

پتانسیل سنجی استفاده از انرژی خورشیدی در مناطق روستایی

مطالعه موردی: شهرستان سبزوار

دکتر رحمان زندی^{۱*}، دکتر محمد جواد صفایی^۲، مریم خسرویان^۳

چکیده

استفاده بی‌رویه از منابع سوخت فسیلی با آلوده ساختن محیط زیست، زندگی در کره زمین را تهدید می‌کند و امروزه یکی از راهکارهایی که برای انرژی پیشنهاد می‌شود، در کنار اصلاح مصرف، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر است. انرژی خورشیدی از جمله انرژی‌های تجدیدپذیر است. یکی از مهم‌ترین مراحل استفاده از هر منبع انرژی تجدیدشونده، برآورد صحیح آن است. به علت نیاز روزافزون به اطلاعات پهنه تابش به صورت منطقه‌ای، اخیراً از امکانات موجود در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) با به کارگیری توپوگرافی ناحیه مورد بررسی استفاده می‌شود. در این تحقیق با استفاده از روش تحلیل تابش در محیط GIS، نقشه پهنه‌بندی تابش کل خورشیدی در سطح ۱۵۹ روستای فعال شهرستان سبزوار تولید شد. پارامترهای مورد نیاز این ابزار شامل کسر پخشیده (K) و تراگیسیلابی جو (T) است که در ایستگاه‌های تابش سنجی پایش نمی‌شوند. در این تحقیق دو پارامتر مذکور با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده تابش کل و تابش فراجوی مربوط به ایستگاه‌های مورد بررسی، برآورد و پس از آن پهنه سالانه تابش دریافتی در سال ۲۰۱۷ به روش تحلیل تابش و با استفاده از مدل رقمی (DEM) منطقه، با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر و برای ایستگاه‌های تابش سنجی به صورت نقطه‌ای برآورد شد و نهایتاً بر اساس نیاز مصرفی روستا و توان تولیدی انرژی خورشیدی در منطقه پتانسیل سنجی صورت گرفت. به منظور ارزیابی بهتر، محدوده مورد مطالعه در سه بخش مرکزی سبزوار، روداب و ششتمد بررسی شد. بخش مرکزی سبزوار با مقدار ۹۰۲۰۱۱۵۰ و بخش ششتمد با ۶۶۹۱۰۷۷۰ وات بر مترمربع، به ترتیب بیشترین و کمترین میزان تابش کل را دارند. در ادامه برای مشخص کردن مهم‌ترین عامل مؤثر بر تابش، همبستگی دو عامل ارتفاع و ساعات آفتابی با تابش کل محاسبه شد و نتایج حاکی از آن است که همبستگی بین تابش کل و عامل ارتفاع به مراتب بیشتر از میزان ساعات آفتابی است. در نهایت پتانسیل تابش کلی در سطح منطقه مورد مطالعه محاسبه و بررسی شد. نتایج، گویای پتانسیل استفاده از انرژی خورشیدی در مناطق روستایی پراکنده و با جمعیت کم است. همچنین نتایج نشان می‌دهند که ۹۵٫۸۲ درصد از سطح شهرستان دارای پتانسیل عالی، ۴٫۰۱ درصد دارای پتانسیل خیلی خوب و ۰٫۱۵ درصد دارای پتانسیل خوب هستند.

جغرافیا و توسعه، شماره ۵۷، زمستان ۱۳۹۸

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۳۰

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۱۲

صفحات: ۶۹-۹۴



واژه‌های کلیدی:

انرژی خورشیدی، GIS، پتانسیل سنجی، مدل ارتفاعی رقمی، شهرستان سبزوار.

مقدمه

انرژی پاک مورد استفاده اجتماعات انسانی لحاظ شده است. افزایش احتراق سوخت‌های فسیلی و حجم گسترده‌ای از گازهای مؤثر در تشدید اثر گلخانه‌ای، زمینه افزایش میانگین درجه حرارت سطح کره زمین را فراهم کرده و شرایط تغییر اقلیم را رقم زده است و اهمیت انرژی جایگزین و توجه به انرژی‌های پاک همچون انرژی خورشیدی را هرچه بیشتر مورد توجه قرار داده است. کشور ایران به دلیل قرارگیری در عرض‌های متوسط و دارا بودن ساعت‌های مستمر

در حال حاضر تخمین تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین به دلیل کاربری‌های بسیاری که در شاخه‌های متعدد علمی همچون کشاورزی، هیدرولوژی و معماری پیدا کرده، از اهمیت دو چندان در مجامع علمی برخوردار شده است. این تخمین و پایش مستمر ضمن ایجاد تأثیرات مستقیم بر مؤلفه‌های طبیعی سطح کره زمین همچون توازن گرمایی، شرایط اقلیمی، تبخیر و تعرق، در تأمین بخش عمده‌ای از

۱- استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران (نویسنده مسئول)

۲- استادیار گروه برنامه‌ریزی شهری و روستایی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۳- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی-تغییرات آب و هوایی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۱- استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران (نویسنده مسئول)

۲- استادیار گروه برنامه‌ریزی شهری و روستایی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۳- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی-تغییرات آب و هوایی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

دریافت انرژی خورشیدی از قابلیت‌های زیادی در جهت دریافت انرژی بیشتر برخوردار است؛ بنابراین اطلاع از شدت تابش خورشیدی رسیده و مدل‌سازی مناسب می‌تواند رویکردی نوین در برنامه‌ریزی محیطی در جهت کاربردی کردن استفاده از این منابع لایزال انرژی ارزان‌قیمت در کشور را فراهم کند.

بیان مسئله

پایش مستمر تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین به علت تأثیر آن روی توازن گرمایی زمین، تأثیر بر گرمای هوا و خاک، تبخیر و تعرق، فتوسنتز و ذوب برف، اهمیت خاصی دارد. بررسی تغییرات تابش در شاخه‌هایی همچون آب‌شناسی (هیدرولوژی)، هواشناسی، فرایندهای زیستی، سامانه‌های گرمایی و کشاورزی کاربرد دارد (Addiscott et al, 1987: 109). تابش خورشیدی یکی از ایمن‌ترین، مؤثرترین و اقتصادی‌ترین منابع انرژی است که پتانسیل تبدیل شدن به منبع اصلی انرژی در آینده نه چندان دور را دارد (Dincer, 2000: 157). تخمین تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین کاربردهای زیادی در علوم معماری، مهندسی انرژی، کشاورزی و هیدرولوژی دارد. برآورد درست مقدار تابش خورشیدی از اصول اولیه و مهم طراحی شبکه‌ها و برنامه‌ریزی آبیاری است (Almorox & Hontoria, 2004: 1529). بخش اعظم انرژی مصرفی در جهان به وسیله سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود. احتراق سوخت‌های فسیلی باعث ورود حجم عظیمی از اکسیدهای سولفور و نیتروژن، مونواکسیدکربن و دی‌اکسیدکربن در جو می‌شود (اسفندیاری، ۱۳۹۰: ۶). افزایش مستمر در سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای و صعود قیمت مواد سوختی، نیروهای محرکه اصلی در پشت تلاش‌های مؤثرتر در جهت استفاده از منابع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر هستند (Kenisarin, 2007: 1913). این مشکلات جهان را به استفاده از انرژی‌های جایگزین

که اثرات مخرب کمتری داشته و همچنین قابلیت تجدید داشته باشند، سوق داده‌است. منظور از انرژی‌های جایگزین انرژی‌هایی است که برای تولیدشان از منابع بدون کربن استفاده می‌شود؛ مانند انرژی خورشیدی، انرژی بادی، انرژی دریایی، زمین‌گرمایی، نیروگاه‌های آبی و... در این میان انرژی خورشیدی یکی از مهم‌ترین و پاک‌ترین انواع انرژی‌های تجدیدپذیر در دنیاست (حیدری، ۱۳۸۸: ۳). کشور ایران به دلیل قرارگیری در عرض‌های پایین قابلیت بیشتری به‌منظور دریافت این انرژی دارد. به‌منظور طراحی سامانه‌های تولید انرژی ذکرشده، از اطلاعات دقیق درباره توزیع فضایی این منبع تجدیدپذیر به مدت طولانی و با وضوح زیاد نیاز است. اطلاع از شدت تابش خورشیدی، رسیده به سطح افقی اهمیت بسیار شدیدی دارد. از این‌رو مدل‌سازی میزان دریافت تابش خورشید در منطقه براساس موقعیت جغرافیایی و با بهره‌گیری از رویکردهای نوین مطالعاتی که برحسب میزان دریافت انرژی خورشیدی هستند، انجام و محاسبه می‌شود تا بتوان با آگاهی از پتانسیل این سطوح در میزان دریافت انرژی خورشیدی، برنامه‌ریزی صحیحی برای بهره‌گیری از انرژی پاک و تجدیدپذیر خورشید داشت. اینجاست که سامانه اطلاعات جغرافیایی به‌منزله راهکاری مناسب در فرایند تصمیم‌گیری مطرح گشته، می‌تواند با کاهش هزینه و زمان ارزیابی، متخصصان را در انتخاب راهکارهای مناسب یاری رساند. در مطالعه تابش خورشیدی نمی‌توان تمام عناصر مؤثر را در معادلات وارد کرد؛ در نتیجه برای تخمین میزان تابش خورشیدی تنها از تعداد معدودی از پارامترهای اقلیمی استفاده می‌شود، که آن ساعات آفتابی است (احمدی‌زاده، ۱۳۸۲: ۶۸). گرچه بسیاری از محققان در مدل‌های تجربی خود علاوه بر ساعات آفتابی، از پارامترهایی همچون رطوبت نسبی، ارتفاع، عرض جغرافیایی و دما بهره برده‌اند، اما تحقیقات نشان

مهمی از کسری انرژی کشور اشاره کرد و با استفاده از آمار ساعات آفتابی و میزان ابرناکی ۸۵ ایستگاه همدید طی دوره آماری ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۶ و کاربرد روش انستگرم به ارزیابی شدت تابش خورشیدی پرداخته و ایران را از بابت شار تابش پهنه‌بندی کرده است.

موسوی‌بایگی و همکاران در پژوهشی با عنوان «شناسایی مناطق مستعد با کمترین میزان ابرناکی به منظور پهنه‌بندی نواحی پرتابش کشور» (۱۳۹۰) پارامترهای فشار سطحی هوا، میزان ابرناکی و دمای خاک به منظور پهنه‌بندی و برآورد انرژی خورشیدی انتخاب شده‌اند.

هوشنگی و همکاران در پژوهشی با عنوان «بررسی منطقه‌ای پتانسیل تابش خورشیدی با ارزیابی و بهینه‌سازی روش‌های درون‌یابی در سطح کشور ایران» (۱۳۹۳)، پارامترهای مدل ارتفاعی و دما را برای پهنه‌بندی پتانسیل انرژی خورشیدی در کشور ایران انتخاب کردند.

هولستین^۱ در سال ۲۰۱۵، در مطالعه خود، تجزیه و تحلیل پتانسیل سیستم‌های فتوولتائیک با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی را برای شهری در ویرجینیا انجام داد. در این مطالعه نقشه‌های تابشی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌دست آمدند. برای محاسبه تابش جهانی ورودی خورشید، پارامترهای اتمسفری در مدل‌سازی دخالت داده شدند. نتایج این تحقیق به‌خوبی توانایی ابزار Solar Analyst در مدل‌سازی تابش خورشیدی برای یک توپوگرافی پیچیده را نشان داد.

باتلس^۱ و همکاران (۲۰۰۸) برای برآورد تابش خورشیدی در مناطقی با توپوگرافی متفاوت (نقشه‌های جهانی جو) از روش تحلیل تابش در نرم‌افزار Arc GIS به‌صورت ماهانه استفاده کردند. نتایج آن‌ها روشن ساخت که در ماه‌های تابستان

داده‌است که ساعات آفتابی مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده میزان تابش خورشیدی است.

ضرورت تحقیق

محدودبودن منابع سوخت‌های فسیلی به‌همراه افزایش قیمت و تولید آلاینده‌های مؤثر بر تهدید سلامت شرایط زیست‌محیطی سطح کره زمین، توجه گسترده به استفاده از انرژی‌های جایگزین را مطرح کرده‌است. انرژی خورشیدی از منابع تجدیدپذیر و لایزال سطح کره زمین، در کشور ایران از قابلیت‌های بهره‌برداری گسترده‌ای برخوردار است. در جهت توسعه کاربری این منابع انرژی، پایش مستمر، پهنه‌بندی تابش و مدل‌سازی مناسب به‌منظور اندازه‌گیری مقادیر تابش کل در جهت ایجاد زمینه‌های بهره‌گیری از این منابع ضرورت‌های مهم این تحقیق را توجیه می‌کند.

اهداف تحقیق

- شناسایی و پهنه‌بندی تابش کل خورشیدی در سطح شهرستان
- کاربرد مدل‌های مناسب با شرایط منطقه
- پهنه‌بندی سالانه تابش دریافتی
- نیازسنجی مصارف انرژی روستایی
- برآورد مقدار انرژی تولیدی به تفکیک بخش‌های مختلف شهرستان
- شناسایی و محاسبه فقر عوامل محلی از نظر ارتفاع در میزان انرژی دریافتی
- پتانسیل سنجی تابش کلی در سطح منطقه با تأکید بر کاربرد انرژی‌های پاک در مناطق روستایی.

پیشینه تحقیق

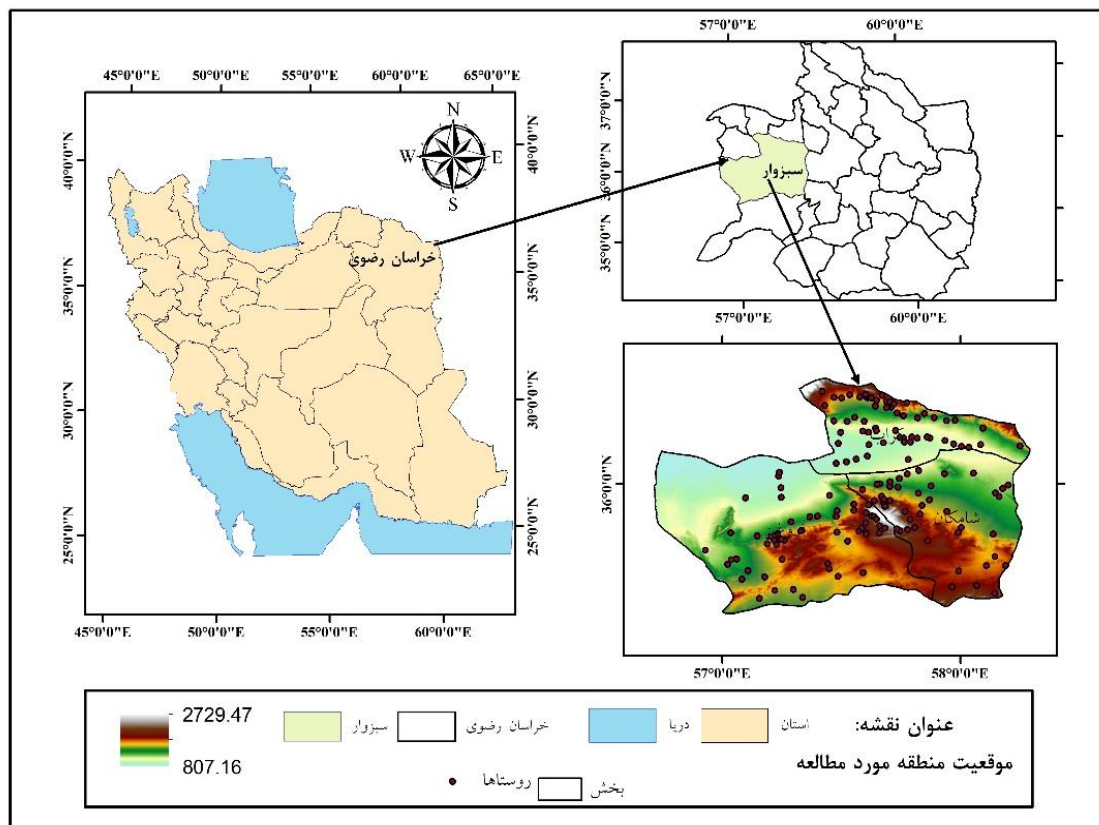
کویانی (۱۳۸۱) در مقاله‌ای با عنوان «تنگناهای انرژی و ارزیابی پتانسیل انرژی خورشیدی در ایران»، با تأکید بر نیاز روبه‌رشد مصرف انرژی در سال‌های آینده، به اهمیت انرژی خورشیدی برای تأمین بخش

و اقلیم خاص و قابل توجهی برخوردار است. این شهرستان از طول جغرافیایی $۵۶^{\circ} ۰۴'$ تا $۵۸^{\circ} ۱۵'$ طول شرقی و $۳۰' ۳۵^{\circ}$ تا $۵۸' ۳۶^{\circ}$ عرض شمالی گسترش یافته است و با ارتفاع متوسط ۹۷۷ متر از سطح دریا در غرب استان خراسان رضوی واقع شده است. این شهرستان از شمال با شهرستان جوین، از شمال شرق با شهرستان خوشاب، از شرق با شهرستان نیشابور، از جنوب شرق با شهرستان کاشمر، از جنوب با شهرستان بردسکن و از غرب با شهرستان داورزن و شاهرود هم‌مرز است. برای انجام پژوهش از ۱۵۹ روستای فعال در سطح شهرستان استفاده شد (شکل ۱).

نسبت به ماه‌های زمستان، نرم‌افزار برآورد دقیق‌تری از تابش خورشیدی ارائه می‌کند. پیدالاً و همکاران (۲۰۰۸) برآورد تابش خورشیدی از مدل‌های توسعه‌یافته توزیعی Arc GIS و مدل رقومی زمین استفاده کردند. نتایج آن‌ها مقدار ضریب همبستگی $۰/۷۸-۰/۴۲$ را بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر برآورد شده با مدل نشان داد.

معرفی قلمروی جغرافیایی تحقیق

شهرستان سبزوار یکی از شهرستان‌های بزرگ استان خراسان رضوی است. مرکز این شهرستان، شهر سبزوار است. شهرستان سبزوار از موقعیت جغرافیایی



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

روش تحقیق

این پژوهش براساس داده‌های ماهواره استر و نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی و ترکیب مدل‌های پردازشی به منظور پتانسیل سنجی استفاده از انرژی خورشیدی در مناطق روستایی شهرستان سبزوار انجام شده است که داده‌ها و مراحل انجام پژوهش در ذیل آورده شده است.

مدل رقومی زمین (DEM)

مدل رقومی این امکان را فراهم می‌کند تا بتوان در هر

نقطه و هر لحظه افق‌های مصنوعی^۱ و مکان نسبی خورشیدی را برآورد کرد. با توجه به این قابلیت مدل رقومی، می‌توان تابش خورشیدی مستقیم، تابش خورشیدی پخشیده^۲ و در نتیجه تابش کل را محاسبه کرد (Martinez et al, 2009: 2233). منطقه مورد مطالعه شامل ۶ تصویر از ماهواره Aster است که از سایت <https://earthexplorer.usgs.gov/> تهیه، موازیک و سپس پردازش شد.

جدول ۱: مشخصات تصاویر Dem منطقه مورد مطالعه

کد تصویر	ماهواره
ASTGDEM2_0N35E056	Aster
ASTGDEM2_0N35E057	Aster
ASTGDEM2_0N35E058	Aster
ASTGDEM2_0N36E056	Aster
ASTGDEM2_0N36E057	Aster
ASTGDEM2_0N36E058	Aster

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

تابش اندازه‌گیری شده در هر ایستگاه

برای انجام این پژوهش مقادیر اندازه‌گیری شده تابش کل خورشیدی به صورت روزانه مورد نیاز است. الف) تابش کل خورشیدی با دستگاه پیرانومتر CM5 ساخت کارخانه Kipp & Zonen آلمان با انتگراتور CC1 اندازه‌گیری شده است. ب) طول ساعات آفتابی با آفتاب‌نگار نوع Cambell-Stokes اندازه‌گیری شده است (سبزی‌پور و بیات‌ورکشی، ۱۳۸۹: ۳۴۷).

روش تحقیق

برآورد تابش کلی به روش تحلیلی (GIS)

توپوگرافی عامل اصلی در تعیین پراکنش مکانی تابش است. تغییر در ارتفاع، شیب، جهت شیب و

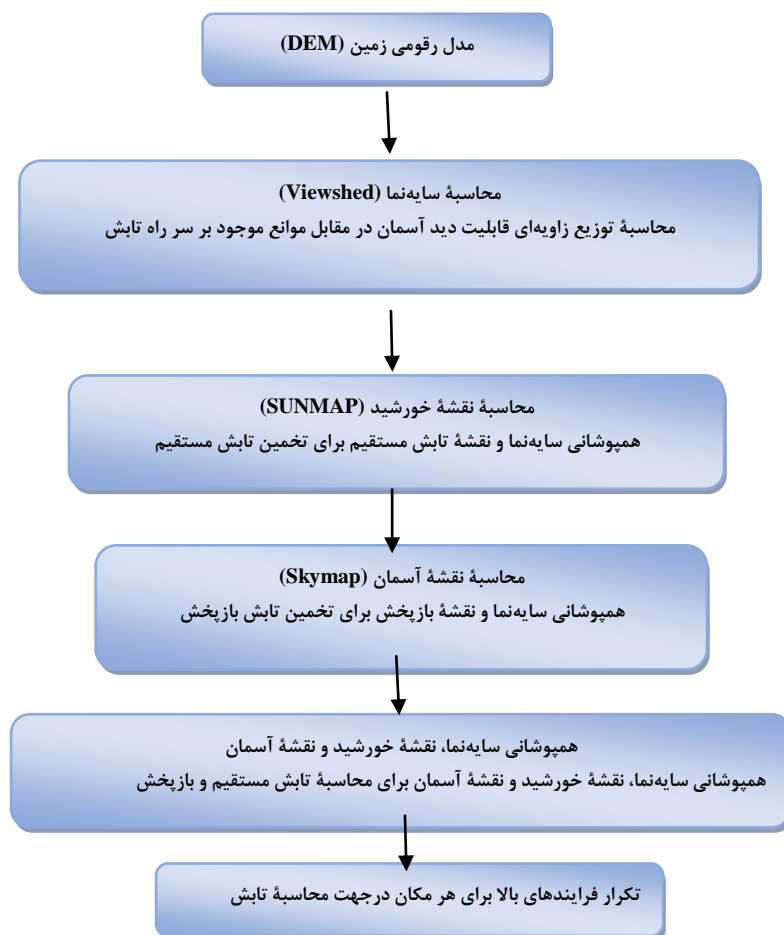
سایه‌ها که ناشی از تفاوت توپوگرافی در نقاط گوناگون است، منجر به تغییر در شدت تابشی می‌شود که به زمین می‌رسد. مقدار تابش در طول سال از روزی به روز دیگر نیز تغییر می‌کند. روش تحلیل تابش قادر به تحلیل و به تصویر کشیدن اثر خورشید روی یک منطقه جغرافیایی در طول یک دوره زمانی مشخص است. این ابزار با در نظر گرفتن اثرات جوئی، عرض جغرافیایی، ارتفاع محل، مقدار شیب، جهت شیب و زاویه ورودی خورشید در طول روز به برآورد تابش می‌پردازد (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۰: ۷۹).

پرتوهای خورشید در گذر از جو دچار تغییر می‌شوند که بیشترین تغییر در تابش توسط توپوگرافی و ذرات موجود در وردسپهر صورت می‌گیرد و باعث ایجاد مؤلفه‌های تابش مستقیم، تابش پخشیده و بازتابیده می‌شود. موارد پیش گفته، به ترتیب اجزای اصلی تابش

خورشید^۲ و نقشه مسیر حرکت خورشید^۳ است. در ادامه، جزئیات برآورد تابش کل روزانه با این ابزار شرح داده خواهد شد. منظور از سایه‌نما در یک نقطه توزیع زاویه‌ای، قابلیت دید آسمان در مقابل موانع موجود بر سر راه تابش برای رسیدن به نقطه موردنظر است. سایه‌نما با در نظر گرفتن امتداد تابش در یک نقطه و تعیین موانع موجود بر سر راه تابش در امتداد مورد تولید می‌شود (شکل ۲).

کلی را تشکیل می‌دهند. روش تحلیل تابش مؤلفه‌های بازتابیده تابش را در نظر نمی‌گیرد؛ بنابراین، تابش کل از جمع تابش مستقیم و تابش پخشیده برآورد می‌شود. همچنین این ابزار قادر است تابش را برای یک نقطه یا یک منطقه جغرافیایی برآورد کند. شکل ۱ مراحل شش‌گانه برآورد تابش در این ابزار را نشان می‌دهد.

فرایند برآورد تابش مستقیم و تابش پخشیده با روش تحلیلی، نیازمند برآورد سایه‌نما، نقشه



شکل ۲: مدل مفهومی پژوهش

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸



شکل ۳: سایه‌نما

مأخذ: مارتینز و همکاران، ۲۰۰۹

رابطه ۳: (Tabik et al, 2012:364).

$$\Theta = \text{acos}[\cos(\Theta_z) + \sin(\Theta_z)\sin(\Theta_s)\cos(\psi - \psi_s)]$$

که $B_{\Theta_z, \psi}$: تابش مستقیم لحظه‌ای خورشیدی از یک بخش از نقشه خورشیدی بر حسب $(\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Day}^{-1})$ ، I_{sc} : ثابت خورشیدی (۱۳۶۷ وات بر متر مربع)، T : تراکسیلایی روزانه جو، m_{Θ} : جرم نوری جو^۲ در مسیر پرتوهای خورشیدی و تابع زاویه سمت‌الرأس خورشیدی است، $S_{\Theta_z, \psi}$: نسبت تابش پخشیده نسبت به کل تابش، $\xi_{\Theta_z, \psi}$: کسر شکاف موجود برای بخشی از نقشه خورشیدی، Θ : زاویه بین مرکز جرم بخشی از آسمان و محور عمود بر سطح، $\cos(\Theta_z)$ و $\sin(\Theta_z)$: کسینوس و سینوس زاویه سمت‌الرأس خورشیدی و ψ_s : زاویه سمت‌القدم (آزیموت) است (معینی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۰).

برآورد مؤلفه تابش پخشیده خورشیدی

برای برآورد تابش پخشیده از دو مدل تابش پخشیده یکنواخت و تابش پخشیده تمام‌ابری استاندارد^۳ استفاده می‌شود. در مدل تابش پخشیده یکنواخت که در شرایط آسمان صاف استفاده می‌شود، فرض بر این اساس استوار است که تابش پخشیده ورودی در همه امتدادهای آسمان یکسان است. در مدل تابش

نقشه مسیر حرکت خورشید، نقشه رقمی است و مکان خورشید را در زمان‌های متفاوت نشان می‌دهد. نقشه آسمان نقشه رقمی است که با تقسیم آسمان به قطعات کوچک‌تر و با در نظر گرفتن زوایای سمت‌الرأس خورشیدی ساخته می‌شود. زوایای سمت‌الرأس خورشیدی در مرکز هر پیکسل به صورت نقطه‌ای با روابط نجومی برآورد می‌شوند.

برآورد مؤلفه مستقیم تابش خورشیدی

تابش خورشیدی برای هر قطعه از نقشه خورشید که موانع به‌طور کامل مانع از رسیدن تابش از آن نمی‌شوند، برآورد می‌شود. روش تحلیل تابش خورشید از یک مدل ساده برای برآورد استفاده می‌کند. این مدل با یک ثابت خورشیدی شروع به کار می‌کند و اثرات جو^۱ را بر اساس تراکسیلایی و ژرفای نوری^۱ برآورد می‌کند. روابط (۱) تا (۳) نحوه محاسبه تابش مستقیم روزانه (H_b) را نشان می‌دهند:

رابطه ۱:

$$H_b = \sum B_{\Theta_z, \psi}$$

رابطه ۲:

$$B_{\Theta_z, \psi} = I_{sc} T^{m_{\Theta}} S_{\Theta_z, \psi} \xi_{\Theta_z, \psi} \cos^{\Theta}$$

برآورد پارامترهای ورودی مورد نیاز هر روستا
مدل تحلیل خورشیدی برای برآورد تابش کل نیاز به دو پارامتر کسر پخشیده (k) و تراگسیلایی جو (T) دارد که این دو پارامتر در ایستگاه‌های همدیدی و تابش‌سنجی اندازه‌گیری نمی‌شود. به منظور وارد کردن این دو پارامتر در بسته نرم‌افزاری GIS، ابتدا باید این دو پارامتر برآورد شود. با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده تابش کل و تابش فراجوی (تابش در بام جو) در ایستگاه‌های مورد بررسی، ابتدا ضریب شفافیت جو (K_t) نسبت به تابش اندازه‌گیری شده در سطح افق در ایستگاه‌ها به تابش فراجوی محاسبه و سپس با استفاده از این ضریب مقدار کسر پخشیده (k) محاسبه شود. ضریب تراگسیلایی نیز از رابطه (۸) به دست آمد که در آن T ضریب گسیلایی و n/N درصد ساعت‌های آفتابی است (Gastli and Charabi, 2010)

رابطه ۷:

$$K = 0/99 - 0/356k_t + 2/783k_t^2 - 10/67k_t^3 + 7/63k_t^4$$

رابطه ۸: (Hottel and Whillier, 1958: 74)

$$T = 0.2505 + 101468(n/N) - 0.3974(n/N)^2$$

شاخص پتانسیل‌سنجی استفاده از انرژی خورشیدی (PSR)

اساس این شاخص محاسبه پتانسیل منطقه در استفاده از انرژی خورشیدی را بر مبنای میزان کل انرژی دریافتی، توانایی ذخیره در صفحات خورشیدی، جمعیت و میزان متوسط مصرف هر فرد است.

$$PSR = \frac{T * 0.5}{Pop * M} \quad \text{رابطه ۹:}$$

که در آن PSR شاخص پتانسیل‌سنجی استفاده از انرژی خورشیدی، T مقدار کل انرژی دریافتی، Pop جمعیت منطقه و M میزان متوسط مصرف هر فرد است. شاخص پتانسیل‌سنجی استفاده از انرژی خورشیدی (PSR) در جدول ۲ بیان شده است.

پخشیده تمام‌ابری استاندارد، تابش پخشیده با توجه به زاویه سمت‌الرأس متغیر است و با آن رابطه‌ای تجربی دارد. هر دو مدل در روش تحلیل تابش خورشیدی مورد استفاده قرار می‌گیرند. ابتدا تابش پخشیده در مرکز هر قسمت ($D_{\theta z, \psi}$) برآورد شده (رابطه ۴) و سپس تابش پخشیده شده کل روزانه (H_d) در هر منطقه از حاصل جمع مقادیر برآورد شده به دست می‌آید (رابطه ۵) (Martinez et al, 2009: 2233)

رابطه ۴:

$$D_{\theta z, \psi} = R_n K \Delta V_{\theta z, \psi} \cos(\theta)$$

رابطه ۵:

$$H_d = \sum D_{\theta z, \psi}$$

که $D_{\theta z, \psi}$: تابش پخشیده از آسمان R_n MJ.m⁻².Day⁻¹ تابش خورشیدی مستقیم در سطح، k : کسر پخشیده تابش روزانه، Δ : دوره زمانی، $V_{\theta z, \psi}$: نسبت سایه‌نمای آسمان برای پخش آسمان، $S_{\theta z, \psi}$: مدت زمان تابش در آسمان است.

تابش کل خورشیدی

تابش کل (H_g) (MJ.m⁻².Day⁻¹) از حاصل جمع تابش مستقیم و تابش پخشیده به دست می‌آید (رابطه ۶). این مراحل برای هر نقطه از منطقه به طور جداگانه تکرار و در نهایت نقشه تابش برای کل منطقه برآورد می‌شود.

رابطه ۶: (Allen et al, 1998: 258)

$$H_g = H_B + H_d$$

در روش تحلیل تابش GIS، مقدار تابش بر حسب Wh.m⁻² برآورد می‌شود. برای تبدیل واحد MJ.m⁻² به Wh.m⁻² باید عدد حاصل از رابطه (۶) را در ۲۷۷/۷۷ ضرب کرد (ولیزاده کامرانی، ۱۳۹۳: ۳۱۷).

جدول ۲: طبقه‌بندی پتانسیل انرژی خورشیدی
با استفاده از شاخص PSR

وضعیت	شاخص PSR
عالی	+۲ و بیشتر
خیلی خوب	۱ تا ۱/۹۹
خوب	۰ تا ۱
ضعیف	۰ تا -۰/۹۹
خیلی ضعیف	-۱ تا -۱/۹۹
نامناسب	-۲ و کمتر

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

یافته‌ها

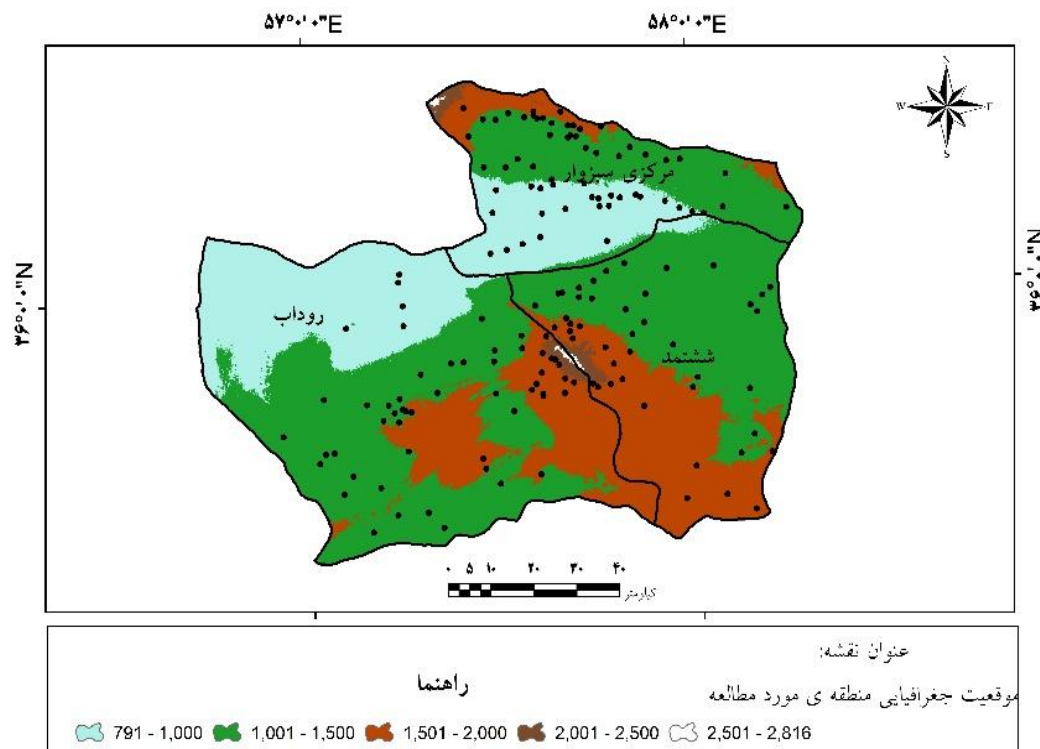
در این تحقیق پهنه تابش خورشیدی کل در روستاهای سبزوار با استفاده از زیربرنامه تحلیل تابشی GIS تهیه شد. ابتدا دو پارامتر تراگسیلابی جو و کسر پخشیده که روش تحلیل تابش از آن‌ها در حکم ورودی برای برآورد تابش استفاده می‌کند، با استفاده از تابش اندازه‌گیری‌شده هر ایستگاه به‌طور مجزا برآورد و به منزله ورودی وارد مدل شد تا تابش به روش تحلیل تابش تعیین شود.

برای انجام این پژوهش در ابتدا میزان و نقشه‌های ارتفاع، ساعات آفتابی، تابش مستقیم و غیرمستقیم و تابش کل تهیه و محاسبه شد.

ارتفاع: مهم‌ترین عامل فیزیکی در مکان‌یابی پتانسیل سایت نیروگاه، ارتفاع آن از سطح دریا است. مناطق مرتفع به دلیل دریافت انرژی زیاد دارای پتانسیل بالاتری نسبت به مناطق پست هستند. میزان جذب یا بازتابش انرژی حرارتی پرتوهای خورشیدی در لایه‌های بالایی جو کاهش و انرژی دریافتی خورشید افزایش می‌یابد در

نرم‌افزار GIS می‌توان به کمک دستور SOLAR HEIGHT، انرژی تابشی را در زمان‌های مشخص تعیین کرد. هر قدر ارتفاع منطقه‌ای از سطح دریا کمتر باشد، ضخامت جو بیشتر می‌شود.

جو ضخیم از غلظت بیشتر ترکیبات و عوامل جذبی یا انعکاسی حکایت دارد. از آنجایی که مواد درشت‌تر و غلیظ‌تر در طبقات پایین جمع می‌شوند، جو بالای کوه‌ها رقیق‌تر بوده و ضخامت جو هم کمتر است. پس هر قدر ارتفاع منطقه بیشتر باشد، ترکیبات جو رقیق‌تر و ضخامت آن کمتر است. ضخامت و ترکیبات جو علاوه بر ورود انرژی موج کوتاه خورشید، انرژی موج بلند زمین را هم کنترل می‌کنند؛ بنابراین مناطق مرتفع به دلیل دریافت انرژی زیاد دارای پتانسیل بالاتری نسبت به مناطق پست هستند. در راستای تهیه این لایه اطلاعاتی، از ارتفاع ایستگاه‌های هواشناسی و لایه توپوگرافی منطقه استفاده شد. برای این منظور لایه DEM منطقه ایجاد شد. در منطقه مورد مطالعه بیشترین میزان ارتفاع در بخش‌های شمالی و مرکزی، مشرف به جنوب‌غربی منطقه است. در این منطقه پراکندگی نقاط روستایی کمتر است. منطقه مورد مطالعه از سه بخش شامل (کراب، فروغن و شامکان) تشکیل شده است. در این سه بخش به ترتیب روستاهای حسین‌آباد با ارتفاع ۱۷۲۴، گرزک ۲۰۲۰ و طرسک ۱۹۸۹ متر از سطح دریا، مرتفع‌ترین روستاهای این محدوده هستند (جدول‌های ۴-۲).

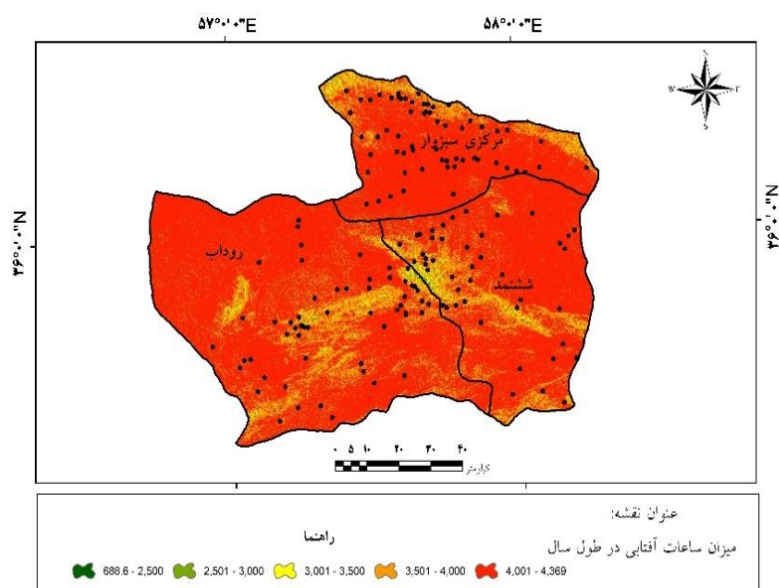


شکل ۴: ارتفاع منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

میزان انرژی دریافتی را افزایش و اتلاف انرژی را کاهش می‌دهد. در محدوده مورد مطالعه، میزان ساعات آفتابی در بیشتر مناطق به‌استثنای ارتفاعات، زیاد است. ارتفاعات در مناطق شمال و شمال‌غربی و همچنین به‌صورت پراکنده در قسمت مرکزی و مشرف به جنوب‌غربی شهرستان است. همان‌طور که در (شکل ۵) مشاهده می‌شود، در مناطق نام‌برده میزان دریافت انرژی کمتر از سایر نقاط است.

ساعات آفتابی: ساعت آفتابی مهم‌ترین پارامتر اقلیمی است که نشان‌دهنده میزان انرژی دریافتی مناطق از خورشید است. ساعات آفتابی، مجموع ساعات ماهانه یا سالانه یک منطقه است. این پارامتر خود تحت تأثیر عرض جغرافیایی در پارامتر ساعات آفتابی به‌طور مستقیم اثرگذار است و میزان ابرناکی و غبارآلودگی شدید هوا با پارامتر ساعات آفتابی رابطه عکس دارند. از طرف دیگر بالا بودن دمای محیط،

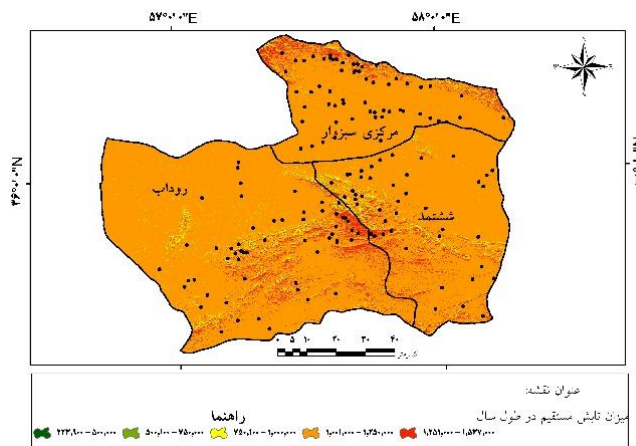


شکل ۵: ساعات آفتابی منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

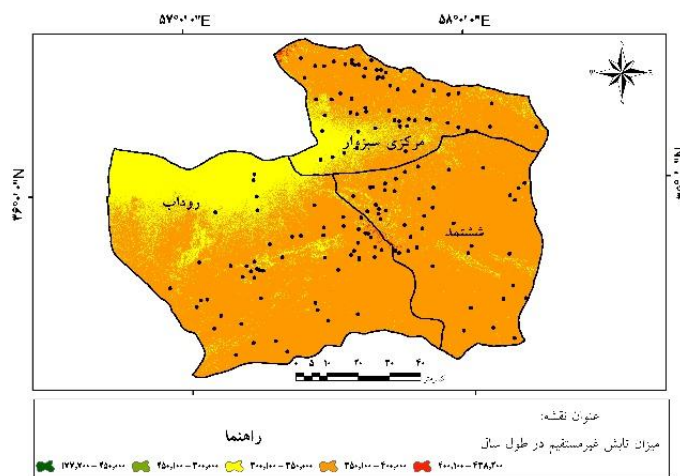
تابش است. تغییر در ارتفاع، شیب، جهت شیب و سایه‌ها که ناشی از تفاوت توپوگرافی در نقاط گوناگون است، منجر به تغییر در شدت تابشی می‌شود که به زمین می‌رسد. مقدار تابش در طول سال از روزی به روز دیگر نیز تغییر می‌کند. روش تحلیل تابش قادر به تحلیل و به‌تصویر کشیدن اثر خورشید روی یک منطقه جغرافیایی در طول یک دوره زمانی مشخص است. پرتوهای خورشید در گذر از جو دچار تغییر می‌شود که بیشترین تغییر در تابش توسط توپوگرافی و ذرات موجود در ورسپهر صورت می‌گیرد و باعث ایجاد مؤلفه‌های تابش مستقیم، تابش پخشیده و بازتابیده می‌شود. موارد پیش‌گفته، به ترتیب اجزای اصلی تابش کلی را تشکیل می‌دهند. روش تحلیل تابش مؤلفه‌های بازتابیده تابش را در نظر نمی‌گیرد؛ بنابراین تابش کل از جمع تابش مستقیم و تابش پخشیده برآورد می‌شود. بیشترین میزان انرژی تابشی مستقیم خورشید، در ارتفاعات ثبت می‌شود. همان‌طور که در منطقه مورد مطالعه بیشترین میزان این انرژی در ارتفاعات شمالی و مرکزی (با مقادیر ۲۲۲۳۹۰۰ تا ۱۵۳۷۰۰۰ وات بر متر مربع) مشاهده می‌شود (شکل ۶).

تابش خورشیدی (Rs)، یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در توازن حرارتی جو-زمین است (Izomon & Mayer, 2002: 27) و اساس بیشتر مطالعات اقلیمی را شکل می‌دهد؛ چراکه فرایند تبخیر و تعرق به‌وسیله میزان انرژی در دسترس برای تبخیر آب تعیین می‌شود. مقدار تابش خورشیدی‌ای که وارد جو می‌شود، در اثر جذب بخشی از آن توسط مواد موجود در جو و انعکاس توسط ابرها کاسته شده و در نتیجه تابش خورشیدی‌ای که به سطح زمین برخورد می‌کند، کمتر از مقدار آن در خارج از جو است. مقدار کاهش تابش خورشیدی به طول مسیر پیموده‌شده شعاع تابشی خورشید و همچنین ترکیبات آن (ابرها، گردوغبار، رطوبت و مه) بستگی دارد. ابرها و ذرات موجود در جو، نور خورشید را به جهات مختلف پراکنده می‌کنند (مرادی، ۱۳۸۴: ۷۹). دانستن مقدار تابش خورشیدی در هر محل برای بسیاری از مسائل کاربردی، از جمله: تخمین تبخیر-تعرق، طراحی معماری، مدل‌های رشد محصولات کشاورزی و...، اهمیت فراوانی دارد (موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۳۶). توپوگرافی عامل اصلی در تعیین پراکنش مکانی



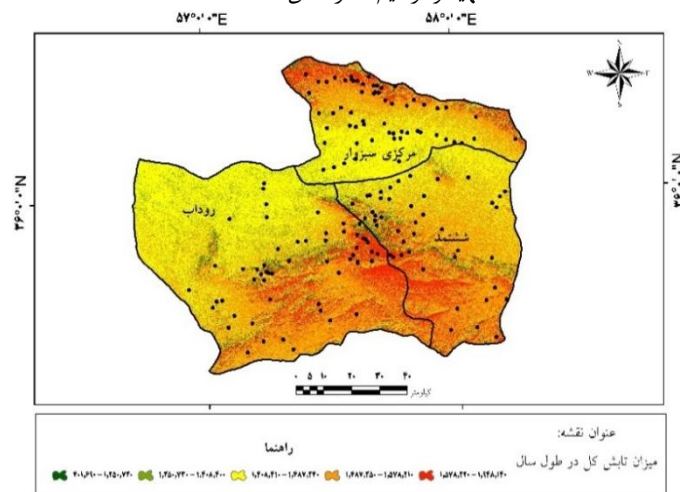
شکل ۶: انرژی مستقیم خورشیدی منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸



شکل ۷: انرژی غیرمستقیم خورشیدی منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸



شکل ۸: انرژی کل خورشیدی منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

و پراکنش مقادیر تابش از ۱۹۴۸۰۰۰-۴۰۱۷۰۰ وات بر متر مربع به پنج کلاس طبقه‌بندی شد که کلاس شماره پنج با مقادیر ۱۹۴۸۰۰۰-۱۵۰۱۰۰۰ وات بر متر مربع بیشترین توزیع را دارد (شکل ۸). با توجه به تغییرات تابش در سطح منطقه مورد بررسی و تغییرات ارتفاع، می‌توان دید که صرفاً نقاط مرتفع تابش بیشتری را دریافت نمی‌کنند، بلکه تابش دریافتی بیشتر تحت‌تأثیر شرایط توپوگرافی مانند: جهت شیب، مقدار شیب و موانع موجود بر سر راه تابش نیز قرار دارد (جدول ۳ تا ۵). به‌طور کلی در دامنه جنوبی ارتفاعات منطقه مورد مطالعه، تابش کل بیشتری مشاهده می‌شود. در ادامه برای روشن شدن نتایج تحقیق، میزان تابش کل، براساس بخش‌های (مرکزی، روداب و ششتمد) اندازه‌گیری شد.

روش تحلیل تابش قادر است مقدار تابش را، هم به‌طور نقطه‌ای و هم منطقه‌ای برآورد کند. این ابزار می‌تواند تابش را با استفاده از مدل رقمی زمین و دو پارامتر کسر پخشیده و تراگسیلایی جو در هر منطقه تعیین کند و از آنجاکه نصب تجهیزات اندازه‌گیری تابش در هر نقطه امکان‌پذیر نیست، می‌توان از برنامه تحلیل تابش GIS برای تهیه پهنه مؤلفه‌های تابش منطقه‌ای استفاده کرد. از این رو پس از مقایسه دقت این ابزار در برآورد تابش نقطه‌ای و برآورد دو پارامتر کسر پخشیده و تراگسیلایی جو، تابش سالانه به‌صورت منطقه‌ای در کل منطقه مورد بررسی برای ارزیابی پراکنش مکانی تابش با این ابزار برآورد شد. در شکل ۸ نتایج حاصل از اعمال تابع Solar Analyst در سال ۲۰۱۷ نشان داده شده‌است. با توجه به توزیع

جدول ۳: تابش کل اندازه‌گیری شده در بخش‌های منطقه مورد مطالعه

بخش	ساعات آفتابی	تابش مستقیم	تابش غیرمستقیم	تابش کلی
مرکزی سبزوار	۲۴۹۵۴۹/۶۴	۶۸۶۷۶۷۵۰	۲۱۵۲۴۴۱۳	۹۰۲۰۱۱۵۰
روداب	۲۲۴۰۱۴/۶۵	۶۳۶۴۸۴۲۰	۲۰۱۵۴۳۳۹	۸۳۸۰۲۷۰۰
ششتمد	۱۸۰۸۸۹/۲۲	۵۰۶۶۵۱۰۷	۱۶۲۴۵۶۶۶	۶۶۹۱۰۷۷۰

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

بیشترین میزان در نواحی جنوبی-شمالی بخش مرکزی و دامنه جنوبی ارتفاعات این ناحیه مشاهده می‌شود. در بخش روداب، کمترین و بیشترین میزان تابش کل با میزان ۱۷۴۴۸۰۰ و ۱۴۰۹۸۵۰ به‌ترتیب در روستاهای گرمک و عبدالملکی و تراکم مکانی آن در نواحی جنوبی بخش مشاهده می‌شود. کمترین و بیشترین میزان تابش کل محاسبه‌شده در بخش ششتمد نیز به‌ترتیب ۱۷۱۳۷۳۰ و ۱۵۴۳۲۱۰ در نقاط روستایی تندک و بیروت است.

براساس نتایج به‌دست آمده، بخش مرکزی با مقدار ۹۰۲۰۱۱۵۰ و بخش ششتمد با ۶۶۹۱۰۷۷۰ وات بر مترمربع، به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان تابش کل را دارند. میزان ساعات آفتابی در ارتفاعات به‌مراتب کمتر از سایر نقاط پست و کم‌ارتفاع است. در بخش مرکزی، روستاهای حسین‌آباد و توده صرصره، به‌ترتیب با تابش کل ۱۶۷۹۰۰۰ و ۱۳۹۳۹۷۰ وات بر متر مربع، بیشترین و کمترین میزان تابش کل را دارند. تراکم نقاط روستایی در بخش مرکزی بیشتر از سایر بخش‌ها است. از نظر پراکندگی مکانی تابش کل،

جدول ۴: میزان دریافت انرژی تابش کل خورشیدی نقاط روستایی بخش مرکزی سبزوار

روستا	تابش کلی	تابش مستقیم	تابش غیرمستقیم	ارتفاع	ساعات آفتابی	جمعیت سال ۱۳۹۵
حسین آباد	۱۶۷۹۰۰۰	۱۲۹۴۵۴۰	۳۸۴۴۵۹	۱۷۲۴	4148.660156	71
برزو	۱۶۳۶۰۱۰	۱۲۶۸۸۶۰	۳۶۷۱۴۹	۱۴۲۲	4082.909912	82
سعدآباد	۱۶۳۵۱۴۰	۱۲۶۷۹۲۰	۳۶۷۲۲۰	۱۴۴۸	4084.290039	37
کیزقان	۱۶۱۹۳۰۰	۱۲۴۹۸۴۰	۳۶۹۴۵۲	۱۴۹۴	3996.879883	648
شاره	۱۶۱۶۴۷۰	۱۲۳۴۲۶۰	۳۸۲۲۰۵	۱۷۱۹	4053.659912	195
قز	۱۶۰۹۲۳۰	۱۲۳۷۰۱۰	۳۷۲۲۲۲	۱۴۵۹	4123.299805	74
روشن آباد	۱۵۹۸۵۸۰	۱۲۲۳۱۲۰	۳۷۵۴۶۴	۱۵۶۵	4127.169922	205
قره‌قلی	۱۵۷۴۹۹۰	۱۲۱۳۲۲۰	۳۶۱۷۶۳	۱۱۹۷	4295.310059	792
کراب	۱۵۶۸۶۸۰	۱۱۹۷۰۲۰	۳۷۱۶۵۴	۱۴۱۸	4195.990234	236
دلبر	۱۵۶۵۲۹۰	۱۱۹۱۵۰۰	۳۷۳۷۹۴	۱۴۶۸	4192.439941	89
کلاته سالار	۱۵۵۲۴۱۰	۱۱۸۹۲۵۰	۳۶۳۱۵۲	۱۲۶۳	4142.759766	141
رازقند	۱۵۴۵۱۷۰	۱۱۷۸۲۶۰	۳۶۶۹۰۷	۱۳۶۱	4131.439941	229
چشمه‌سیر	۱۵۴۴۸۸۰	۱۱۸۳۱۳۰	۳۶۱۷۵۲	۱۱۹۷	4236.310059	218
عشرت آباد	۱۵۴۲۴۹۰	۱۱۷۷۲۷۰	۳۶۵۲۲۴	۱۳۲۵	4173.740234	20
بلاش آباد	۱۵۴۱۸۷۰	۱۱۷۲۳۸۰	۳۶۹۴۹۱	۱۴۳۲	4111.689941	468
سدید	۱۵۳۹۹۰۰	۱۱۷۴۳۶۰	۳۶۵۵۴۲	۱۲۹۵	4207.529785	159
سنگ سفید	۱۵۳۲۱۰۰	۱۱۶۳۷۴۰	۳۶۸۳۶۵	۱۳۴۴	4189.560059	202
کلاته حاجی‌برات	۱۵۲۹۹۰۰	۱۱۶۸۰۵۰	۳۶۱۸۵۱	۱۱۹۹	4245.640137	113
کسکن	۱۵۲۸۸۹۰	۱۱۶۹۹۲۰	۳۵۸۹۶۹	۱۱۳۰	4224.180176	426
علی‌آبادشور	۱۵۲۶۵۵۰	۱۱۷۵۳۴۰	۳۵۱۲۱۰	۷۹۷	4316.169922	68
بهبیدرسفلی	۱۵۲۱۵۲۰	۱۱۵۰۹۷۰	۳۷۰۵۵۰	۱۴۵۶	4206.209961	531
نجم آباد	۱۵۲۰۸۳۰	۱۱۶۰۳۴۰	۳۶۰۴۹۵	۱۱۶۴	4231.700195	532
حارث آباد	۱۵۱۷۵۷۰	۱۱۷۰۳۷۰	۳۴۷۲۰۶	۹۱۱	4196.609863	468
گودچاه	۱۵۰۶۹۴۰	۱۱۴۹۵۲۰	۳۵۷۴۲۲	۱۰۸۲	4224.939941	1497
ابارش	۱۵۰۱۴۶۰	۱۱۵۰۶۴۰	۳۵۰۸۱۹	۹۶۳	4212.009766	267
بینق	۱۴۹۹۰۲۰	۱۱۳۱۵۸۰	۳۶۷۴۴۱	۱۴۸۶	3819.5	2486
حسن آباد	۱۴۹۸۸۰۰	۱۱۳۹۹۱۰	۳۵۸۸۹۴	۱۱۳۵	4248.529785	448
ایزی	۱۴۹۶۰۸۰	۱۱۴۳۰۸۰	۳۵۲۹۹۶	۱۰۰۱	4251.609863	118
گوداسیا	۱۴۹۴۸۲۰	۱۱۴۱۱۶۰	۳۵۳۶۵۵	۱۱۱۰	4041.040039	305

ادامه جدول ۴

روستا	تابش کلی	تابش مستقیم	تابش غیرمستقیم	ارتفاع	ساعات آفتابی	جمعیت سال ۱۳۹۵
حسین آباد گنجی	۱۴۹۰۹۲۰	۱۱۴۲۲۷۰	۳۴۸۶۵۴	۸۹۰	4297.290039	107
باغجر	۱۴۹۰۳۷۰	۱۱۳۵۵۵۰	۳۵۴۸۲۳	۱۲۳۸	3644.52002	991
علی آباد کال خونی	۱۴۸۹۲۰۰	۱۱۳۸۰۲۰	۳۵۱۱۷۹	۱۰۰۲	4173.279785	344
نزل آباد	۱۴۸۵۲۷۰	۱۱۳۴۰۸۰	۳۵۱۱۸۲	۴۹۴	4269.370117	225
عوض	۱۴۸۵۲۰۰	۱۱۲۶۷۰۰	۳۵۸۵۰۶	۱۱۲۱	4227.910156	1447
کهنه‌اب	۱۴۸۳۰۷۰	۱۱۲۹۱۴۰	۳۵۳۹۲۷	۹۹۰	4330.370117	1060
خسرو جرد	۱۴۷۸۸۷۰	۱۱۲۷۸۲۰	۳۵۱۰۴۴	۹۷۶	4159	246
گاج	۱۴۷۷۳۰۰	۱۱۲۶۴۸۰	۳۵۰۸۲۱	۹۳۵	4239.959961	188
کلاته خواجه علی	۱۴۷۳۴۸۰	۱۱۰۳۱۶۰	۳۷۰۳۲۱	۱۴۸۱	4071.030029	179
زعفرانیه	۱۴۷۳۳۲۰	۱۱۱۸۲۰۰	۳۵۵۱۱۸	۱۰۳۱	4243.109863	632
استیر	۱۴۶۷۹۱۰	۱۱۱۹۱۶۰	۳۴۸۷۵۹	۹۲۳	4177.970215	174
مسکن	۱۴۶۵۶۱۰	۱۱۲۰۲۷۰	۳۴۵۳۴۲	۸۸۵	4071.76001	315
جلین	۱۴۶۴۸۷۰	۱۱۱۳۳۴۰	۳۵۱۵۳۹	۹۷۱	4178.52002	110
کلاته آقازاده	۱۴۶۲۵۸۰	۱۱۰۹۵۴۰	۳۵۳۳۱۳	۱۰۱۶	4207.810059	316
زید آباد	۱۴۶۱۹۹۰	۱۱۱۰۲۵۰	۳۵۱۷۴۲	۹۶۶	4237.390137	102
دلقند	۱۴۶۰۵۳۰	۱۱۰۹۷۱۰	۳۵۰۸۱۱	۹۴۳	4250	249
باغان	۱۴۵۹۹۸۰	۱۱۰۸۹۰۰	۳۵۱۰۷۵	۹۴۳	4272.689941	175
کلاته دولت	۱۴۵۵۱۰۰	۱۱۰۵۱۴۰	۳۴۹۹۶۰	۹۰۴	4277.439941	172
صالح آباد بزرگ	۱۴۵۱۸۱۰	۱۰۹۷۴۵۰	۳۵۴۳۶۰	۹۹۶	4276.370117	1046
حسین آباد	۱۴۵۱۸۰۰	۱۱۰۲۴۳۰	۳۴۹۳۵۲	۹۳۰	4157.899902	300
سنگ کلیدر / دهنه اریاب	۱۴۵۱۴۰۰	۱۰۸۹۸۳۰	۳۶۱۵۷۳	۱۲۴۸	4149.910156	190
سیدآباد کلوت	۱۴۴۵۱۲۰	۱۰۹۰۵۴۰	۳۵۴۵۷۶	۱۰۶۸	4233.080078	31
کلاته میرعلی	۱۴۴۳۳۳۰	۱۰۹۱۳۷۰	۳۵۱۹۶۲	۱۴۷۲	3602.070068	302
ازادمنجیر	۱۴۴۰۰۱۰	۱۰۸۸۳۶۰	۳۵۱۶۵۰	۹۴۸	4293.330078	328
فستقر	۱۴۳۶۰۹۰	۱۰۸۶۳۷۰	۳۴۹۷۲۱	۹۰۲	4264.799805	922
هاشم آباد	۱۴۳۳۱۲۰	۱۰۸۱۰۹۰	۳۵۲۰۳۰	۹۹۲	4194.100098	68
یزدآباد	۱۴۳۱۷۴۰	۱۰۸۱۶۵۰	۳۵۰۰۹۰	۹۱۸	4243.140137	544
سلیمانیه	۱۴۲۹۶۳۰	۱۰۷۱۹۵۰	۳۵۷۶۸۵	۱۴۶۱	3572.209961	837
برزو	۱۴۲۳۲۴۰	۱۰۷۴۲۱۰	۳۴۹۰۳۱	۸۹۹	4315.419922	130
رباط سربوش	۱۴۰۰۱۸۰	۱۰۴۸۳۹۰	۳۵۱۷۸۹	۹۹۱	4209.160156	1360
نوده صرصره	۱۳۹۳۹۷۰	۱۰۲۸۸۲۰	۳۶۵۱۵۵	۱۴۶۴	3996.949951	154

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

جدول ۵: میزان دریافت انرژی تابش کل خورشیدی نقاط روستایی بخش روداب

روستا	تابش کلی	تابش مستقیم	تابش غیرمستقیم	ارتفاع	ساعات آفتابی	جمعیت سال ۱۳۹۵
گرمک	1744800	1351460	393343	1995	4076.610107	127
بلوچ‌خانه	1691210	1299120	392095	1912	4089.080078	86
گرزگ	1689320	1295710	393604	2020	3996.149902	67
اردیز	1657060	1280030	377027	1906	3611.070068	292
سریش	1630170	1248200	381972	1694	4139.72998	149
دلبرملک باقر	1629840	1245860	383983	1756	4124.990234	18
بجدن	1614680	1235310	379366	1617	4239.009766	318
خوشمردان	1611780	1220910	390868	1978	4021.120117	296
بهارستان	1598880	1220140	378740	1833	3780.01001	32
چهل‌غانی	1581190	1213910	367282	1358	4134.910156	1250
شند	1580270	1212210	368056	1357	4287.919922	70
بونش	1579130	1199740	379392	1599	4194.790039	28
محمدآباد	1577390	1208340	369051	1459	4191.839844	1211
چاه‌شند	1566130	1209320	356815	1342	3766.370117	146
درقدم	1566020	1195100	370924	1408	4213.060059	125
کلاوشک	1561980	1201770	360209	1264	4136.859863	504
افچنگ	1559270	1184630	374632	1541	4064.169922	842
بنقن	1556090	1182350	373736	1466	4186.930176	201
چاه‌تاجی	1551730	1180230	371502	1529	3860.530029	113
اریان	1547210	1178170	369047	1396	4096.180176	439
سررود	1539300	1176220	363081	1350	3924.320068	56
گراب	1539130	1174890	364240	1314	4122.890137	99
اجنورد	1538080	1172590	365498	1380	3970.639893	104
بنس‌بردسغلی	1530320	1161090	369235	1449	3975.800049	43
کاشک	1526270	1169580	356699	1166	4110.029785	205
گرو	1525350	1168910	356438	1116	4152.77002	52
کلوی	1523520	1164750	358777	1206	4184.189941	45
دولت‌آباد	1516490	1151420	365077	1409	3861.360107	1217
ذوالفرخ	1510460	1144160	366304	1305	4106.330078	292

ادامه جدول ۵

روستا	تابش کلی	تابش مستقیم	تابش غیرمستقیم	ارتفاع	ساعات آفتابی	جمعیت سال ۱۳۹۵
فیلشور	1506530	1147390	359145	1176	4204.759766	547
شمس آباد	1501970	1144670	357298	1193	3937.370117	83
لارهنگ	1501630	1136340	365299	1283	4207.609863	356
کهنک	1499100	1136030	363064	1288	4081.530029	39
حمیره	1498090	1140110	357986	1186	4035.899902	131
دارین	1495290	1140830	354460	1062	4140.959961	54
توتبان	1489980	1137160	352829	1293	3839.800049	19
برگو	1481170	1108080	373089	1487	4136.819824	126
جراحی	1481050	1116780	364264	1358	4015.030029	440
پروند	1470550	1123660	346892	900	4169.330078	54
صبری	1465310	1109510	355794	1047	4229.450195	133
دریاچه	1464930	1107480	357455	1144	4094.340088	55
چاه ستاره	1464870	1100880	363983	1252	4178.27002	375
چاه عبدالملکی	1464630	1104330	360298	1130	4262.259766	241
دوچاهی	1456330	1085370	370960	1498	4014.649902	222
استاج	1454500	1074950	379554	1763	3907.030029	50
دامرود	1447020	1097910	349108	858	4342.959961	112
همایی سفلی	1446430	1087600	358831	1412	3830.72998	86
لنדרان	1439710	1081230	358485	1396	3828.449951	131
دروک	1432270	1084770	347495	853	4302.669922	237
تسبند	1420660	1072500	348166	911	4092.050049	1434
ملوند	1418640	1069090	349552	887	4335.97998	1007
بن جنج	1418490	1053880	364609	1373	3967.530029	24
خیرآباد	1418050	1043090	374962	1624	4074.810059	72
نوده	1412580	1043530	369051	1476	4103.839844	22
عبدالملکی	1409850	1055130	354717	1134	4060.860107	551

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

جدول ۶: میزان دریافت انرژی تابش کل خورشیدی نقاط روستایی بخش ششتمد

روستا	تابش کلی	تابش مستقیم	تابش غیرمستقیم	ارتفاع	ساعات آفتابی	جمعیت سال ۱۳۹۵
تندک	1713730	1332700	381027	1787	4110.22998	53
طرسک	1697170	1303930	393242	1989	4086.090088	40
چنار	1671580	1311780	359807	1740	3553.48999	363
بدرآباد	1623090	1232960	390129	1887	4218.669922	707
دهنو	1606920	1224850	382073	1716	4093.780029	649
خرسف	1592840	1217580	375263	1515	4096.509766	565
سبه	1584520	1202230	382293	1633	4307.359863	390
مج	1569720	1189540	380182	1629	4177.27002	37
قاسمی	1565340	1183160	382183	1730	4042.530029	89
پادر	1564810	1187330	377474	1657	3983	146
دیوان خوی	1555910	1184270	371633	1775	3472.800049	154
کلاته بیات	1550790	1180550	370245	1569	3704.23999	335
بسک	1548210	1177630	370577	1570	3727.040039	87
طرزرق	1547390	1188770	358618	1232	4070.080078	70
مهرنشانی/مهرشاهی	1547210	1177540	369671	1369	4256.97998	310
بیروت	1543210	1169410	373799	1442	4265.819824	106
کلاته تیرکمان	1539270	1157580	381691	1652	4212.560059	232
قلعه میدان	1530170	1155770	374395	1474	4212.919922	632
شهر سوخته	1529130	1158940	370192	1421	4095.889893	259
چاه سوخته	1528620	1156760	371857	1457	4083.370117	340
البلاغ	1525820	1148810	377011	1520	4249.029785	447
عزیزآباد	1520930	1150320	370605	1395	4184.879883	602
بیزخ	1515020	1133990	381029	1709	4033.040039	631
باداشیان	1513930	1139680	374245	1598	4022.51001	638
سنجرد	1513340	1147460	365884	1286	4234.22998	54
بجدن/ بژدن	1510360	1145520	364841	1304	4115.560059	162
سودآباد	1498190	1140980	357210	1110	4226.109863	351
ابراهیم آباد	1496830	1135870	360965	1180	4181.419922	106
جنید	1490420	1118490	371928	1489	3982.350098	352

ادامه جدول ۶

روستا	تابش کلی	تابش مستقیم	تابش غیرمستقیم	ارتفاع	ساعات آفتابی	جمعیت سال ۱۳۹۵
نوبهار	1487560	1129010	358551	1125	4201.799805	873
کلاته نوبهار	1485310	1125210	360097	1130	4284.810059	279
مظفرآباد	1476170	1116420	359749	1174	4145.22998	144
چشمه اوش	1471720	1112250	359473	1135	4250.25	40
ثقیه	1469820	1113330	356495	1053	4289.950195	166
شامکان	1467810	1111800	356008	1088	3967.219971	1882
باغ خیرات	1467480	1094360	373114	1507	3980.320068	148
علی آباد ترکمن	1458060	1100130	357938	1099	4240.970215	101
کلاوشک	1454020	1097020	356997	1064	4294.339844	213
کلاته سادات	1437820	1077780	360041	1158	4263.290039	252
علی آباد سید رحیم	1436650	1071180	365470	1278	4270.080078	206
کیزور	1427740	1065770	361969	1189	4304.609863	1222
هلاک آباد	1415850	1052620	363226	1346	4003.689941	97
یحیی آباد	1407680	1051100	356582	1081	4223.02002	839
برازق	1352610	992727	359887	1221	4169.890137	589
تندک	1713730	1332700	381027	1787	4110.22998	53
طرسک	1697170	1303930	393242	1989	4086.090088	40
چنار	1671580	1311780	359807	1740	3553.48999	363
بدرآباد	1623090	1232960	390129	1887	4218.669922	707
دهنو	1606920	1224850	382073	1716	4093.780029	649
خرسف	1592840	1217580	375263	1515	4096.509766	565
سبه	1584520	1202230	382293	1633	4307.359863	390
مج	1569720	1189540	380182	1629	4177.27002	37
قاسمی	1565340	1183160	382183	1730	4042.530029	89
پادر	1564810	1187330	377474	1657	3983	146
دیوان خوی	1555910	1184270	371633	1775	3472.800049	154
کلاته بیات	1550790	1180550	370245	1569	3704.23999	335
بسک	1548210	1177630	370577	1570	3727.040039	87
طرزرق	1547390	1188770	358618	1232	4070.080078	70
مهرنشانی/مهرشاهی	1547210	1177540	369671	1369	4256.97998	310
بیروت	1543210	1169410	373799	1442	4265.819824	106

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

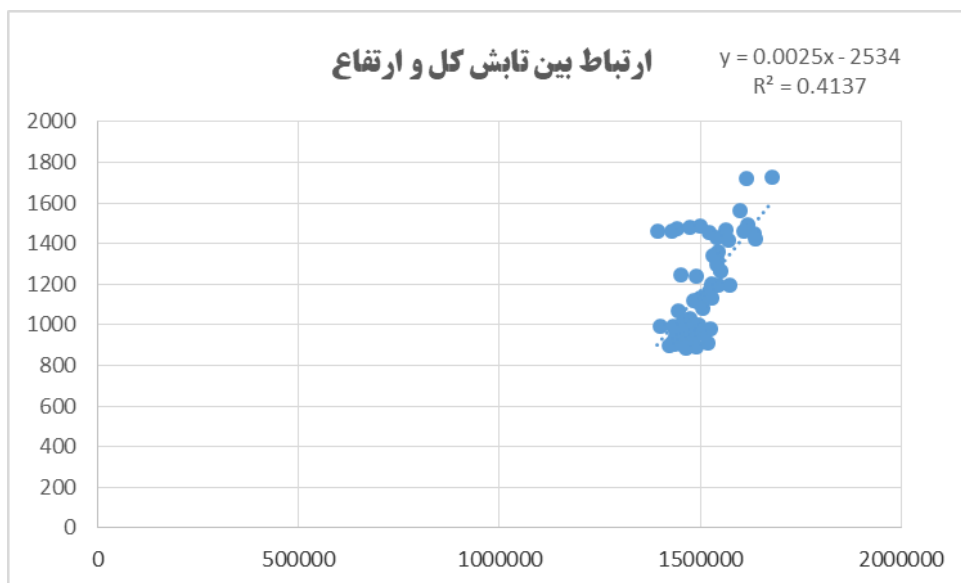
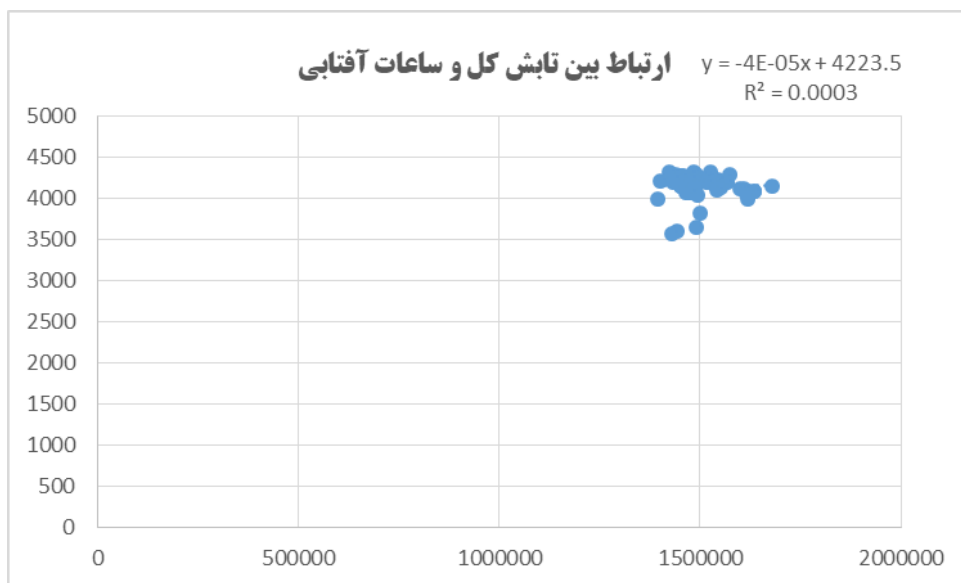
ساعات آفتابی است. نتایج نشان داد که روند تغییرات ارتفاع با انرژی خورشیدی رسیده به سطح زمین در سال ۲۰۱۷، همبستگی بالایی دارند، حداقل برای ایستگاه‌های منتخب تغییرات معناداری در روند آن‌ها رخ داده است.

در ادامه برای مشخص کردن مهم‌ترین عامل مؤثر بر تابش، همبستگی دو عامل ارتفاع و ساعات آفتابی با تابش کل محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۷ نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که همبستگی بین تابش کل و عامل ارتفاع به مراتب بیشتر از میزان

جدول ۷: همبستگی بین تابش کل و عوامل مؤثر بر تابش

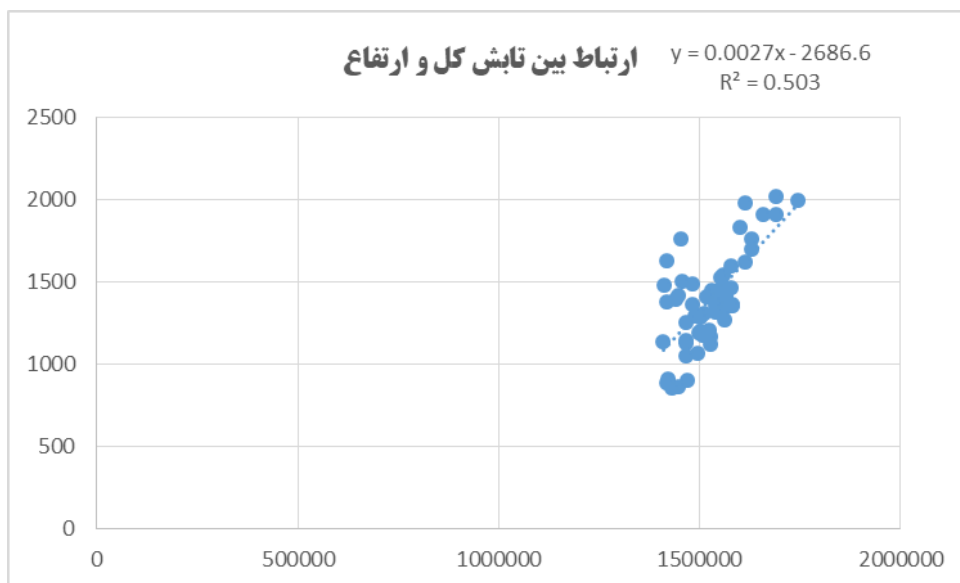
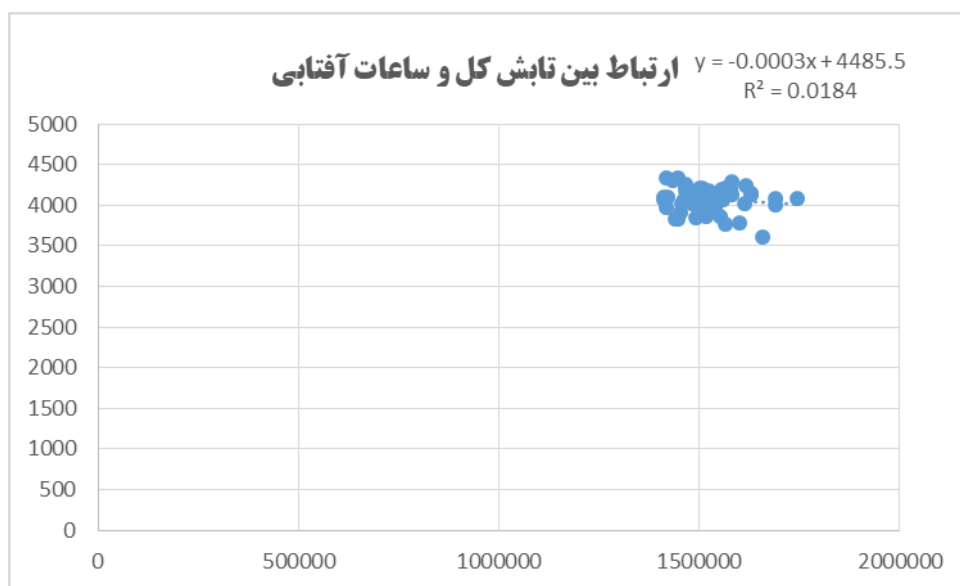
همبستگی (درصد)		بخش
ارتفاع	ساعات آفتابی	
۰/۴۱	۰/۰۰۰۳	مرکزی سبزوار
۰/۵۰	۰/۰۱	روداب
۰/۶۲	۰/۰۱	ششتمد

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸



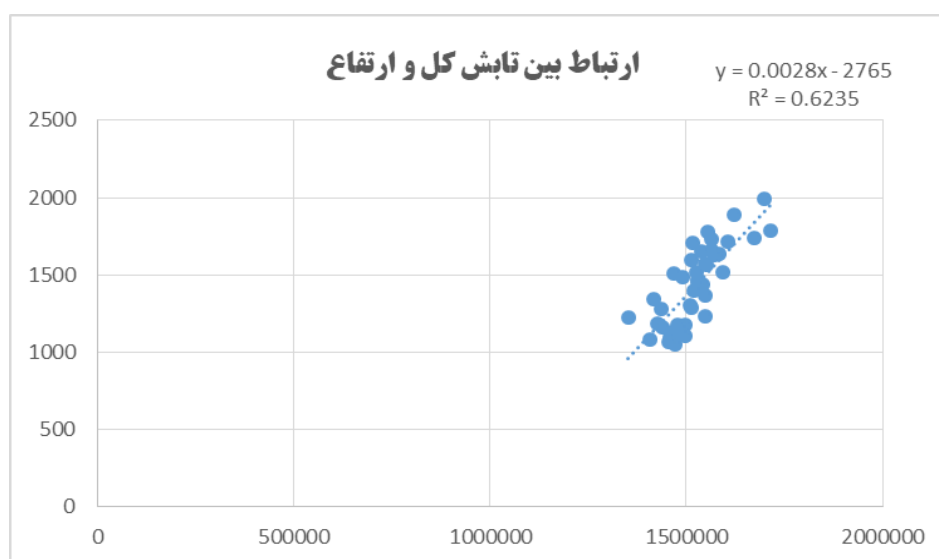
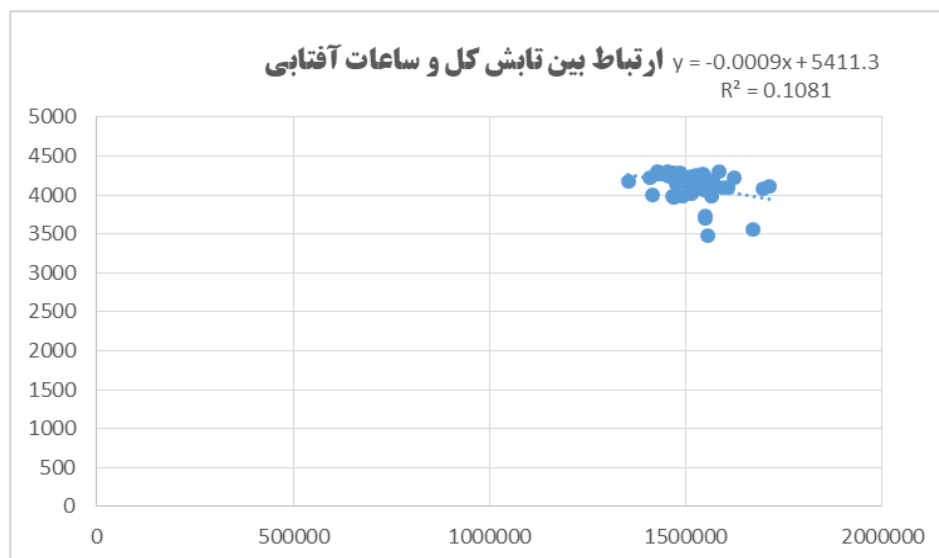
شکل ۹: نمودار همبستگی ساعات آفتابی و ارتفاع در بخش کراب

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸



شکل ۱۰: نمودار همبستگی ساعات آفتابی و ارتفاع در بخش فروغن

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

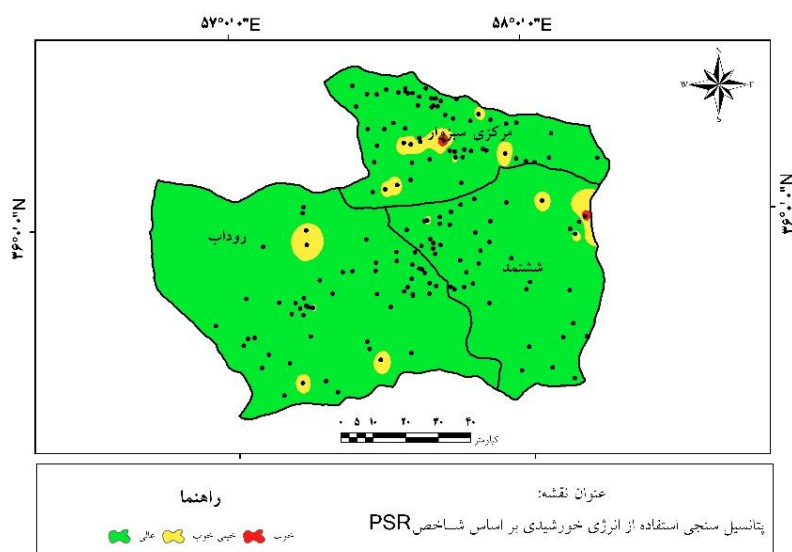


شکل ۱۱: نمودار همبستگی ساعات آفتابی و ارتفاع در بخش شامکان

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

استفاده از انرژی خورشیدی در مناطق روستایی پراکنده و با جمعیت کم است. مطالعه نقشه پتانسیل سنجی نشان می‌دهد که، ۹۵٫۸۲ درصد از سطح شهرستان دارای پتانسیل عالی، ۴٫۰۱ درصد دارای پتانسیل خیلی خوب و ۰٫۱۵ درصد دارای پتانسیل خوب هستند (شکل شماره ۱۲).

در نهایت پتانسیل تابش کلی در سطح منطقه مورد مطالعه، محاسبه و بررسی شد. بر این اساس دو روستای ایزی در بخش مرکزی و شامکان در بخش ششتمد دارای پتانسیل خوب، ۱۶ روستا دارای پتانسیل خیلی خوب و سایر روستاها یعنی ۱۴۱ روستا دارای تراز بیش از ۲ و درجه عالی تشخیص داده شدند (جدول‌های ۴ تا ۶). نتایج گویای پتانسیل



شکل ۱۲: پتانسیل سنجی استفاده از انرژی خورشیدی در منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

نتیجه

در سال‌های گذشته استفاده از انرژی‌های فسیلی به دلیل محدودیت و مسائل آلودگی، جای خود را به انرژی‌های تجدیدپذیر، از جمله انرژی خورشیدی داده‌است. آلوده‌نکردن محیط‌زیست و حتی آلودگی حرارتی، رایگان و نامحدود بودن و وجود منبع عظیم این انرژی در سرتاسر جهان، به خصوص ایران، مزایای این نوع انرژی است؛ از این رو انرژی خورشید به عنوان راهکاری مطمئن برای تولید گرما و الکتریسته مورد نیاز در زندگی انسان‌ها مورد توجه قرار گرفته است که باید به ضرورت حداکثر بهره‌برداری از انرژی خورشیدی توجه شود.

در این تحقیق مقدار تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین برای امکان‌سنجی استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک با استفاده از تابع تحلیل‌گر انرژی خورشیدی (Solar Analyst) که یکی از تکنیک‌های سنجش از دوری و GIS است، به طور خلاصه محاسبه شد. با توجه به بحث‌ها و بررسی‌هایی که از توزیع

متنوع تابش خورشیدی صورت گرفت، مقادیر تابش خورشیدی تقریباً در دامنه ۱۹۴۸۰۰۰-۴۰۱۷۰۰۰ قرار دارد و از آنجایی که حساسیت سلول‌های فتوولتائیک به تابش خورشیدی از آستانه تابش تا ۱۰۰۰ وات بر مربع است و آن را دریافت می‌کنند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تابش خورشیدی در این منطقه، برای زمان مورد مطالعه پتانسیل لازم را برای اجرای سامانه‌های فتوولتائیک خورشیدی دارد. نتایج نشان دادند که روند تغییرات ارتفاع با انرژی تابش کل خورشید همبستگی بالایی دارند. نقشه پتانسیل سنجی انرژی خورشیدی نشان می‌دهد که استفاده از انرژی خورشیدی در مناطق روستایی پراکنده و با جمعیت کم، بسیار زیاد است. همچنین مطالعه نقشه پتانسیل سنجی گواه این است که، ۹۵٫۸۲ درصد از سطح شهرستان دارای پتانسیل عالی، ۴٫۰۱ درصد دارای پتانسیل خیلی خوب و ۰٫۱۵ درصد دارای پتانسیل خوب هستند.

منابع

- احمدی‌زاده، سعید (۱۳۸۲). تعیین و به‌کارگیری مدل‌های کمی اکولوژیک در محیط GIS. رسالهٔ دکترا. دانشگاه تربیت مدرس. صفحات ۶۸-۷۴.
- اسفندیاری، علی (۱۳۹۰). پتانسیل‌سنجی نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان با استفاده از GIS، همایش ملی ژئوماتیک. تهران.
- حیدری، مصطفی (۱۳۸۸). مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی در ایران، نشریهٔ مبدل گرمایی.
- رحیمی‌خوبف، علی؛ پریسا صابری؛ سیدمحمدرضا بهبهانی؛ محمدهادی نظری‌فر (۱۳۹۰). برآورد تابش خورشید رسیده به سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نوا و روابط آماری در جنوب‌شرق تهران، مجلهٔ علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. علوم آب و خاک. سال پانزدهم. دانشگاه صنعتی اصفهان. شمارهٔ ۵۶. صفحات ۷۹-۸۹.
- سبزی‌پور، علی‌اکبر؛ مریم بیات‌ورکشی (۱۳۸۹). ارزیابی دقت روش‌های شبکهٔ عصبی مصنوعی و عصبی-فازی در شبیه‌سازی تابش کل خورشیدی، مجلهٔ پژوهش فیزیک ایران. سال پانزدهم. شمارهٔ ۱۰. اصفهان. صفحات ۳۴۷-۳۵۷.
- کاویانی، محمدرضا (۱۳۸۱). تنگناهای انرژی و ارزیابی پتانسیل انرژی خورشیدی در ایران، مجلهٔ دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی اصفهان (مطالعات و پژوهش‌های دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی). شمارهٔ ۳۱-۳۰.
- معینی، سام؛ شهرام جوادی؛ محسن کوبکی؛ محسن دهقان منشادی (۱۳۸۹). برآورد تابش خورشیدی در ایران با استفاده از یک مدل بهینه، نشریهٔ انرژی ایران. سال ۱۳. شمارهٔ ۲. تهران. صفحات ۱-۱۰.
- موسوی‌بایگی، محمد؛ اشرف بتول (۱۳۹۰). شناسایی مناطق با کمترین میزان ابرناکی به‌منظور پهنه‌بندی نواحی پرتابش کشور، نشریهٔ آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). سال ۲۵. شمارهٔ ۳. مشهد. صفحات ۶۶۵-۶۷۵.
- هوشنگی، نوید؛ علی‌اصغر آل‌شیخ؛ حسین حلالی (۱۳۹۳). بررسی منطقه‌ای پتانسیل تابش خورشیدی با ارزیابی و بهینه‌سازی روش‌های درون‌یابی، در سطح کشور ایران، فصلنامهٔ برنامه‌ریزی منطقه‌ای. سال چهارم. شمارهٔ ۶. صفحات ۱-۱۶.
- ولیزاده‌کامرانی، خلیل (۱۳۹۳). برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در آذربایجان شرقی به روش استنقر با استفاده از GIS، نشریهٔ علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی. سال ۱۸. شمارهٔ ۴۹. دانشگاه تبریز. صفحات ۳۳۴-۳۱۷.
- موسوی‌بایگی، محمد؛ بتول اشرف؛ آمنه میان‌آبادی (۱۳۸۹). بررسی مدل‌های مختلف برآورد تابش خورشیدی به‌منظور معرفی مناسب‌ترین مدل در یک اقلیم نیمه‌خشک، نشریهٔ آب و خاک. جلد ۲۴. شمارهٔ ۴. صفحات ۸۴۴-۸۳۶.
- مرادی، سعید (۱۳۸۴). تنظیم شرایط محیطی، تهران. انتشارات آشیان. صفحات ۱۰۴-۷۹.
- Addiscott, T. M., and Whitmore, A. P (1987). Computer simulation of changes in soil mineral nitrogen and crop nitrogen during autumn, winter and spring: Journal. Agric. Sci. (Cambr), 109, 141-15.
- Almorox, J. and Hontoria, C (2004). Global Solar Radiation Estimation Using Sunshine Duration in Spain, Energy Conversion and Management, Vol. 45, No. 9-10, PP.1529-1535.
- Batles, F. J., Bosch, J. L., Tavor-Pescador, J., Martinez-Durban, M., Ortega, R & Miralles, I (2008). Determination of atmospheric parameter to estimate global radiation in areas of complex topography: Generation of global irradiation map: Energy Conversion and Management, 49, 336-345.

- Hottel, H. C & Whillier, A (1958). Evaluation of Flat-Plate Solar Collector Performance, Transaction of Conference on the Use of Solar Energy, II: 74-104.
- Kenisarin, M (2007). Solar Energy Storage Using Phase Change Materials, PP. 1913-1965.
- Martinez-Durban, M., Zorzalejo, L. F., Bosch, J. L., Rosiek, S., Polo, J., and Batlles. F. J (2009). Estimation of global daily irradiation in complex topography zones using digital elevation models and METEOSAT images: Comparison of the results: Energy Conversion and Management; 50, 2233-2238.
- Piedallu, C., and Gegout, J (2008). Efficient assessment of topographic solar radiation to improve plant distribution models: Agricultural and Forest Meteorology, 148, 1696-1706.
- Tabik S., A. Villegas, E.L. Zapata and L.F. Romero (2012). A Fast GIS-tool to compute the Maximum Solar Energy on Very Large Terrains. Procedia Computer Science, 9, PP.364-372.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith, (1998). Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper 56. United nation food and Agriculture Organization, Rome, P:258.
- Iziomon, M.G. & H. Mayer (2002). Assessment of some global solar radiation parameterizations. 64 (2): 1631-1643.
- Batles, F. J., Bosch, J. L., Tavor-Pescador, J., Martinez-Durban, M., Ortega, R., and Miralles, I(2008).Determination of atmospheric parameter to estimate global radiation in areas of complex topography: Generation of global irradiation map: Energy Conversion and Management, 49, 336-345.
- Dincer, I (2000). Renewable Energy and Sustainable Development: A Crucial Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, PP.157-175.
- Gastli A. & Y. Charabi (2010). Solar electricity prospects in Oman using GIS-based solar radiation maps. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, PP: 790-797.
- Gastli, A., and Charabi, Y (2010). Solar electricity prospects in Oman using GIS-based solar radiation maps: Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 790-797.
- Gastli, A & Charabi, Y (2010). Solar electricity prospects in Oman using GIS-based solar radiation maps: Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 790-797.
- Holstein, B (2015). Analysing Photovoltaic Potential Using a Geographic Information System: a Case Study of Prince William County Public Schools) Master of Environmental Science and Policy (Faculty of the USC Graduate School University of George Mason University.
- Hoogwijk, M. M (2004). On the global and regional potential of renewable energy sources, Universiteit Utrecht, Faculteit Scheikunde.

