبع آن ابرناکی آسمان از میزان آفتاب‌گیری کاسته می‌شود. کاهش آفتاب‌گیری باعث کمتر رسیدن میزان تابش دریافتی در سطح می‌شود.

میانگین روزانه انرژی تابشی خورشید در دسامبر (دی‌ماه) بر اساس داده‌های مجموع ماهانه در فصل زمستان و همراه با آن طول روزکوتاه تر و درنتیجه از تعداد ساعات آفتابی کاسته می‌شود به‌طوری‌که تابش در این ماه ۱۲۰ کیلووات در ساعت بر مترمربع می‌باشد. روز نخست دی‌ماه (دسامبر) قطب شمال بیش از هر زمان دیگر (به‌اندازه ۲۳/۵۵ درجه) از خورشید دور است و نور خورشید به هیچ نقطه‌ای از نیمکره شمالی عمود نمی‌تابد. میانگین روزانه انرژی تابشی خورشید در ژانویه (بهمن‌ماه) نسبت به میانگین بلندمدت ماه قبل کمتر می‌باشد که خود به دلیل ابرناکی، کاهش تابش مؤثر و به‌تبع آن کاهش آفتاب‌گیری می‌باشد. به‌طوری‌که تابش در این ماه ۱۱۷ کیلووات در ساعت بر مترمربع می‌باشد. میانگین روزانه انرژی تابشی خورشید در فوریه (اسفندماه) دارای پتانسیل تابشی مناسبی می‌باشند و بیشترین پتانسیل در عرض جغرافیایی پایین‌تر قرار دارند و در این ماه کمترین مقدار تابش دریافتی به جهت پایین بودن تعداد ساعات آفتابی و ابرناکی وسیع که بر میزان تابش دریافتی تأثیر گذارد می‌باشد. در اسفندماه میزان تابش دریافتی به کمترین مقدار خود می‌رسد به‌طوری‌که با میانگین روزانه ۱۱۳ کیلووات



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]

ساعت بر مترمربع می‌باشد. بنابراین اگرچه ساعات آفتابی نقش زیادی در تغییرات تابش در اینجا داراست ولی تغییرات ارتفاع خورشید در طول سال اهمیت بیشتری دارد.

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه از مدل HDKR بهره گرفته شده است. مقدار تابش خورشیدی رسیده بر سطح زمین تابعی از عرض جغرافیایی می‌باشد و عامل مهمی در تغییرات مکانی تابش است. در فصل بهار با افزایش ارتفاع خورشید به‌تدریج میزان تابش بیشتری به سطح زمین می‌رسد. زاویه تابش تعیین‌کننده مقدار تابش دریافتی است. افزایش مقدار تابش در ماه‌های گرم سال در درجه اول به خاطر افزایش ارتفاع خورشید در این دوره است که به‌طور منظم باعث افزایش نسبی تابش دریافتی از فصل سرد به گرم می‌شود. به‌طورکلی عامل عرض جغرافیایی و ارتفاع خورشید درطی فصول و ماه‌های مختلف تعیین‌کننده مقدار تابش دریافتی و همچنین آفتاب‌گیری می‌باشد به‌طور کل طول روز و ساعات آفتابی جزو فاکتورهای مهم ازنظر دریافت انرژی تابشی خورشید می‌باشند. در این مدل مقدار تابش را تقریباً بر اساس شرایط محیط برآورد می‌کند. براین اساس نتایج این مطالعه نشان داد در ایستگاه فرودگاه بین‌المللی اهواز ازنظر متوسط ماهانه، بیش‌ترین مقدار تابش مستقیم برای آسمان صاف مربوط به ماه ژوئن با ۲۰۶ کیلووات در ساعت بر مترمربع و کم‌ترین تابش مربوط به ماه فوریه با ۱۱۳ کیلووات ساعت بر مترمربع می‌باشد.

## فهرست علائم

| شرح | حرف |
|---|---|
| تابش خورشیدی روزانه خارج از جو $W/m^2$ | $H_O$ |
| ثابت خورشیدی $W/m^2$ | $G_{SC}$ |
| تابش عمودی خارج از جو $W/m^2$ | $G_{On}$ |
| ساعت آفتابی (درجه) | $h^\circ$ |
| ضرایب سطح شیب‌دار | $R_b$ |
| شیب کلکتور خورشیدی (درجه) | $\beta$ |
| بازتابش زمین | $\rho_g$ |
| زاویه زنیت (سمت الراس) (درجه) | $\theta_z$ |
| عرض جغرافیایی (درجه) | $\varphi$ |
| زاویه سمت خورشیدی (زاویه بین اشعه‌های خورشید و جهت شمال) (درجه) | $\gamma_s$ |
| زاویه ساعت غروب (درجه) | $\omega_s$ |
| زاویه میل خورشیدی (درجه) | $\delta_s$ |

| شرح | حرف |
|---|---|
| شماره روز | $D$ |
| تابش عادی مستقیم $W/m^2$ | DNI |
| تابش افقی منتشر $W/m^2$ | DIF |
| تابش افقی جهانی $W/m^2$ | GHI |
| Hay and Davis and Klueher | HDKR |
| طول روز (ساعت) | $H_{SR}$ |
| طول روز بر حسب ساعت (ساعت) | $N$ |
| شاخص تمیزی هوا | $K_t$ |
| انرژی رسیده به سطح زمین $W/m^2$ | $I_g$ |
| تابش خورشیدی ساعتی بین دو ساعت خارج از جو بر روی سطح افقی برحسب ساعت $W/m^2$ | $I_O$ |
| انرژی رسیده از تابش مستقیم $W/m^2$ | $I_b$ |
| انرژی رسیده از تابش غیرمستقیم پراکنده $W/m^2$ | $I_d$ |
| انرژی تابشی رسیده به سطح شیب‌دار $W/m^2$ | $I_T$ |
| تأثیر فاکتور دید آسمان و کلکتو | $f_{c-s}$ |
| انرژی رسیده به سطح شیب‌دار غیرمستقیم زمین | $f_{c-g}$ |

## مراجع


[1] A. Jafari Binabaj, "Analysis of solar air collectors for the last five months of the year in Qaen city," Scientific Mechanical Engineering, vol. 26, no. 3, pp. 69-80, 2017. [Online]. Available: http://mmep.isme.ir/article_27347_7c0687cf7ced1523d3b1abea1be4b055.pdf.

[2] G. E. Cohen, D. W. Kearney, and G. J. Kolb, "Final report on the operation and maintenance improvement program for concentrating solar power plants," Sandia National Laboratories (SNL), Albuquerque, NM, and Livermore, CA …, 1999.

[3] L. El Chaar and L. A. Lamont, "Global solar radiation: Multiple on-site assessments in Abu Dhabi, UAE," Renewable Energy, vol. 35, no. 7, pp. 1596-1601, 2010.




[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]

[4] M. Arshad, "Clean and sustainable energy technologies," in Clean energy for sustainable development: Elsevier, 2017, pp. 73-89.

[5] O. Alves-Filho, Heat pump dryers: Theory, design and industrial applications. CRC Press, 2015.

[6] İ. H. YILMAZ, "Optimization of an integral flat plate collector-storage system for domestic solar water heating in Adana," Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik, vol. 19, no. 1, pp. 165-176, 2018.

[7] M. Islam, P. Yarlagadda, and A. Karim, "Effect of the orientation schemes of the energy collection element on the optical performance of a parabolic trough concentrating collector," Energies, vol. 12, no. 1, p. 128, 2019.

[8] J. Almorox and C. Hontoria, "Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain," Energy Conversion and Management, vol. 45, no. 9-10, pp. 1529-1535, 2004.

[9] J. Almorox, M. Benito, and C. Hontoria, "Estimation of monthly Angström–Prescott equation coefficients from measured daily data in Toledo, Spain," Renewable Energy, vol. 30, no. 6, pp. 931-936, 2005.

[10] M. Iziomon and H. Mayer, "Assessment of some global solar radiation parameterizations," Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, vol. 64, no. 15, pp. 1631-1643, 2002.

[11] A. Alizadeh and N. Khalili, "Determination of Angstrom Equation Coefficients and Development of a Regression Equation for Solar Radiation Estimation (Case Study: Mashhad Region)," Water and soil (agricultural sciences and industries), vol. 23, no. 1, pp. -, 1388. [Online]. Available: https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=95148.

[12] K. L. Bristow and G. S. Campbell, "On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature," Agricultural and forest meteorology, vol. 31, no. 2, pp. 159-166, 1984.

[13] J. S. Ehnberg and M. H. Bollen, "Simulation of global solar radiation based on cloud observations," Solar Energy, vol. 78, no. 2, pp. 157-162, 2005.

[14] A. Angstrom, "Solar and terrestrial radiation. Report to the international commission for solar research on actinometric investigations of solar and atmospheric radiation," Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol. 50, no. 210, pp. 121-126, 1924.

[15] J. Prescott, "Evaporation from a water surface in relation to solar radiation," Trans. Roy. Soc. S. Aust., vol. 46, pp. 114-118, 1940.

[16] J. Samimi, "Estimation of height-dependent solar irradiation and application to the solar climate of Iran," Solar Energy, vol. 52, no. 5, pp. 401-409, 1994.

[17] A. Sözen, E. Arcaklioğlu, M. Özalp, and E. G. Kanit, "Solar-energy potential in Turkey," Applied Energy, vol. 80, no. 4, pp. 367-381, 2005.

[18] K. Bakirci, "Models of solar radiation with hours of bright sunshine: a review," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 13, no. 9, pp. 2580-2588, 2009.

[19] M. Sam, J. Kokabi, and M. D. Manshadi, "Estimation of solar radiation in Iran using an optimal model," Iranian Journal of Energy, vol. 13, no. 2, pp. 1-10, 2010.

[20] M. Safaripour and M. Mehrabian, "Predicting the direct, diffuse, and global solar radiation on a horizontal surface and comparing with real data," Heat and mass transfer, vol. 47, no. 12, pp. 1537-1551, 2011.

[21] V. Sivamadhavi and R. S. Selvaraj, "Prediction of monthly mean daily global solar radiation using Artificial Neural Network," Journal of earth system science, vol. 121, no. 6, pp. 1501-1510, 2012.

[22] M.-F. Li, X.-P. Tang, W. Wu, and H.-B. Liu, "General models for estimating daily global solar radiation for different solar radiation zones in mainland China," Energy Conversion and Management, vol. 70, pp. 139-148, 2013/06/01/ 2013, doi: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.03.004.



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]

[23] O. Ajayi, O. Ohijeagbon, C. Nwadialo, and O. Olasope, "New model to estimate daily global solar radiation over Nigeria," Sustainable Energy Technologies and Assessments, vol. 5, pp. 28-36, 2014.

[24] V. H. Quej, J. Almorox, M. Ibrakhimov, and L. Saito, "Empirical models for estimating daily global solar radiation in Yucatán Peninsula, Mexico," Energy Conversion and Management, vol. 110, pp. 448-456, 2016/02/15/ 2016, doi: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.12.050.

[25] A. G. Nia, M. H. Mobin, A. Jabali, and H. Alipour, "Modeling and zoning of solar energy received at the ground level in arid and semi-arid regions of central Iran," آب و خاک, vol. 30, no. 4, pp. 1294-1308, 2017.

[26] K. Gairaa, A. Khellaf, Y. Messlem, and F. Chellali, "Estimation of the daily global solar radiation based on Box–Jenkins and ANN models: A combined approach," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 57, pp. 238-249, 2016/05/01/ 2016, doi: https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.111.

[27] H. Loutfi, A. Bernatchou, Y. Raoui, and R. Tadili, "Learning Processes to Predict the Hourly Global, Direct, and Diffuse Solar Irradiance from Daily Global Radiation with Artificial Neural Networks," International Journal of Photoenergy, vol. 2017, p. 4025283, 2017/10/11 2017, doi: 10.1155/2017/4025283.

[28] Z. Hejazizadeh, A. Karbalaee, and M. R. karbalaee, "Estimating the Received Solar Radiation by Bird and Hulstrom Model in Isfahan Province," Quarterly Journal of Geography and Development, vol. 16, no. 51, pp. 159-174, 2018.

[29] K. Kaba, M. Sarıgül, M. Avcı, and H. M. Kandırmaz, "Estimation of daily global solar radiation using deep learning model," Energy, vol. 162, pp. 126-135, 2018/11/01/ 2018, doi: https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.202.

[30] Q. Cao, Y. Liu, K. Lyu, Y. Yu, D. H. W. Li, and L. Yang, "Solar radiation zoning and daily global radiation models for regions with only surface meteorological measurements in China," Energy Conversion and Management, vol. 225, p. 113447, 2020/12/01/ 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113447.

[31] S. Bamehr and S. Sabetghadam, "Estimation of global solar radiation data based on satellite-derived atmospheric parameters over the urban area of Mashhad, Iran," Environmental Science and Pollution Research, vol. 28, no. 6, pp. 7167-7179, 2021.

[32] B. B. Acharya, Y. K. Shrestha, S. Dhakal, U. Joshi, and K. N. Poudyal, "Prediction of daily global solar radiation using different empirical models at eastern subtropical region, Nepal."

[33] P. Kumari and D. Toshniwal, "Analysis of ANN-based daily global horizontal irradiance prediction models with different meteorological parameters: a case study of mountainous region of India," International Journal of Green Energy, pp. 1-20, 2021.

[34] T. A. Woldegiyorgis, A. Admasu, N. E. Benti, and A. A. Asfaw, "A Comparative Evaluation of Artificial Neural Network and Sunshine Based models in prediction of Daily Global Solar Radiation of Lalibela, Ethiopia," Cogent Engineering, vol. 9, no. 1, p. 1996871, 2021.

[35] B. Hamza and I. Abdulmuminu, "Statistical Modelling of Global Solar Radiation on Horizontal Surface Using Monthly Means Daily Sunshine Hours and Some Climatic Variables for Zamfara State, Nigeria," International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering (IJASRE), vol. 7, no. 5, pp. 76-84, 2021.

[36] S. Hafeez, M. Asim, M. Amjad, M. Farooq, M. Azhar, and G. M. Amjad, "Estimation of daily diffuse solar radiation from clearness index, sunshine duration and meteorological parameters for different climatic conditions," Sustainable Energy Technologies and Assessments, vol. 47, p. 101544, 2021.

[37] Z. Bounoua, L. Ouazzani Chahidi, and A. Mechaqrane, "Estimation of daily global solar radiation using empirical and machine-learning methods: A case study of five Moroccan locations," Sustainable Materials and Technologies, vol. 28, p. e00261, 2021/07/01/ 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00261.

[38] S. A. Al-Ghamdi, "Statistical analysis of different global solar radiation sunshine models in Al-Aqiq, KSA," International Journal of Energy and Environmental Engineering, 2021/11/30 2021, doi: 10.1007/s40095-021-00449-2.



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]

[39] C. M. dos Santos, É. T. Teramoto, A. de Souza, F. Aristone, and R. Ihaddadene, "Several models to estimate daily global solar irradiation: adjustment and evaluation," Arabian Journal of Geosciences, vol. 14, no. 4, pp. 1-16, 2021.

[40] J. Binabaj, "Analysis of solar air collectors for the last five months of the year in Ghaen city," ReneWable Energy organization of IRAN, vol. 26, no. 3, pp. 69-80, 2017.

[41] H. Moghadam, F. F. Tabrizi, and A. Z. Sharak, "Optimization of solar flat collector inclination," Desalination, vol. 265, no. 1-3, pp. 107-111, 2011.

[42] A. Hashem Pourian, "Neglect of solar energy in the dry years of Khuzestan," presented at the 8th Scientific Conference on Renewable, Clean and Efficient Energy, 2015. [Online]. Available: https://civilica.com/doc/420017.

[43] "Ahvaz Pipeline Company." www.irimo.ir (accessed.

[44] G. D. Harper, Solar energy projects for the evil genius. McGraw-Hill New York, 2007.

[45] D. Prasad and M. Snow, Designing with solar power: a source book for building integrated photovoltaics (BiPV). Routledge, 2014.

[46] J. Yellott, "Utilization of sun and sky radiation for heating and cooling of buildings," ASHRAE J.;(United States), 1973.

[47] C. Aghanajafi and A. Dehghani, Advanced Solar Radiation Energy and Industrial Application. Tehran,Iran: K.N.Toosi University of Technology (in Persian), 2008.

[48] M. Aminy, M. Aminzadeh, and H. Haghgou, "Optimized design and control system of linear parabolic trough collectors used in solar cooling at Material & Energy Research Center (MERC)," Journal of Renewable and New Energy, vol. 3, no. 2, pp. 74-82, 2016.

[49] J. A. Duffie, W. A. Beckman, and N. Blair, Solar engineering of thermal processes, photovoltaics and wind. John Wiley & Sons, 2020, pp. 250-300.

[50] S. A. Kalogirou, Solar energy engineering: processes and systems. Academic Press, 2014.

[51] H. K. Elminir, A. E. Ghitas, F. El-Hussainy, R. Hamid, M. Beheary, and K. M. Abdel-Moneim, "Optimum solar flat-plate collector slope: case study for Helwan, Egypt," Energy conversion and management, vol. 47, no. 5, pp. 624-637, 2006.

[52]"Solar energy World." https://www.solarenergyworld.com/do-you-really-get-enough-sun-for-solar/ (accessed.

[53] S. A. Mousavi Maleki, H. Hizam, and C. Gomes, "Estimation of Hourly, Daily and Monthly Global Solar Radiation on Inclined Surfaces: Models Re-Visited," Energies, vol. 10, no. 1, p. 134, 2017. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/1996-1073/10/1/134.

[54] D. Erbs, S. Klein, and J. Duffie, "Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation," Solar energy, vol. 28, no. 4, pp. 293-302, 1982.

[55] B. Azizimehr, E. Assareh, and R. Moltames, "Thermoeconomic analysis and optimization of a solar micro CCHP by using TLBO algorithm for domestic application," Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, vol. 42, no. 14, pp. 1747-1761, 2020/07/17 2020, doi: 10.1080/15567036.2019.1604883.

[56] T. R. Ayodele and A. S. O. Ogunjuyigbe, "Prediction of monthly average global solar radiation based on statistical distribution of clearness index," Energy, vol. 90, pp. 1733-1742, 2015/10/01/ 2015, doi: https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.06.137.

[57] M. Islamic, M. Yaqubi, P. alireza, and M. Iranmanesh, "Simulation of solar system performance using System Advisor Modeling software, in order to generate energy for the city of Kerman and compare it,

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]

considering the effects of Shading or without it," New urban management, vol. 4, no. 14, pp. 1-26, 2016. [Online]. Available: https://journal.shiraz.ir/article_80957_633bc5115de1739fbd8cda5e26171841.pdf.

[58] globalsolaratlas, "global solar atlas," ed: nasa, 2022.

[59] g. s. atlas. "Direct normal irradiation." global solar atlas. https://globalsolaratlas.info/map?c=31.249204,48.655014,11&s=31.282072,48.718185&m=site (accessed.

[60] P. G. I. SYSTEM, "PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM," in nasa, ed: nasa, 2021.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]

**چکیده انگلیسی**

# Estimation of daily global solar radiation using HDKR method: case study -Ahvaz

**Habib Shoeibi[1], Mehdi Mehrpooya[2,3*], Ehsanolah Assaerh[3], Mohsen Izadi[2,4], Fathollah Pourfayaz[2,3]**

[1] Department of Mechanical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran.
[2] Renewable Energies and Environmental Department, Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran.
[3]Department of Mechanical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran.
[4] Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

Received: March 2022 Accepted: June 2021

**Abstract**

One of the most important steps in using any renewable energy source is to accurately estimate it. Universal solar radiation is generally measured on a horizontal surface, while the maximum amount of solar radiation is a collision on a sloping surface. However, in order to take full advantage of solar radiation on collector surfaces, conventional fixed solar systems, both solar photovoltaics and flat panel solar collectors, are installed on sloping surfaces. In this study, the HDKR model has been used to estimate the radiant energy on the horizontal and sloping surfaces of solar collectors. In this regard, using MATLAB software, the amount of energy received by the solar collector throughout the year was investigated. The results of this study show that in Ahvaz International Airport station, in terms of average monthly, the highest amount of direct radiation for clear skies is related to June with 206 kWh / $m^2$ and the lowest amount of radiation for February is 113 kWh / $m^2$. Square meters.

**Key words:** Renewable energy, Direct radiation, Universal daily radiation, HDKR method

*corresponding author: mmhrpuya@gmail.com

**Cite this article as:** Habib Shoeibi, Mehdi Mehrpooya, Ehsanolah Assaerh, Mohsen Izadi, Fathollah Pourfayaz. Estimation of daily global solar radiation using HDKR method: case study-Ahvaz. Journal of Energy Conversion, 2022, 9(1), 89-112.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.1.6.7 ]