

کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل‌های تجربی در برآورد پتانسیل انرژی تابشی خورشید در شهرستان سیرجان

محسن پورخسروانی^۱

علی مهربانی^۲

صادق کریمی^۳

مینا عزیزی^۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۰۷

چکیده

انرژی یکی از مهم‌ترین عوامل در پیشرفت و توسعه جوامع بشری و از فاکتورهای ضروری در توسعه اقتصادی، اجتماعی و ارتقای کیفیت زندگی است. در همین راستا پژوهش حاضر سعی دارد انرژی تابشی خورشید در شهرستان سیرجان را پایش نماید. شهرستان سیرجان به دلیل دارا بودن میانگین تعداد ۳۲۳۰ ساعات آفتابی شامل تعداد ۹۱۳ ساعت در فصل بهار، ۱۲۰۰ ساعت در تابستان، ۷۷۰ ساعت در پاییز و ۶۹۴ ساعت در زمستان و از سوی دیگر قرار داشتن دشت ابراهیم‌آباد سیرجان با ارتفاع ۱۷۱۰ متر به‌عنوان مرتفع‌ترین دشت کشور از پتانسیل بالایی در دریافت انرژی تابشی خورشید برخوردار است. برای رسیدن به این هدف از روش‌های تحلیل تابش خورشیدی (Solar Analyst) در سامانه اطلاعات جغرافیایی، تکنیک سنجش از دور و مدل تجربی آنگسترم استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که، طبق مدل تجربی آنگسترم و برآورد تابش طول موج کوتاه خورشیدی به‌صورت مستقیم، بیشترین انرژی دریافتی در بخش‌های جنوبی شهرستان به میزان ۷۳۳۷۰ تا ۷۳۴۳۶ وات ساعت بر مترمربع در سال می‌باشد و با حرکت به سمت بخش‌های شمالی شهرستان از این مقدار کاسته می‌شود. همچنین براساس روش تحلیل تابش خورشیدی (Solar Analyst) با در نظر گرفتن توپوگرافی شهرستان و محاسبه شیب زمین، بیشترین میزان انرژی دریافتی در طول ۱۲ ماه از سال، به‌ترتیب مربوطه به ماه‌های جولای با wh/m^2 ۲۰۰۰۰۰ تا ۲۵۲۰۰۰ (وات ساعت بر هر مترمربع)، ژوئن با wh/m^2 ۱۷۰۰۰۰ تا ۲۴۸۳۴۱، می با wh/m^2 ۱۹۰۰۰۰ تا ۲۴۷۶۲۷ و آگوست با wh/m^2 ۱۹۰۰۰۰ تا ۲۳۴۵۰۰ می‌باشد. این مقدار انرژی بخش‌های شرق، شمال‌شرق و جنوب‌شرقی شهرستان را شامل می‌شود که به‌دلیل وجود ارتفاعات بالا و ضخامت کمتر جو در بخش شرقی شهرستان میزان دریافت انرژی تابشی بیشتر است. همچنین پایش انرژی تابشی خورشید رسیده به سطح با استفاده از تکنیک سنجش از دور به‌دلیل توانایی جمع‌آوری سیگنال‌های پیوسته زمانی و مکانی در بالای اتمسفر نشان می‌دهد که، بیشترین میزان تابش لحظه‌ای در فصل تابستان ۵۹۷/۶ - ۸۴۵/۶ وات ساعت بر مترمربع و مربوط به بخش‌های غرب، شمال، شمال‌غربی، جنوب و جنوب‌غربی شهرستان سیرجان است. این میزان تابش لحظه‌ای با روند کاهشی در سایر فصول سال نیز در این بخش‌های شهرستان دارای بیشترین دریافت تابش لحظه‌ای می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: انرژی تجدیدپذیر، تکنیک سنجش از دور، روش تحلیل تابش خورشیدی، مدل آنگسترم، شهرستان سیرجان

۱- دانشجویار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران (نویسنده مسئول) pourkhosravani@uk.ac.ir

۲- استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران mehrabi@uk.ac.ir

۳- دانشجویار آب و هواشناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران karimi.s.climatologist@uk.ac.ir

۴- کارشناس ارشد مخاطرات طبیعی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران azizi@ens.uk.ac.ir

۱- مقدمه

مؤثر می‌باشند به همین علت به منظور پایش انرژی تابشی رسیده به سطح از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. استفاده از مدل‌های تجربی، روش‌های سنجش از دور و استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) از مهم‌ترین روش‌ها می‌باشند که توسط محققین مختلف در این زمینه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در همین راستا برای اولین بار آنگسترم در سال ۱۹۲۴ با استفاده از داده‌های اقلیمی مدل ساده‌ای را برای تخمین انرژی تابشی رسیده به سطح زمین ارائه نمود (Angstrom, 1924: 121). بعد از آنگسترم دانشمندان مختلفی با دخالت عوامل بیشتر سعی در بهبود مدل آنگسترم نمودند که این تلاش‌ها منجر به اصلاح مدل آنگسترم در سال ۱۹۴۰ شد (Prescott, 1940: 114).

بعد از آن پژوهش‌های مختلفی برای تخمین انرژی تابشی رسیده به سطح صورت گرفت. از جمله، بونوا و همکاران^۱ (۲۰۲۱)، مدل تجربی، تکنیک‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و روش‌های مجموعه درختی را در برآورد تابش روزانه جهانی خورشید (GSR) در پنج نقطه کشور مراکش مورد آزمایش قرار داده‌اند و بهترین مدل در هر ایستگاه براساس سه شاخص آماری ضریب همبستگی (R)، میانگین خطای مطلق نرمال شده (nMAE) و خطای مربع ریشه نرمال شده (nRMSE) انتخاب شده است. نتایج حاصل از مجموعه داده‌های اعتبارسنجی نشان داد که روش جنگل تصادفی از نظر دقت از همه مدل‌های آزمایش شده برتر است.

کائو و همکاران^۲ (۲۰۲۰)، یک معیار بهینه برای پهنه‌بندی تابش خورشیدی با استفاده از خوشه‌بندی براساس داده‌های بین ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۷ از ۱۱۲ ایستگاه اندازه‌گیری تابش خورشیدی در چین، ارائه نموده و مدل‌های منطقه با روابط خطی بین شاخص وضوح و مدت زمان نسبی آفتاب براساس داده‌های هر منطقه ایجاد کرده‌اند. نتایج پژوهش نشان داده است که مدت زمان نسبی آفتاب، معیار بهینه برای پهنه‌بندی تابش خورشید است.

امروزه انرژی یکی از نیازهای اولیه زندگی بشر و یک ضرورت برای استمرار توسعه اقتصادی، تدارک و تأمین رفاه و آسایش زندگی بشری است. از طرفی انرژی یکی از عوامل مهم تولید در بخش صنعت و عامل تسهیل‌کننده فرآیند خدمات در بخش‌های غیرتولیدی به شمار می‌رود (تحسینی و رحمانی، ۱۳۹۱: ۲۵)، به طوری که می‌توان انرژی را یکی از عوامل اصلی و دخیل در رشد اقتصادی جوامع پیشرفته دانست (مرزبان، ۱۳۹۳: ۱). دو چالش عمده سوخت‌های فسیلی یعنی تجدیدنپذیر بودن این سوخت‌ها و همچنین آلودگی‌های زیست‌محیطی که به واسطه مصرف این سوخت‌ها ایجاد می‌شود (Yokan, 2001: 839)، باعث شده تا توجه جهانی بر روی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر متمرکز شود (Kahraman and Kaya, 2010: 6270) به گونه‌ای که در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ سرانه تولید انرژی خورشیدی در دنیا ۱۰/۳ درصد افزایش یافته است (Zohoori, 2012: 850). در این رابطه انرژی خورشیدی یکی از ایمن‌ترین، مؤثرترین و اقتصادی‌ترین منابع انرژی است که پتانسیل تبدیل شدن به منبع اصلی انرژی در آینده نزدیک را دارد (Dincer, 2000: 157). باید توجه داشت که گام اول برای دستیابی به این هدف پایش مکانی انرژی تابشی رسیده به سطح در مناطق مختلف می‌باشد.

تخمین تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین کاربردهای زیادی در علوم معماری، مهندسی انرژی، کشاورزی و هیدرولوژی، شبکه‌ها و برنامه‌ریزی آبیاری دارد (Almorox and Hontoria, 2004: 1529). از طرفی اطلاع دقیق از مقدار و شدت تابش خورشیدی در یک مکان برای گسترش سایت‌های خورشیدی و در بلندمدت، برآورد تغییر کارایی سیستم‌های خورشیدی ضروری است (Hottel and Whillier, 1958: 74) با توجه به اینکه پارامترهای مختلفی همچون، اقلیم (ساعات آفتابی، ابرناکی، رطوبت نسبی، گرد و غبار)، توپوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت شیب)، عرض جغرافیایی و غیره در میزان انرژی تابشی رسیده به سطح

1- Bounoua et al

2- Cao et al

جهانی در سطح افقی به‌کار بردند. در این پژوهش استفاده از یک مدل را برای پیش‌بینی کل سال کافی نمی‌دانند و به همین دلیل یک سیستم ترکیبی هوشمند را، براساس قوانین هوشمند پیشنهاد کرده و چهارده مدل پیش‌بینی مناسب را ذکر کرده‌اند. به منظور آزمایش و ارزیابی مدل‌های پیشنهادی، مجموعه داده‌های هواشناسی پنج سال (۲۰۰۴-۲۰۰۰) را برای شهر جنوبی الجزایر (Tamanrasset) مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج به‌دست آمده نشان داده است که مدل ترکیبی جدید می‌تواند تابش خورشید جهانی را با دقت عالی در این مکان پیش‌بینی کند.

برای و کینس^۵ (۲۰۰۹)، در پژوهشی با عنوان پتانسیل سنجی تأمین منابع انرژی جهانی برای تمرکز بر پایه داده‌های تابشی خورشیدی جهانی با استفاده از تصاویر سنجش از دور و همچنین معیارهای جمعیت، نزدیکی به خطوط انتقال نیرو و حداقل زمین مورد نیاز در محیط GIS به مکانیابی نیروگاه خورشیدی پرداخته‌اند.

همچنین سوزن و همکاران^۶ (۲۰۰۴)، در پژوهشی با عنوان پتانسیل انرژی خورشیدی در ترکیه، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به برآورد پتانسیل تابش خورشیدی در ترکیه پرداخته‌اند. آنان در مطالعه خود از داده‌های هواشناسی و جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، ماه، میانگین ساعت آفتابی و میانگین دما) ۱۷ ایستگاه ترکیه به مدت سه سال برای ورودی مدل خود بهره گرفتند.

ایزومون و مایر^۷ (۲۰۰۲) مدل‌های کاستن (بر مبنای ابرناکی) و آنگستروم-پرسکات، گارج و سیوکف (بر مبنای ساعات آفتابی) را مورد بررسی قرار دادند، که در نهایت مدل آنگستروم-پرسکات و گارج به‌عنوان بهترین مدل‌های برآورد تابش خورشیدی در این مناطق انتخاب شدند.

اصغری و بلواسی^۸ (۱۳۹۹) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و با به‌کارگیری الگوریتم سبال در شهرستان الشتر بیشترین درصد تابش خالص در ماه سپتامبر در دسته ۸۰۰-

استون و همکاران^۱ (۲۰۲۰)، به منظور برآورد دقیق میزان تابش خورشیدی، از داده‌های وارد شده ایستگاه‌های اندازه‌گیری برای توسعه و تأیید مدل‌های تابش با استفاده از مدل‌های رگرسیون و چندرگرسیون برای برآورد تابش جهانی خورشید روزانه و ماهانه برای مناطق اورگوپ، کارامان، نیگده، اسپارتا، اسکندرون و آدانا استفاده نموده‌اند. همچنین از پارامترهای آماری (R2 و RMSE, MPE, MBE) برای ارزیابی عملکرد مدل‌های به‌دست آمده استفاده شده است. علاوه بر این، ویژگی‌های آب و هوایی مناطق انتخاب شده برای تجزیه و تحلیل قابلیت استفاده از مدل‌های به‌دست آمده برای مناطق دیگر که دارای ویژگی‌های اقلیمی مشابه هستند، نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

دمیرکان و همکاران^۲ (۲۰۱۸) مقایسه‌ای بین مدل‌های تجربی و توسعه مدل‌های جدید برای برآورد تابش خورشید جهانی در سطح افقی در شهر موگلا ترکیه ارائه می‌دهند. در این پژوهش ۱۰۵ مدل برای برآورد تابش خورشید جهانی در استان مولا با استفاده از برنامه نرم‌افزاری MATLAB براساس آزمون‌های آماری مانند میانگین خطای جانب‌داری (MBE)، میانگین درصد خطا (MPE)، میانگین خطای جانب‌داری مطلق (MAPE)، خطای میانگین مربع خطا (RMSE) و ضریب تعیین (R2) مورد ارزیابی قرار گرفته است و نتایج نشان می‌دهد که تنها دو مدل Veeran and Kumar و مدل Chegaar and Chibani با حدود $\pm 10\%$ خطای آماری قابل قبول هستند.

الاجیب و همکاران^۳ (۲۰۱۷)، ضمن ارائه مدل‌های تجربی جدید برای تابش جهانی خورشید، تابش خورشیدی رسیده به سطح را با استفاده از داده‌های دما، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و تابش فرازمینی ارائه کردند.

آچور و همکاران^۴ (۲۰۱۷)، چهارده مدل تابش خورشیدی را برای ارزیابی متوسط ماهانه تابش خورشیدی

1- Ustun et al

2- Demircan et al

3- Elagib et al

4- Achour et al

5- Breyer and Knies

6- Sozner et al

7- Iziomon and Mayer

با استفاده از کمیت‌هایی نظیر درصد متوسط خطا، متوسط خطای مبنا، جذر میانگین مربعات خطا، خطای استاندارد تخمین و ضریب همبستگی صورت پذیرفته است و کلیه ارقام مقایسه‌ای محاسبه شده در جداولی طبقه‌بندی شده و براساس آن‌ها مدل بهینه برای شهرستان بم انتخاب شده است و در نتیجه با استفاده از روابط پیشنهادی برای شهرستان بم، امکان مدل‌سازی برای برآورد شدت تابش خورشید در هر زمان از سال امکان‌پذیر است.

فیضی‌زاده و دیده‌بان (۱۳۹۴) ضمن برآورد دمای سطح زمین در حوضه مهاباد با استفاده از تصاویر لندست و الگوریتم پنجره مجزا نتیجه می‌گیرند که، مناطق با پوشش گیاهی انبوه و پوشیده از آب دمای کم و مناطق با پوشش گیاهی کم و خاک لخت دمای بالایی را نشان می‌دهند. گرچه خورشید یک منبع عظیم انرژی است اما برون‌داد انرژی آن در سطح زمین به‌طور یکسان عمل نمی‌کند، به‌طوری‌که میزان تابش انرژی خورشیدی در نقاط مختلف جهان متغیر بوده و در مناطق با عرض‌های جغرافیایی پایین بیشترین مقدار را داراست.

مبین و همکاران (۱۳۹۴) یک مدل عمومی جدید برای تخمین RS در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران با استفاده از داده‌هایی مانند حداقل و حداکثر دما در مقیاس روزانه، مختصات جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی) و ارتفاع از سطح دریا در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۷۰ مربوط به ایستگاه‌های همدیدی اصفهان، کرمان، مشهد، طبس و خور و بیابانک معرفی نموده‌اند و نتایج حاکی از آن است که مدل عمومی معرفی شده در این تحقیق، با میانگین کارایی مدل ۰/۸۰، میانگین خطای معیار ۰/۰۱-، میانگین جذر مربعات خطا ۶/۵ و میانگین ضریب مجموع باقیمانده‌ها ۰/۰۶۹ برانده‌ترین مدل عمومی برآورد تابش خورشیدی روزانه (RS) در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران می‌باشد.

پیری و همکاران (۱۳۹۲) به منظور برآورد تابش خورشیدی از مدل نروفازی (ANFIS) و مدل‌های تجربی انگستروم و هارگریوز - سامانی استفاده نمودند. در این

۶۰۰ وات بر متر مربع با مقدار ۶۹/۸۶ درصد و در ماه ژانویه در دسته ۶۰۰-۴۰۰ وات بر متر مربع با مقدار ۶۰/۱۲ درصد را محاسبه کرده‌اند.

نوری و همکاران (۱۳۹۸) برای برآورد میزان تابش خورشیدی دریافتی سطح زمین از یک مدل بهینه تلفیقی از رابطه انگستروم و روش رگرسیون خطی و اطلاعات مربوط به پارامتر ساعات آفتابی و همچنین مقدار میانگین ماهیانه تابش دریافتی سطح زمین از داده‌های پانزده‌ساله (۲۰۰۵ تا ۲۰۱۹ میلادی) ایستگاه هواشناسی بجنورد استفاده کرده‌اند. نتایج به‌دست آمده با مدل‌های دیگر و به‌کمک شاخص‌های میانگین خطای بایاس (MBE) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) مقایسه شده و نتایج به‌دست آمده نشان داده است که مدل تحقیق اخیر در مقایسه با دیگر مدل‌های موجود از دقت بالا و خطای کمتری برخوردار است.

مصعبی و همکاران (۱۳۹۸)، در پژوهشی با عنوان ارزیابی کارایی مدل‌های برآورد تابش خورشید در سطح زمین، ضمن مقایسه خروجی مدل تجربی انگستروم- پرسکات با داده‌های اخذ شده از سنجنده‌ی مادیس (APRS) در برابر خروجی همین مدل با داده‌های پایش شده در سطح زمین (APGS)، نتیجه می‌گیرند که مدل APRS دقت بهتری نسبت به مدل APGS در روزهای ابری دارد.

حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی تحت عنوان برآورد تابش خورشیدی دریافتی سطح زمین در استان اصفهان بیان می‌کنند که، فصل زمستان و پاییز در ماه‌های دسامبر و ژانویه دارای کمترین مقدار تابش دریافتی سطح زمین بوده، همچنین بیشترین مقدار دریافتی در این استان در ماه ژوئیه است.

جهانگیر و سلطانی (۱۳۹۶) میزان تابش آفتاب رسیده به زمین را براساس مدل‌های ارائه شده از قبیل انگستروم و پیچ با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در بین سال‌های ۱۹۵۷ تا ۲۰۰۵ در شهرستان بم واقع در استان کرمان، واسنجی کردند. بررسی دقت رابطه‌ها و برآورد میزان خطای هریک از آن‌ها، با انجام آزمون‌های متعارف و

موقعیت جغرافیایی و توپوگرافیک ایران موجب شده که بیابان‌های آن از پتانسیل بالایی در زمینه انرژی تابشی خورشید برخوردار باشند (نصیری، ۱۳۹۱: ۱۳). ایران کشوری با تعداد روزهای آفتابی زیاد بوده و از نظر مقدار دریافت انرژی تابشی خورشید در شمار مناسب‌ترین کشورهای جهان محسوب می‌شود. تقریباً ۸۰ درصد از مساحت کشور با حدود ۲۴۰ تا ۲۵۰ روز آفتابی در سال دارای میانگین سالانه تابش خورشیدی تقریبی ۴/۵ تا ۵/۴ کیلووات ساعت بر مترمربع است (Moghadam et al, 2011: 107). در همین راستا پژوهش حاضر سعی دارد با استفاده از روش‌های مختلف، انرژی تابشی رسیده به سطح در حوضه سیرجان را ارزیابی و پایش نماید.

۲- مبانی نظری تحقیق

انرژی نیروی محرکه فعالیت به‌شمار می‌آید که همواره در طبیعت به‌صورت پایدار بوده و تنها از حالتی به حالت دیگر تغییر می‌یابد. انرژی در چرخه طبیعت به‌صورت‌های گوناگونی مانند انرژی حرارتی، انرژی گرانشی، انرژی مکانیکی، انرژی شیمیایی، انرژی هسته‌ای و نور وجود دارد. از سوی دیگر انرژی از حیث منبع اصلی تولید آن به دو بخش انرژی تجدیدپذیر و انرژی تجدیدنپذیر تقسیم‌بندی می‌شود (ساکی و همکاران، ۱۳۹۵: ۴).

انرژی‌های تجدیدنپذیر، صورت‌هایی از انرژی هستند که از منابع استاتیکی حاصل می‌شوند و پس از استفاده کاهش یافته یا تمام می‌شوند. این نوع انرژی‌ها برای تولید به زمان بسیار طولانی و حتی میلیون‌ها سال نیازمند هستند و ناپایداری یکی از ویژگی‌های اصلی آن‌ها است. نمونه‌های انرژی‌های تجدیدنپذیر می‌توان به نفت، گاز، زغال سنگ و اورانیوم و انرژی هسته‌ای اشاره کرد (معینی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۲). اما انرژی تجدیدپذیر یا انرژی برگشت‌پذیر به انواعی از انرژی گفته می‌شود که منابع اصلی تولید آن، قابلیت تولید مجدد در بازه زمانی کوتاه را دارد. این انرژی به اشکال مختلف انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی زمین

پژوهش برای یافتن مدل مناسب برآورد شدت تابش خورشیدی رسیده به سطح از داده‌های تابش ایستگاه‌های سینوپتیک استان‌های سیستان و بلوچستان و خراسان شمالی در دوره آماری به‌ترتیب پنج ساله و هفت ساله استفاده شده که این داده‌ها شامل آمار ساعات آفتابی، دمای حداکثر، دمای حداقل و رطوبت نسبی متوسط است. در این تحقیق، دو روش تجربی که به‌ترتیب مبتنی بر ساعات آفتابی و دمای هوا هستند، برای برآورد تابش روزانه خورشید در دو شهر زاهدان و بجنورد واسنجی و ارزیابی شده است. همچنین نتایج به‌دست آمده از مدل نروفازی با مدل‌های تجربی مقایسه و مشخص شده که مدل نروفازی برآورد بهتری نسبت به دو مدل تجربی در برآورد تابش داشته است.

زمانی محی‌آبادی (۱۳۹۲) با استفاده از شبکه عصبی، مدلی برای پیش‌بینی لحظه‌ای تابش در شهر رفسنجان طراحی کرده است و از مقایسه مقادیر به‌دست آمده از مدل طراحی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط پیرانومتر برای یک سال، مشخص شده که شاخص‌های آماری RMSE, MBE و t برای شبکه عصبی به‌ترتیب ۰/۰۳۷، ۳۶/۵۳۶۶ و ۰/۰۲۳۲ می‌باشند که نمایانگر عملکرد خوب مدل طراحی شده در شبکه عصبی است.

باقری طولابی و همکاران (۱۳۹۲) روش جدیدی به‌منظور برآورد متوسط روزانه تابش خورشیدی در ماه بر روی سطح افقی، بر مبنای مدل آنگسترم و با استفاده از الگوریتم زنبورها با برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار MATLAB معرفی کرده‌اند و ضرایب تجربی مدل آنگسترم برای چهار منطقه آب و هوایی مختلف ایران در محیط نرم‌افزار محاسبه شده و مقدار متوسط روزانه تابش کلی خورشید تخمینی با روش پیشنهادی در ماه برای مناطق نمونه ارائه شده است.

در نهایت مقایسه بین نتایج به‌دست آمده از روش پیشنهادی و روش‌های دیگر، کارایی تکنیک پیشنهادی را برای پیدا کردن تابش خورشیدی برای هر چهار منطقه نمونه ایران ثابت کرده‌اند.

به‌طور کلی مدل‌های تجربی برآورد تابش طول موج کوتاه خورشیدی را می‌توان به سه دسته تقسیم‌بندی کرد: اول مدل‌هایی که مبنای آن‌ها ساعات آفتابی است. دوم مدل‌هایی که مبنای آن‌ها دمای هوا است و سوم مدل‌هایی که بر مبنای ابرناکی محاسبه می‌شوند. اگرچه تعداد زیادی از پارامترهای هواشناسی مانند رطوبت نسبی، ابرناکی، دما و ساعات آفتابی بر مقدار تابش خورشیدی مؤثر می‌باشند، اما تحقیقات متعدد نشان داده است که تأثیر ساعات آفتابی بر مقدار تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین، بیش از سایر پارامترها است (موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۳۶).

با توجه به تأثیر توپوگرافی سطح زمین بر مقدار انرژی تابشی رسیده به سطح، یکی از مشکلات اساسی مدل‌های تجربی نادیده گرفتن این پارامتر در برآورد انرژی تابشی در مناطق مختلف است. به همین علت سامانه سیستم اطلاعات جغرافیایی با دخالت پارامترهای سطح زمین در روابط تجربی این نقیصه را به میزان قابل توجهی مرتفع ساخته است.

به‌طور کلی برای طراحی هر سامانه‌ای که از انرژی خورشیدی استفاده می‌کند، علاوه بر داده‌های نقطه‌ای، اطلاعات منطقه‌ای تابش نیز مورد نیاز است. افزون بر فراسنج‌های جوئی، تغییرات ارتفاع، جهت شیب و موانع موجود در مسیر تابش که در اثر تغییر ارتفاع به وجود می‌آیند، از جمله پارامترهای مؤثر در تابش کل رسیده به سطح زمین هستند. به‌علت نیاز روز افزون به اطلاعات پهنه تابش به‌صورت منطقه‌ای، اخیراً از امکانات موجود در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) با به‌کارگیری توپوگرافی ناحیه مورد بررسی استفاده می‌شود.

به منظور طراحی سامانه‌های تولید انرژی، اطلاعات دقیق در مورد توزیع فضایی این منبع تجدیدپذیر به مدت زمان طولانی و با وضوح زیاد نیاز است. معمولاً برآورد تابش خورشیدی براساس اندازه‌گیری‌های حاصل از شبکه‌های رادیوسنجی پراکنده به‌دست می‌آید و روش‌های درونیایی و

گرمایی، انرژی سوخت‌های گیاهی، انرژی هیدروژن، انرژی اقیانوسی، انرژی امواج دریاها و اقیانوس‌ها، انرژی جزر و مد دریاها و اقیانوس‌ها، انرژی حرارتی دریاها و اقیانوس‌ها و انرژی برق آبی می‌باشد که به‌صورت رایگان و به وفور در طبیعت یافت می‌شود (قائد و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۳۸).

در این بین انرژی خورشیدی مهم‌ترین منبع انرژی‌های تجدیدپذیر و به عبارتی منبع اصلی تمام انرژی‌های موجود در زمین است. مقدار متوسط انرژی تابشی خورشید که به یک مترمربع سطح عمود بر پرتوی خورشید در لبه خارجی اتمسفر می‌رسد، 136 kW/m^2 می‌باشد که به آن ثابت خورشیدی گفته می‌شود. همچنین کل منبع انرژی خورشیدی ۱۰۰۰۰ برابر مصرف انرژی فعلی بشر است که این موضوع اهمیت استفاده از انرژی خورشیدی را دوچندان می‌کند. به همین علت برآورد دقیق انرژی تابشی رسیده به سطح و شیوه استفاده از این منبع عظیم انرژی از موارد اساسی است که مورد توجه محققین مختلف بوده است. اندازه‌گیری مستقیم مؤلفه‌های انرژی خورشیدی در کشورهای در حال توسعه به دلایل تاریخی و اقتصادی فقط در معدودی از ایستگاه‌های هواشناسی انجام می‌شود. از این‌رو مدل‌های نظری برای برآورد کمیت‌های خورشیدی پیشنهاد شده است. روشی که در اغلب این مدل‌ها به‌کار رفته است تعریف روابط تجربی بین مقدار کل تابش خورشیدی و کمیت‌های دیگری است که اندازه‌گیری آن‌ها خارج از ایستگاه‌های هواشناسی امکان‌پذیر است (صفاری‌پور و مهرابیان، ۱۳۸۸: ۳). اما علیرغم اهمیت اندازه‌گیری این پارامتر به دلیل مشکلات اقتصادی، وسایل و ابزار مناسب اندازه‌گیری تابش مانند سایر پارامترهای هواشناسی از جمله دما و بارش در همه مناطق موجود نبوده و این مسئله باعث ترغیب دانشمندان و محققان به سوی ارائه و استفاده از مدل‌های تابش شده است. مقادیر تابش به روش‌های مختلفی از جمله روابط تجربی و رگرسیونی، استفاده از فن‌سنجش از دور و شبکه‌های عصبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) محاسبه می‌شوند.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (GIS)

کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و ... / ۷۷

با توجه به کمبود ایستگاه‌های دارای ادوات تابش‌سنجی و همچنین وجود خلأهای آماری در ایستگاه‌های تشعشع‌سنجی، بشر همواره سعی در یافتن روش‌های آسان و سریع‌تر داشته است. به همین علت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای استخراج اطلاعات مورد نیاز از جمله این اهداف بوده است. لذا در سال‌های اخیر مدل‌های سنجش از دوری که ورودی آن‌ها از تصاویر ماهواره‌ای به دست می‌آید برای تخمین برخی از پدیده‌ها، از جمله تابش خورشید استفاده می‌شوند.

تصاویر ماهواره‌ای این مزیت را دارند که سطح وسیعی را پوشش می‌دهند و تغییرات مکانی پدیده‌ها در آن‌ها قابل بررسی است. همچنین به علت پوشش زمانی و مکانی بیشتر، دقت بالاتری در مقایسه با اندازه‌گیری‌های زمینی (به دلیل اینکه اندازه‌گیری‌های زمینی به صورت نقطه‌ای انجام می‌شوند و تعمیم دادن این نقاط به سطح با استفاده از روش‌های درون‌یابی دارای خطای بیشتری در مقایسه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای که به صورت پیوسته است، می‌باشد) دارند.

جمع‌آوری داده‌های ماهواره‌ای نیاز کمتری به عملیات نقشه‌برداری و کنترل زمینی دارند، بنابراین هزینه جمع‌آوری داده‌ها در واحد سطح به شدت کاهش می‌یابد. یکی دیگر از مزایای سنجش از دور توانایی جمع‌آوری سیگنال‌های پیوسته زمانی و مکانی در بالای اتمسفر است.

این ویژگی امکان برآورد تابش در مناطق دورافتاده را که در آن‌ها ایستگاه‌های تابش پراکنده است، فراهم می‌سازد. (مصعبی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۹۶۵). تفاوت عرض جغرافیایی در کشور ما عامل اصلی ایجاد تغییرات میزان دریافت انرژی خورشیدی در بین شمال و جنوب کشور است و شدت تابش خورشیدی دریافتی در سطح زمین به متغیرهایی از قبیل ارتفاع، جهت و اندازه‌ی شیب منطقه بستگی دارد. در نتیجه میزان دریافت انرژی تابش خورشید در نقاط مرتفع بیشتر از سایر مناطق است.

حوضه سیرجان به دلیل دارا بودن شرایط مورد نیاز

برونبایی روی این اندازه‌گیری‌ها صورت می‌گیرد تا مقدار تابش را بتوان در نقاط دورتر از ایستگاه‌های اندازه‌گیری برآورد کرد.

به علت وابستگی این روش‌ها به فاصله بین ایستگاه‌ها ممکن است مقدار تابش برآوردی دارای خطای قابل ملاحظه‌ای باشد. حتی اگر ایستگاه‌ها دارای فاصله‌ای نزدیک باشند، این روش‌ها در مناطقی با توپوگرافی پیچیده مانند کوهستان‌ها که تنوع تابش زیادی دارند، مناسب نخواهند بود. پیشرفت‌های به دست آمده در زمینه سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در سال‌های اخیر و استفاده از مدل رقومی زمین (DEM)^۱ در محاسبات تابش خورشیدی باعث بهبود در برآورد تابش شده است. نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی به راحتی با مدل‌های برآورد تابش کار می‌کند و قادر است تابش را برای هر نوع از توپوگرافی محاسبه کند (سبزی‌پرور و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۶).

در همین رابطه روش تحلیل تابش خورشیدی^۲ یکی از پرکاربردترین مدل‌های GIS برای برآورد تابش است. این ابزار با استفاده از مدل رقومی زمین به برآورد تابش مستقیم، تابش پخشیده و تابش کل می‌پردازد. پارامترهای مهم در این ابزار، کسر پخشیده^۳ و تراگسیلابی^۴ جو است که آن‌ها را به ترتیب با K و T نمایش می‌دهد. مدل رقومی این امکان را فراهم می‌کند تا بتوان در هر نقطه و در هر لحظه افق‌های مصنوعی^۵ و مکان نسبی خورشید را برآورد کرد (سبزی‌پرور و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۶). در حالت کلی یک مدل GIS را می‌توان به صورت فرآیند ترکیب یک سری نقشه‌های ورودی به کمک یک تابع به منظور تهیه یک نقشه خروجی فرض نمود. این مدل‌ها متکی بر داده‌ها^۶ و یا متکی بر دانش کارشناسی^۷ می‌باشند (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۳).

1- Digital Terrain Model

2- Solar Analyst

3- Diffuse Fraction

4- Transmission

5- Articial horizon

6- data driven

7- knowledge driven

۳-۲- روش تحقیق

پژوهش حاضر کاربردی بوده که به روش توصیفی-تحلیلی صورت گرفته است. داده‌های مورد نیاز از روش‌های کتابخانه‌ای و اسنادی (استفاده از اطلاعات و آمار سازمان‌ها) و داده‌های ماهواره‌ای تهیه شده است. برآورد انرژی تابشی رسیده به سطح زمین در منطقه مورد مطالعه به سه روش، استفاده از مدل تجربی آنگسترم، روش تحلیل تابش خورشیدی^۱ در سامانه اطلاعات جغرافیایی و روش سنجش از دور صورت گرفته است. ابزار تجزیه و تحلیل داده‌ها در پژوهش حاضر، تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور با استفاده از باند ۷ سنجنده مودیس با استفاده از نرم‌افزار ENVI و تجزیه و تحلیل میانگین ماهانه داده‌های اقلیمی از قبیل ساعات آفتابی، میزان بارندگی، میزان رطوبت نسبی، تعداد روزهای همراه با گرد و غبار، تعداد روزهای همراه با پوشش برف و تعداد روزهای ابری با استفاده از ایستگاه سینوپتیک شهرستان سیرجان و ایستگاه‌های سینوپتیک مجاور شهرستان (به دلیل کمبود تعداد ایستگاه سینوپتیک در منطقه مورد مطالعه) از قبیل کرمان، انار، شهربابک و رفسنجان برای بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ و همچنین استفاده از داده‌های کمی انرژی تابشی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های درونیابی صورت خواهد گرفت.

نقشه پایش مکانی انرژی تابشی رسیده به سطح برای فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان حوضه تهیه و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای Arc GIS و ENVI استفاده شد. به منظور برآورد تابش طول موج کوتاه خورشید با استفاده از سنجنده مودیس با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ استفاده شده است. از تصاویر سنجنده MOD05_L2 برای محاسبه آب قابل بارش در محدوده مادون قرمز نزدیک، MOD021 KM برای محاسبه انعکاس باریک باند ۷ بالای اتمسفری و پهن باند موج کوتاه بالای اتمسفری، MOD03 برای محاسبه زاویه زیت خورشیدی استفاده شده است. سپس تبدیل آلبودی

برای احداث نیروگاه خورشیدی از قبیل میانگین تعداد ۳۲۳۰ ساعات آفتابی با میانگین تعداد ۹۱۳ ساعت در فصل بهار، ۱۲۰۰ ساعت در تابستان، ۷۷۰ ساعت در پاییز و ۶۹۴ ساعت در زمستان (مجرد و مرادی، ۱۳۹۳: ۱۶۰)، و از سوی دیگر قرار داشتن دشت ابراهیم‌آباد سیرجان با ارتفاع ۱۷۱۰ متر به عنوان مرتفع‌ترین دشت کشور و نیز موقعیت قرارگیری این حوضه در تقاطع راه‌های چهار استان فارس، کرمان، هرمزگان و یزد و مسیر اصلی تهران - بندرعباس می‌تواند نقش مهمی را به منظور تولید انرژی و سهولت انتقال آن به سایر مناطق کشور بردارد.

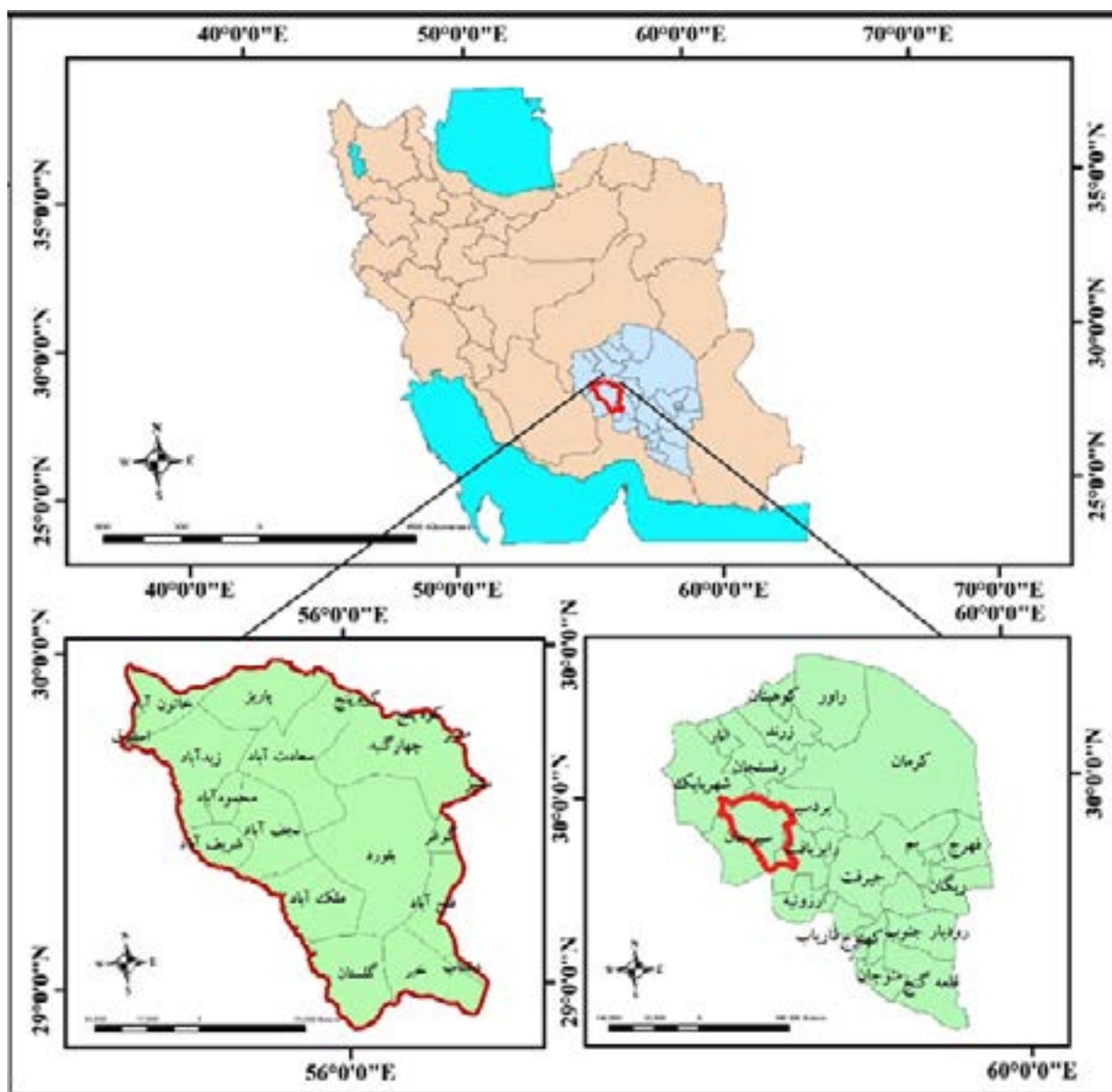
این پژوهش، با محاسبه مقدار انرژی تابشی رسیده به سطح حوضه مورد مطالعه با استفاده از روابط ریاضی و تجربی و سپس استفاده از تکنیک‌های زمین آمار و پردازش تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور، نقشه‌های توزیع انرژی تابشی رسیده به سطح تهیه شده است.

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، شهرستان سیرجان است که، در فاصله ۲۸ درجه و ۴۶ دقیقه و ۵۰ ثانیه تا ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه و ۱ ثانیه عرض شمالی، و ۵۵ درجه و ۱۱ دقیقه و ۲۰ ثانیه تا ۵۶ درجه و ۳۲ دقیقه و ۴۰ ثانیه طول شرقی واقع شده است. مساحت تقریبی منطقه مورد مطالعه ۱۸۴۸۱ کیلومتر مربع با متوسط ارتفاع ۱۷۱۰ متر از سطح دریاها آزاد است.

این شهرستان، دهستان‌های خاتون‌آباد، کوه پنج، مشیز، استبرق، پاریز، سعادت‌آباد، چهارگنبد، زیدآباد، شریف‌آباد، محمودآباد، بلورد، نجف‌آباد، گوغر، فتح‌آباد، ملک‌آباد، دشتاب، خبر و گلستان را شامل می‌شود. حوضه سیرجان در شرق، شمال شرقی و جنوب شرقی شهرستان سیرجان و در همسایگی شهرستان شهربابک و رفسنجان در شمال، شهرستان بردسیر در شرق و شهرستان بافت در جنوب شرقی واقع شده است (نگاره ۱).



نگاره ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

باریک باند به پهن باند به منظور برآورد تابش کل طول موج کوتاه لحظه‌ای با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شده است: (۲) تعیین شد. نجومی که بستگی به روز سال دارد^۱ و با استفاده از رابطه

$$d = 1 + 0.033 \cos \left(\text{DAY} \frac{2\pi}{365} \right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه (۲) DAY شماره روز سال است. مقدار زاویه داخل پراکنش بر حسب رادیان می باشد. مقدار α_s به زاویه زنیت خورشید، میزان آب قابل بارش و آلودگی بالای جو

1- Julian day

$$R_s^1 = \frac{a_s E_0 \cos(\theta_s)}{(1-\alpha)d} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱) R_s^1 تابش کل طول موج کوتاه خورشید، E_0 ثابت خورشیدی برابر با ۱۳۶۷ وات بر متر مربع، θ_s زاویه زنیت خورشیدی، d فاصله زمین تا خورشید بر اساس واحد

جدول ۱: مقادیر ثابت برای سطوح مختلف زمینی

نوع سطح	Z	Y	X	a_7	a_6	a_5	a_4	a_3	a_2	a_1
زمین	-۰/۰۲	۰/۰۵۲	۰/۴۷۸	۰/۸۴۶	۰/۰۹	-۰/۷۰۱	۰/۶۲۹	-۰/۹۸	۰/۱۷۹	-۰/۰۱۱
آب	-۰/۰۳۴	۰/۰۶۷	۰/۳۴۲	۰/۶۳۷	۰/۰۵۹	-۰/۰۵۱۱	۰/۷۳۳	-۰/۷۷۴	۰/۱۶۶	-۰/۰۰۳
برف-یخ	۰/۰۱۸	۰/۰۶	۰/۵۱	۰/۹۲۷	-۰/۰۱۳	-۰/۸۶۷	۰/۶۳۱	-۰/۶۴۸	۰/۱۶۳	-۰/۰۱۱

مدل آنگستروم^۱ به پارامترهای اقلیمی، شرایط جغرافیایی، و نوع پوشش گیاهی منطقه وابستگی دارند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که مهم‌ترین این عوامل طبق رابطه آنگستروم طول روز و ساعات آفتابی است. به همین منظور برای محاسبه انرژی رسیده به سطح زمین در منطقه مورد مطالعه از رابطه تجربی آنگستروم استفاده شده است (معینی و همکاران، ۱۳۸۹: ۴).

$$\frac{\overline{H}_t}{H_0} = a + b \left(\frac{\overline{N}}{N} \right) \quad \text{رابطه (۶)}$$

در رابطه (۶) \overline{H}_t برابر میانگین تابش رسیده در هر ماه بر حسب $\left(\frac{MJ}{m^2 \text{ day}} \right)$ و $\overline{H_0}$ برابر میانگین ماهیانه تابش رسیده در بالای جو می‌باشد و برای محاسبه آن از رابطه (۷) استفاده شده است.

$$\overline{H_0} = \frac{24 \times 360_{SC}}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360_n}{365} \right) \times \left[\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \cos \delta \right] \quad \text{رابطه (۷)}$$

G_{SC} ثابت خورشیدی خارج از جو است و مقدار آن برابر با ۱۳۶۷ وات بر متر مربع در نظر گرفته شده است. ϕ عرض جغرافیایی محل مورد نظر، زاویه میل خورشیدی نسبت به استوا بر حسب درجه و در محدوده $(-23.45 \leq 23.45)$ قرار دارد، که مقدار آن را می‌توان از معادله تقریبی کوپر محاسبه نمود. ω_s زاویه ساعت خورشیدی بر حسب درجه است و مقادیر آن‌ها از رابطه‌های (۸) و (۹) محاسبه می‌شوند.

باندهای سنجنده بستگی دارد و از رابطه خطی (۳) محاسبه می‌شود. ضرایب مربوط به معادله خط (شیب خط و عرض از مبدا) که از رابطه‌های ۴ و ۵ به دست می‌آید.

$$a_x (\mu, w, r) = a - \beta' r \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$a = 1 - \mu^{-1} - a_2 \mu^{-x} - (1' - \exp(-\mu)) (a_3 + a_4 w^y) \mu^{-1} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\beta = (1 + a_5 + a_6 \ln \mu + a_7 w^z) \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در این رابطه‌ها، μ کسینوس زاویه زینت خورشید، میزان آب قابل بارش در محدوده مادون قرمز نزدیک، $a_1 - a_7$ مقادیر ثابت برای سطوح مختلف، X, Y, Z ضرایب ثابتی هستند که در مورد سطوح مختلف این ضرایب فرق می‌کنند و با استفاده از جدول (۱) می‌توان این ضرایب را برای مناطق خشکی، آبی و برفی به دست آورد (آبکار و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۳).

با استخراج شاخص‌های مؤثر بر انرژی تابشی رسیده به سطح زمین از این تصاویر، نقشه پایش مکانی انرژی تابشی رسیده به سطح برای فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان حوضه تهیه و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای Arc GIS و Envi استفاده شد.

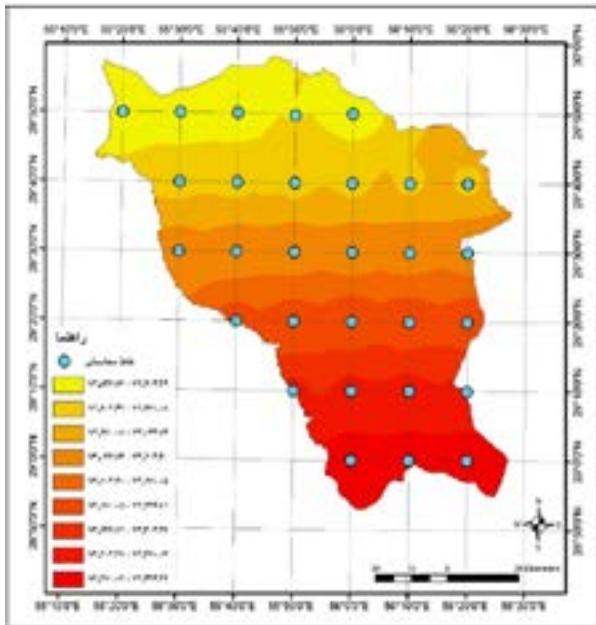
۴- نتایج و بحث

۴-۱- پایش انرژی تابشی با استفاده از روابط تجربی یکی از بهترین مدل‌های پیشنهاد شده برای برآورد میزان تابش خورشید روی مدل آنگستروم است. ضرایب تجربی

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (GIS)

کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و ... / ۸۱

(۲۸ درجه و ۵۰ دقیقه) به میزان ۷۳۳۷۰ - ۷۳۴۳۶ وات بر متر مربع است. این میزان با افزایش عرض جغرافیایی به سمت عرض‌های بالاتر کاهش یافته و به میزان انرژی دریافتی ۷۲۸۳۶ - ۷۲۹۰۳ وات بر متر مربع در بخش شمالی حوضه (عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۰ دقیقه) می‌رسد (نگاره ۲).



نگاره ۲: نقشه انرژی تابشی رسیده به سطح در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل انگستروم

۴-۲- پایش انرژی تابشی رسیده به سطح با استفاده از روش تحلیل تابش خورشیدی (Solar Analyst) در سامانه اطلاعات جغرافیایی

جهت شیب از جمله مهم‌ترین پارامترهای محیطی است که نقش عمده‌ای در دریافت انرژی تابشی خورشید دارد. افزایش یا کاهش ارتفاع با افزایش یا کاهش جذب تابش خورشیدی ارتباط مستقیمی دارد.

هر چه ارتفاع منطقه‌ای از سطح دریا کمتر باشد، ضخامت جو بیشتر می‌شود. جو ضخیم از غلظت بیشتر ترکیبات و عوامل جذبی یا انعکاسی حکایت دارد. بنابراین مناطق مرتفع به دلیل دریافت انرژی زیاد دارای پتانسیل بالاتری

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right) \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad \text{رابطه (۹)}$$

\bar{n} بیانگر میانگین ماهیانه ساعات آفتابی روزانه و \bar{N} میانگین ماهانه ماکزیمم ساعات آفتابی (طول روز) است و مقدار آن از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$\bar{N} = \frac{2}{15} \omega_s \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

مقدار n در رابطه (۱۰) براساس شماره روز از ماه مورد نظر از جدول (۲) جایگزین می‌شود.

جدول ۲: مقادیر n برای محاسبه هر روز از ماه

ماه	n برای هر روز از ماه
January	1
February	31+i
March	59+i
April	90+i
May	120+i
June	151+i
July	181+i
August	212+i
September	243+i
October	273+i
November	304+i
December	334+i

معینی و همکاران ضرایب تجربی انگستروم را برای ۲۱ ایستگاه تابشی ایران محاسبه نموده‌اند که ضریب محاسبه ایستگاه استان کرمان برابر با $a = 0.322$ و $b = 0.421$ به دست آمده است (معینی و همکاران، ۱۳۸۹: ۴).

براساس محاسبات انجام شده، بیشترین میزان انرژی مستقیم دریافتی حوضه در عرض‌های جغرافیایی پایین

نسبت به مناطق پست می‌باشند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۵: ۴۴).
 با در نظر گرفتن اثر شیب در محاسبات انجام شده،
 بیشترین میزان انرژی خورشیدی دریافتی حوضه سیرجان
 در ماه ژانویه، ۱۴۴۰۳۹-۱۰۰۰۰۰ وات ساعت بر هر مترمربع
 است که ارتفاعات واقع در شرق حوضه را در بر می‌گیرد.
 این میزان دریافت انرژی به تدریج در بخش شمالی، مرکزی
 و جنوبی حوضه کاسته می‌شود و به ۷۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰ وات
 ساعت بر هر مترمربع می‌رسد. در نهایت کمترین میزان
 انرژی دریافتی در این ماه مربوط به بخش غربی حوضه با
 دریافت ۷۰۰۰۰-۵۰۰۰۰ وات ساعت بر هر مترمربع است
 (نگاره ۳). همچنین میانگین ساعات آفتابی در این ماه ۲۵۴/۲
 روز می‌باشد.

در ماه فوریه، بیشترین میزان انرژی خورشیدی دریافتی
 در حوضه سیرجان ۱۲۰۰۰۰-۱۵۳۰۰۰ وات ساعت بر هر
 متر مربع است که ارتفاعات بخش شرقی حوضه را در بر
 می‌گیرد. این میزان دریافت انرژی در بخش مرکزی و شمالی
 حوضه به ۱۲۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰ وات ساعت بر هر مترمربع
 می‌رسد و در بخش غرب، شمال‌غربی و جنوب‌غربی با
 کمی کاهش به ۹۰۰۰۰-۷۰۰۰۰ وات ساعت بر هر مترمربع
 است (نگاره ۴). میانگین ساعات آفتابی در این ماه ۲۱۳/۵
 روز می‌باشد.

در ماه مارس، بیشترین میزان انرژی خورشیدی دریافتی
 ۱۵۰۰۰۰-۱۹۹۰۰۰ وات ساعت بر متر مربع است که
 ارتفاعات بخش شرقی حوضه را در بر می‌گیرد. این میزان
 دریافت انرژی در بخش شمالی، مرکزی و جنوبی حوضه
 به ۱۵۰۰۰۰-۱۲۰۰۰۰ وات ساعت بر هر مترمربع می‌رسد و
 در بخش غرب، شمال‌غربی و جنوب‌غربی با کمی کاهش به
 ۹۰۰۰۰-۷۰۰۰۰ وات ساعت بر هر مترمربع است (نگاره ۵).
 میانگین ساعات آفتابی در این ماه ۲۴۹/۳ روز می‌باشد.

در ماه آوریل، بیشترین میزان انرژی خورشیدی دریافتی
 در حوضه سیرجان ۲۲۰۰۰۰-۱۹۰۰۰۰ وات ساعت بر هر
 متر مربع است که ارتفاعات بخش شرق و شمال‌شرقی
 حوضه را در بر می‌گیرد. این میزان دریافت انرژی در
 بخش شمال، مرکز و جنوب حوضه با اندکی کاهش به ۲۱۰۰۰۰-
 بخش شمال، مرکز و جنوبی حوضه به ۱۹۰۰۰۰-۱۷۰۰۰۰ وات
 ساعت بر هر متر مربع می‌رسد. در بخش غرب، شمال‌غربی و جنوب‌غربی به حداقل میزان ۱۷۰۰۰۰-۱۹۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع است (نگاره ۶).
 میانگین ساعات آفتابی در این ماه ۲۷۷/۵ روز
 می‌باشد.

در ماه می، با کاهش زاویه تابش خورشیدی، بیشترین
 میزان انرژی خورشیدی دریافتی به ۲۴۷۶۲۷-۲۰۰۰۰۰
 وات ساعت بر هر متر مربع است که ارتفاعات واقع در
 بخش شرق و شمال‌شرق حوضه و همچنین جنوب‌شرقی
 حوضه را در بر می‌گیرد. این میزان دریافت انرژی در
 بخش شمال، مرکز و جنوبی حوضه با اندکی کاهش به
 ۱۹۰۰۰۰-۲۰۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع می‌رسد
 و در بخش غرب، شمال‌غربی و جنوب‌غربی به حداقل
 میزان ۱۹۰۰۰۰-۱۵۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع است
 (نگاره ۷). میانگین ساعات آفتابی در این ماه ۳۱۳/۱ روز
 می‌باشد.

در ماه ژوئن نیز با کاهش زاویه تابش خورشید، بیشترین
 میزان انرژی خورشیدی دریافتی در حوضه سیرجان به
 ۲۴۸۳۴۱-۱۸۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع است که
 ارتفاعات بخش شرق و شمال‌شرق حوضه را در بر می‌گیرد.
 این میزان دریافت انرژی در بخش شمال، مرکز، جنوب و
 جنوب‌شرقی حوضه با اندکی کاهش به ۱۸۰۰۰۰-۱۷۰۰۰۰
 وات ساعت بر هر متر مربع می‌رسد و در بخش غرب،
 شمال‌غربی و جنوب‌غربی به حداقل میزان ۱۷۰۰۰۰-
 ۱۵۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع است (نگاره ۸).
 میانگین ساعات آفتابی در این ماه ۳۵۵/۱ روز می‌باشد.

در ماه جولای، با کاهش زاویه تابش خورشیدی و وقوع
 انقلاب تابستانی بیشترین میزان انرژی خورشیدی دریافتی
 در حوضه سیرجان به ۲۱۰۰۰۰-۲۵۲۰۰۰ وات ساعت بر هر
 متر مربع است که بخش شرق، شمال‌شرق و جنوب‌شرقی
 حوضه را در بر می‌گیرد. این میزان دریافت انرژی در بخش
 شمال، مرکز و جنوب حوضه با اندکی کاهش به ۲۱۰۰۰۰-

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (GIS)

کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و ... / ۸۳

۱۰۰۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع می‌رسد و در بخش غرب، شمال‌غربی و جنوب‌غربی به حداقل میزان ۷۰۰۰۰۰-۹۰۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع است. (نگاره ۱۲). میانگین ساعات آفتابی در این ماه ۲۹۵/۲ روز می‌باشد.

در ماه نوامبر بیشترین میزان انرژی خورشیدی دریافتی ۱۲۰۰۰۰۰-۹۰۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع است که بخش شرقی، شمال، شمال‌شرق و جنوب‌شرقی حوضه را در بر می‌گیرد. این میزان دریافت انرژی با کاهش زیادی به میزان ۹۰۰۰۰۰-۵۰۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع بخش مرکز، غرب، شمال‌غربی، جنوب و جنوب‌غربی را در بر می‌گیرد (نگاره ۱۳). میانگین ساعات آفتابی در این ماه ۲۳۵/۵ روز می‌باشد.

در ماه دسامبر با کاهش چشمگیر انرژی دریافتی خودشیدی به میزان ۱۰۰۰۰۰۰-۱۲۰۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع ارتفاعات بخش شرق و شمال‌شرقی حوضه را در بر می‌گیرد. این میزان دریافت انرژی در بخش شمال، مرکز و جنوب‌شرقی حوضه به ۹۰۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع می‌رسد و در نهایت بخش غرب، شمال‌غربی، و جنوب‌غربی ۹۰۰۰۰۰-۵۰۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع انرژی خورشیدی را دریافت می‌کنند (نگاره ۱۴). میانگین ساعات آفتابی در این ماه ۲۴۶/۳ روز می‌باشد.

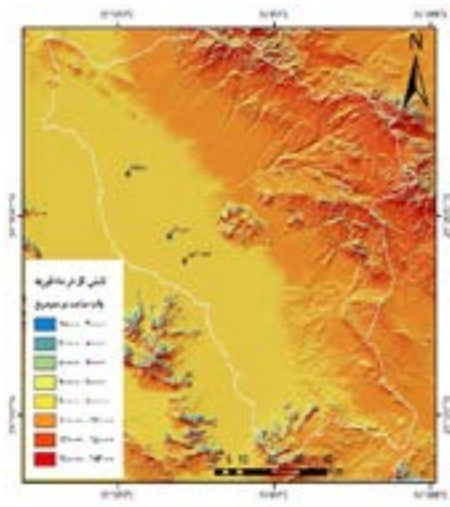
به‌طور کلی بیشترین میزان انرژی خورشیدی دریافتی در حوضه سیرجان در طول ۱۲ ماه از سال، به‌ترتیب مربوطه به ماه‌های جولای با ۲۰۰۰۰۰۰ تا ۲۵۲۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع، ژوئن با ۱۷۰۰۰۰۰ تا ۲۴۸۳۴۱ وات ساعت بر هر متر مربع، می با ۱۹۰۰۰۰۰ تا ۲۴۷۶۲۷ وات ساعت بر هر متر مربع و آگوست با ۱۹۰۰۰۰۰ تا ۲۳۴۵۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع و مربوط به بخش‌های شرقی، شمال‌شرق و جنوب‌شرقی حوضه است و حاکی از آن است که نیمه شرقی حوضه بیشترین میزان انرژی تابشی خورشید را به ویژه در فصل تابستان دریافت می‌کند که شهرهای بلورد، تکیه، سعادت‌آباد و پاریز در این ناحیه قرار دارند.

۲۰۰۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع می‌رسد و در بخش غرب، شمال‌غربی و جنوب‌غربی به حداقل میزان ۲۰۰۰۰۰۰-۱۷۰۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع است. ماه جولای در بین ماه‌های سال بیشترین میزان انرژی خورشیدی را به ویژه در ارتفاعات شرق حوضه به میزان ۲۳۰۰۰۰۰-۲۵۲۰۰۰۰ و مرکز حوضه با میزان ۲۳۰۰۰۰۰-۲۰۰۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع دریافت می‌کند (نگاره ۹). میانگین ساعات آفتابی در این ماه ۳۴۴/۵ روز می‌باشد.

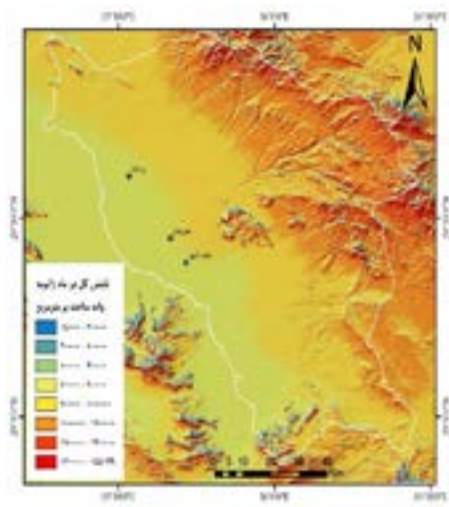
در ماه آگوست، بیشترین میزان انرژی خورشیدی دریافتی در حوضه سیرجان ۲۳۴۵۰۰-۲۰۰۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع است که ارتفاعات بخش شرق و شمال‌شرقی حوضه را در بر می‌گیرد. این میزان دریافت انرژی در بخش شمال، مرکز و جنوب حوضه با اندکی کاهش به ۲۰۰۰۰۰۰-۱۹۰۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع می‌رسد و در بخش غرب، شمال‌غربی و جنوب‌غربی به میزان ۱۷۰۰۰۰۰-۱۴۰۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع است. (نگاره ۱۰). میانگین ساعات آفتابی در این ماه ۳۵۹/۳ روز می‌باشد.

در ماه سپتامبر، بیشترین میزان انرژی خورشیدی دریافتی در حوضه سیرجان ۲۰۷۹۶۳-۱۸۰۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع است که ارتفاعات بخش شرق و شمال‌شرقی حوضه را در بر می‌گیرد. این میزان دریافت انرژی در بخش شمال، مرکز، جنوب و جنوب‌شرقی حوضه با اندکی کاهش به ۱۸۰۰۰۰۰-۱۵۰۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع می‌رسد و در بخش غرب، شمال‌غربی و جنوب‌غربی به میزان ۱۵۰۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع است. (نگاره ۱۱). میانگین ساعات آفتابی در این ماه ۳۱۵/۶ روز می‌باشد.

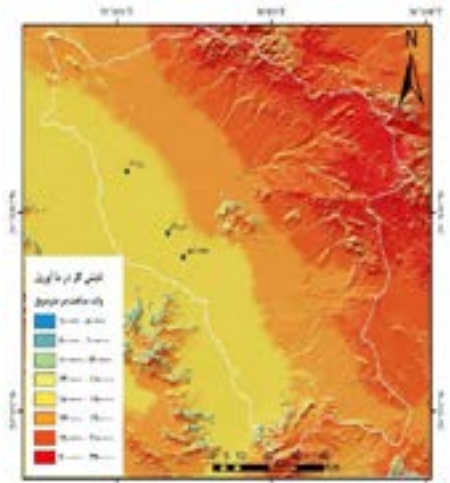
در ماه اکتبر، بیشترین میزان انرژی خورشیدی دریافتی در حوضه سیرجان به ۱۷۲۱۲۳-۱۲۰۰۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع می‌رسد که ارتفاعات بخش شرق و شمال‌شرقی حوضه را در بر می‌گیرد. این میزان دریافت انرژی در بخش شمال، مرکز، جنوب و جنوب‌شرقی حوضه به ۱۲۰۰۰۰۰-



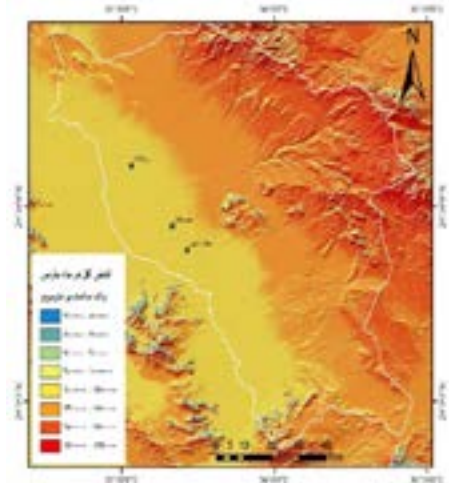
نگاره ۴: تابش کل رسیده به سطح حوضه سیرجان در ماه فوریه



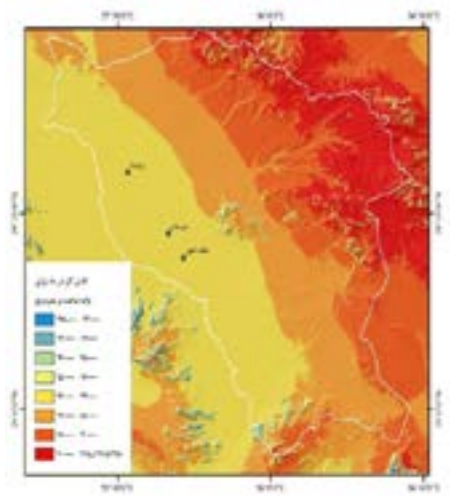
نگاره ۳: تابش کل رسیده به سطح حوضه سیرجان در ماه ژانویه



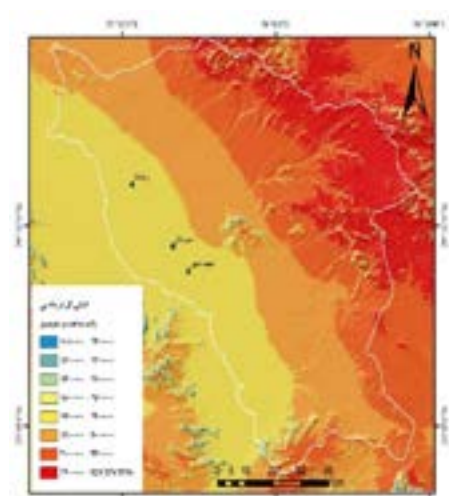
نگاره ۶: تابش کل رسیده به سطح حوضه سیرجان در ماه آوریل



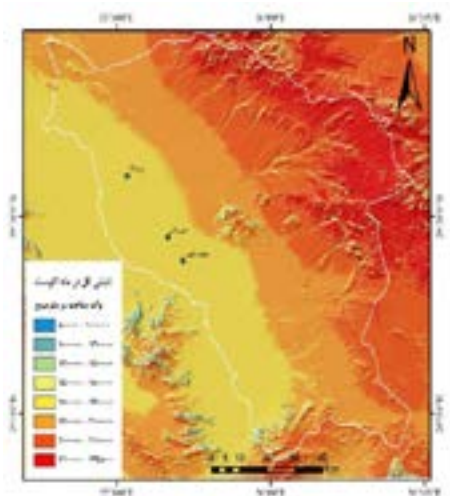
نگاره ۵: تابش کل رسیده به سطح حوضه سیرجان در ماه مارس



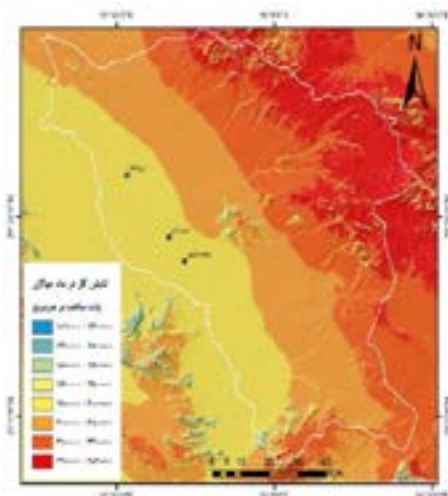
نگاره ۸: تابش کل رسیده به سطح حوضه سیرجان در ماه ژوئن



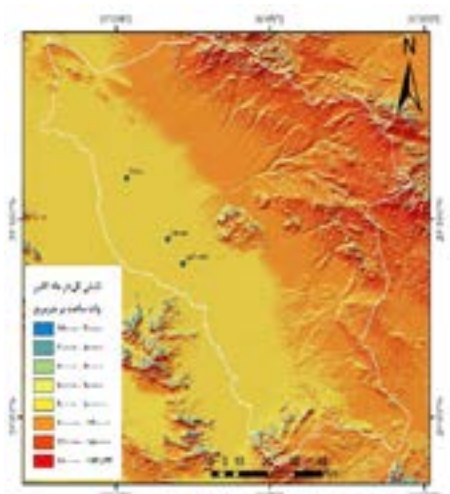
نگاره ۷: تابش کل رسیده به سطح حوضه سیرجان در ماه می



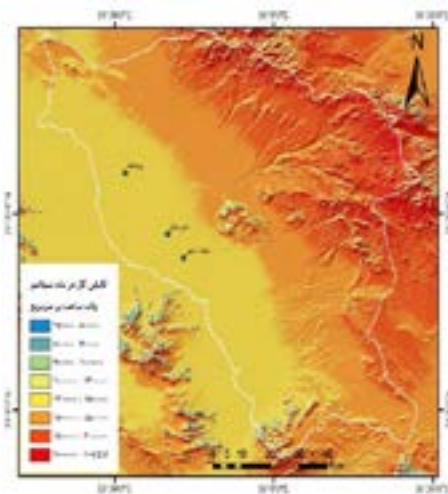
نگاره ۱۰: تابش کل رسیده به سطح حوضه سیرجان در ماه آگوست



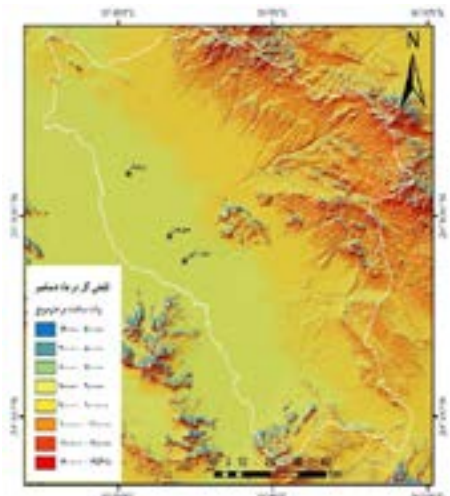
نگاره ۹: تابش کل رسیده به سطح حوضه سیرجان در ماه جولای



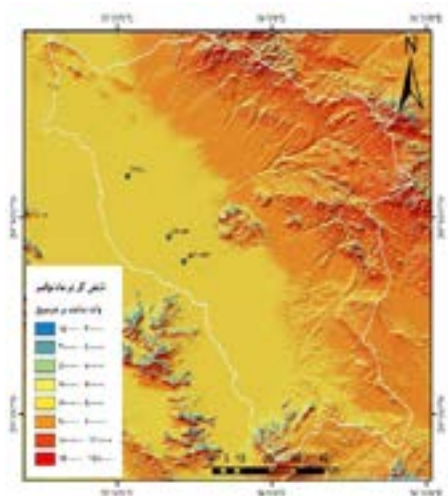
نگاره ۱۲: تابش کل رسیده به سطح حوضه سیرجان در ماه اکتبر



نگاره ۱۱: تابش کل رسیده به سطح حوضه سیرجان در ماه سپتامبر



نگاره ۱۴: تابش کل رسیده به سطح حوضه سیرجان در ماه دسامبر



نگاره ۱۳: تابش کل رسیده به سطح حوضه سیرجان در ماه نوامبر

باند‌های سنجنده بستگی دارد و از رابطه خطی (۱۳) محاسبه می‌شود. ضرایب مربوط به معادله خط (شیب خط و عرض از مبدأ) که از رابطه‌های (۱۴) و (۱۵) به دست می‌آید.

$$a_s(\mu, w, r) = a - \beta' r \quad (13)$$

$$a = 1 - a_1 \mu^{-1} - a_2 \mu^{-2} - (1 - \exp(-\mu))(a_3 + a_4 w^2) \mu^{-1}$$

رابطه (۱۴)

$$\beta = (1 + a_5 + a_6 \ln \mu + a_7 w^2)$$

رابطه (۱۵)

که در این رابطه‌ها، μ کسینوس زاویه زینت خورشید، w میزان آب قابل بارش در محدوده مادون قرمز نزدیک، X, Y, Z مقادیر ثابت برای سطوح مختلف، ضرایب ثابتی هستند که در مورد سطوح مختلف این ضرایب فرق می‌کنند و با استفاده از جدول (۱) می‌توان این ضرایب را برای مناطق خشکی، آبی و برفی به دست آورد (آبکار و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۳).

با توجه به نتایج به دست آمده بیشترین میزان تابش لحظه‌ای^۱ حوضه سیرجان در فصل بهار شامل ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد ۵۸۰/۴-۸۲۷/۸ وات بر متر مربع است که غرب، شمال‌غرب و جنوب‌غربی حوضه را در بر می‌گیرد. بخش مرکز، شمال و جنوب حوضه تابش لحظه‌ای ۵۸۰/۳-۴۳۸ وات بر متر مربع را دریافت می‌کند. در بخش شرقی حوضه با روند کاهشی تابش، این میزان به ۴۳۷/۹-۳۴۲/۹ وات بر متر مربع می‌رسد و در ارتفاعات غربی حوضه این میزان به کمتر از ۳۴۲/۸ وات بر متر مربع می‌رسد. در فصل تابستان شامل ماه‌های تیر، مرداد و شهریور بیشترین میزان تابش لحظه‌ای حوضه سیرجان ۵۹۷/۶-۸۴۵/۶ وات بر متر مربع است که بخش بزرگی از غرب، شمال‌غرب و جنوب‌غربی حوضه را در بر می‌گیرد. بخش مرکز، شمال و جنوب حوضه تابش لحظه‌ای ۵۹۷/۳-۴۵۱/۳ وات بر متر مربع را دریافت می‌کند. در بخش شرقی حوضه

۳-۴- پایش انرژی تابشی با استفاده از سنجنش از دور

یکی از نکاتی که در انتخاب سنجنده به منظور برآورد پدیده‌های اقلیمی باید در نظر گرفت این است که تصاویر مذکور باید دارای قدرت تفکیک زمانی مطلوبی باشند که از این سنجنده‌ها می‌توان به AVHRR ماهواره نوا، CERES و MODIS ماهواره ترا اشاره کرد. ولی به دلیل مزیت‌هایی که سنجنده مودیس نسبت به دو سنجنده دیگر دارد (شامل به روز بودن این تصاویر، دارای چندین قدرت تفکیک مکانی، دارای توان قدرت تفکیک طیفی (۳۶ باند) و رادیومتری (۱۲ بیتی)) در بسیاری از تحقیقات از این سنجنده استفاده می‌شود. در این بخش به منظور برآورد تابش طول موج کوتاه خورشید با استفاده از سنجنده مودیس با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر در بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۱۵ استفاده شده است. از تصاویر سنجنده MOD05_L2 برای محاسبه آب قابل بارش در محدوده مادون قرمز نزدیک، MOD021 KM برای محاسبه انعکاس باریک باند ۷ بالای اتمسفری و پهن باند موج کوتاه بالای اتمسفری، MOD03 برای محاسبه زاویه زینت خورشیدی استفاده شده است. سپس از طریق تبدیل آلبدوی باریک باند به پهن باند به منظور برآورد تابش کل طول موج کوتاه لحظه‌ای از رابطه (۱۱) محاسبه استفاده شده است:

$$R_s^1 = \frac{a_s E_0 \cos(\theta_s)}{(1-a)d} \quad (11)$$

در این رابطه R_s^1 تابش کل طول موج کوتاه خورشید، E_0 ثابت خورشیدی برابر با ۱۳۶۷ وات بر متر مربع، θ_s زاویه زینت خورشیدی، d فاصله زمین تا خورشید بر اساس واحد نجومی که بستگی به روز سال دارد (Julian day) و با استفاده از رابطه (۱۲) تعیین شد.

$$d = 1 + 0.033 \cos\left(\text{DAY} \frac{2\pi}{365}\right) \quad (12)$$

در این رابطه DAY شماره روز سال است. مقدار زاویه داخل پرانتز بر حسب رادیان می‌باشد. مقدار a_s به زاویه زینت خورشید، میزان آب قابل بارش و آلبدوی بالای جو

۱- مقدار تابش موج کوتاه فرودی خورشید، که در سطح زمین به ازای هر واحد سطح جذب می‌شود

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (GIS)

کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و ... / ۸۷

یافته و به ۲۰۲/۴-۳۱۱ وات بر متر مربع می‌رسد و در ارتفاعات غربی حوضه این میزان به کمتر از ۲۰۲/۳ وات بر متر مربع می‌رسد (نگاره ۱۶).

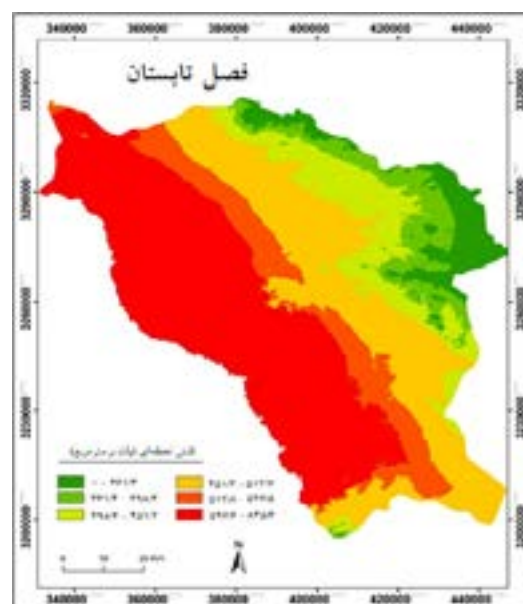
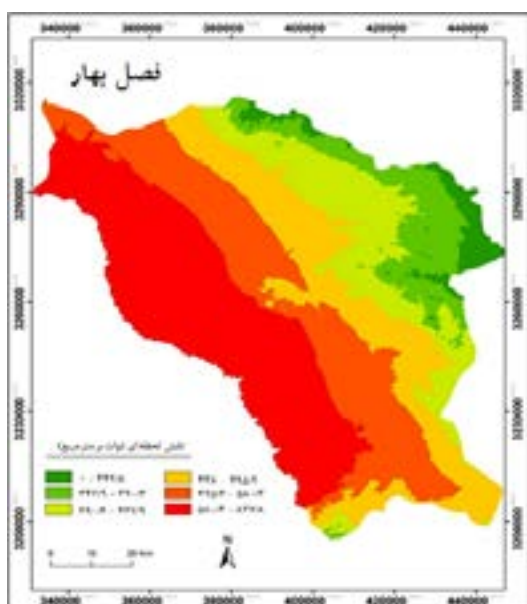
محاسبه میزان تابش لحظه‌ای بر حسب وات بر متر مربع نشان‌دهنده بیشترین میزان تابش لحظه‌ای در فصل تابستان ۸۴۵/۶-۵۹۷/۶ و در بخش‌های غرب، شمال، شمال‌غربی، جنوب و جنوب‌غربی حوضه سیرجان است که دهستان-های پاریز، سعادت آباد، بلورد در نوار مرکزی و خاتون آباد، محمودآباد، نجف آباد، ملک آباد و گلستان در غرب حوضه را شامل می‌شود. این میزان تابش لحظه‌ای با روند کاهشی در سایر فصول سال نیز در این بخش‌های حوضه صادق است و دارای بیشترین دریافت تابش لحظه‌ای می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

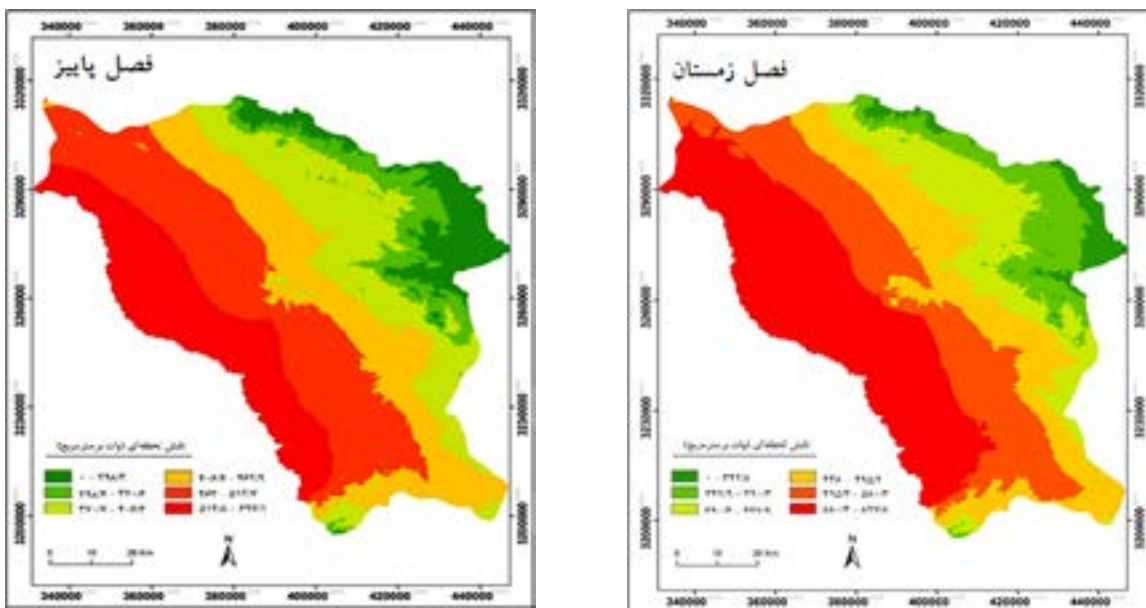
یکی از مهم‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر به منظور تولید انرژی به ویژه انرژی برق، خورشید است. برای استفاده از این انرژی ارزان و قابل دسترس پایش دقیق تابش رسیده به سطح حائز اهمیت است. در این میان روش‌های متعددی به منظور محاسبه تابش وجود دارد. روش تجربی

با روند کاهشی تابش، این میزان به ۴۵۱/۲-۳۶۱/۴ وات بر متر مربع می‌رسد و در ارتفاعات غربی حوضه این میزان به کمتر از ۳۶۱/۳ وات بر متر مربع می‌رسد (نگاره ۱۵).

در فصل پاییز شامل ماه‌های مهر، آبان و آذر بیشترین میزان تابش لحظه‌ای حوضه سیرجان ۵۱۲/۸-۶۹۷/۱ وات بر متر مربع است که نوار باریکی از غرب، شمال غرب و جنوب‌غربی حوضه را در بر می‌گیرد. بخش مرکز، شمال و جنوب حوضه تابش لحظه‌ای ۴۰۶/۴-۶۲۲/۹ وات بر متر مربع را دریافت می‌کند. در بخش شرقی حوضه این روند کاهش یافته و این میزان به ۳۰۷/۷-۶۲۲/۹ وات بر متر مربع می‌رسد و در ارتفاعات غربی حوضه این میزان به کمتر از ۲۹۸/۳ وات بر متر مربع می‌رسد. در فصل زمستان شامل ماه‌های دی، بهمن و اسفند میزان تابش لحظه‌ای حوضه سیرجان به کمترین حد خود می‌رسد و تنها بخش کوچکی از غرب حوضه تابش لحظه‌ای ۴۳۶/۸-۴۹۸/۴ وات بر متر مربع را دریافت می‌کند. بخش عمده حوضه شامل مرکز، شمال، شمال‌غربی، جنوب، جنوب‌غربی و جنوب‌شرقی حوضه تابش لحظه‌ای ۳۱۱/۶-۴۳۶/۷ وات بر متر مربع را دریافت می‌کند. در بخش شرقی حوضه این روند کاهش



نگاره ۱۵: نقشه تابش دریافت لحظه‌ای فصول بهار و تابستان حوضه سیرجان ۲۰۱۸-۲۰۱۵



نگاره ۱۶: نقشه تابش دریافت لحظه‌ای فصول پاییز و زمستان حوضه سیرجان ۲۰۱۸-۲۰۱۵

تحلیل تابش خورشیدی^۱ در سامانه اطلاعات جغرافیایی نشان می‌دهد که بیشترین میزان انرژی خورشیدی دریافتی در شهرستان سیرجان در طول ۱۲ ماه از سال، به ترتیب مربوطه به ماه‌های جولای با ۲۰۰۰۰۰ تا ۲۵۲۰۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع، ژوئن با ۱۷۰۰۰۰ تا ۲۴۸۳۴۱ وات ساعت بر هر متر مربع، می با ۱۹۰۰۰۰ تا ۲۴۷۶۲۷ وات ساعت بر هر متر مربع و آگوست با ۱۹۰۰۰۰ تا ۲۳۴۵۰۰ وات ساعت بر هر متر مربع و مربوط به بخش‌های شرق، شمال‌شرق و جنوب‌شرقی شهرستان است و حاکی از آن است که نیمه شرقی شهرستان بیشترین میزان انرژی تابشی خورشید را به ویژه در فصل تابستان دریافت می‌کند که شهرهای بلورد، تکیه، سعادت‌آباد و پاریز در این ناحیه قرار دارند. همچنین با استفاده از مدل سنجش از دور به دلیل توانایی جمع‌آوری سیگنال‌های پیوسته زمانی و مکانی در بالای اتمسفر و پراکندگی ایستگاه‌های تابش، نتایج حاصل از محاسبه انرژی تابشی خورشیدی، نشان می‌دهد که بیشترین میزان تابش لحظه‌ای در سه ماه تابستان ۰۵۹۷/۶- و در بخش‌های غرب، شمال، شمال‌غربی، جنوب و

آنگستروم یکی از متداول‌ترین معادله‌های تخمین R_g است که به دلیل سادگی، کاربرد گسترده‌ای در محاسبات تابش رسیده به سطح زمین دارد. در این مدل برآورد تابش طول موج کوتاه خورشیدی و بر مبنای پارامتر ساعات آفتابی محاسبه شده است. نتایج حاصل از محاسبه انرژی تابشی خورشید با استفاده از مدل آنگستروم بیشترین میزان انرژی مستقیم دریافتی شهرستان در عرض‌های جغرافیایی پایین (۲۸ درجه و ۵۰ دقیقه) به میزان ۷۳۳۷۰ - ۷۳۴۳۶ وات بر متر مربع است. این میزان با افزایش عرض جغرافیایی به سمت عرض‌های بالاتر کاهش یافته و به میزان ۷۲۸۳۶-۷۲۹۰۳ وات بر متر مربع در بخش شمالی شهرستان (عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۰ دقیقه) می‌رسد. با توجه به تأثیر توپوگرافی سطح زمین مانند شیب بر مقدار انرژی تابشی رسیده به سطح زمین و نادیده گرفتن این پارامتر در برآورد انرژی تابشی در مدل تجربی از سامانه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شده است و میزان تابش کل رسیده به سطح با دخالت پارامترهای سطح زمین، محاسبه و نقشه پهنه تابش به صورت منطقه‌ای تهیه شد. نتایج حاصل از محاسبه انرژی تابشی خورشید به روش

1- Solar Analyst

منابع و مآخذ

- جنوب‌غربی شهرستان سیرجان است که دهستان‌های پاریز، سعادت‌آباد، بلورد در نوار مرکزی و خاتون‌آباد، محمودآباد، نجف‌آباد، ملک‌آباد و گلستان در غرب شهرستان را شامل می‌شود. این میزان تابش لحظه‌ای با روند کاهشی در سایر فصول سال نیز در این بخش‌های شهرستان صادق است و دارای بیشترین دریافت تابش لحظه‌ای می‌باشد. مقایسه نتایج به دست آمده از روش تجربی و روش سنجش از دور حاکی از آن است که بیشترین انرژی تابشی رسیده به سطح مربوط به بخش‌های غربی و جنوبی شهرستان است. اما طبق نتایج حاصل از روش تحلیل تابش خورشیدی^۱ در سامانه اطلاعات جغرافیایی بیشترین میزان انرژی تابشی رسیده به سطح مربوط به بخش‌های شرق و شمال‌شرق شهرستان یعنی در بخش‌های مرتفع شهرستان می‌باشد. در این رابطه ذکر این نکته الزامی است که در این روش جهت دامنه‌ها نقش اساسی را در دریافت انرژی تابشی رسیده به سطح دارند و با توجه به اینکه نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی محاسبه انرژی تابشی را به صورت پیکسلی انجام می‌دهد پس نتایج حاصل از این روش بیانگر افزایش انرژی تابشی رسیده به سطح در بخش‌های مرتفع شهرستان یعنی بخش‌های شرقی و شمال‌شرق شهرستان می‌باشد. همچنین، مقایسه میانگین ساعات آفتابی ایستگاه سینوپتیک سیرجان به میزان ۳۴۳۹/۱۲ روز است که در بخش شهر سیرجان و در بخش جنوبی شهرستان قرار دارد و میانگین ساعت آفتابی ایستگاه بافت به میزان ۳۳۱۸/۰۵ روز است که در بخش شمال‌شرق شهرستان قرار دارد با نتایج حاصل از روش‌های سنجش از دور و تجربی حاکی از دقت نتایج این روش‌ها در برآورد انرژی تابشی رسیده به سطح در منطقه مورد مطالعه است. در مجموع نتایج پژوهش حاکی از پتانسیل بالای منطقه مطالعاتی در رابطه با انرژی تابشی رسیده به سطح است که در صورت برنامه‌ریزی صحیح می‌تواند سهم قابل توجهی در تولید انرژی پاک و تجدیدپذیر در منطقه مطالعاتی داشته باشد.
- ۱- آبکار، ع، تازیک، ا، رضایی، ع و علوی پناه، س. (۱۳۹۴). برآورد تابش کل لحظه‌ای طول موج کوتاه خورشید با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس (مطالعه موردی: مناطق مرکزی ایران)، نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال ۶، شماره ۱، ۲۹-۱۵.
- ۲- احمدی، ه، مرشدی، ج و عظیمی، ف. (۱۳۹۵). مکانیابی نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از داده‌های اقلیمی و سالانه اطلاعات مکانی، نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال ۷، شماره ۱، ۵۷-۴۱.
- ۳- اصغری، ص، بلوایی، ا. (۱۳۹۹). امکان‌سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید با استفاده از سنجش از دور و الگوریتم سبال، فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۹، شماره ۱۱۳، ۱۷۰.
- ۴- باقری طولابی، ه، مرادی، م، باقری طولابی، س. (۱۳۹۲). روشی نوین جهت پیش‌بینی کلی تایش خورشیدی بر روی سطح افقی، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۶، شماره ۲.
- ۵- پیری، ج، انصاری، ح، فرید حسینی، ع. (۱۳۹۲). مدل‌سازی تابش خورشید رسیده به زمین با استفاده از ANFIS و مدل‌های تجربی (مطالعه موردی: ایستگاه‌های زاهدان و بجنورد)، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۶، شماره ۳.
- ۶- تحسینی، ه و رحمانی، ف. (۱۳۹۱). واکاوی جنبه‌های اقتصادی تولید انرژی از منابع پاک و تجدیدپذیر (انرژی خورشیدی) در قیاس با انرژی سوخت‌های فسیلی، دومین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، صفحه ۹۱.
- ۷- جهانگیری، م، سلطانی، ک. (۱۳۹۶). مقایسه الگوهای محاسباتی انرژی تابشی خورشید با استفاده از شاخص‌های آماری (مطالعه موردی: شهر بم)، نشریه انرژی ایران، دوره ۲۰، شماره ۱.
- ۸- حجازی‌زاده، ز؛ کربلائی درئی، ع و کربلائی، م. ح. (۱۳۹۷). برآورد تابش خورشیدی دریافتی سطح زمین در

- استان اصفهان با مدل برد و هول استورم، فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۱۶ (۵۱): ۱۵۹-۱۷۴.
- ۹- زمانی محی آبادی، م. (۱۳۹۲). پیش‌بینی لحظه‌ای تابش کل خورشید در شهر رفسنجان توسط شبکه عصبی، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۶، شماره ۴.
- ۱۰- ساکی، س و خراساتی فردوانی، ا. (۱۳۹۵). نگرشی بر انرژی خورشیدی به عنوان انرژی تجدیدپذیر، دومین همایش ملی مکانیزاسیون و فناوری‌های نوین در کشاورزی، دانشگاه شهید چمران، صفحه ۳.
- ۱۱- سبزی‌پور، ع.ا. (۱۳۸۷). ارزیابی انرژی تابشی خورشید در اقلیم خشک و نیمه خشک شرق و غرب ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال ۴، شماره ۱۹، ۲۳-۱۳.
- ۱۲- صفاری‌پور، م.ح و مهرابیان، م.ع. (۱۳۸۸). پیش‌بینی مقدار کل تابش خورشیدی در کرمان با استفاده از مشخصات هندسی، نجومی، جغرافیایی و هواشناسی، نشریه مهندسی مکانیک شریف، دوره ۲۵، شماره ۵۱، ۱۳-۳.
- ۱۳- فیضی‌زاده، ب و دیده‌بان، خ. (۱۳۹۴). برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا (مطالعه موردی: حوضه آبریز مهاباد)، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۲۵ (۹۸): ۱۷۱-۱۸۱.
- ۱۳- قائد، ا، دهقانی، ع و فتاحی، م. (۱۳۹۷). بررسی تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر بر رشد اقتصادی ایران، فصلنامه علمی پژوهشی پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی، سال ۹، شماره ۳۵، ۱۴۸-۱۳۷.
- ۱۴- مبین، م، غلام‌نیا، ا، سودایی‌زاده، ح، میرحسینی، ع. (۱۳۹۴). ارائه یک مدل عمومی جدید برای برآورد تابش خورشیدی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، فصلنامه علمی-پژوهشی خشک بوم، جلد ۵، شماره ۲، ۹۵.
- ۱۵- مرزبان، م.ج. (۱۳۹۳). پهنه‌بندی فضایی دریافت شار انرژی خورشیدی برای احداث نیروگاه با مدل‌سازی در GIS (مطالعه موردی استان یزد)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی یزد، ص ۱۹.
- ۱۶- مصعبی، ب، آقاشریعتمداری، ز، حجابی، س و قربانی، خ. (۱۳۹۸). ارزیابی کارایی مدل‌های برآورد تابش خورشید در سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نشریه تحقیقات آب و خاک ایران، دوره پنجاه، شماره ۸، ۱۹۶۵-۱۹۶۷.
- ۱۷- معینی، س؛ جوادی، شهرام دهقان‌منش، م و اسماعیلی، ر. (۱۳۸۹). «برآورد تابش پتانسیل خورشیدی در شهر یزد، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۳، شماره ۱.
- ۱۸- موسوی بایگی، م، اشرف، ب و میان‌آبادی، آ. (۱۳۸۹). بررسی مدل‌های مختلف برآورد تابش خورشیدی به منظور معرفی مناسب‌ترین مدل در یک اقلیم خشک، نشریه آب و خاک، دوره ۲۴، شماره ۴، ۸۴۴-۸۳۶.
- ۱۹- نصیری، م. (۱۳۹۱). ارزیابی انرژی پتانسیل خورشیدی در مناطق بیابانی ایران. اولین همایش ملی بیابان، مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان دانشگاه تهران، ۲۷ و ۲۸ خردادماه، ۱۵-۱۲.
- ۲۰- نوری، ی، تیورتاش، ع، ظفرمند، ب. (۱۳۹۸). تعیین مدل بهینه در محاسبه برآورد تابش کلی خورشیدی دریافتی توسط زمین در شهرستان بجنورد، نشریه انرژی ایران، دوره ۲۲، شماره ۲.
- ۲۱- یوسفی، ح، کسائیان، ع، رنجیران، پ، کتولی، م. ح. (۱۳۹۶). مروری بر معیارهای مکانی احداث نیروگاه-های خورشیدی در ایران، نشریه علمی-ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دوره ۸، شماره ۲، ۱۷-۲۵.
- 22- Achour, L., Bouharkat, M., Assas, O., Behar, O., (2017). Hybrid model for estimating monthly global solar radiation for the Southern of Algeria: (Case study: Tamanrasset, Algeria), *Enegy*, Volume 135, Pages 526-539.
- 23- 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.
- 24- Angstrom, A., 1924, Solar and Terrestrial Radiation, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, Vol. 50, pp. 121-125.

- 36- Prescott, J. A., 1940, Evaporation from a Water Surface in Relation to Solar Radiation, *Trans. R. Soc. South Aust.*, Vol. 64, pp. 114-118.
- 37- Sozen, A., Arcaklioglu, E., Ozalp, M., & Kanit, E. G (2005). Solar-energy potential in Turkey. *Applied Energy*, 80(4), 367-381.
- 38- Ustun, C., Yagli, H., Cuma, K., (2020). Empirical models for estimating the daily and monthly global solar radiation for Mediterranean and Central Anatolia region of Turkey. *International Journal of Global Warming*, Vol. 20, Issue 3, pp. 249-275
- 39- Yokan. N.(2001). "Mannstein.Schillings, H.H.C, Assessment of Solar Electricity Potentials in North Africa Based on Satellite Data And A Geographic Information System", *Solar Energy*, 85, 839-848.
- 40- Zohoori M., (2012): Exploiting Renewable Energy Sources in Iran. *Interdisciplinary J. of Contemporary Research in Business*, 4, pp: 849-862.
- 25- Asakereh, A., Omid, M., Alimardani, R., & Sarmadian, F. (2014). Developing a GIS-based Fuzzy AHP Model for Selecting Solar Energy Sites in Shodirwan Region in Iran. *Science and Technology*, 37-48.
- 26- Bounoua, Z., Ouazzani, L., Mechaqrane, A., (2021). Estimation of daily global solar radiation using empirical and machine-learning methods: A case study of five Moroccan locations, *Sustainable Materials and Technologies*, Volume 28, e00261.
- 27- Breyer, C., Knies, G., 2009, global energy supply potential of concentrating solar power, *soar spaces*, vol9, pp.15-19
- 28- Cao, Qimeng., Liu, Yan., Yu, Ying., (2020). Solar radiation zoning and daily global radiation models for regions with only surface meteorological measurements in China, *Energy Conversion and Management*, Volume 225, 113447.
- 29- Demircan, C., Bayrakci, H., Kecebas, A., (2018). The development of empirical models for estimating global solar radiation on horizontal surface: A case study, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 81, Part 2, Pages 2771-2782
- 30- Dincer, I., 2000, *Renewable Energy and Sustainable Development: A Crucial Review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 157-175.
- 31- Elagib N. A., Babiker Sh.F. and Alvi Sh.H. 2017, new empirical models for global solar radiation over Bahrain, *Energy Conversion and Management*, Mgmt 39(8): 827-835.
- 32- Hottel, H. C. and Whillier, A., 1958; Evaluation of Flat-Plate Solar Collector Performance, *Transaction of Conference on the Use of Solar Energy*, II: 74-104.
- 33- Iziomon M.G., Mayer, H., 2002. Assessment of some global solar radiation parameterizations. *J. Atmospheric Solar-terrestrial Physics*, (64): 1631-1643.
- 34- Kahraman, C., & Kaya, P. (2010). A fuzzy multicriteria methodology for selection among energy alternatives. *Expert Systems with Applications*, 37(9), 6270-6281.
- 35- Moghadam, H., Farshchi Tabrizi, F. and Zolfaghari Sharak, A., (2011). Optimization of Solar Flat Collector Inclination, *Desalination*, 256 (1-3), pp: 107-111.

