نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال هجدهم، شماره ۴۹، تابستان ۹۷

تحلیل شیب و آزیموت بهینه برای نصب پنل فتوولتاییک براساس تابش دریافتی خورشید در شهرستان کاشان

دریافت مقاله: ۹۶/۷/۹ پذیرش نهایی: ۹۶/۱۲/۱۱

صفحات: ۷۴-۵۹

علیرضا رحیمی: استادیار پژوهشکده انرژی دانشگاه کاشان. [۱]
rahimi2@kashanu.ac.ir
علیرضا کربلائی درئی : دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشگاه خوارزمی تهران.
karbalaee20@gmail.com
محمدرضا کربلائی: دانشجوی کارشناسی ارشد لیزر دانشگاه شهید بهشتی تهران.
karbalaee30@gmail.com

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، تعیین راستای استقرار و شیب بهینه برای نصب پنل فتوولتاییک در شهرستان کاشان می باشد که برای این منظور با استفاده از موقعیت جغرافیایی منطقه، روابط و مدل فیزیکی Masters Gilbert تابش دریافتی خورشید بر سطح پنل، محاسبه شد، نتایج این پژوهش نشان میدهد که میزان تابش دریافتی بر سطح کلکتور در راستای جنوب و در شیب های مختلف، در ۶۴ درصد از مواقع سال، بیشتر از تابش روی سطح پنل نصب شده در راستای جنوب شرق یا غرب با زاویه شیب های مختلف است. بیشترین میزان تابش در آزیموت رو به جنوب در شیب ۳۰ و ۴۰ درجه می باشد، آزیموت جنوب شرقی-غربی (۳۰ درجه) تقریبا شبیه به آزیموت جنوب است و تنها درراستای جنوب شرقی- غربی، در فصل تابستان، شیب های نزدیک به قائم، تابش بیشتری نسبت به جنوب دریافت می‌کنند. میزان تابش دریافتی بر سطح پنل در راستای جنوب شرقی-غربی (آزیموت ۶۰ درجه) در شیب های مختلف در ۸۷ درصد از مواقع سال بیشتر از تابش روی سطح پنل نصب شده در راستای شرق یا غرب (آزیموت ۹۰ درجه) با زاویه شیب های مختلف است. با مقایسه نتایج ، مشخص می شود که راستای نصب پنل فتوولتاییک هر چه از جنوب به سمت شرق یا غرب تغییر کند، شدت تابش در روزهای سال کاهش بیشتری خواهد داشت، بیشترین بازده ی تولید انرژی فتوولتاییک در شهرستان کاشان در راستای رو به جنوب، و با زاویه نصب پنل فتوولتاییک ۳۰ درجه نسبت به خط افق می باشد. همچنین مناسب ترین شیب برای نصب پنلها بین ۳۰ تا ۴۰ درجه، نسبت به سایر شیب ها به دست آمد.

کلیدواژگان: شیب، آزیموت، تابش خورشیدی، کاشان .

---

۱ . **مسئول مقاله:** کاشان، دانشگاه کاشان، پژوهشکده انرژی.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.11.4]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.59]

مقدمه

مجموع نیاز انرژی جهان در دهه هشتاد به ۷,۵ میلیارد کیلو وات و در سالهای اخیر به بیش از ۱۰ میلیارد کیلو وات در سال رسیده است که روند صد سال گذشته آن افزایشی در حدود ۲ در صد نشان می دهد. این در حالیست که تنها اگر ۰,۱ از بیابان های جهان مجهز به نیروگاه های حرارتی خورشیدی شوند همین مقدار برای تولید برق سالانه مورد تقاضای جهان کافیست(افشار،۱۳۸۵: ۴۵). تابش خورشیدی یکی از ایمن ترین، مؤثرترین و اقتصادی ترین منابع انرژی است که پتانسیل تبدیل شدن به منبع اصلی انرژی در آینده نه چندان دور را دارد. انرژی تابش خورشیدی طی مسیر خود تا رسیدن به سطح کرۀ زمین، تحت تاثیر شرایط جوّی زمین و حرکت نسبی زمین و خورشید تغییر میکند. از این رو در هر موقعیت جغرافیایی روی کرۀ زمین، زاویۀ تابش خورشیدی دریافت شده، در روزهای مختلف سال و در طول روز متفاوت است. مقدار انرژی خورشیدی رسیده به واحد سطح در واحد زمان، شدت تابش خورشیدی نامیده میشود، که در سیستم آحاد بینالمللی، واحد آن وات بر مترمربع میباشد. آگاهی از میزان شدت تابش خورشیدی در هر منطقه، به منظور بررسی میزان کارایی انواع سیستم های خورشیدی، ضروری است(سلیمان ریزی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۶). برآورد و تخمین اشتباه میزان تابش دریافتی بزرگترین ریسک در یک نیروگاه فتوولتاییک است. استفاده بهینه از انرژی خورشیدی نیازمند مکانیابی دقیق نیروگاه خورشیدی است(دینسر،۲۰۰۰: ۱۵۷). در نبود دستگاه‌های اندازه‌گیری، اطلاعات صحیح و دقیقی از میزان انرژی خورشیدی در دسترس نیست و از طرفی میزان خطا در دستگاه‌های اندازه‌گیری، گاهی به ۳۰ درصد نیز می رسد، که مهمترین علت آن عدم کالیبراسیون دستگاه ها و وجود گردوغبار در آن ها است (سلیمیان ریزی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۷)، بنابر این می توان گفت مدل های تجربی که بر پایه برآورد انرژی خورشیدی طراحی شده اند، درنبود دستگاه های اندازه گیری می تواند مفید واقع شود(معینی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲).

روابط خطی از گونه آنگستروم ضریب خاموشی و کدورت اتمسفر را در نظر نمی گیرد. لذا این رابطه مناسب ترین و عام ترین رابطه ای است که استحکام خود را برای کاربرد نقاط مختلف دنیا تاکنون حفظ کرده است. برای برآورد تابش روش های مختلفی وجود دارد، برخی بر اساس مولفه ی تابش مستقیم و پراکنده هستند. در برآورد این دو مولفه عوامل فیزیکی شامل پدیده های جوی و ضریب ابر به جهت عبور اشعه خورشید از جو به زمین و..دخالت دارند. در مدل هایی دیگری بارش و رطوبت نسبی و دمای هوا در محاسبات افزوده اند. از معایب این مدل ها وابستگی ضرایب تجربی آنگستروم بر پایۀ پارامترهای جغرافیایی و اقلیمی است که نیاز به عوامل هواشناسی، مانند ساعات آفتابی، دما، و رطوبت دارند و اینکه در اغلب آن ها تابش کلی روزانه روی سطح افقی محاسبه می شود. همچنین برای یک شهر یا مکان خاص کاربرد دارند، زیرا وابسته به برخی عوامل هواشناسی آن مکان هستند و ضرایب مدل برای همان مکان به دست آمده است(پوردیهیمی و وفائی،۱۳۹۴: ۲۲). تابش کل اندازه گیری شده روی سطوح افقی در بعضی از پایگاه های داده موجود است و بعضی از مکان ها مقادیر ان برآورد گردیده است. اما تابش روی سطح افقی برآوردی کلی است و بهتر است این برآورد بر روی سطوح شیب دار انجام گردد. محققان بسیاری از مدل های دیگری برای محاسبه تابش با استفاده از اطلاعات تابش خورشید روی سطوح افقی، تابش روی سطوح با شیب های مختلف نسبت به سطح افق را برآورد نموده

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.11.4]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.59]

اند از مهمترین این مطالعات لیو جوردن [۲](۱۹۶۱) است. تحقیق های زیادی به منظور تخمین مقدار تابش دریافتی سطح زمین انجام گردیده، بیشتر تحقیقات صورت گرفته در برآورد هایشان از متغییر های ساعت آفتابی، دمای هوا، تابش، ساعت آفتابی، میزان ابرناکی بهره گرفته اند(آنگستروم[۳]، ۱۹۲۴؛ هارگراویس[۴] و همکاران، ۱۹۸۵؛ بریستو و کامپل[۵]، ۱۹۸۴). باکیرسی[۶] (۲۰۰۹) هفت مدل تجربی را به منظور برآورد میانگین ماهانه تابش روزانـه در ترکیه استفاده کرد. تنها پارامتر مورد استفاده در ایـن مـدلهـا، مـدت نسبی طول روز است. ایشان نشان داد بـر اسـاس معیارهـای مختلـف خطا، هر کدام از مـدلها بـرای یـک منطقـه خـاص در بـرآورد تـابش خورشیدی مناسب می باشد. رحمان و مهندس [۷](۲۰۰۸) در بررسی به تخمین مقدار Rs در ناحیه ایی از عربستان سعودی پرداخته اند آنان از ترکیبات مختلف پارامترهای رطوبت نسبی، دمای هوا و شماره روز ژولیوسی به عنوان ورودی در شبکه عصبی استفاده نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه MLP قادر است با استفاده از پارامترهای رطوبت و دما، مقدار Rs این منطقه را با دقت خوبی برآورد نماید. علیزاده و خلیلی [۸](۲۰۰۹) در پژوهشی با استفاده از داده های اندازه گیری شده روزانه Rs در سال های ۱۳۷۸تا۱۳۸۰معادله انگستروم- پرسکات را برای ایستگاه سینوپتیک مشهد واسنجی نمودند و همچنین یک معادله رگرسیونی منطقه ای را با در نظر گرفتن عوامل مختلف هواشناسی ارائه نمودند. سپس با استفاده از داده های سالهای ۱۳۸۱و ۱۳۸۲دو مدل ایجاد شده را اعتبارسنجی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که دو مدل دارای اختلاف معنی داری نبوده و میتوان با استفاده از ضرایب واسنجی شده معادله انگستروم- پرسکات، Rs را با دقت مناسبی تخمین زد. گیمارد[۹] (۲۰۱۱) پژوهشی جامع بر اساس هجده مدل تابش خورشیدی در سال های ۱۹۷۲ تا ۲۰۰۸ میلادی انجام داد، نتایج حاصل از مدل ها را با اطلاعات جمع آوری شده از پنج ایستگاه تشعشع سنجی با شرایط آب و هوایی متفاوت مقایسه کرده است. المـورکس و همکـاران [۱۰](۲۰۱۱) هفت مدل برآورد تابش جهانی روزانه را مورد ارزیابی قرار دادند و در نهایت یـک مدل جدید را برای مادریـد (اسـپانیا) توسـعه دادنـد، فرجی مهیاری و همکاران(۱۳۹۴) به ارزیابی مدل های تجربی برآورد تابش خورشیدی روزانه بر پایه دمای هوا در چهار منطقه آب و هوایی ایران پرداخته اند. هدف از این مطالعه ارزیابی عملکرد پنج مدل تجربی تخمین میزان تابش خورشیدی روزانه بر اساس تفاوت بین دمای حداکثر و حداقل (مدل های بریستو- کمپبل، هارگریوز، سامانی، لی و چن) است نتایج این پژوهش نشان داد این مدل ها دارای دقت بیشتری در مناطق خشک نسبت به مناطق مرطوب است. بنابراین استفاده از این مدل ها برای تخمین تابش خورشیدی روزانه در مناطق خشک ایران که تنها داده های دمای هوا در دسترس می باشد، توصیه می

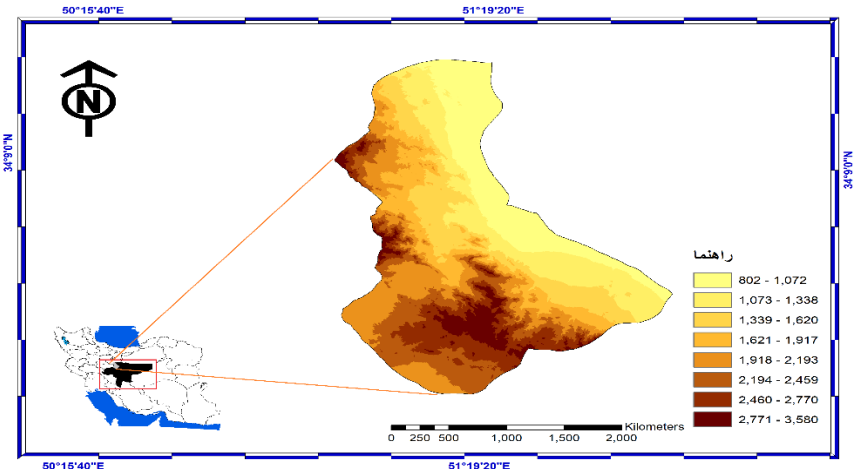
[2] Jordan
[3] Angstrom
[4] Hargreaves et al.,
[5] Bristow and Campbell
[6] Bakirci
[7] Rehman & Mohandes
[8] Alizad & Khalili
[9] Gueymard
[10] Almorox et al.,

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.11.4]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.59]

شود. با توجه به آن که در هر ساعت از روز، میزان قابل توجهی انرژی از خورشید به زمین می رسد بنابراین لزوم استفاده از این انرژی به جای استفاده از سوخت های فسیلی ارجحیت دارد. در پژوهش حاضر میزان دریافت شدت تابش بر سطوح کلکتور در آزیموت های مختلف مورد بررسی قرار گرفت تا بهترین جهت برای نصب کلکتور های خورشیدی در شهرستان کاشان مشخص گردد.

منطقه مورد مطالعه

کاشان با مساحت ۲۱۰۰ هکتار در ناحیه مرکزی ایران قرار گرفته است که از یک سو پشت به کوهستان و از سوی دیگر روی به دشت کویر دارد. ارتفاع آن از سطح دریا ۹۴۵ متر بوده و دارای مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی می باشد. با توجه به دشتی ومسطح بودن این شهرستان مناطق مستعد نصب کلکتور های خورشیدی را داراست، بنابراین لازم است موقعیت قرارگیری و زاویه شیب کلکتورها و سطوح خورشیدی در این شهرستان بگونه‌ای تنظیم شود که بیشترین شار تشعشع خورشیدی در بهترین زاویه به صفحات خورشیدی برسد، نقشه موقعیت نسبی و ارتفاعی شهرستان کاشان در شکل(۱) نشان داده شده است.



شکل (۱) موقعیت نسبی و ارتفاعی شهرستان کاشان

روش تحقیق

امروزه بـا افزایش روز افزون جمعیـت جهان، محدودیت منابع انرژی و اثرات سوء زیست محیطی حاصل از مصرف بی رویهٔ سوخت های فسیلی ، توجه جهانیان متوجه استفاده از انواع انرژی های تجدیدپذیر گردیده است (سعیدی،۱۳۸۴: ۱). در فناوری سلول های خورشیدی کاهش هزینه و افزایش بازده توجه عمده محققان را به خود اختصاص داده است از کلکتور های متمرکز کننده برای دستیابی به حرارت های بالا استفاده می شود. به علت شکل هندسی خاص این کلکتور ها که معمولا سهموی انتخاب می شود تابش خورشید در کانون این کلکتور ها متمرکز می شود. این کلکتور ها حتما باید مجهز به سیستم ردیاب خورشیدی باشند.(ارباب

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.11.4]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.59]

،۲۰۰۹: ۱۱۱۶). کلکتورهای متمرکز کننده برای دستیابی به حرارت بالا در کانون باید قادر به ردیابی خورشید باشند. تابشی که به سطح کلکتور می رسد ترکیبی از تابش های مستقیم ، تابش پراکنده ، تابش انعکاسی است.

در بررسی پیشینه مدل های ارائه شده برای محاسبه تابش خورشیدی، روابط گوناگونی ارائه شده است رابطه ی خطی آنگستروم، تابش کلی روزانه روی سطح افقی را ارائه میکند. در این مدل، که براساس رابطهٔ رگرسیون خطی ساده است میزان تابش خورشیدی دریافتی روی سطح افقی با استفاده از ساعات آفتابی محاسبه می شود، پرسکات در 1940 این مدل را اصلاح کرد و مدل آنگستروم پرسکات، به صورت رابطه (۱) ارائه شد.

رابطه(۱)

$$\frac{H}{H_0} = a + b(\frac{n}{N})$$

در این رابطه (۱) H: تابش کلی روزانه روی سطح افقی در سطح زمین(MJ/M^2)، H_0: تابش کلی روزانه بیرون از جو روی سطح افقی، a, b: ضرایب رگراسیون، n: حداکثر تعداد ساعات آفتابی ممکن روزانه (طول روز)، مقدار n با اندازه گیری مستقیم و مقدار N از روابط مثلثات کروی بر حسب تاریخ و عرض جغرافیایی به دست می آید. در این رابطه بلک و همکاران [۱۱](۱۹۵۴) با آنالیز مقدار H_0 و ساعت آفتابی n اندازه گیری شده برای ۳۲ ایستگاه هواشناسی در مناطق مختلف دنیا رابطه (۲) را برای عرض های جغرافیایی بین ۳۰ درجه جنوبی و ۶۰ درجه شمالی بدست آوردند:

رابطه(۲)

$$\frac{H}{H_0} = 0.23 + 0.48(\frac{n}{N})$$

سپس به این نتیجه رسیدند که ضریب b در این محدوده جغرافیایی دارای تغییرات جزئی هست.در حالی که نوسانات a نسبتا زیاد است بعد از آن در پژوهشی گلاورومک کلاک[۱۲](۱۹۵۸) پیشنهاد کردند که در کار های عملی برای این محدوده مقدار b برابر ۰,۵۲ در نظر گرفته شود و ضریب a نیز برابر cos ۰,۲۹ اختیار شود.به صورت رابطه (۳):

رابطه(۳)

$$\frac{H}{H_0} = 0.29\cos\Phi + 0.52(\frac{n}{N})$$

آنان بیان نمودند ضریب a به ارتفاع از سطح دریا بستگی داردبه دلیل تاثیر گذاری کم آن در نظر نگرفته شده است. بنسون [۱۳]و همکاران(۱۹۸۴) دو فصل پاییز و زمستان در یک گروه و فصول بهار و تابستان را در گروه دیگری قرار داده و روابط (۴و۵) را بدست آورده اند:

رابطه(۴) پاییز و زمستان

$$\frac{H}{H_0} = 0.18\,\Phi + 0.62(\frac{n}{N})$$

[11] Black et al.,
[12] Glover J., Mc Culloch
[13] Benson et al.,

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.11.4]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.59]

رابطه(۵) بهار و تابستان

$$\frac{H}{H_0} = 0.42 + 0.35(\frac{n}{N})$$

با استفاده از عرض جغرافیایی، زاویه انحراف خورشید، زاویه ارتفاع خورشید، زاویه ساعتی و آزیموت می توان موقعیت خورشید را در ایام مختلف سال مشخص نمود؛ زمین در یک ۲۴ ساعت یک بار حول محور خود دوران دارد به عبارتی زمین هر ساعت یک زاویه ۱۵درجه طول جغرافیایی را طی می نماید بنابراین از رابطه (۶) این زاویه محاسبه می گردد. (میرز[۱۴]،۲۰۱۳).

رابطه (۶)

$$h = 15^{\circ} \times (12 - t)$$

t: ساعت مورد محاسبه

زاویه انحراف خورشید یا مدار میل از رابطه کوپر (رابطه ۷) محاسبه می شود. زاویه ساعت برای طلوع و غروب خورشید از رابطه (۹) بدست می آید. طول روز عبارت است از: فاصله زمانی بین طلوع و غروب آفتاب. طول روز نسبت به ظهر خورشیدی قرینه است و در زمین در هر ساعت ۱۵ درجه حول محور خود حرکت می کند(حجازی و کربلایی،۱۳۹۵: ۴۳). موقعیت خورشید در هر لحظه از روز با استفاده از زاویهٔ ارتفاع و زاویهٔ آزیموت تعیین می‌شود که زاویهٔ ارتفاع خورشید (زاویهٔ بین اشعهٔ خورشید و سطح افق) و زاویهٔ آزیموت خورشید از رابطه(۱۱و۱۰) به دست می آیند، جهت محاسبه زاویه آزیموت می بایست دقت گردد اگر $SIN \propto$ کمتر از صفر باشد مقدار نادیده گرفته می شود و اگر بیشتر از صفر باشد مقدار مورد محاسبه قرار می گیرد. در بهار و تابستان مقدار زاویه خورشید بیشتر از ۹۰ درجه از سمت جنوب خواهد بود لذا می بایست شرطی مورد استفاده قرار گیردرابطه (۱۲).

رابطه (۷)

$$\delta = 23.45\sin[\frac{360}{365}(n - 81)]$$

رابطه (۸)

$$\omega_s = \cos^{-1}(-tan\emptyset tan\delta)$$

رابطه(۹)

$$T_d = \frac{۲}{۱۵} cos^{-۱}(-tan\delta \times tan\emptyset)$$

رابطه (۱۰)

$$SIN \propto = (COS\emptyset \times COS\,\delta \times COS\,h) + (sin\emptyset \times sin\delta)$$

رابطه (۱۱)

$$sin\varphi_s = sin^{-1}\frac{cos\delta \times \sin h}{cos \propto}$$

در رابطه (۷) n مجموع روز ها از اول ژانویه تا روز مورد نظر و δ مدار میل خورشید است، ω_sزاویه ساعتی خورشید$SIN \propto$: زاویه تابش یا ارتفاع تابش، $\emptyset$: عرض جغرافیایی،h : فاصله زاویه ای زمان مورد نظر نسبت به ظهر، $sin\varphi_s$: زاویه سمت خورشید

رابطه (۱۲) اگر $\cos H \geq \frac{tan\delta}{tanL}$ باشد بنابر این $|\varphi_s| \leq 90^{\circ}$ در غیر اینصورت $|\varphi_s| \geq 90^{\circ}$ خواهد بود.

[14] Myers

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.11.4]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.59]

تابش مستقیم خورشید روی سطح زمین (I_B) در یک محل، بخشی از اشعه تابشی می باشد که بر یک سطح عمود بر اشعه خورشید می رسد با استفاده از رابطه (۱۳) برآورد می گردد، در رابطه (۱۳) انرژی حاصل از تابش خورشید در جو (A)، از رابطه (۱۴) و عمق تابش در جو (K)، از رابطه (۱۵) محاسبه می گردد (ASHRAE). مقدار نسبت جرمی هوا (m) از رابطه (۱۶) بدست می آید(Masters,2013).

$$I_B = Ae^{-km}$$ رابطه (۱۳)

$$A = 1160 + 75\sin[\frac{360}{365}(n-275)](W/m^2)$$ رابطه (۱۴)

$$k = 0.174 + 0.035\sin[\frac{360}{365}(n-100)]$$ رابطه (۱۵)

$$m = \frac{1}{\sin \propto}$$ رابطه (۱۶)

وقتی انرژی خورشیدی به سطح پنل خورشیدی برخورد می کند، سطح پنل مقدار تابشی را جذب می کند(I_{BC}) که از طریق رابطه (۱۷) برآورد می گردد. مقدار θ در رابطه (۱۷) زاویه بین بردار عمود بر صفحه پنل فتوولتاییک و تابش مستقیم خورشید است به عبارت دیگر تابعی است از جهت پنل فتوولتاییک و زاویه ارتفاع وزاویه آزیموت خورشید در هر زمان خاص که از رابطه (۱۸) برآورد می گردد(Threlkeld & Jordan ,1958).

$$I_{BC} = I_B cos\theta$$ رابطه (۱۷)

$$cos\theta = cos \propto \cos(\emptyset_s - \emptyset_p)\, sin\Sigma + sin \propto \; cos\Sigma$$ رابطه (۱۸)

در رابطه (۱۸) آزیموت خورشید برابر$\emptyset_s$ ، آزیموت پنل برابر$\emptyset_p$ زاویه بین پنل با افق یا شیب آن نسبت به افق Σ می باشد. برآورد تابش پراکنده نسبت به تابش مستقیم کمی سخت تر است، تابش ورودی بر اثر برخورد با ذرات معلق جو، آئروسل ها، بخارآب موجود در آسمان، ابر ها و... پراکنده می شود، بخشی از آن به آسمان برگشته و بخشی پراکنده شده و به زمین می رسد، تابش پراکنده از رابطه (۱۹) برآورد می گردد که عبارت است از تابش پراکنده ای از خورشید روی یک سطح افقی را نسبت به تابش مستقیم گویند. در رابطه(۱۹) ضریب پراکندگی جو (C) از رابطه (۲۰) محاسبه می گردد، با توجه به تابش پراکندگی خورشید به سطح زمین(I_{DH}) ، انرژی که پنل از تابش پراکندگی خورشید بدست می اورد از رابطه (۲۱) برآورد می گردد، به عبارت دیگر وقتی زاویه شیب پنل صفر باشد، تابش کل آسمان به سطح پنل بر خورد می کند، اما زمانی که کلکتور با زاویه ۹۰ درجه نسبت به سطح افق قرار بگیرد ، نیمی از تابش پراکنده را دریافت می کند. انرژی که پنل از تابش انعکاسی خورشید بدست می آورد بر اساس رابطه (۲۲) محاسبه می شود، محدودهٔ مقادیر بازتاب زمین از حدود ۰,۸ برای برف تازه تا حدود ۰,۱ برای یک سطح آسفالت و مقدار پیشفرض معمول برای زمین یا چمن تا حدود ۰,۲ است (گیلبرت،۲۰۰۴) در نهایت با مجموع تابش مستقیم و پراکنده و انعکاسی تابش کل خورشید روی سطح کلکتور از رابطه(۲۳) بدست می آید.

$$I_{DH} = CI_B$$ رابطه (۱۹)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.11.4]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.59]

رابطه (۲۰)

$$c = 0.095 + 0.04\sin[\frac{360}{365}(n-100)]$$

رابطه (۲۱)

$$I_{DP} = I_{DH}\left(\frac{1+cos\Sigma}{2}\right) = I_B C\left(\frac{1-cos\Sigma}{2}\right)$$

رابطه (۲۲)

$$I_{RC} = \rho I_B(sin\propto + C)\left(\frac{1-cos\Sigma}{2}\right)$$

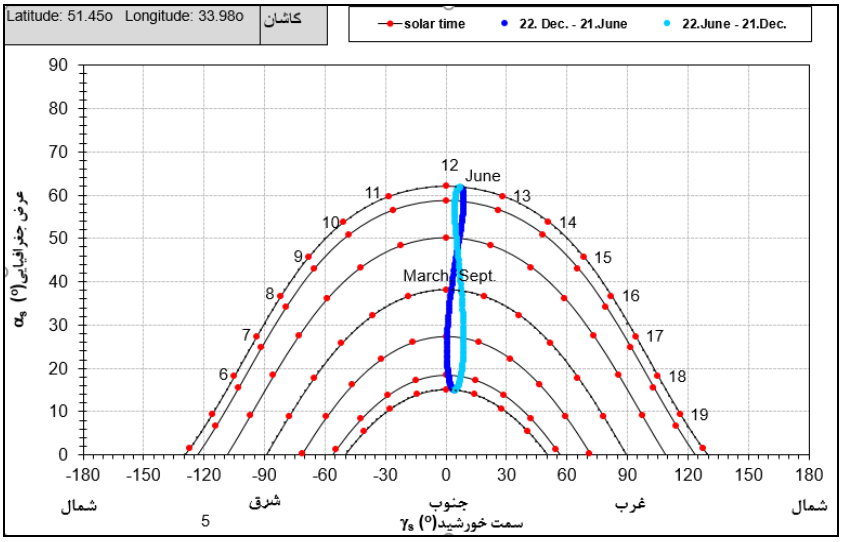
رابطه (۲۳)

$$I_C = I_{BC} + I_{DC} + I_{RC}$$

در رابطه (۲۲) ρ ضریب انعکاسی است.

نتایج

برای اهداف کاربردی، به جای استفاده از معادلات پیچیده بهتر است مسیر خورشید بر روی صفحه افقی رسم شود، که این ترسیم، دیاگرام مسیر خورشید نامیده می شود. این نمودارها تغییرات کامل زاویه ساعتی و زاویه انحراف را برای یک سال کامل نشان می دهد. شکل (۲) نمودار مسیر حرکت خورشید شهرستان کاشان است که برای تخمین سمت خورشید و ارتفاع خورشیدی در ماه های مختلف سال از این نمودار بهره گرفته میشود. مسیر حرکت خورشید از ۲۰ دسامبر تا ۲۱ ژوئن با رنگ آبی پر رنگ و از ۲۲ ژوئن تا ۲۱ دسامبر با آبی کمرنگ نمایش داده شده است.



شکل(۲) نمودار مسیر حرکت خورشید در شهرستان کاشان

در جدول (۱) نتایج پارامتر های مختلف موثر بر تابش به صورت ماهانه نشان داده شده است، برای هر روز میانگین روز های مختلف ماه در نظر گرفته شده است، HSR بیانگر زاویه ساعت برای طلوع و غروب خورشید

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.11.4]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.59]

است که در تابستان این زاویه به بالاترین مقدار خود می رسد، خورشید در زمستان در نیمکره جنوبی قرار دارد لذا ارتفاع خورشید در زمستان کم است وقتی خورشید در نیکره شمالی قرار بگیرد ارتفاع خورشید افزایش یافته و تابش شدید تری نسبت به فصل زمستان خواهد داشت. مقادیر A انرژی حاصل از تابش خورشید در جو می باشد اگر دقت گردد مقادیر در فصل زمستان بیشتر بوده و نشان از آن است که خورشید با تابش به صورت مایل به دلیل قرار گرفتن در نیکره جنوبی انرژی بیشتری را وارد جو می کند، مقدار K عمق تابش در جو را نشان می دهد که در فصل تابستان مقدار آن بیشتر از فصل زمستان می باشد.

جدول (۱) نتایج محاسبات بدست آمده از پارامتر های مختلف موثر بر تابش به صورت ماهانه در شهرستان کاشان(کیلو وات بر متر مربع)

month	*day*	*HSR*	*N*	*MEDAR MIL*	$\sin\beta$	*A*	*K*
دی	16	75.11	10.01	-20.85	0.21	1019.28	0.12
بهمن	46	80.79	10.77	-13.33	0.26	905.34	0.11
اسفند	75	88.38	11.78	-2.39	0.38	976.11	0.13
فروردین	106	96.50	12.87	9.49	0.45	913.89	0.14
اردیبهشت	136	103.29	13.77	18.81	0.53	916.28	0.16
خرداد	167	106.69	14.23	23.08	0.53	870.37	0.16
تیر	197	105.09	14.01	21.10	0.54	898.33	0.17
مرداد	228	99.20	13.23	13.30	0.49	913.66	0.17
شهریور	259	91.35	12.18	1.99	0.40	910.44	0.15
مهر	289	83.25	11.10	-9.85	0.31	972.56	0.14
آبان	320	76.52	10.20	-19.05	0.22	968.14	0.12
آذر	350	73.30	9.77	-23.10	0.19	1016.78	0.12

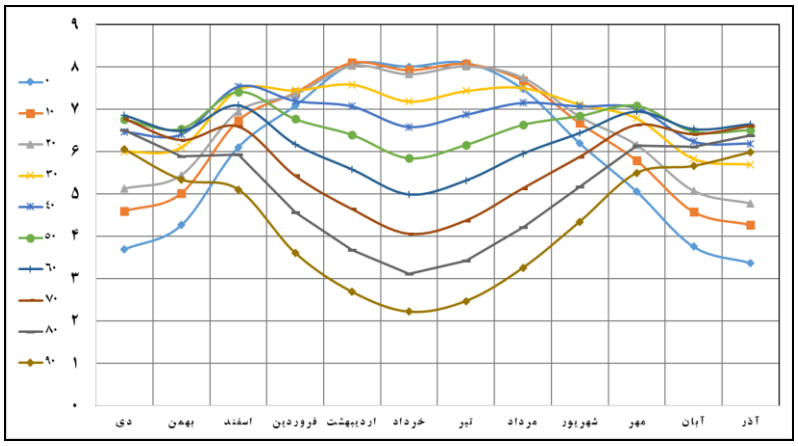
در جدول(۲) مقادیر برآورده شده دریافت تابش کل خورشید بر سطح کلکتور در شهر کاشان نشان داده شده است، در این جدول شیب پنل از صفر تا ۹۰ درجه به صورت ۱۰ درجه ۱۰ درجه بوده، آزیموت در نظر گرفته شده برای جهت جنوب می باشد به صورتی که صفحه پنل به سمت جنوب قرار گرفته است. برای محاسبه تابش مستقیم و پراکنده در نرم افزار اکسل به صورت ساعتی در ۳۶۵ روز سال محاسبه شد، مجموع سه تابش مذکور تابش دریافت شده روی صفحه کلکتور می باشد که بر اساس واحد کیلووات ساعت بر متر مربع محاسبه شده است. شیب صفر درجه در تمامی آزیموت ها یکسان بوده که بیانگر تابش مستقیم است، میزان تابش دریافتی بر سطح کلکتور در جهت جنوب در شیب های مختلف در ۶۴ درصد از مواقع سال بیشتر از تابش روی سطح کلکتور جنوب شرق یا غرب با زاویه شیب های مختلف است. در صورتی که در آزیموت جنوب شرقی-غربی نسبت به جنوب ۴۴ درصد از ایام سال تابش دریافت می دارد. بیشترین میزان تابش در آزیموت رو به جنوب در شیب ۳۰ و ۴۰ درجه می باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.11.4]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.59]

جدول (۲) تابش روزانه دریافتی بر سطح کلکتور، روبه جنوب (۰ درجه) با شیب های مختلف در شهرستان کاشان (کیلو وات بر متر مربع)

		شیب (به درجه)									
	ماه	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
شدت تابش(آزیموت جنوب)	دی	3.70	3.65	3.10	3.45	3.33	3.17	3.00	2.79	2.57	2.30
	بهمن	4.26	4.22	3.64	3.97	3.82	3.61	3.41	3.15	2.90	2.59
	اسفند	6.10	6.03	5.36	5.65	5.38	5.08	4.75	4.36	3.98	3.54
	فروردین	7.08	7.15	6.82	6.82	6.53	6.19	5.77	5.33	4.86	4.34
	اردیبهشت	8.06	8.42	8.64	8.50	8.25	7.86	7.39	6.87	6.27	5.61
	خرداد	8.01	8.45	8.86	8.69	8.48	8.07	7.59	7.03	6.40	5.71
	تیر	8.10	8.53	8.92	8.74	8.52	8.12	7.63	7.09	6.46	5.77
	مرداد	7.48	7.63	7.62	7.39	7.10	6.73	6.28	5.83	5.31	4.75
	شهریور	6.20	6.13	5.60	5.71	5.42	5.10	4.73	4.34	3.94	3.49
	مهر	5.06	5.01	4.35	4.71	4.50	4.25	4.00	3.67	3.37	3.00
	آبان	3.76	3.71	3.17	3.49	3.36	3.19	3.01	2.78	2.56	2.29
	آذر	3.37	3.33	2.81	3.17	3.06	2.93	2.77	2.59	2.39	2.14

تابش دریافتی خورشید در شیب ها و ماه های مختلف در آزیموت جنوب بر روی شکل(۳) نشان داده شده است، مقادیرمیانگین روزهای هرماه می باشد، چنانچه کلکتور با شیب ۹۰ درجه به سمت جنوب قرار گیرد در فصل تابستان از اوایل اسفند تا اواخر شهریور کمترین مقدار شدت تابش را دریافت خواهد کرد. نمودار شدت تابش هر چه در ماه های مختلف به صورت یکنواخت(موازی) باشد نشان از مناسب بودن شیب مورد نظر جهت نصب کلکتور است. شیب های ۳۰ تا ۴۰ درجه در اکثر ماه ها، تابشی بالاتر از ۷ کیلووات بر مترمربع می باشد. در ماه های گرم سطوح باشیب کمتر نسبت به افق از نظر دریافت تابش خورشید وضعیت بهتری نسبت به شیب های بالاتر از آن خواهند داشت و بر عکس آن ماه های سرد سال با شیب های ۳۰ تا ۹۰ درجه تابش بیشتری دریافت خواهند نمود.



شکل(۳) شدت تابش روزانه روی سطوح رو به جنوب در شیب های مختلف در شهرستان کاشان

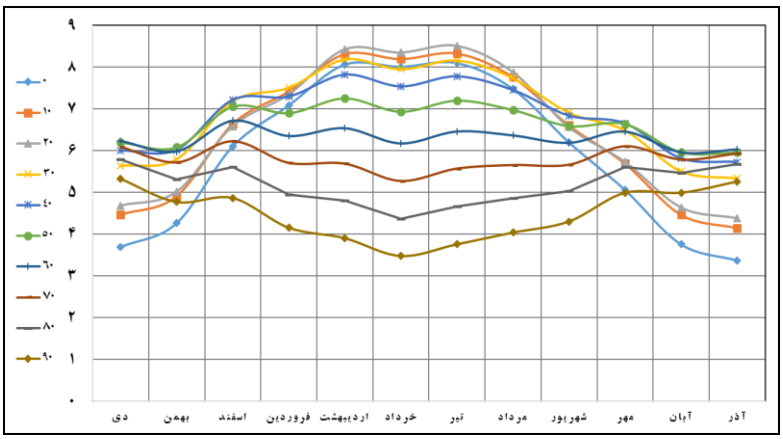
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.11.4]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.59]

در جدول(۳) تابش دریافتی از خورشید بر سطح کلکتور در آزیموت جنوب شرقی-غربی (آزیموت ۳۰ نسبت به جنوب)نشان داده شده است. این آزیموت تقریبا شبیه به جنوب بوده و تنها در جهت های جنوب شرقی-غربی در فصل تابستان شیب های نزدیک به قائم تابش بیشتری نسبت به جنوب دریافت می دارند. بالاترین مقدار تابش دریافتی بر سطح کلکتور در آزیموت جنوب شرقی-غربی(۳۰) مربوط به شیب های ۳۰ و ۴۰ درجه است.

جدول (۳) تابش روزانه دریافتی بر سطح کلکتور، روبه جنوب شرقی-غربی (۳۰درجه) با شیب های مختلف در شهرستان کاشان (کیلو وات بر متر مربع)

		شیب (به درجه)									
	ماه	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
شدت تابش(آزیموت شرق و غرب(۳۰))	دی	3.70	4.47	4.68	5.64	6.00	6.20	6.23	6.09	5.79	5.33
	بهمن	4.26	4.91	5.01	5.80	6.02	6.08	5.98	5.72	5.31	4.77
	اسفند	6.10	6.64	6.59	7.19	7.22	7.06	6.72	6.23	5.61	4.87
	فروردین	7.08	7.42	7.35	7.51	7.30	6.90	6.35	5.71	4.95	4.15
	اردیبهشت	8.06	8.31	8.43	8.19	7.82	7.26	6.54	5.69	4.81	3.90
	خرداد	8.01	8.20	8.35	7.96	7.54	6.94	6.17	5.28	4.37	3.48
	تیر	8.10	8.33	8.51	8.17	7.78	7.21	6.46	5.57	4.67	3.76
	مرداد	7.48	7.76	7.88	7.75	7.45	6.98	6.37	5.66	4.86	4.04
	شهریور	6.20	6.61	6.56	6.91	6.84	6.59	6.19	5.66	5.03	4.30
	مهر	5.06	5.69	5.73	6.49	6.65	6.64	6.46	6.11	5.61	4.99
	آبان	3.76	4.46	4.64	5.51	5.81	5.97	5.96	5.79	5.46	4.99
	آذر	3.37	4.14	4.38	5.34	5.73	5.96	6.03	5.93	5.67	5.26

در شکل (۴) تابش دریافتی بر سطح کلکتور در شیب های مختلف در آزیموت ۳۰ درجه نشان داده شده، هرچه از آزیموت جنوب به سمت شرق و غرب پیش روی شود، تغییرات محسوس تری در دریافت تابش بر سطح کلکتور مشاهده خواهد شد، بر اساس شکل(۴) شیب های ۴۰ تا ۹۰ درجه یکنواخت بوده و شیب های کمتر از ۴۰ درجه در فصل تابستان، بیشترین میزان دریافتی را دارند.



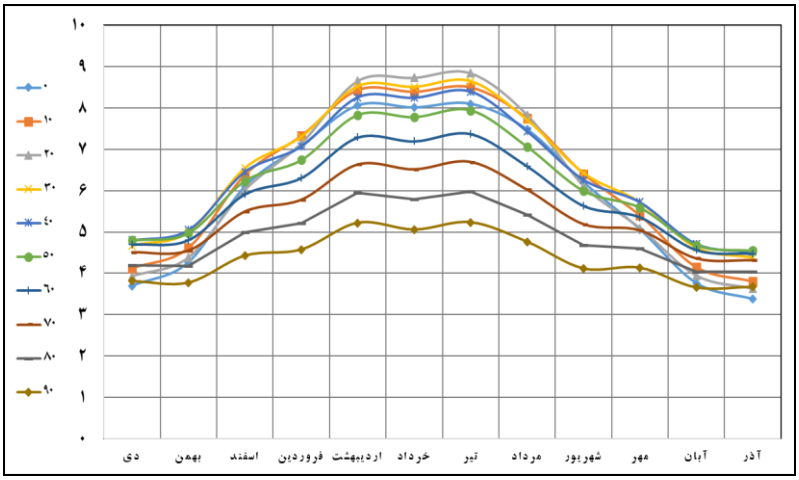
شکل(۴) شدت تابش روزانه روی سطوح رو به جنوب شرقی- غربی(۳۰ درجه) در شیب های مختلف در شهرستان کاشان

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.11.4]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.59]

شدت تابش دریافتی در آزیموت جنوب شرقی-غربی (۶۰ درجه) در شیب و ماه های مختلف در جدول (۴) نشان داده شده است، چنانچه کلکتور با شیب ۹۰ درجه به سمت جنوب شرقی-غربی (آزیموت ۶۰ درجه نسبت به جنوب) قرار گیرد در فصل تابستان نسبت به فصل زمستان تابش دریافتی بیشتری خواهد داشت، میزان تابش دریافتی بر سطح کلکتور در جهت جنوب شرقی-غربی(آزیموت ۶۰ درجه) در شیب های مختلف در ۸۷ درصد از مواقع سال بیشتر از تابش روی سطح کلکتور شرق یا غرب (آزیموت ۹۰ درجه) با زاویه شیب های مختلف است. شکل(۵) شدت تابش در سطوح مختلف به طور روزانه ترسیم شده است و بیانگر آن است که شدت تابش در ماه های مختلف یکنواخت تر شده است.

جدول (۴) تابش روزانه دریافتی بر سطح کلکتور، روبه جنوب شرقی-غربی (۶۰ درجه) با شیب های مختلف در شهرستان کاشان (کیلو وات بر متر مربع)

شدت تابش(آزیموت شرق و غرب(۶۰))		شیب (به درجه)									
	ماه	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	دی	3.70	4.12	3.93	4.67	4.80	4.80	4.70	4.51	4.20	3.81
	بهمن	4.26	4.62	4.38	5.00	5.05	4.98	4.81	4.55	4.18	3.78
	اسفند	6.10	6.38	6.02	6.54	6.46	6.24	5.91	5.49	4.99	4.43
	فروردین	7.08	7.33	7.15	7.30	7.07	6.74	6.31	5.78	5.21	4.58
	اردیبهشت	8.06	8.43	8.66	8.52	8.26	7.83	7.29	6.63	5.95	5.22
	خرداد	8.01	8.39	8.73	8.51	8.25	7.78	7.20	6.51	5.80	5.06
	تیر	8.10	8.50	8.84	8.64	8.40	7.95	7.37	6.69	5.98	5.23
	مرداد	7.48	7.75	7.83	7.71	7.44	7.07	6.59	6.02	5.42	4.76
	شهریور	6.20	6.41	6.12	6.43	6.27	6.00	5.64	5.19	4.68	4.12
	مهر	5.06	5.40	5.09	5.71	5.72	5.59	5.36	5.04	4.60	4.14
	آبان	3.76	4.15	3.94	4.62	4.71	4.69	4.57	4.36	4.04	3.66
	آذر	3.37	3.80	3.62	4.38	4.52	4.55	4.48	4.32	4.04	3.67



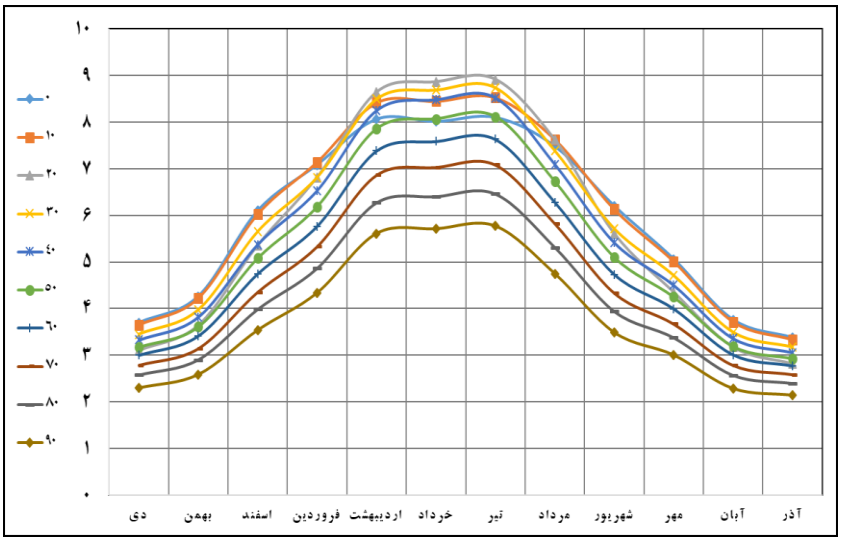
شکل(۵) شدت تابش روزانه روی سطوح رو به جنوب شرقی- غربی(۶۰۰ درجه) در شیب های مختلف در شهرستان کاشان

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.11.4]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.59]

جدول (۵) تابش دریافتی روی سطوح رو به شرق یا غرب با شیب های مختلف را نشان می دهد. شدت تابش در سطوح روبه شرق و غرب با چرخشی در حدود ۹۰ درجه، ۲۳ درصد بیشتر از سطوح روبه جنوب شرق و غرب با چرخشی در حدود ۶۰ درجه است، با مقایسه جداول مشخص می گردد که هر چه از جنوب به سمت شرق یا غرب پیش روی شود شدت تابش در ایام سال کاهش بیشتری خواهد داشت. طبق شکل(۶) هر چه شیب نسبت به افق کمتر باشد تابش بیشتری را در هر ماه از سال دریافت خواهد کرد. لذا شیب ۹۰ درجه کمترین تابش و شیب ۱۰ درجه بیشترین تابش را در آزیموت شرق-غرب (۹۰ درجه) دارد.

جدول (۵) تابش روزانه دریافتی بر سطح کلکتور، روبه جنوب شرق یا غرب (۹۰ درجه) با شیب های مختلف در شهرستان کاشان (کیلو وات بر متر مربع)

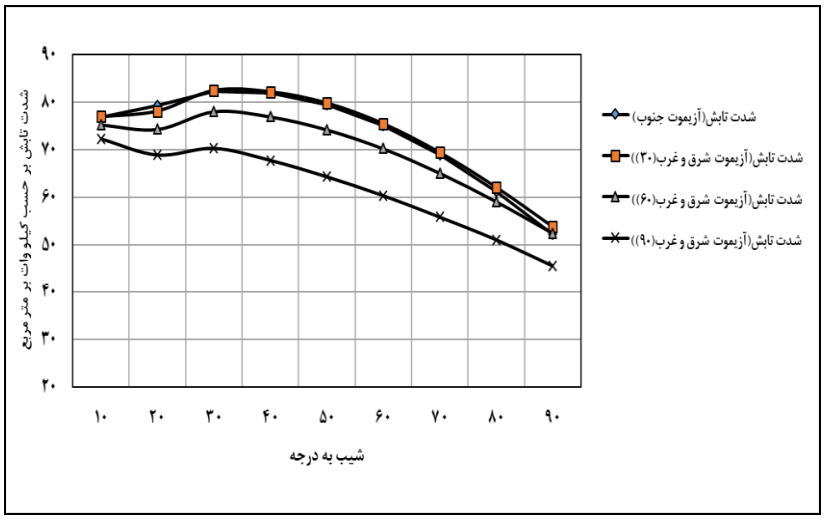
شدت تابش(آزیموت شرق و غرب(۹۰))		شیب (به درجه)									
	ماه	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	دی	3.70	3.65	3.10	3.45	3.33	3.17	3.00	2.79	2.57	2.30
	بهمن	4.26	4.22	3.64	3.97	3.82	3.61	3.41	3.15	2.90	2.59
	اسفند	6.10	6.03	5.36	5.65	5.38	5.08	4.75	4.36	3.98	3.54
	فروردین	7.08	7.15	6.82	6.82	6.53	6.19	5.77	5.33	4.86	4.34
	اردیبهشت	8.06	8.42	8.64	8.50	8.25	7.86	7.39	6.87	6.27	5.61
	خرداد	8.01	8.45	8.86	8.69	8.48	8.07	7.59	7.03	6.40	5.71
	تیر	8.10	8.53	8.92	8.74	8.52	8.12	7.63	7.09	6.46	5.77
	مرداد	7.48	7.63	7.62	7.39	7.10	6.73	6.28	5.83	5.31	4.75
	شهریور	6.20	6.13	5.60	5.71	5.42	5.10	4.73	4.34	3.94	3.49
	مهر	5.06	5.01	4.35	4.71	4.50	4.25	4.00	3.67	3.37	3.00
	آبان	3.76	3.71	3.17	3.49	3.36	3.19	3.01	2.78	2.56	2.29
	آذر	3.37	3.33	2.81	3.17	3.06	2.93	2.77	2.59	2.39	2.14



شکل(۶) شدت تابش روزانه روی سطوح رو به شرقی یا غربی(۹۰ درجه) در شیب های مختلف در شهرستان کاشان

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.11.4]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.59]

مجموع تابش دریافتی روزانه در سال از خورشید بر سطح کلکتور با آزیموت ها و زوایای شیب مختلف در شکل (۷) نشان داده شده است. نمودار حاکی از آن است بیشترین بازدهی تولید انرژی در شهرستان کاشان در جهت روبه جنوب تا ۳۰ درجه چرخش می باشد و همچنین مناسب ترین شیب۳۰ تا۴۰ درجه نسبت به سایر شیب ها خواهد بود. نامناسب ترین جهت آزیموت ۹۰ درجه یعنی شرق یا غرب بودن کلکتور می باشد.لذا هرچه کلکتور ها را به سمت شرق یا غرب بچرخانیم در ماه های سرد سال شدت تابش کمتری نسبت به جهت جنوب ، دریافت خواهند نمود.



شکل (۷). مجموع تابش دریافتی روزانه در سال از خورشید بر سطح کلکتور با آزیموت ها و زوایای شیب مختلف شهرستان کاشان(کیلو وات بر متر مربع)

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر به برآورد تابش کل خورشید روی سطح کلکتور خورشیدی در شیب های مختلف و آزیموت های مختلف پرداخته شده است، از مهمترین عواملی که بر کارایی کلکتور های خورشیدی و مقدار شدت تابش دریافتی آنها تاثیر دارد زاویه شیب کلکتور نسبت به افق و آزیموت (نسبت به جنوب) است، در این پژوهش به پتانسیل سنجی شیب و آزیموت کلکتور ها برای بیشترین بازدهی تولید انرژی پرداخته شده است، با توجه به هزینه بالای سیستم های فتوولتائیک، بهره گیری از حداکثر راندمان این منابع قدرت، یک ضرورت اساسی و غیر قابل انکار بشمار می آید، نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، میزان تابش دریافتی بر سطح کلکتور در جهت جنوب در شیب های مختلف در ۶۴ درصد از مواقع سال بیشتر از تابش روی سطح کلکتور جنوب شرق یا غرب با زاویه شیب های مختلف است. در صورتی که در آزیموت جنوب شرقی-غربی نسبت به جنوب ۴۴ درصد از ایام سال تابش دریافت می دارد. بیشترین میزان تابش در آزیموت رو به جنوب در شیب ۳۰ و ۴۰ درجه می باشد، آزیموت جنوب شرقی-غربی (۳۰ درجه) تقریبا شبیه به آزیموت جنوب بوده و تنها در جهت های جنوب شرقی-غربی در فصل تابستان شیب های نزدیک به قائم تابش بیشتری نسبت به جنوب دریافت

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.11.4]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.59]

می دارند. میزان تابش دریافتی بر سطح کلکتور در جهت جنوب شرقی-غربی(آزیموت ۶۰ درجه) در شیب های مختلف در ۸۷ درصد از مواقع سال بیشتر از تابش روی سطح کلکتور شرق یا غرب (آزیموت ۹۰ درجه) با زاویه شیب های مختلف است. شدت تابش در سطوح روبه شرق و غرب با چرخشی در حدود ۹۰ درجه، ۲۳ درصد بیشتر از سطوح روبه جنوب شرق و غرب با چرخشی در حدود ۶۰ درجه است، با مقایسه جداول مشخص می گردد که هر چه از جنوب به سمت شرق یا غرب پیش روی شود شدت تابش در ایام سال کاهش بیشتری خواهد داشت، بیشترین بازدهی تولید انرژی در شهرستان کاشان در جهت روبه جنوب تا ۳۰ درجه چرخش می باشد و همچنین مناسب ترین شیب ۳۰ تا ۴۰ درجه نسبت به سا بر شیب ها خواهد بود.

منابع

افشار، راحله(۱۳۸۵) **انرژی های تجدید پذیر**، مجله زمین شناسی، ۲ : ۳۵-۴۹.

حجازی زاده، زهرا ؛ کربلایی، علیرضا .(۱۳۹۵). **مقدمه ای براقلیم آسایش حرارتی وشاخص های آن به همراه نرم افزارTCIC** ، انشارات آکادمیک و انجمن جغرافیایی ایران.

سعیدی ، پونه. (۱۳۸۴). **سیستم های فتوولتائیک ، منبع انرژی پاک**، چهارمین همایش بین المللی بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران، سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور، https://www.civilica.com/Paper-CECB04-CECB04 _03. html

سلیمیان ریزی،طیبه؛ مستاجران گورتانی، بهنام؛ کرمانی القریشی، سیدطاهر (۱۳۹۶) **روش های متداول برآورد شدت تابش خورشیدی در سطح افقی زمین**.فصلنامه علمی-ترویجی انرژی های تجدیدپذیر و نو، ۱: ۲۱-۱۶

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**. فصلنامه انرژی ایران. ۵۶: ۳۶-۱۷.

معینی، س؛ جوادی، م؛کوکبی،م؛دهقان منشادی. (۱۳۸۹). **برآورد تابش خورشیدی در ایران با استفاده از یک مدل بهینه**، نشریه انرژی ایران،۱۳(۲): ۴۱-۵۸.

وفائی، راحیل؛ پوردیهیمی،شهرام. (۱۳۹۴). **برآورد تابش کل خورشید روی سطح فتوولتائیکهای یکپارچه با ساختمان**، ۲۵(۲) :۱۹-۳۶.

Almorox, J., Hontoria, C., & Benito, M. (2011). **Models for obtaining daily global solar radiation with measured air temperature data in Madrid (Spain)**. Applied Energy, 88(5), 1703-1709.

Angstrom, A. (1924). "**Solar and Terrestrial Radiation. Report to the International Commission for Solar Research on Actinometric Investigations of Solar and Atmospheric Radiation**", in Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 50: 121-126

Arbab, H., Jazi, B., & Rezagholizadeh, M. (2009). **A computer tracking system of solar dish with two-axis degree freedoms based on picture processing of bar shadow**. Renewable Energy, 34(4), 1114-1118.

Bakirci, K. (2009). **Correlations for estimation of daily global solar radiation with hours of bright sunshine in Turkey**. Energy, 34(4), 485-501.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.11.4]

[DOI: 10.29252/jgs.18.49.59]

Benson, R. B., Paris, M. V., Sherry, J. E., & Justus, C. G. (1984). **Estimation of daily and monthly direct, diffuse and global solar radiation from sunshine duration measurements**. Solar energy, 32(4), 523-535.

Black, J. N., Bonython, C. W., & Prescott, J. A. (1954). **Solar radiation and the duration of sunshine.** Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 80(344), 231-235.

Bristow, K. L., & Campbell, G. S. (1984). **On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature**. Agricultural and forest meteorology, 31(2), 159-166.

C.A. Gueymard, (2012). **Clear-sky irradiance predictions for solar resource mapping and large-scale applications: Improved validation methodology and detailed performance analysis of 18 broadband radiative models**, Solar Energy, Vol. 86, pp. 2145-۲۱۶۹,

Glover, J., & McCulloch, J. S. G. (1958). **The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. Quarterly Journal of the Royal** Meteorological Society, 84(360), 172-175.

Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). **Reference crop evapotranspiration from temperature**. Applied engineering in agriculture, 1(2), 96-99.

Liu, B.Y.H. and R.C. Jordan. (1961) "**Daily Insolation on Surfaces Tilted Towards Equator**", in rans ASHRAE, 67: 526-541

Masters, G. M. (2013). **Renewable and efficient electric power systems**. John Wiley & Sons.Myers, D. R. (2013). **Solar radiation**: practical modeling for renewable

Threlkeld, J., & Jordan, R. (1958). **Direct radiation available on clear days**. ASHRAE Trans.;(United States), 64.

Rehman, S., & Mohandes, M. (2008). **Artificial neural network estimation of global solar radiation using air temperature and relative humidity**. Energy Policy, 36(2), 571-576.

Alizade, A. and Khalili, N. 2009. **Estimation of angstrom coefficient and Developing a regression equation for solar radiation estimation (case study**: **Mashhad)**. Journal of Water and Soil, 23(1): 229-238.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.11.4]

[DOI: 10.29252/jgs.18.49.59]