نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال هفدهم، شماره ۴۴، بهار ۹۶

ارزیابی تغییرات فضایی ـ زمانی تابش خورشیدی دریافتی سطح زمین در استان کرمانشاه با مدل "لیو و جُردن"

دریافت مقاله: ۹۴/۸/۳۰ پذیرش نهایی: ۹۵/۴/۲۵
صفحات:۴۳-۲۵

فیروز مجرد: دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی، کرمانشاه، کرمانشاه، ایران [۱]
Email: f_mojarrad@yahoo.com
امان‌الله فتح‌نیا: استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی، کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
Email: a_fathnia2007@yahoo.com
سعید رجایی نجف‌آبادی: دانشجوی دورهٔ دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی،کرمانشاه،کرمانشاه، ایران
Email: rajaee_saeed@yahoo.com

چکیده

این مطالعه با هدف برآورد میزان تابش دریافتی در سطح استان کرمانشاه به‌منظور گسترش سایت‌های خورشیدی با استفاده از مدل لیو و جُردن به‌انجام رسیده است. با استفاده از شاخصی به‌نام شاخص شفافیت آسمان ($\overline{K}_T$) مقدار حذف اتمسفری در هر ماه محاسبه و بر روی شیب‌ها، جهات شیب و ارتفاع‌های مختلف اِعمال گردید. سپس با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مقادیر تابش مستقیم، پراکنده و کل در توپوگرافی‌های مختلف منطقه محاسبه و نقشه‌های مربوطه رسم گردید. نتایج نشان داد مقدار حداقل حذف اتمسفری و در نتیجه بیشترین مقدار تابش دریافتی در سطح استان به‌دلیل افزایش شاخص $\overline{K}_T$ در اواخر فصول بهار و تابستان با حداکثر ماه می به‌میزان ۱۳۶۰ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز رخ می‌دهد. در مقابل، کمترین مقدار تابش دریافتی متعلق به ماه ژانویه به میزان ۳۸۶/۳ کالری بر سانتی‌متر مربع است. تغییرات تابش در سطح استان بین مناطق پست و مرتفع در ماه‌های ژانویه و دسامبر با توجه به نقش زاویهٔ تابش و تغییرات قابل توجه ارتفاعی زیاد است. اما در تابستان به‌دلیل ارتفاع زیاد خورشید، توزیع تابش در سطح زمین تقریباً یکسان شده و مقدار انحراف‌معیار مقادیر تابش رسیده کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار تابش در شهرستان جوانرود به‌میزان ۵۲۸/۱ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز به‌دلیل ارتفاع بیشتر، و کمترین آن در شهرستان قصرشیرین به‌میزان ۴۴۳/۶ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز به دلیل ارتفاع کمتر دریافت می‌شود.

کلیدواژه‌ها: تابش دریافتی، تغییرات فضایی، مدل لیو و جُردن، شاخص شفافیت، استان کرمانشاه

[۱]. **نویسنده مسئول:** کرمانشاه، باغ ابریشم، دانشگاه رازی، دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیا

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.2.8]

مقدمه

انرژی، پیوسته یکی از محرک‌های اصلی توسعهٔ اقتصادی، اجتماعی و بهبود کیفیت زندگی بوده است. کاهش پیوستهٔ منابع سوختی متعارف به‌دلیل رشد صنعت، افزایش Co_2 و تأثیر آن بر روی اقلیم (مارتین[۱] و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۷۸۱)، افزایش قیمت نفت و افزایش تقاضا برای نفت، باعث افزایش علاقه به مطالعهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر شده است (دسوزا[۲] و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۲۰۳). انرژی‌های تجدیدپذیر شامل انرژی خورشیدی، زمین‌گرمایی، باد، بیومس، برق-آبی، جذر و مد، امواج و غیره است (رحمان و مهندس[۳]، ۲۰۰۸: ۵۷۱). درحال حاضر انرژی خورشیدی یکی از مهمترین انواع انرژی‌های نو می‌باشد که به‌طور گسترده‌ای جنبه‌های مختلف کاربردی آن مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است (جیان‌فنگ[۴] و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۸۷۹). از این بین می‌توان به محاسبات مربوط به گرمایش طبیعی ساختمان‌ها، سیستم‌های تبدیل‌کنندهٔ انرژی خورشیدی، موازنهٔ انرژی اتمسفر (بهرنگ[۵] و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۶۸) تخمین میزان تبخیر، مطالعات کشاورزی (دیوداتو و بِلوچی[۶]، ۲۰۰۷: ۱۱۱؛ تیمویوس[۷] و همکاران ، ۲۰۰۵: ۷۵۲) و تأثیرات آن بر فعالیت‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی اکوسیستم‌های زمینی (مونترو[۸] و همکاران، ۲۰۰۹: ۹۹۸) اشاره کرد. در بسیاری از کشورها به‌ویژه در مناطقی بین عرض‌های جغرافیایی ۴۰ درجهٔ جنوبی تا شمالی- که به‌عنوان کمربند تابشی زمین شناخته می‌شود- استفاده از انرژی خورشیدی می‌تواند جوابگوی تقاضای انرژی الکتریسیته باشد (هوفیرکا و کانوک[۹]، ۲۰۰۹: ۲۲۰۶) شواهد بسیاری وجود دارد که نشان می‌دهد انرژی خورشیدی فتوولتائیک[۱۰] پتانسیل بالایی برای تأمین بخش قابل‌توجهی از انرژی مورد نیاز در کشورهای درحال توسعه با در نظر گرفتن شرایط محیطی مناسب آنها دارد (چار و لامونت[۱۱]، ۲۰۱۰: ۱۵۹۶). انرژی خورشیدی می‌تواند انرژی مورد نیاز مناطق کوچک را فراهم کند. برای مثال انرژی حاصل از سلول‌های خورشیدی برای برق خانه‌های روستایی، پمپاژ آب از چاه،

1-Martın
2-De Souza
3-Rahman and Mohandes
4-Jianfeng
5-Behrang
6-Diodato and Bellocchi
7-Tymvios
8-Montero
9-Hofierka and Kaňuk
10-photovoltic
11-Chaar and Lamont

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.2.8]

ارتباطات، سیستم‌های گرمایش و پیش‌گرمایشی (جانجای[1] و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۲۱۴)، نمک-زدایی آب دریا، خشک‌کردن محصولات و غیره مورد استفاده قرار گیرد (اسلام[2] و همکاران، ۲۰۱۰: ۵۱۵). در حال حاضر مجموع تابش روزانهٔ خورشید به‌عنوان مهمترین پارامتر برای به-کارگیری سیستم‌های خورشیدی مطرح است (نوتون[3] و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۲۳؛ کاسکائوتیس[4] و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۰۴۳). علاوه بر آن توزیع زمانی تابش دریافتی نیز از اصول اساسی در طراحی این سیستم‌ها به‌شمار می‌رود (یوروک‌اوغلو و چلیک[5]، ۲۰۰۶: ۲۴۴۱؛ موزاتیک[6] و همکاران، ۲۰۱۱: ۸۱۲). بنابراین آگاهی از میزان انرژی تابشی رسیده به سطح زمین با دقت بالا به‌منظور احداث چنین سیستم‌هایی در یک منطقه کاملاً ضروری است (زارزالجو[7] و همکاران، ۲۰۰۹: ۴۸۰؛ المتوالی[8]، ۲۰۰۵: ۱۳۳۱).

یکی ازدقیق‌ترین روش‌های اندازه‌گیری تابش خورشیدی استفاده از پیرانومتر است که استفاده از آن هنوز دربسیاری نقاط به‌علت فقدان امکانات محدود می‌باشد. به‌طورکلی، اندازه‌گیری های بلندمدت تابش خورشیدی معمولاً در همه جا انجام نمی‌شود. در نتیجه، محققین بیشتر برای برآورد آن تلاش می‌کنند (بلچر و دیگائتانو[9]، ۲۰۰۷: ۳۲۹). برآورد و ارزیابی اشتباه میزان تابش دریافتی بزرگترین ریسک در یک پروژهٔ خورشیدی است. بنابراین مجریان نیازمند بررسی مقدار تابش برای مکان‌یابی مناسب سایت‌های خورشیدی و تولید نیروی برق هستند (چن[10] و همکاران، ۲۰۰۶: ۲۹۹۱). تابش خورشیدی یکی از ایمن‌ترین، مؤثرترین و اقتصادی‌ترین منابع انرژی است که پتانسیل تبدیل‌شدن به منبع اصلی انرژی را در آیندهٔ نه چندان دور دارد (دینچر[11]، ۲۰۰۰: ۱۵۷). با این وجود، اطلاعات مربوط به تابش خورشیدی به‌دلیل محدودیت‌های مالی، فنی و زیربنایی در بیشتر نقاط دنیا ناقص و یا غیر قابل دسترس است (مونیر[12]، ۲۰۰۷: ۵۵۱). در صورت در دسترس بودن نیز ممکن است تنها محدود

1-Janjai
2-Islam
3-Notton
4-Kaskaoutis
5-Yorukoglu and Celik
6-Muzathik
7-Zarzalejo
8-El-Metwally
9-Belcher and DeGaetano
10-Chen
11-Dincer
12-Muneer

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.2.8]

به چند نقطه از یک کشور باشد که این امر در کشورهای درحال توسعه‌ای چون ایران رایج‌تر است (بهرنگ و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۶۸؛ رحمان و مهندس، ۲۰۰۸: ۵۷۱). این کمبود، مانع جدی بر سر راه انجام مطالعات و تحقیقات در زمینهٔ انرژی خورشیدی است.

انرژی تابشی خورشید به‌طور مستمر بر زمین می‌تابد؛ ولی عواملی بر میزان دریافت آن در بالای جو و سطح زمین تأثیر می‌گذارد و از مقدار انرژی می‌کاهد. عوامل مؤثر بر میزان تابش خورشیدی دریافتی را می‌توان به پنج دستهٔ عوامل هندسی، نجومی، آب‌وهوایی، جغرافیایی و فیزیکی تقسیم نمود که مهم‌ترین آنها به این ترتیب هستند: عوامل هندسی شامل زاویهٔ سمت‌الرأس، زاویهٔ ارتفاع خورشید، زاویهٔ عزیمت خورشید، شیب سطح دریافت‌کننده و زاویهٔ سمت گیرنده؛ عوامل نجومی شامل مقدار ثابت خورشیدی، فاصلهٔ زمین تا خورشید، زاویهٔ میل خورشید، زاویهٔ ساعت خورشید و میانگین روزانهٔ شدت تابش خورشیدی در بالای جو؛ عوامل آب‌وهوایی شامل مقدار ابر، درجهٔ حرارت هوا، دمای نقطهٔ شبنم، دمای زمین و نسبت اعداد واقعی ساعات آفتابی به طول روز؛ عوامل جغرافیایی شامل عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا؛ و نهایتاً عوامل فیزیکی شامل ضریب خاموشی جو، میزان بخار آب موجود در جو، ضریب کدری و میزان ازن در جو (بهادری‌نژاد و یعقوبی، ۱۳۸۵: ۱۱). در مجموع تحقیقات نشان داده است که عامل ساعات آفتابی بیشترین تأثیر را بر روی تابش دریافتی دارد و این تأثیر در مدل رگرسیون خطی انگستروم در روش پنمن ـ مانتیث فائو ثابت شده است. بر این اساس روش‌ها و مدل‌های متعددی با دقت و صحت بالا ابداع گردید (گوفنگ و همکاران، ۲۰۰۷: ۲۴۴۷). این مدل‌ها بر پایهٔ مدل فیزیکی-آماری و مدل‌های فضایی مبتنی بر GIS بنا نهاده شده است. از مطالعات فیزیک و آمارپایه می‌توان به مطالعهٔ آنگستروم[1] اشاره کرد که از طریق مدت زمان ساعات آفتابی اقدام به بررسی و محاسبه تابش کلی نمود (یوروک‌اوغلو و چلیک، ۲۰۰۶: ۲۴۴۱). پس از آن نیز مدل‌های فراوانی میزان تابش رسیده به سطح را بر مبنای معادله‌های ریاضی و با استفاده از پارامترهای جوی محاسبه کردند. برای نمونه العلاوی و الهینای[2] (۱۹۹۸: ۱۹۹) با استفاده از پارامترهای میانگین فشار، دما، فشار بخار آب، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی ماهانه، به‌عنوان ورودی‌های مدل شبکهٔ عصبی موفق به پیش‌بینی میزان تابش کلی شدند. چار و لامونت (۲۰۱۰: ۱۵۹۶) از روش‌های آماری به‌منظور ارزیابی انرژی رسیده به سطح افقی[3] استفاده و شاخصی به‌نام شاخص صافی هوا را ارائه کردند.

1-Ångström
2-Al-Alawi and Al-Hinai
3-global horizontal irradiation (GHI)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.2.8]

نتایج کلی حاکی از درصد بالای روزهای بدون ابر و میزان بسیار بالای انرژی تابشی رسیده به سطح زمین برای منطقهٔ مورد مطالعه بود. از دیگر مدل‌های مورد استفاده در زمینهٔ محاسبه و پیش‌بینی تابش دریافتی سطح زمین، شبکهٔ عصبی مصنوعی است. سوزِن[1] و همکاران (۲۰۰۵: ۱۰۷۵)، برای پیش‌بینی پتانسیل انرژی خورشیدی در ۱۷ شهر ترکیه از پارامترهای مختلف اقلیمی و جغرافیایی همچون طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، ماه، متوسط ساعات آفتابی و متوسط دما به‌عنوان ورودی‌های شبکهٔ عصبی استفاده کردند. همچنین در سالیان اخیر با ورود سیستم اطلاعات جغرافیایی، برآورد و محاسبهٔ تابش بر اساس توپوگرافی و شرایط فضایی رو به گسترش بوده است. به‌عنوان نمونه می‌توان به مطالعهٔ سوری[2] و همکاران (۲۰۰۷: ۱۲۹۵) اشاره کرد که از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای ارزیابی مؤثر توان‌های انرژی خورشیدی در سطح منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی کمک شایان توجهی گرفتند.

تا آنجا که اطلاع در دست است تاکنون در کشور مطالعه‌ای برای برآورد تابش خورشیدی با استفاده از مدل لیو و جُردن به‌انجام نرسیده است. لذا با توجه به مطالب فوق، هدف از این مطالعه برآورد مقدار تابش دریافتی در سطح استان کرمانشاه با توجه به شیب، جهت شیب و ارتفاع از سطح دریا در ماه‌های مختلف سال با استفاده از مدل لیو و جُردن است. در این پژوهش سعی بر آن است تا برآوردی قابل اتکا از میزان تابش دریافتی در سطح استان به‌منظور گسترش سایت‌های خورشیدی ارائه گردد.

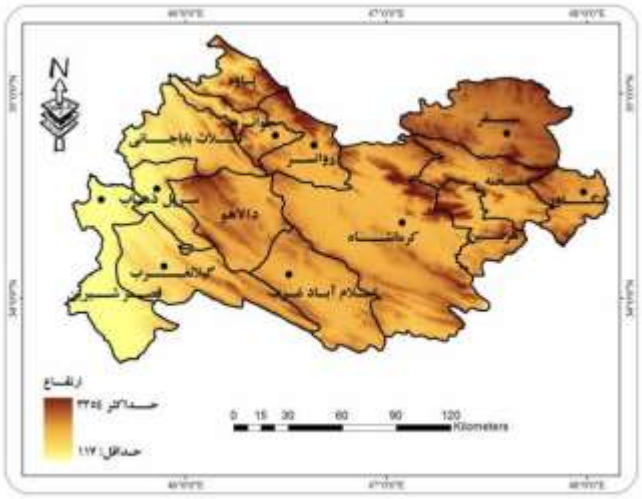
داده ها و روش کار

محدوده مورد مطالعه

استان کرمانشاه با مساحت تقریبی ۲۵۰۰۰ کیلومتر مربع در میانهٔ ضلع غربی کشور، بین ۳۳ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۵ دقیقهٔ عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. این استان از شمال به استان کردستان، از جنوب به استان‌های لرستان و ایلام، از شرق به استان همدان و از غرب به کشور عراق محدود می‌شود. با توجه به وضعیت زمین‌شناسی استان و وجود رشته‌کوه‌های زاگرس میانی، رخنمون استان با سازندهای کوهستانی با ویژگیهای طبیعی خاص، وجود قلل مرتفع با حداکثر ارتفاع ۳۳۹۰ متر، دره‌های ژرف، دشت‌ها و جلگه‌های پست با حداکثر بلندای ۱۸۰ متر را سبب گردیده است. چنین شرایط توپوگرافی موجب تنوع تابش دریافتی در سطح استان شده است.

1-Sozen
2-Šúri

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.2.8]



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه، وضعیت توپوگرافی و ایستگاه‌های مورد استفاده (ترسیم از نگارندگان)

روش کار

مقدار تابش خورشیدی رسیده بر جو زمین تابعی از عرض جغرافیایی است. هنگام عبور اشعه-های خورشیدی از جو زمین، به‌دلیل پدیده‌های پخش و جذب اتمسفری، بخشی از تابش خورشیدی مستهلک می‌شود؛ به‌ویژه زمانی که ابرناکی آسمان و یا میزان ذرات هوا (تیرگی هوا) بالا باشد. بنابراین، مقدار تابش واردشده به یک سطح افقی در زمان‌های مختلف و به‌ویژه با تغییر شرایط اتمسفر تغییر می‌یابد. تاکنون پارامترهای اقلیمی مختلفی برای مدل‌سازی مقدار تابش ورودی به سطح زمین نسبت به مقدار اولیهٔ آن آزمون شده که مهمترین آنها عوامل طول روز و ساعات آفتابی است.

نخستین بار آنگستروم[1] (۱۹۲۴: ۱۲۱) میانگین روزانهٔ شدت انرژی خورشیدی را برای روزهای ابری بر روی سطح افق محاسبه نمود. سپس پرسکات[2] (۱۹۴۰: ۱۱۴) آنرا اصلاح و بر اساس پارامتر ساعات آفتابی، میزان تابش را بر روی سطح افقی برآورد کرد. لیو و جُردن (۱۹۶۳: ۵۷-۵۶) ارتباط بین تابش مستقیم و پراکنده را با بهره‌گیری از شاخصی به‌نام شاخص ماهانهٔ شفافیت آسمان[3] اصلاح و بر روی توپوگرافی‌های مختلف اعمال نمودند که به صورت رابطهٔ ۱ تعریف می‌شود:

1-Angstrom
2-Prescott
3-Clearness index

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.2.8]

رابطهٔ ۱) $$\overline{K}_T = \frac{\overline{H}}{H_o}$$

که در آن $\overline{K}_T$ شاخص شفافیت آسمان عبارتست از نسبت $\overline{H}$ میانگین تابش کلی روزانه در هر ماه به H_O یا همان مقدار تابش رخداده در خارج از جو زمین. در واقع این شاخص نشان-دهندهٔ بخشی از تابش فرازمینی است که از اتمسفر عبور کرده است. مقادیر بالای $\overline{K}_T$ نشان-دهندهٔ اتمسفر صاف با تلاطم و ابرناکی کم و مقادیر پایین $\overline{K}_T$ نشان‌دهندهٔ تلاطم و ابرناکی بالاست. به‌جز در موارد بسیار معدود مقادیر $\overline{K}_T$ بین ۰/۳ تا ۰/۷۵ در نوسان است.

میانگین تابش کلی روزانه در هر ماه ($\overline{H}$) با استفاده از داده‌های ساعتی (در بازه‌های زمانی ۳ ساعته) عناصر اقلیمی شامل ساعات آفتابی، فشار، رطوبت نسبی و دمای ۹ ایستگاه سینوپتیک استان در یک دورهٔ زمانی ۲۰ ساله (۲۰۰۹ ـ ۱۹۹۰)، و همچنین مقادیر ثابت محلی ایستگاه‌ها شامل ارتفاع ایستگاه، ارتفاع خورشید، و نیز سایر پارامترها از قبیل جرم جو، تعداد ساعات آفتابی بالقوهٔ نجومی، تابش مستقیم روزانهٔ دریافتی سطح زمین و زاویهٔ سمت‌الرأس خورشید محاسبه شده است.

تابش خورشیدی رخداده بر روی سطح افق در خارج از جو زمین (H_O) تابعی از عرض جغرافیایی و زاویهٔ میل خورشیدی است و با رابطهٔ ۲ محاسبه می‌شود (لیو و جُردن، ۱۹۶۳: ۵۷):

رابطهٔ ۲) $$H_O = \left(\frac{24}{\pi}\right) I_{on} (\text{Cos L Cos } \delta \text{ Sin } \omega_s + \omega_s \text{ Sin L Sin } \delta)$$

که در آن I_{on} تابش عادی در خارج از جو زمین معادل ۱۳۶۷ وات بر متر مربع، L عرض جغرافیایی برحسب درجه، δ زاویهٔ میل خورشیدی بر حسب درجه که مقدار آن از معادلهٔ تقریبی کوپر[1] (۱۹۶۹: ۳۳۳) محاسبه می‌شود و ω_s زاویهٔ ساعتی خورشید بر حسب رادیان است. دافی و بِکمن[2] (۲۰۰۶: ۴۰) نیز صورت دیگر معادلهٔ فوق را ارائه نموده‌اند. مقادیر δ و ω_s به‌ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۳ و ۴ محاسبه می‌شود:

رابطهٔ ۳) $$\delta = 23.45 \sin(360 \frac{284+n}{365})$$

رابطهٔ ۴) $$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan L \tan \delta)$$

که در آن n روز جولیوسی است.

روابط بالا این امکان را فراهم می‌سازد تا تابش کلی ساعتی و تابش پراکندهٔ ساعتی بر روی سطح افق بر مبنای تابش کلی روزانه بر روی سطح افق محاسبه شود. برای به‌دست آوردن

1-Cooper
2-Duffie And Beckman

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.2.8]

تابش دریافتی مستقیم و پراکنده توسط یک سطح کج‌شده، لازم است تا تابش رخداده بر روی یک سطح افق در ضرایب تبدیل مناسب ضرب شوند. ضریب تبدیل برای تابش مستقیم عبارتست از $\cos\theta_t/\cos\theta_h$ که در آن $\cos\theta_h$ و $\cos\theta_t$ به‌ترتیب با روابط ۵ و ۶ محاسبه می‌شود (لیو و جُردن، ۱۹۶۳: ۵۷):

رابطهٔ ۵) $$\cos\theta_h = \text{Cos L Cos } \delta \text{ Cos } \omega + \text{Sin L Sin } \delta$$

رابطهٔ ۶) $$\cos\theta_t = \text{Cos } (L-\beta) \text{ Cos } \delta \text{ Cos } \omega + \text{Sin } (L-\beta) \text{ Sin } \delta$$

که در آن β میزان کج‌شدگی سطح موردنظر به‌طرف استوا نسبت به حالت افق برحسب درجه است.

با توجه به روابط ۲ تا ۶ مقدار جذب اتمسفری تحت عنوان $\overline{K}_T$ محاسبه گردید که در واقع نسبت تابش رسیده به سطح زمین به میزان تابش خورشید در خارج از جو زمین است. دنی[1] و همکاران (۲۰۱۰: ۷۹۹) شاخص شفافیت آسمان را به چهار رده به‌شرح جدول ۱ تقسیم کرده‌اند:

جدول (۱). رده‌های شاخص $\overline{K}_T$ (دنی و همکاران، ۲۰۱۰)

ردهٔ شاخص	مقدار شاخص	وضعیت آسمان
ردهٔ اول	$\overline{K}_T \leq ۰/۳۵$	غیر شفاف
ردهٔ دوم	$۰/۳۵ \leq \overline{K}_T \leq ۰/۵۵$	تا اندازه‌ای غیر شفاف با برتری تابش پراکنده
ردهٔ سوم	$۰/۵۵ \leq \overline{K}_T \leq ۰/۶۵$	تا اندازه‌ای ابری با برتری تابش مستقیم
ردهٔ چهارم	$\overline{K}_T \geq ۰/۶۵$	شفاف

در این پژوهش با استفاده از داده‌های زمینی اندازه‌گیری شده به‌وسیلهٔ دستگاه پیرانومتر و میزان انرژی تابشی خارج از جو (رابطهٔ ۲)، مقادیر شاخص $\overline{K}_T$ برای استان کرمانشاه محاسبه گردید. با توجه به ویژگی‌های متنوع ارتفاعی استان کرمانشاه مقدار تابش در مناطق مختلف بسیار متغیر است. بنابراین با استفاده از مدل رقومی زمین و اِعمال اثر ارتفاع، شیب و جهت شیب بر اساس زاویهٔ تابش و ارتفاع خورشید با استفاده از مدل لیو و جُردن (۱۹۶۳: ۵۳) مقدار انرژی دریافتی سطوح مختلف در استان محاسبه شد.

[1]-Danny

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.2.8]

نتایج

افزایش ارتفاع خورشید (ω) و کاهش زاویهٔ میل خورشید (δ) موجب افزایش تعداد ساعات آفتابیِ بالقوهٔ نجومی (N) و افزایش مقدار تابش دریافتی می‌گردد. افزایش ارتفاع خورشید که بیشترین آن در ماه ژوئن اتفاق می‌افتد، موجب کاهش فشار و جرم هوا می‌شود. برعکس در زمستان فشار و جرم هوا افزایش می‌یابد. چنین شرایطی موجب گذر بیشتر تابش مستقیم و کاهش تابش پراکندهٔ جو می‌گردد. همچنین افزایش طول روز در فصل گرم موجب افزایش مقدار تابش رسیده به سطح زمین و افزایش پتانسیل تابش دریافتی در این فصل می‌شود. جدول ۲ نتایج محاسبات پارامترهای مختلف مؤثر بر تابش خورشیدی را در ایستگاه کرمانشاه نشان می‌دهد.

جدول (۲). مقادیر میانگین ارتفاع خورشید (ω)، زاویهٔ میل خورشید (δ)، ساعات آفتابی (n) و تعداد ساعات آفتابیِ بالقوهٔ نجومی (N) در ایستگاه کرمانشاه

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
δ	-۲۰/۱	-۱۱/۷	-۰/۳	۱۱/۵	۲۰/۱	۲۳/۲	۱۹/۸	۱۰/۸	-۱/۱	-۱۲/۷	-۲۰/۸	-۲۳/۱
ω	۷۵/۷	۸۱/۹	۸۹/۸	۹۷/۹	۱۰۴/۳	۱۰۶/۸	۱۰۴/۱	۹۷/۴	۸۹/۳	۸۱/۲	۷۵/۱	۷۳/۲
n	۴/۹	۵/۵	۷/۱	۸/۲	۷/۹	۱۱/۳	۱۱/۴	۱۰/۳	۱۰/۴	۸/۱	۶/۹	۶/۳
N	۱۰/۱	۱۰/۹	۱۱/۹	۱۳	۱۳/۸	۱۴/۲	۱۴	۱۳/۱	۱۲/۱	۱۱	۱۰/۱	۹/۸

با توجه به داده‌های تابشی اندازه‌گیری‌شدهٔ زمینی، مقدار $\overline{K}_T$ برای هر ماه به‌صورت جداگانه محاسبه گردید. با توجه به جدول ۳، بیشترین مقدار شاخص شفافیت آسمان ($\overline{K}_T$) که بر اساس رابطهٔ ۱ از نسبت $\overline{H}$ (میانگین تابش کل روزانه در هر ماه) به H_O (تابش اندازه‌گیری‌شده در خارج از جو) حاصل می‌شود در فصل تابستان و ماه اوت به‌میزان ۰/۵۳ مشاهده می‌شود. در فصل زمستان با کاهش مقدار تابش دریافتی در سطح زمین مقدار $\overline{K}_T$ نیز کاهش می‌یابد و در ماه ژانویه به حداقل مقدار خود یعنی ۰/۴۲ می‌رسد. تابش پراکنده نیز با توجه به افزایش زاویهٔ تابش و نیز شدت تابش خورشیدی دریافتی از زمستان به تابستان کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار تابش پراکنده در ماه‌های ژانویه و فوریه (۰/۴۴) و کمترین آن در ماه اوت (۰/۳۷) برآورد شده است.

جدول (۳). میانگین مقادیر شاخص شفافیت آسمان ($\overline{K}_T$) و تابش پراکنده (Diff) با مدل "لیو و جُردن"

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
$\overline{K}_T$	۰/۴۲	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۴	۰/۵۰	۰/۴۹	۰/۵۳	۰/۵۱	۰/۴۷	۰/۴۶	۰/۴۹
Diff	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۲	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۴	۰/۴۱	۰/۳۷

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.2.8]

با توجه به نقشه‌های شکل (۲) که بر اساس روش ذکرشده در بخش روش‌شناسی با اِعمال ضرایب مدل لیو و جُردن از طریق مدل رقومی ارتفاعی به کل منطقه حاصل شده است، در فصول پائیز و زمستان اختلاف بین مقادیر تابش دریافتی ارتفاعات و مناطق پست با توجه به مایل تابیدن خورشید کمتر می‌شود. در این فصول، مقدار تابش پراکنده افزایش یافته و موجب افزایش مقدار انحراف‌معیار تابش در ماه‌های اکتبر و دسامبر شده است (جدول ۴). با نزدیک‌شدن به فصل تابستان و افزایش ارتفاع خورشید، توزیع تابش در سطح استان یکنواخت‌تر می‌شود و همراه با آن متوسط تابش دریافتی افزایش چشمگیری می‌یابد. همچنین در فصل بهار با افزایش ارتفاع خورشید بیشتر ارتفاعات و دامنه‌های جنوبی استان کرمانشاه تابش زیادی دریافت می‌کنند که این امر موجب افزایش مقدار متوسط تابش دریافتی در منطقه می‌شود.

بیشترین تابش دریافتی در ماه ژوئن به‌میزان ۱۳۶۲ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز ($Cal/\ cm^2/day$) و کمترین آن با توجه به کاهش زاویهٔ تابش در ماه ژانویه به‌میزان ۷۱۰/۴ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز اتفاق می‌افتد. در فصل پاییز با توجه به کاهش زاویهٔ تابش و نیز در نظر گرفتن نوسانات ارتفاعی در منطقه، میزان تغییرات تابش زیاد است و با نزدیک شدن به فصل تابستان و با توجه به ارتفاع زیاد خورشید، توزیع تابش در سطح زمین تقریباً یکسان شده و مقدار انحراف‌معیار تابش کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار انحراف‌معیار در ماه نوامبر به‌مقدار ۱۷۱/۴ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز و کمترین آن در ماه ژوئیه به‌مقدار ۹۰/۷ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز رخ می‌دهد (جدول ۴). افزایش انحراف‌معیار در جدول، ناشی از افزایش اختلاف تابش مستقیم و پراکنده تحت تأثیر شرایط جوی است.

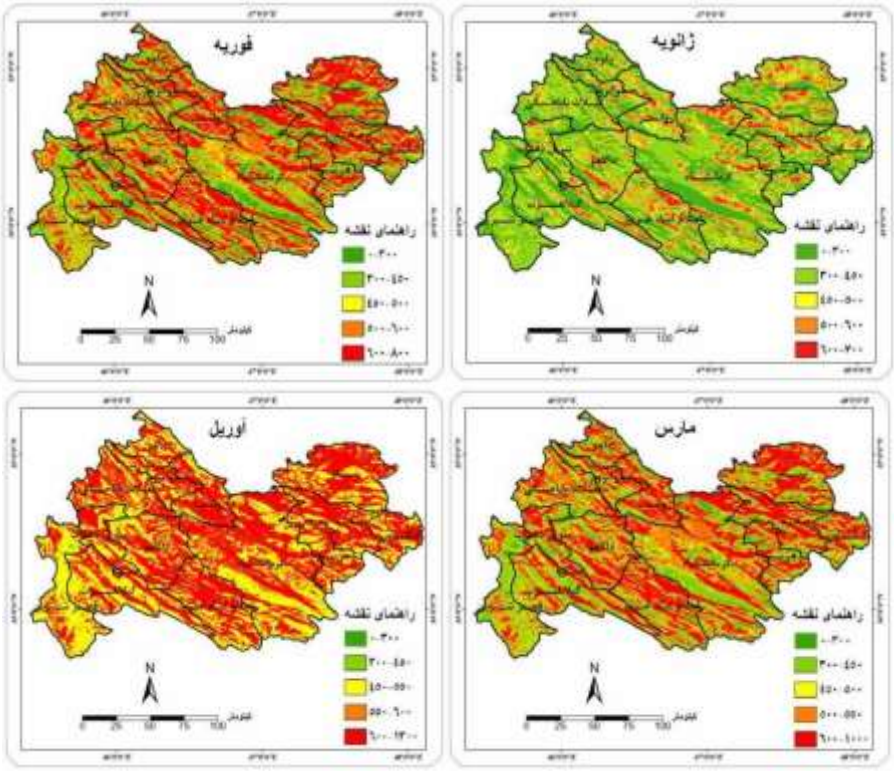
جدول (۴). ویژگی‌های ماهانهٔ مقدارجریان تابش درآسمان صاف در استان کرمانشاه بر حسب $Cal/\ cm^2/day$ با استفاده از مدل "لیو و جُردن"

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
حداقل	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
حداکثر	۷۱۰/۴	۸۷۸/۵	۱۰۳۲/۲	۱۲۹۸	۱۳۶۰	۱۳۶۲	۱۳۱۴	۱۱۹۳/۸	۱۰۳۸	۸۸۶/۸	۸۹۲/۳	۸۴۰/۴
میانگین	۳۸۶/۳	۵۱۵/۹	۵۱۷/۴	۵۳۶/۱	۵۴۱/۶	۵۲۴/۳	۵۰۲/۹	۴۷۶/۹	۴۷۸/۹	۴۹۹/۶	۴۹۵	۴۳۲/۴
انحراف‌معیار	۱۲۳/۴	۱۵۹/۱	۱۲۷/۴	۱۰۳/۶	۹۱/۹	۹۸	۹۰/۷	۸۶/۷	۱۱۴/۳۶	۱۵۲/۹	۱۷۱/۴	۱۶۸

بر اساس نقشه‌های شکل (۲)، در ماه ژانویه مناطق وسیعی از استان کرمانشاه تابشی در حدود ۴۵۰ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز دریافت می‌کنند. در مناطق مرتفع و کوهستانی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.2.8]

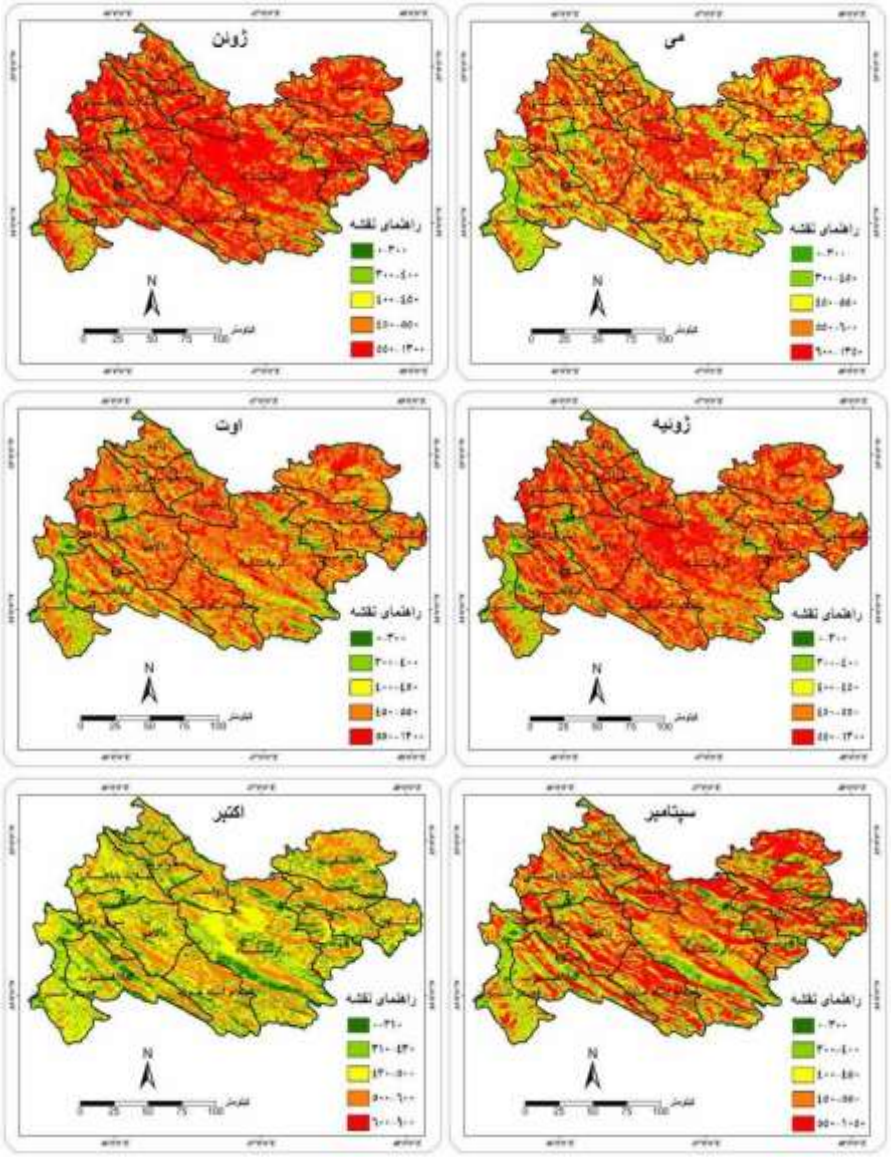
مقدار تابش با کمی افزایش به حدود ۶۰۰ تا ۷۰۰ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز می‌رسد. در ماه ژوئن تابش دریافتی استان به حداکثر مقدار خود رسیده و تقریباً تمامی پهنهٔ استان تابش دریافتی بیش از ۵۵۰ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز دریافت می‌دارد. در این ماه در مناطق پست استان مانند قصرشیرین مقدار تابش در حدود ۴۰۰ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز و یا کمتر است (شکل ۲). اشکال شماره (۲) متوسط تابش دریافتی روزانه کرمانشاه را در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد.



شکل (۲). متوسط تابش دریافتی روزانهٔ سطح زمین در استان کرمانشاه به‌تفکیک ماه بر حسب کالری بر سانتی‌متر مربع در روز ($Cal/\ cm^2/day$) بر پایهٔ مدل "لیو و جُردن"

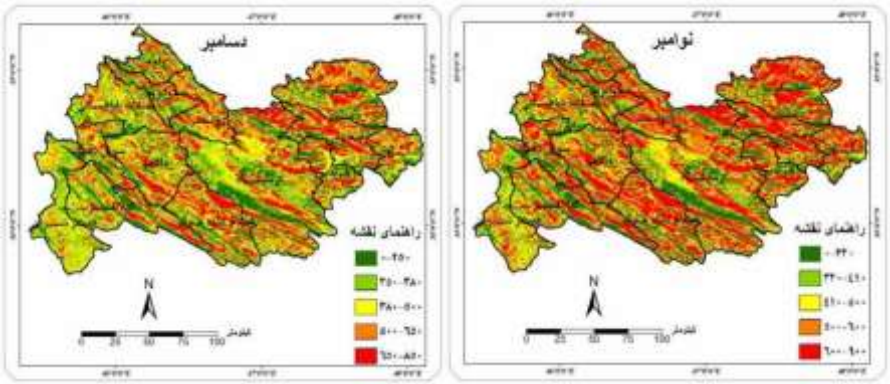
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.2.8]



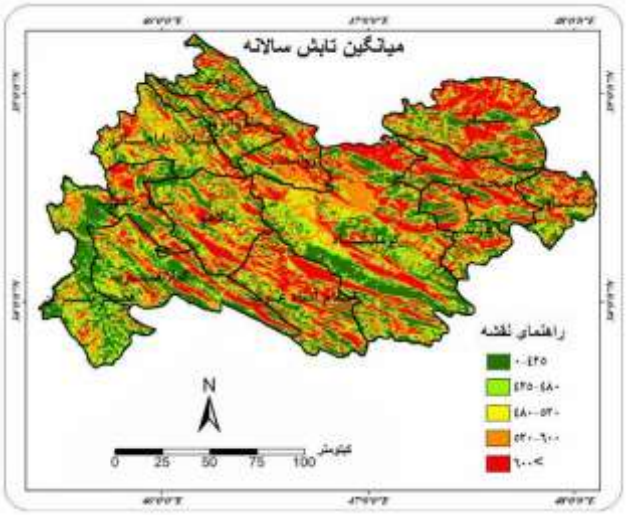
ادامه شکل(۲)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.2.8]



ادامه شکل(۲)

استان کرمانشاه در مقیاس سالانه به‌طور متوسط در هر روز ۴۹۵ کالری بر سانتی‌متر مربع انرژی دریافت می‌کند (شکل ۳). در مناطق شهری بدون در نظر گرفتن مقدار تابش دریافتی در ارتفاعات این مناطق، این مقدار بین ۳۹۰ الی ۴۶۰ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز متغیر است. حداکثر میزان تابش دریافتی به‌مقدار ۱۰۲۸ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز بر فراز ارتفاعات رخ می‌دهد و در مقابل، مناطق پست با متوسط ۶ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز کمترین میزان تابش را دریافت می‌کنند.



شکل(۳). متوسط تابش دریافتی روزانهٔ سطح زمین دراستان کرمانشاه در طول سال بر حسب کالری بر سانتی‌متر مربع در روز ($Cal/\ cm^2/day$) با استفاده از مدل "لیو و جُردن"

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.2.8]

با برش محدودهٔ شهرستان‌های استان کرمانشاه مقدار تابش دریافتی به‌تفکیک هر شهرستان برآورد گردید (جدول ۵). بر اساس اطلاعات این جدول بیشترین تابش دریافتی در شهرستان-های سنقر، صحنه، اسلام‌آباد و جوانرود به‌دلیل ارتفاع بیشتر و کوهستانی‌بودن دریافت می‌شود. مقدار متوسط تابش روزانه در شهرستان جوانرود ۵۲۸/۱ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز است. همچنین کمترین تابش دریافتی در شهرستان قصرشیرین به‌میزان ۴۴۳/۶ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز دریافت می‌شود. در این شهرستان به‌دلیل کم‌ارتفاع بودن و اختلاف ارتفاع کم بین مناطق پست و مرتفع، کمترین انحراف‌معیار تابش با مقدار ۸۵/۹ کالری بر سانتی‌متر مربع مشاهده می‌شود.

شهرستان کرمانشاه به‌طور متوسط روزانه ۴۸۹/۶ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز مربع تابش دریافت می‌کند. مقدار انحراف معیار تابش در این شهرستان معادل ۱۰۷/۸ کالری بر سانتی‌متر است که تحت تأثیر اختلاف مناطق کوهستانی و مسطح حاصل شده است. قابل ذکر است که در سطح شهر کرمانشاه مقدار تابش دریافتی به‌مراتب کمتر است. در سطح شهر متوسط روزانهٔ تابش دریافتی ۴۳۰/۶ کالری بر سانتی‌متر مربع است. بیشترین مقدار مربوط به مناطق شمالی شهر با مقدار ۶۰۰/۶ کالری و کمترین آن مربوط به مناطق جنوبی شهر به‌مقدار ۳۸۰ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز است.

جدول (۴). متوسط تابش خورشیدی دریافتی در شهرستان‌های استان کرمانشاه با مدل "لیو و جُردن" بر حسب کالری بر سانتی‌متر مربع در روز ($Cal/\ cm^2/day$)

شهر	متوسط تابش دریافتی	انحراف معیار
کرمانشاه	۴۸۹/۶	۱۰۷/۸
سنقر	۵۱۷/۴	۱۱۵/۲
هرسین	۴۹۵/۴	۱۱۲/۱
جوانرود	۵۲۸/۱	۹۸/۹
کنگاور	۴۹۲/۶	۱۱۴/۲
گیلانغرب	۴۸۲/۲	۱۰۲/۱
سرپل‌ذهاب	۴۸۹/۹	۱۱۳/۵
قصرشیرین	۴۴۳/۶	۸۵/۹
صحنه	۵۲۷/۵	۱۱۰/۴
اسلام آباد	۵۱۷/۲	۱۰۲/۲
ثلاث و باباجانی	۵۰۰/۲	۸۹/۲
پاوه	۴۷۸/۷	۱۱۶/۶

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.2.8]

نتیجه‌گیری

تابش خورشیدی مهم‌ترین عنصر آب‌وهواشناسی است که بر بسیاری از فعالیت‌ها و فرایندهای آب‌وهوایی اثر می‌گذارد. دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری تابش خورشیدی پیرانومتر است که هنوز در بسیاری نقاط به علت فقدان امکانات استفاده از آن محدود می‌باشد. هدف از این مطالعه برآورد مقدار تابش دریافتی در سطح استان کرمانشاه با توجه به شیب، جهت شیب و ارتفاع از سطح دریا در ماه‌های مختلف سال با استفاده از مدل لیو و جُردن به‌منظور شناسایی نقاط مستعد برای گسترش سایت‌های خورشیدی است.

بر پایهٔ نتایج برآورد تابش در استان کرمانشاه و با توجه به داده‌های تابشی اندازه‌گیری‌شده در سطح زمین، بیشترین مقدار شفافیت آسمان ($\overline{K}_T$) و کمترین مقدار جذب اتمسفری در فصل تابستان اتفاق می‌افتد. در این فصل با توجه به عمود تابیدن خورشید مقدار تابش مستقیم افزایش یافته و لذا مقدار تابش بیشتری به سطح زمین می‌رسد. کوچکتر شدن شاخص $\overline{K}_T$ موجب افزایش مقدار تابش پراکندهٔ جو می‌شود. بیشترین تابش پراکنده در ماه ژانویه به‌میزان ۰/۴۴ مشاهده می‌شود (جدول ۱). بر اساس آمار ایستگاه‌های هواشناسی استان در این ماه بیشترین روز همراه با ابر ثبت شده است. ضریب گذر جو و مقدار پوشش ابر موجب کاهش میزان تابش پراکنده در تابستان نسبت به زمستان می‌شود. در اواخر بهار و تابستان مقدار شاخص $\overline{K}_T$ افزایش می‌یابد که این افزایش، موجب گذر مقدار تابش مستقیم بیشتر از یک ستون مشخص جو به‌ویژه در ماه ژوئن می‌شود.

افزایش ارتفاع خورشید و کاهش زاویهٔ میل خورشید از دیگر عوامل تأثیرگذار بر مقدار تابش دریافتی در فصول مختلف است. بیشترین ارتفاع خورشید در ماه ژوئن اتفاق می‌افتد و لذا بیشترین مقدار تابش در این ماه رخ می‌دهد. در فصول پاییز و زمستان و به‌خصوص ماه ژانویه، علاوه بر کاهش ارتفاع خورشید، تابش پراکنده نیز افزایش می‌یابد. افزایش تابش پراکنده در مناطق کم‌ارتفاع‌تر نسبت به مناطق مرتفع‌تر بیشتر است. این افزایشِ مقدار تابش پراکنده موجب افزایش مقدار کل تابش دریافتی در سطح زمین می‌گردد. همچنین میزان تغییرات فضایی تابش در ماه‌های ژانویه و دسامبر، با توجه به زاویهٔ تابش کم و نوسانات ارتفاعی منطقه، در مقایسه با ماه‌های دیگر سال زیاد است. در فصل تابستان به‌دلیل ارتفاع زیاد خورشید، توزیع فضایی تابش در سطح زمین یکنواخت‌تر شده و مقدار انحراف معیار تابش کاهش می‌یابد. بررسی نقشه‌های تابش برآوردشده در منطقه (شکل‌های ۲ و ۳) نشان می‌هد که مناطق دارای تابش مناسب برای تولید انرژی تقریباً در قسمت‌های مختلف منطقه پراکنده شده‌اند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.2.8]

مقایسهٔ مقدار تابش خورشیدی اندازه‌گیری‌شده توسط پیرانومتر در ایستگاه کرمانشاه- که معادل ۴۲۲/۸ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز گزارش شده است (صابری‌فر، ۱۳۸۹: ۴۶) با رقم به‌دست آمده از این تحقیق- که معادل ۴۳۰/۶ کالری بر سانتی‌متر مربع در روز برآورد گردیده است- نشانگر دقت قابل‌قبول تخمین‌هاست. در مطالعات آتی استفاده از مدل لیو و جُردن برای برآورد تابش در سایر مناطق کشور و سنجش توانمندی و کارایی آن به‌منظور شناسایی مناطق مستعد برای گسترش سایت‌های خورشیدی، و نیز استفاده از سایر روش‌های برآورد تابش و مقایسهٔ نتایج آنها با نتایج برآورد تابش با مدل لیو و جُردن می‌تواند بسیار سودمند باشد.

منابع و مآخذ

۱- بهادری‌نژاد، مهدی و محمود یعقوبی(۱۳۸۵). **تهویه و سرمایش طبیعی در ساختمان های سنتی ایران**، چاپ اول، تهران، مرکز نشر دانشگاهی.

۲- صابری‌فر، رستم(۱۳۸۹). **پتانسیل بهره‌مندی از انرژی خورشیدی در خراسان جنوبی**، اقتصاد انرژی، شمارهٔ ۱۳۲-۱۳۱، صص۴۷-۴۳.

Al-Alawi, S., & Al-Hinai, H. (1998). An ANN-based Approach for Predicting Global Radiation in Locations with no Direct Measurement Instrumentation. ***Renewable Energy***, 14, 199-204.

Angstrom, A. (1924). Solar and Terrestrial Radiation. *Quart. J. Roy.* ***Met. Soc.***, 50, 121-125.

Bahadorinejad, M., & Yaghoobi, M. (2006). ***Ventilation and Natural Cooling in Iranian Traditional Buildings.*** 1st Edition, Tehran: Academic Publication Center.

Behrang, M. A., Assareh, E., Ghanbarzadeh, A., & Noghrehabadi, A. R. (2010). The Potential of Different Artificial Neural Network (ANN) Techniques in Daily Global Solar Radiation Modeling Based on Meteorological Data. ***Solar Energy***, 84, 1468-1480.

Belcher, B. N., & DeGaetano, A. T. (2007). A Revised Empirical Model to Estimate Solar Radiation using Automated Surface Weather Observations. ***Solar Energy***, 81(3), 329-345.

Chaar, L., & Lamont, L. A. (2010). Global Solar Radiation: Multiple on-Site Assessments in Abu Dhabi, UAE. ***Renewable Energy***, 35(7), 1596-1601.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.2.8]

3- Chen, R.; Kang, E.; Lu, S.; Yang, J.; Ji, X.; Zhang, Z.; & Zhang, J. (2006). New Methods to Estimate Global Radiation Based on Meteorological Data in China. ***Energy Conversion and Management***, 47(18-19), 2991–2998.

Cooper, P. I. (1969). The Absorption of Solar Radiation in Solar Sills. ***Solar Energy***, 12, 333-346.

Danny, H. W., Ernest, Li., Tsang, K. W., Cheung, K. L., & Tam, C. O. (2010). An Analysis of Light-Pipe System via Full-Scale Measurements. ***Applied Energy***, 87(9), 799-805.

De Souza, J. L., Nicacio, R. M., & Moura, M. A. L. (2005). Global Solar Radiation Measurements in Maceio, Brazil. ***Renewable Energy***, 30, 1203-1220.

Diodato, N., & Bellocchi, G. (2007). Modelling Solar Radiation over Complex Terrains using Monthly Climatological Data. ***Agricultural and Forest Meteorology***, 144 (1-2), 111-126.

Dincer, I. (2000). Renewable Energy and Sustainable Development: A Crucial Review. ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***, 4(2), 157-175.

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2006). ***Solar Engineering of Thermal Processes***. 3nd Edition, New York: John Wiley & Sons.

El-Metwally, M. (2005). Sunshine and Global Solar Radiation Estimation at Different Sites in Egypt. ***Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics***, 67(14), 1331-1342.

Guofeng, W., Yaolin, L., & Tiejun, W. (2007). Methods and Strategy for Modeling Daily Global Solar Radiation with Measured Meteorological Data – A case Study in Nanchang Station, China. ***Energy Conversion and Management***, 48, 2447-2452.

Hofierka, J., & Kaňuk, J. (2009). Assessment of Photovoltaic Potential in Urban Areas using Open-Source Solar Radiation Tools. ***Renewable Energy***, 34(10), 2206-2214.

Islam, M. D., Alili, A. A., Kubo, I., & Ohadi, M. (2010). Measurement of Solar-Energy (Direct Beam Radiation) in Abu Dhabi, UAE. ***Renewable Energy***, 35, 515-519.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.2.8]

Janjai, S., Pankaew, P., Laksanaboonsong, J., & Kitichantaropas, P. (2011). Estimation of Solar Radiation over Cambodia from Long-Term Satellite Data. ***Renewable Energy***, 36(4), 1214-1220.

Jianfeng, L., Jing, D., & Jianping, Y. (2010). Heat Transfer Performance of an External Receiver Pipe under Unilateral Concentrated Solar Radiation. ***Solar Energy***, 84(11), 1879-1887.

Kaskaoutis, D. G., Kambezidis, H. D., Jacovides, C. P., & Steven, M. D. (2006). Modification of solar Radiation Components Under Different Atmospheric Conditions in the Greater Athens Area, Greece. ***Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics***, 68(10), 1043-1052.

Liu, B. Y. H., & Jordan, R. C. (1963). A Rational Procedure for Predicting the Long-Term Average Performance of Flat-Plate Solar-Energy Collectors with Design Data for the U. S., Its Outlying Possessions and Canada**.** ***Solar Energy***, 7(2), 53–74.

Martin, L., Zarzalejo, L. F., Polo, J., Navarro, A., Marchante, R., & Cony, M. (2010). Prediction of Global Solar Irradiance Based on Time Series Analysis: Application to Solar Thermal Power Plants Energy Production Planning. ***Solar Energy***, 84(10), 1772-1781.

Montero, G., Escobar, J. M., Rodríguez, E., & Montenegro, R. (2009). Solar radiation and shadow modelling with adaptive triangular meshes. ***Solar Energy***, 83(7), 998-1012.

Muneer, T., Younes, S., & Munawwar, S. (2007). Discourses on Solar Radiation Modeling. ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***, 11(4), 551-602.

Muzathik, A. M., Ibrahim, M. Z., Samo, K. B., & Wan Nik, W. B. (2011). Estimation of Global Solar Irradiation on Horizontal and Inclined Surfaces Based on the Horizontal Measurements. ***Energy***, 36(2), 812-818.

Notton, G., Cristofari, C., Poggi, P., & Muselli, M. (2002). Calculation of Solar Irradiance Profiles from Hourly Data to Simulate Energy Systems Behavior. ***Renewable Energy***, 27(1), 123-142.

Prescott, J. A. (1940). Evaporation from a Water Surface in Relation to Solar Radiation. ***Trans. R. Soc. S. Austr***., 64, 114-118.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.2.8]

Rahman, S., & Mohandes, M. (2008). Artificial Neural Network Estimation of Global Solar Radiation using Air Temperature and Relative Humidity. ***Energy Policy***, 36(2), 571-576.

Saberifar, R. (2010). Potentials of Utilization of Solar Energy in Southern Khorasan. ***Energy Economy***, 131-132, 43-47.

Sozen, A., Arcaklioglub, E., Ozalpa, M., & Caglar, N. (2005). Forecasting Based on Neural Network Approach of Solar Potential in Turkey. ***Renewable Energy***, 30, 1075-1090.

Šúri, M., Huld, T. A., Dunlop, E. D., & Ossenbrink, H. A. (2007). Potential of Solar Electricity Generation in the European Union Member States and Candidate Countries. ***Solar Energy***, 81, 1295-1305.

Tymvios, F. S., Jacovides, C. P., Michaelides, S. C., & Scouteli, C. (2005). Comparative Study of Angstrom's and Artificial Neural Networks' Methodologies in Estimating Global Solar Radiation. ***Solar Energy***, 78(6), 752-762.

Yorukoglu, M., & Celik, A. N. (2006). A Critical Review on the Estimation of Daily Global Solar Radiation from Sunshine Duration. ***Energy Conversion and Management***, 47, 2441-2450.

Zarzalejo, L. F., Polo, J., Martín, L., Ramírez, L., & Espinar, B. (2009). A New Statistical Approach for Deriving Global Solar Radiation from Satellite Images. ***Solar Energy***, 83(4), 480-484.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.2.8]