محیط‌شناسی، دورهٔ ٤١، شمارهٔ ٢، تابستان ١٣٩٤، صفحهٔ ٤٢٧-٤١٥

ارزیابی مدل r.sun در برآورد میزان دریافت انرژی خورشیدی در مناطق خشک و نیمه‌خشک (مطالعهٔ موردی: استان اصفهان)

محمود ذوقی[1]، مهدیس سادات[2]، امیرهوشنگ احسانی[3]*

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران
Zoghi87@yahoo.com

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران
Mahdissadat74@yahoo.com

۳. دانشیار گروه مهندسی طراحی محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران

تاریخ وصول مقاله: ۹۳/۹/۲۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۹٤/۲/۲۱

چکیده

از جنبه های مهم توسعهٔ پایدار ملاحظات زیست‌محیطی است که یکی از ارکان آن استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر است. میزان دریافت این انرژی در نقاط مختلف سطح زمین به چندین فاکتور شامل: عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی، میزان ساعت آفتابی، رطوبت هوا، تبخیر، دمای هوا، زاویهٔ خورشید و سایر عوامل بستگی دارد. از این رو گرایش به سمت استفاده از مدل‌های تابش خورشید در سال‌های اخیر بیشتر شده است. مدل r.sun در نرم‌افزار Grass مدلی است که به محاسبهٔ پرتو (مستقیم)، انتشار و بازتاب زمینی اشعه‌های خورشیدی با توجه به وضعیت روز، ارتفاع از سطح دریا، شرایط سطحی و اتمسفری می‌پردازد. در این مطالعه میزان دریافت انرژی خورشیدی منطقه با این مدل محاسبه شد. بر اساس نتایج، بخش‌های شمالی و شمال‌شرقی استان اصفهان بیشترین ساعت آفتابی را دارند. زاویهٔ تابش خورشیدی در منطقه بیشتر در زاویهٔ ۴۵ و ۲۲ درجه است و بالاترین ایرادینس بازتابی برابر با ۱۱۹۴ و کمترین آن ۴۰ وات بر متر مربع محاسبه شد. نتایج این مطالعه از مهم‌ترین معیارها در جهت شناخت پتانسیل منطقه به منظور برنامه‌ریزی برای استفاده از انرژی خورشیدی به شمار می‌رود. بالابودن میزان دریافت انرژی خورشیدی با توجه به توپوگرافی و وضعیت قرارگیری خورشید موجب افزایش پتانسیل ذاتی استان اصفهان برای توسعهٔ نیروگاه‌های خورشیدی و استقرار صفحه‌های خورشیدی برای بهره‌گیری از انرژی خورشید است.

کلیدواژه

انرژی تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی، مدل r.sun، نیروگاه خورشیدی.

۱. سرآغاز

واژهٔ پایداری امروزه به طور گسترده به منظور توصیف جهانی که در آن نظام‌های انسانی و طبیعی توأماً بتوانند تا آینده‌ای دور، ادامهٔ حیات دهند به کار می‌رود. مفهوم توسعهٔ پایدار به معنای ارائهٔ راه‌حل‌هایی در مقابل الگوهای سنتی کالبدی اجتماعی و اقتصادی توسعه است که بتواند از بروز مسائلی همچون نابودی منابع طبیعی، تخریب اکوسیستم‌ها، آلودگی، افزایش بی‌رویهٔ جمعیت، رواج بی‌عدالتی و پایین‌آمدن کیفیت زندگی انسان‌ها جلوگیری کند (ربانی‌فر، ۱۳۸۶). امروزه یکی از جنبه‌های مهم توسعهٔ پایدار ملاحظات زیست‌محیطی است که بخش قابل توجه آن استفادهٔ مناسب از منابع انرژی است (Wohlegemuth and Missfel, 2000). پرواضح است که ارائهٔ الگوهای مصرف انرژی و استفادهٔ بیشتر از منابع تجدیدپذیر می‌تواند

* نویسنده مسئول: Email: ehsani@ut.ac.ir

در این راستا مفید واقع شود (Miller, 2002). بنابراین، اگر توسعهٔ پایدار را عرصهٔ چگونگی تعامل عناصر اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی بدانیم، بی‌شک انرژی و چگونگی تولید آن اهمیت ویژه‌ای در همهٔ این بخش‌ها خواهد داشت (WEC, 1994). به طور کلی توسعهٔ پایدار انرژی همچنان که تعریف شده است، شامل سیاست‌گذاری‌ها، انتخاب و به کار بردن فناوری‌هایی است که انرژی مورد نیاز برای همهٔ تقاضاها را تأمین کند، ضمن اینکه حداقل مخارج را از نظر قیمت، آثار زیست‌محیطی و اجتماعی دربر داشته باشد (حسینی‌شکرایی و همکاران، ۱۳۸۸). استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر که جزو منابع انرژی پایدار محسوب می‌شوند، توانایی تأمین عادلانهٔ انرژی برای تمام مردم و در عین حال حفاظت از محیط‌زیست برای نسل آتی را دارند (Dincer, et al., 2014; Tester, et al., 2012).

از سوی دیگر، سیر ناصحیح حرکت به سمت و سوی شیوه‌های زندگی مدرن موجب رشد بی‌رویهٔ جمعیت، شهرنشینی، گسترش بدون نظم شهر در زیستگاه‌ها و بوم‌سامانه‌های طبیعی، نابودی جوامع سنتی روستایی و زمین‌های کشاورزی، مصرف و تخریب بی‌رویهٔ منابع طبیعی و رشد فرایند آلودگی‌های هوا و محیط‌زیست در شهرهای بزرگ شده است. این موارد همه به برهم خوردن تعادلی منجر شده که زمانی بسیار طولانی در جامعهٔ سنتی ما میان محیط انسانی و طبیعی برقرار بوده است (Miller, 2002). همچنین، بروز مشکلات آلودگی‌های زیست‌محیطی و تحلیل‌رفتن منابع انرژی از دیرباز از معضلات جوامع بوده لذا استفاده از انرژی پاک و طبیعی خورشید به‌منزلهٔ راهکار قابل توجهی برای حل این مشکل بیان شده است (Wohlegemuth and Missfel, 2000).

امروزه توسعه و گسترش نظریات و کاربردهای انرژی، به حصول روش‌های جدیدی برای سازگاری مسائل مربوط به انرژی و محیط‌زیست منجر می‌شود. به طور کلی این انرژی‌ها علاوه بر هزاران روش استفادهٔ انرژی خورشیدی از آن‌ها برای تولید مواد غذایی، آفتاب‌گرفتن و خشک‌کردن البسه، در مواردی از قبیل گرمایش، سرمایش ساختمان‌ها، گرمایش آب و استخرهای شنا، منبع انرژی خنک‌کننده‌ها، موتورها و پمپ‌ها و ... استفاده می‌شوند. همچنین با تلفیق آن با انرژی باد می‌توان آن را به انرژی مکانیکی و الکتریکی تبدیل کرد (حسینی‌شکرایی و همکاران، ۱۳۸۸). منابع انرژی جهان را می‌توان در گروه‌های عمدهٔ انرژی‌های فسیلی (نفت، گاز، زغال سنگ و ...)، انرژی هسته‌ای، انرژی‌های تجدیدپذیر (باد، خورشید، زمین گرمایی، انرژی آب، هیدروژه، اقیانوس‌و...) طبقه‌بندی کرد (Alamdari, et al., 2013; Bagheri, et al., 2011). همچنین، گرایش به رویکردهای انرژی های تجدیدپذیر مشکلات مربوط به آلودگی هوا و خسارات محیط‌زیستی انرژی‌های فسیلی و هسته‌ای را برطرف کرده است و مشکلات کمتری همراه دارد.

میزان دریافت انرژی خورشیدی در یک نقطه از سطح زمین به چندین فاکتور شامل: عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی، بخشی از ساعت آفتابی، رطوبت هوا، تبخیر، دمای هوا، زاویهٔ خورشید و ... بستگی دارد (Chegaar and Chibani, 2001; Sabziparavar and Shetaee, 2007; Jacovides, et al., 2006). مقدار تابش خورشیدی رسیده بر بالای جو زمین تابعی از عرض جغرافیایی است. پس از رسیدن این تابش‌ها به جو زمین به دلیل پدیده‌های پخش و جذب اتمسفری بخشی از تابش خورشیدی مستهلک و این میزان هنگام ابرناکی آسمان یا بالابودن ذرات هوا بیشتر می‌شود. بنابراین، مقدار تابش واردشده به سطح افق در زمان‌های مختلف و با تغییر شرایط اتمسفر تغییر می‌یابد (یزدان‌پناه و همکاران، ۱۳۸۹). به طور متوسط خورشید در هر ثانیه ۱۰۲۰×۱/۱ کیلووات ساعت انرژی ساطع می کند. از کل انرژی منتشرشدهٔ خورشید، تنها در حدود ۴۷ درصد آن به سطح زمین می‌رسد. این بدان معنی است که زمین در هر ساعت تابشی در حدود ۶۰ میلیون Btu[1] (معادل ۱۸ هزار کیلووات ساعت) دریافت می‌کند. یعنی انرژی ناشی از سه روز تابش خورشید به زمین برابر با تمام انرژی ناشی از احتراق کل سوخت‌های فسیلی در دل زمین است،

بنابراین می توان نتیجه گرفت که در اثر تابش خورشید به مدت چهل روز، انرژی مورد نیاز یک قرن ذخیره خواهد شد.

ایران در بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجهٔ عرض شمالی قرار گرفته و در منطقه‌ای واقع شده است که به لحاظ دریافت انرژی خورشیدی در بین نقاط جهان در بالاترین رده ها قرار دارد. به گفتهٔ متخصصان این فن با وجود ۳۰۰ روز آفتابی در بیش از دو سوم وسعت ایران، متوسط تابش روزانه در آن برابر ۴/۵– ۵/۵ کیلووات ساعت بر متر مربع در روز است (وزارت نیرو، ۱۳۹۲). به طور کلی بر حسب آنچه گفته شد ایران به دلیل موقعیت ویژهٔ جغرافیایی توان بالایی در دریافت انرژی خورشیدی دارد، به طور میانگین سالانه تابش خورشید در کشور ۵ کیلووات ساعت در روز برآورد شده که این میزان در مقایسه با دیگر کشورها قابل ملاحظه است (گزانه و مرادی، ۱۳۹۳).

آگاهی از مقدار تابش خورشیدی در هر محل برای بسیاری از مسائل کاربردی از جمله تبخیر، تعرق، طراحی معماری، مدل های رشد محصولات کشاورزی و ... اهمیت بالایی دارد. به‌رغم اهمیت اندازه‌گیری این پارامترها به دلیل مشکلات اقتصادی وسایل و ابزار مناسب اندازه گیری تابش مانند سایر پارامتر های هواشناسی از جمله دما و بارش در همهٔ مناطق موجود نیست و باید به گونه ای آن را تخمین زد (Almorox, et al., 2005; Iziomon and Mayer, 2002) بنابراین، لزوم گرایش محققان به سمت استفاده از مدل‌های تابش بیشتر شده است. مقادیر تابش از طریق مدل‌ها و روش‌های مختلفی از جمله روابط تجربی و رگرسیونی، استفاده از فن سنجش از دور و شبکه های عصبی و میان‌یابی خطی محاسبه می‌شوند (علیزاده و خلیلی، ۱۳۸۸). برای برآورد انرژی تابش خورشیدی یک منطقه مدل‌های ریاضی متعددی از سوی پژوهشگران داخلی و خارجی ارائه شده است که اکثر آن‌ها بر اساس آمارهای هواشناسی تدوین شده‌اند. مدل‌های ارائه‌شده با استفاده از اطلاعاتی از قبیل پوشش گیاهی، ارتفاع، موقعیت جغرافیایی دما و رطوبت هوا رابطه‌ای را برای پیش‌بینی میزان انرژی تابش خورشیدی ارائه کرده‌اند. در قارهٔ اروپا برای تهیهٔ اطلس انرژی خورشیدی از مدل r.sun استفاده کردند (ECJRC, 2007).

تحقیقات متفاوتی در زمینهٔ مدل‌های انرژی خورشیدی انجام شده است. آلوارز و همکاران (۲۰۱۱) میزان دریافت ماهانهٔ تابش جهانی را برای منطقهٔ شمالی و مرکزی شیلی با مدل r.sun تعیین و اعتبار مدل را با مشاهدات ایستگاه‌های آب و هوایی سنجش کردند. نتایج آن‌ها نشان داد مدل r.sun می‌تواند دقت اندازه‌گیری‌ها را بالا ببرد و تخمین‌ها را بهبود بخشد. نتایج آن‌ها تأکید داشت که این مدل می‌تواند برآورد فضایی برای میزان تابش به صورت روزانه، هفتگی، ماهانه و سالانه ارائه کند (José Álvarez, et al., 2011). در مطالعه‌ای دیگر Matgorzata و همکارانش با به کارگیری مدل r.sun تابش خورشیدی در منطقهٔ بزرگ سیلسیا را محاسبه کردند و به نتایج خوبی دست یافتند. مطالعهٔ آن‌ها نشان داد برآورد این مدل بهتر از نتایج ایستگاه‌های اقلیمی است و بیان کردند با دقت ۰/۹۸ نتایج مدل واقعی‌تر و بهتر بود (Matgorzata and Netzel, 2011). در تحقیقی که Rehman در عربستان انجام داد، از طول و عرض جغرافیایی و ضریب تبدیل گیاهی، برای محاسبهٔ تابش روزانه در ۴۱ شهر در عربستان استفاده و نتایج آن‌ها را با هم مقایسه کرد (Rehman, 1998). در مطالعات دیگر آل آید و همکارانش استفاده از برخی روابط تجربی و داده های سالانه را برای محاسبهٔ مجموع تابش روزانه، تابش مستقیم در سطح افقی انتشار پیشنهاد دادند (Al-Ayed, et al., 1998). Benghanem و Joraid چندین رابطه میان پارامترهای خورشیدی پیشنهاد دادند. آن‌ها تابش را بر اساس میانگین داده‌های ماهانه در مدینه تعیین کردند (Benghanem and Joraid, 2007). در مطالعه‌ای سوراپیپادانا پتانسیل استفاده از انرژی خورشیدی را در تایلند تعیین کرد. وی کار را با تکنیک تصاویر ماهواره‌ای انجام داد و نتایج مطالعهٔ وی نشان داد میانگین تابش خورشیدی همبستگی بالایی با عوارض جغرافیایی و تغییرات فصل دارد (Sorapipatana, 2010). لوپز و

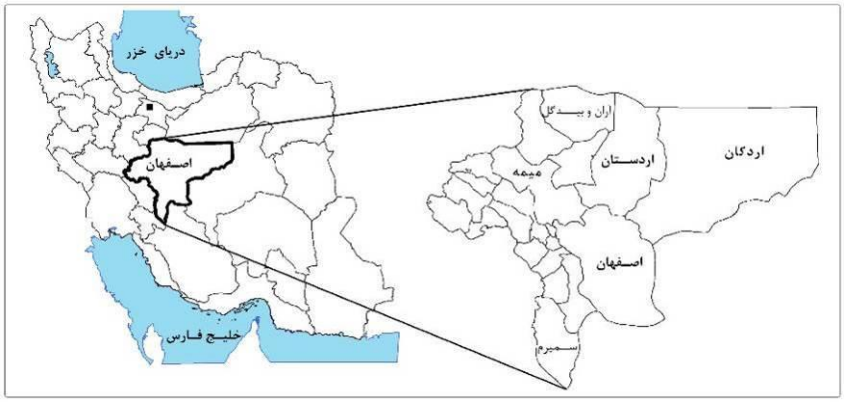
همکارانش نیز با استفاده از داده‌های تابش‌سنجی ۶ ایستگاه در اسپانیا مدل‌های مختلف تابش خورشیدی را ارزیابی کردند (Lopez, et al., 2000). سوزن مقدار تابش خورشیدی را با کمک شبکه های عصبی برای ترکیه محاسبه کرد و نتایج آن‌ها نشان از دقت بالای این تکنیک برای محاسبهٔ تابش خورشیدی است (Sozne, 2005). برای برآورد تابش انرژی خورشیدی می‌توان به تحقیقات ریوینگتن (۲۰۰۵)، لویس (۲۰۰۳) و بریستو (۲۰۰۳) اشاره کرد (Louis, 2003; Bristow, 2003; Rivingtom, 2005).

در ایران مطالعات اندکی در این زمینه انجام شده که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مطالعات مرادی ۱۳۸۱، خلیلی ۱۳۷۶ و ۱۳۸۱، صمیمی ۱۳۶۴ و کمالی ۱۳۸۴ اشاره کرد. یزدان‌پناه (۱۳۸۹) نیز میزان تابش خورشیدی در استان اصفهان را بر اساس آمار روزانهٔ ایستگاه‌های سینوپتیک برآورد و تابش خورشیدی در سطح افق را مدل‌سازی کرده است (یزدان‌پناه و همکاران، ۱۳۸۹).

اطلاع از شدت تابش خورشیدی رسیده به سطح افقی زمین، نسبت به زمان ساعات آفتابی اهمیت بیشتری دارد، لذا شناسایی روش‌های تخمین شدت تابش خورشیدی رسیده به سطح افقی از آمار موجود ساعات آفتابی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (یزدان‌پناه و همکاران، ۱۳۸۹). بر این اساس، با توجه به مطالعات محدود پیرامون مدل‌سازی میزان دریافت تابش خورشیدی در این مطالعه سعی شد با بهره‌گیری از رویکردهای نوین مطالعاتی بر حسب مدل r.sun میزان دریافت انرژی خورشیدی در سطح استان اصفهان مدل‌سازی و محاسبه شود تا بتوان با آگاهی‌یافتن از پتانسیل این استان در میزان دریافت انرژی خورشیدی برنامه‌ریزی صحیحی برای بهره‌گیری از انرژی تجدیدپذیر و پاک خورشید در این استان داشت. همچنین، محققان به دنبال تعیین استعداد نسبی استان اصفهان در توسعهٔ زیرساخت‌های استفاده از انرژی خورشیدی و تعیین پهنه‌های مناسب برای این امرند.

۲. معرفی منطقهٔ مطالعاتی

استان اصفهان با قرارگیری در موقعیت ´۴۳ °۳۰ تا ´۲۷ °۳۴ شمالی و ´۳۶ °۴۹ تا ´۳۱ °۵۵ شرقی و با مساحت تقریبی ۱۰۷۰۱۷ کیلومتر مربع در مرکز ایران قرار دارد. این استان دارای ۲۳ شهر، ۱۰۶ شهرستان و ۱۲۶ روستاست. در سال ۱۳۹۰ جمعیت آن برابر با ۴۸۷۹۳۱۲ نفر برآورد شد. استان اصفهان با توجه به قدمت تاریخی به یکی از محورهای گردشگری و مراکز جاذب ایران تبدیل شده و از اهمیت بالایی برخوردار است. از طرف دیگر، به دلیل قرارگیری کارخانه‌های مهم و استقرار صنایع بزرگ در این استان، این منطقه با مشکل انرژی و آلودگی ناشی از سوخت‌های فسیلی مواجه است. بنابراین، لزوم مطالعهٔ میزان دریافت انرژی خورشیدی به منظور برنامه‌ریزی برای استفاده از این انرژی ضروری به نظر می‌رسد (شکل ۱).



شکل ۱. معرفی منطقهٔ مطالعاتی، استان اصفهان

(منبع: نویسندگان)

۳. روش تحقیق

در پژوهش حاضر علاوه بر بررسی های کتابخانه ای و استفاده از منابع موجود، برای مطالعهٔ منطقه از نقشهٔ توپوگرافی رقومی منطقه به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شده از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشهٔ کاربری اراضی استان تهیه‌شده از سازمان نقشه‌برداری کشور و سایر پارامترها که در ادامه به آن‌ها اشاره خواهد شد استفاده شد. برای مدل‌سازی و مکان‌دارکردن پارامترها از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی پردازشی به‌منزلهٔ سیستمی کارآمد و مؤثر برای فراهم‌آوردن اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. این سامانه یک سیستم پشتیبانی برای تصمیم‌گیری است که به کاربران امکان می‌دهد با توجه به اطلاعات جغرافیایی ارائه‌شده تصمیمات مناسب و مقتضی اتخاذ و اعمال کنند (سلمان‌ماهینی و کامیاب، ۱۳۹۰). نرم‌افزار GRASS[۲] یکی از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در تحلیل‌های مکانی و جغرافیایی است. نرم‌افزار GRASS از قدیمی‌ترین نرم‌افزارهای GIS[۳] (از سال ۱۹۸۴) است که تحت مجوز GNU GPL[۴] منتشر می‌شود. این نرم‌افزار که ابتدا از سوی USA-CERL[۵] با زبان ANSI-C[۶] توسعه یافت در حال حاضر یکی از پروژه های OSGeo[۷] محسوب می شود. قابلیت‌های متنوع آن در زمینهٔ کار با داده‌های رستری و برداری، تجزیه و تحلیل‌های رستری، برداری، سه‌بعدی و شبکه، این نرم‌افزار را در ردیف مهم‌ترین نرم‌افزارهای رومیزی در حوزهٔ سیستم های اطلاعات مکانی قرار داده است (Nguyen and Pearce, 2010). در این مطالعه نیز با توجه به وجود تنوع در الگوریتم‌های مختلف مدل‌سازی از سامانهٔ اطلاعات مکانی GRASS برای مدل‌سازی تابش خورشیدی استفاده شد. به این منظور از دستور r.sun به‌منزلهٔ یکی از مدل‌های مکان‌دار برای محاسبهٔ میزان تابش خورشیدی استفاده و تحلیل شد.

مدل r.sun به محاسبهٔ پرتو (مستقیم)، انتشار و بازتاب زمینی اشعه‌های خورشیدی در نقشه‌های رستری با توجه به وضعیت روز، ارتفاع از سطح دریا، شرایط سطحی و اتمسفری می‌پردازد. پارامترهای خورشیدی (مانند زمان طلوع و غروب، زاویهٔ انحراف، تابش زمینی و طول روز) در فایل‌های هیستوری نقشه‌های حاصله ذخیره می‌شوند. همچنین، زمان محلی می‌تواند برای محاسبهٔ زاویهٔ ظاهرشدن خورشید یا نقشه‌های رستری تابش استفاده شود. این امر می‌تواند یا با محاسبهٔ سایه‌اندازی، به طور مستقیم از طریق مدل رقومی ارتفاع یا استفاده از بردارهای (رسترها) ارتفاع افق، که سریع‌تر است، انجام شود.

مبنای آن هندسهٔ خورشیدی مدل کارهای کروکو است که بعدها از طریق جنکو ارتقا یافت. سؤالات تبیین‌کنندهٔ موقعیت خورشید-زمین بر پایهٔ فرمول پیشنهادی کیتلر و میکلر (۱۹۸۶) بودند. این ترکیب به طور قابل ملاحظه‌ای از طریق نتایج و پیشنهادهای حاصل از کار گروه هماهنگ شارمر و گریف (۲۰۰۰) به‌روز شد.

مدل r.sun به دو حالت کار می‌کند: حالت نخست به محاسبهٔ مجموعهٔ زمان محلی و زاویهٔ ظاهرشدن خورشید (درجه) و مقدار تابش خورشیدی (W.m-2) می‌پردازد؛ حالت دوم مجموع روزانهٔ تابش خورشیدی (Wh.m-2.day-1) در مجموعه‌ای از روزها محاسبه می‌شود (Nguyen and Pearce, 2010). با ثبت این دو حالت است که مدل می‌تواند به طور جداگانه یا ترکیبی، برای انجام برآوردهای دلخواه در هر فاصلهٔ زمانی ممکن اقدام کند. این مدل به محاسبهٔ انسداد آسمان به واسطهٔ اشکال کمکی محلی می‌پردازد. چندین عامل خورشیدی در فایل‌های هیستوری نقشه‌های حاصله ذخیره می‌شوند که می‌توان آن‌ها را با دستور r.info در نرم‌افزار GRASS مشاهده کرد. این مدل در نرم‌افزار گرس ورودی‌های مختلفی دارد که در جدول ۱ آورده شده است.

برای تهیهٔ نقشهٔ آلبیدو استان اصفهان (شکل ۱- د) ابتدا نقشهٔ کاربری اراضی این استان تهیه، سپس ضریب آلبیدو هر کاربری بر حسب جدول ۲ محاسبه و طبقه‌بندی شد.

به صورت مفهومی می‌توان مراحل انجام تحقیق را طبق شکل ۲ خلاصه کرد.

جدول ۱. پارامترهای ورودی مدل r.sun در نرم‌افزار اطلاعات جغرافیایی Grass

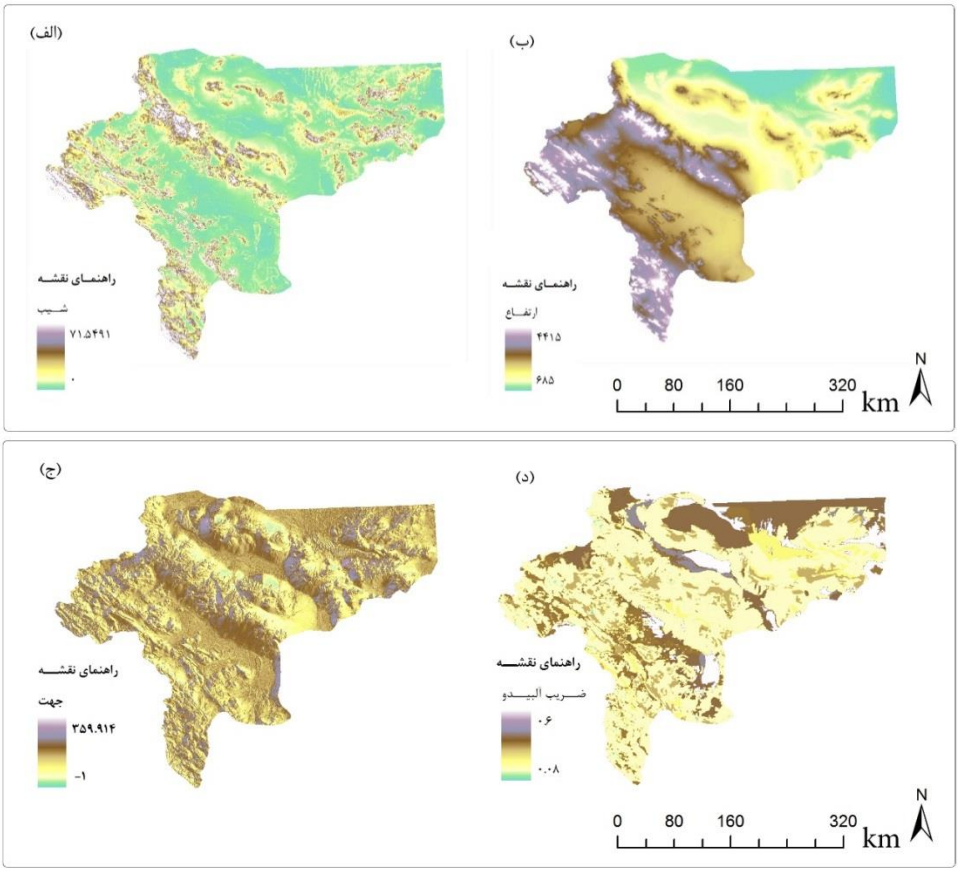
پارامتر ورودی	توضیح	بومی‌سازی با شرایط منطقهٔ مطالعاتی
Eleven	مدل ارتفاعی	شکل (۱- ب)
aspin	جهت آزیموت خورشید	۱
aspect	ارزش جهت اصلی	جنوبی، ۲۷۰
aspect	نقشهٔ جهت	شکل (۱- ج)
slopein	نقشهٔ شیب (شیب پانل خورشیدی)	شکل (۱- الف)
slope	ارزش شیب اصلی	درجه
lin	ارزش واحد ضریب کدورت جو	۳
coefbh	ضریب پرتو تابشی حقیقی آسمان	۰/۵
Day	تعداد روز در سال	۳۶۵
Step	مراحل زمانی محاسبهٔ مجموع تابش در روز	۰/۵ درجهٔ ساعت
Time	زمان محلی محاسبهٔ انرژی خورشیدی	۱۲ ظهر
Dist	ضریب واحد فاصلهٔ نمونه	۱
numpartitions	مجموع فایل‌های ورودی	۵ فایل نقشه‌ای
Civiltime	زمان محلی ساعت خورشیدی	۱۲ ظهر
Alb	نقشهٔ آلبیدو	شکل (۱- د)

(منبع: نویسندگان)

جدول ۲. ضرایب میزان بازتاب انرژی خورشیدی برای انواع کاربری اراضی

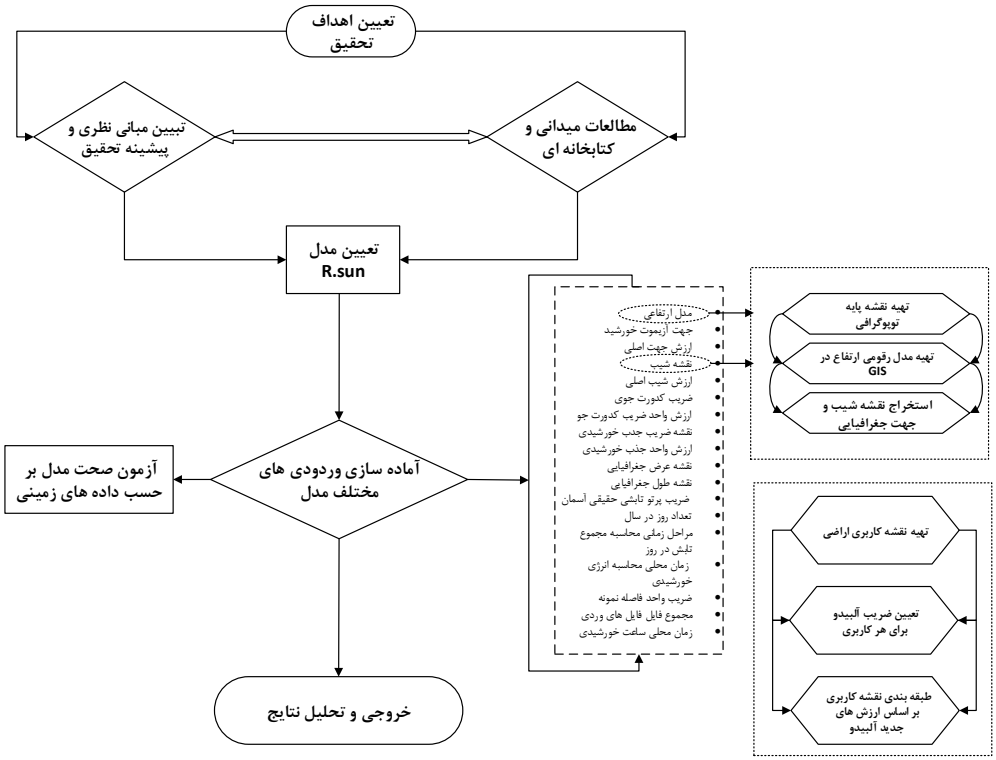
نوع کاربری	ضریب آلبیدو
حیاط‌های مسکونی	۰/۱۶
منازل آپارتمانی	۰/۱۵
واحدهای اداری	۰/۱۵
مراکز تجاری	۰/۱۴
مراکز صنعتی	۰/۱۲
پارک‌ها و اراضی باز	۰/۲
درخت‌زار، علف‌زار و مزارع کشاورزی	۰/۲
هسته‌های شهری	۰/۱۴
جنگل‌ها	۰/۱۸
مراتع	۰/۱۵
منابع آب سطحی	۰/۵- ۱

(David j Sailor, 1994)



شکل ۲. نقشهٔ داده‌های ورودی در مدل r.sun در نرم‌افزار GRASS

(منبع: نویسندگان)



شکل ۳. مدل مفهومی روش مطالعهٔ تحقیق

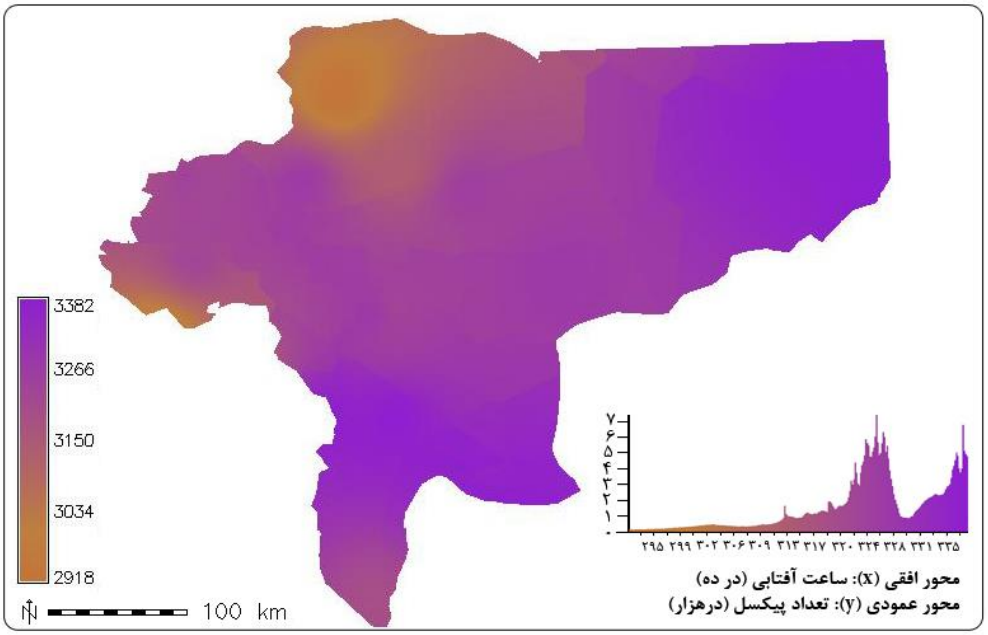
(منبع: نویسندگان)

۴. نتایج

ساعت آفتابی در استان اصفهان مطابق شکل ۴ است، بر این اساس بخش‌های شمالی و شمال‌شرقی استان و بخش‌های جنوبی بیشترین ساعت آفتابی را دارند و کمترین آن نیز مربوط به قسمت‌های شمال‌شرقی استان است. بیشترین ساعت دریافت آفتاب در استان ۳۳۹۲ و کمترین آن نیز ۲۹۱۸ ساعت است. بر این اساس، کل منطقه از میانگین دریافت انرژی خورشیدی بالایی برخوردار است. تحلیل‌های حاصل از مدل‌سازی نیز به شرح زیر پتانسیل بالای منطقه در دریافت انرژی خورشیدی را تأیید می‌کنند.

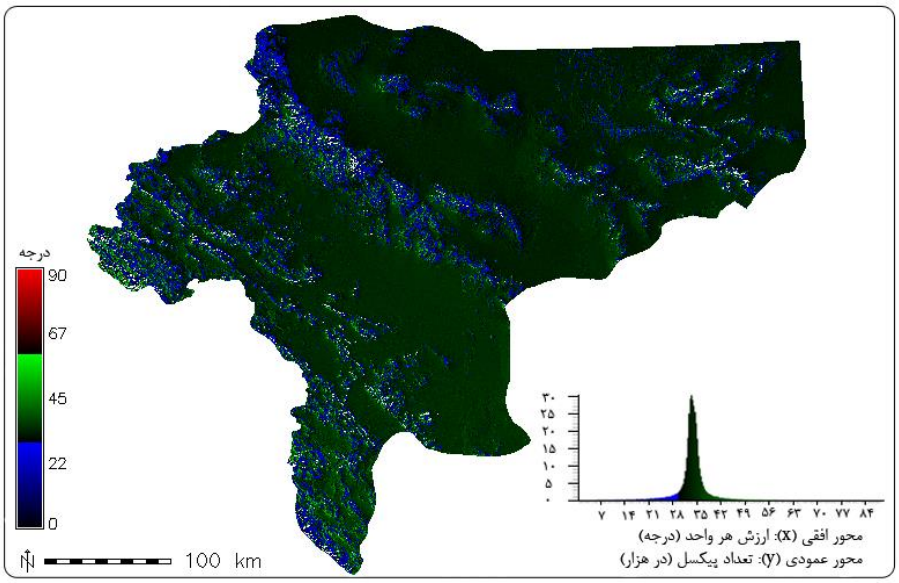
رادیانس و رادیانس طیفی اندازه‌های رادیومتریکی‌اند که مقدار نوری را که از یک سطح خاص می‌گذرد یا از یک ناحیهٔ خاص گسیل می‌شود، در یک زاویهٔ فضایی معین و در یک جهت خاص قرار می‌گیرد توصیف می‌کند. رادیانس گسیل یا بازتاب کلی را توصیف می‌کند. ایرادیانس، گسیل تابشی و خروج تابشی از جمله اصطلاحات تابش‌سنجی برای توان تابشی الکترومغناطیسی در واحد سطح به شمار می‌روند. ایرادیانس وقتی به کار می‌رود که تابش الکترومغناطیسی به روی سطح فرود می‌آید. ایرادیانس خورشیدی کل نیز عبارت است از انرژی تابشی خورشید که در تمام طیف الکترومغناطیسی گسیل می‌یابد و در هر ثانیه یک متر مربع از سطح بیرون جو زمین را پوشش می‌دهد. به عبارت دیگر، کامل‌تر ایرادیانس خورشیدی خروجی انرژی خورشیدی به واسطهٔ تولید و گسیل نور است (علوی‌پناه، ۱۳۸۸).

نقشهٔ زاویهٔ ایرادیانس خورشیدی (شکل ۵) در اصفهان حاکی از آن است که بیشتر منطقه در زاویهٔ ایرادیانس خورشیدی ۴۵ درجه قرار گرفته است و زاویهٔ ۲۲ درجه نیز در نقشهٔ زاویهٔ ایرادیانس خورشیدی سهم بالایی دارد. نقش زاویهٔ ایرادیانس خورشیدی به گونه‌ای است که در مناطقی که در زاویه‌های ۴۵ درجه تا ۹۰ درجه قرار گرفته باشند از میزان بالاتر دریافت تشعشعات خورشیدی نیز بهره‌مند خواهند شد. بنابراین، استان اصفهان با توجه به اینکه در بیشتر موارد در زاویهٔ بین ۴۶ تا ۶۷ درجه قرار دارد سهم مناسب و پتانسیل بالقوهٔ خوبی را شرایط طبیعی برای درافت انرژی خورشیدی فراهم آورده است.



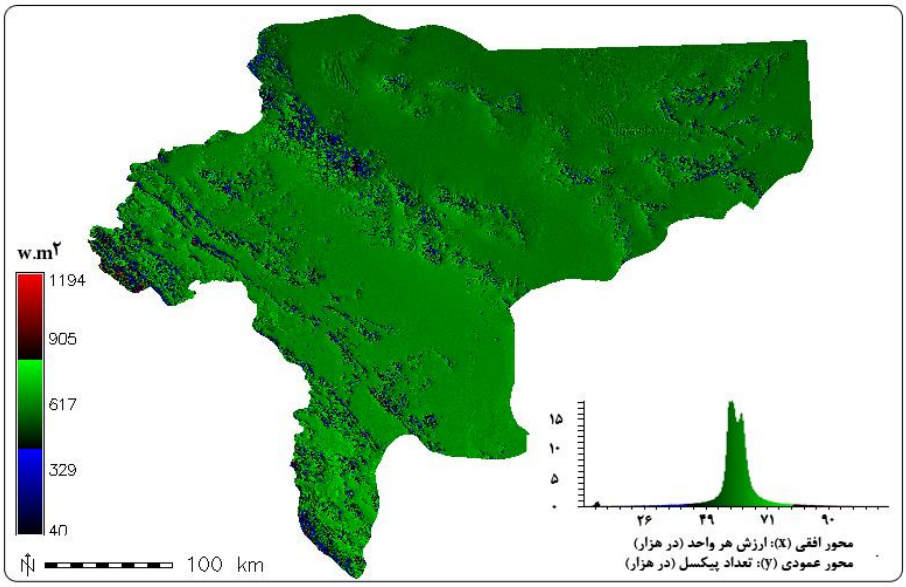
شکل ۴. نقشهٔ ساعت آفتابی دریافت تابش

(منبع: نویسندگان)



شکل ۵. نقشهٔ زاویهٔ ایرادیانس

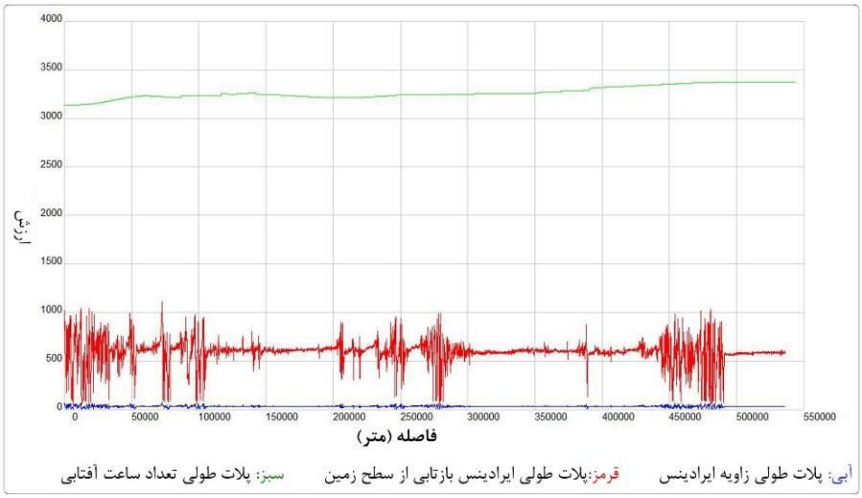
(منبع: نویسندگان)



شکل ۶. نقشهٔ ایرادیانس بازتابی از سطح زمین

(منبع: نویسندگان)

نتایج مدل‌سازی برای میزان دریافت انرژی خورشیدی و میزان بازتاب آن از سطح زمین که در این تحقیق ارزیابی و مدل‌سازی شد (شکل ۶) به صورتی است که بیشترین ایرادیانس بازتابی برابر با ۱۱۹۴ و کمترین آن برابر با ۴۰ وات بر متر مربع محاسبه شد. بیشتر پهنه‌های استان حد وسط دارند و میزانی بین ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ وات بر متر مربع را دریافت می‌کنند. نکتهٔ حائز اهمیت در این تحقیق آن است که مناطق مرتفع یعنی نوک قله‌ها بیشترین ایرادیانس را داشتند به طوری که زاویه‌های ۹۰ درجه ایرادیانس بالای ۱۰۰۰ وات بر متر مربع را دریافت می‌کنند. به طور کلی می‌توان برای دریافت میزان انرژی خورشیدی وضعیت منطقه را در حد متوسط به بالا ارزیابی کرد.



شکل ۷. پلات طولی نقشه‌های منطقهٔ مطالعاتی

(منبع: نویسندگان)

شکل ۷ نیز به‌منزلهٔ پلات طولی بیانگر نوسانات تغییرات سه فاکتور محاسبه‌شده در بالا در پروفیل طولی استان اصفهان است. پلات تعداد ساعت آفتابی شیب ملایمی داشته که بیانگر نوسانات کم در ساعت آفتابی منطقه است و به لحاظ میانگین تابش نیز در وضعیت متوازنی قرار دارد. پلات طولی نقشهٔ ایرادیانس بازتابی از سطح زمین را نیز نشان می‌دهد: نوساناتی که مشاهده می‌شوند با توجه به خطوط توپوگرافی و ارتفاعات منطقه متغیرند و هرچه به ارتفاعات بالاتر بروند شیب نمودار بیشتر می‌شود و عدد بزرگ‌تری را نشان می‌دهد. همچنین، زاویهٔ رادیانس نیز در پلات طولی تغییرات ثابتی داشته و تغییرات آن با تغییرات ایرادیانس کل خورشیدی ارتباط مستقیم دارد. به طور کلی وضعیت منطقه را می‌توان به لحاظ بیشتر پارامترهای انرژی خورشیدی و میزان دریافت آن متناسب و مستعد سرمایه‌گذاری در جهت بهره‌برداری از این نوع انرژی ارزیابی کرد.

۵. بحث و جمع‌بندی

انرژی خورشید پارامتر مهمی در مدل‌های مختلف مربوط به انرژی در صنایع، پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق، ذوب برف یا سنجش از دور است. نقشه‌های زاویه‌های تابش اشعه‌های خورشیدی به طور مفیدی می‌توانند در تصحیحات رادیومتریک و توپوگرافیک در مناطق کوهستانی و پر از تپه استفاده شوند. در این راستا می‌توان از انرژی رادیانس و ایرادیانس خورشید به‌منزلهٔ مهم‌ترین معیارهای منطقه به منظور برنامه‌ریزی برای استفاده از انرژی خورشیدی نام برد. به طور کلی پتانسیل ذاتی و میزان دریافت انرژی خورشید، استان اصفهان را مستعد توسعهٔ نیروگاه‌های خورشیدی و استقرار صفحه‌های خورشیدی برای بهره‌گیری از انرژی خورشید کرده است. همچنین، نتایج این تحقیق می‌تواند در برنامهٔ توسعهٔ استان برای بهره‌گیری از انرژی پاک خورشیدی و مکان‌یابی محل‌های مناسب برای توسعهٔ زیرساخت‌های بهره‌برداری از این انرژی کاربردی باشد، به طوری که مناطقی از استان که تابش بیشتری دریافت می‌کنند شامل مناطق شمالی، شمال‌غربی و مرکزی اهمیت نسبی بالاتری برای توسعهٔ نیروگاه‌ها یا استقرار صفحه‌های خورشیدی دارند. البته بالابودن میزان تابش تنها فاکتور اصلی تصمیم‌گیری نیست و در ارزیابی توان منطقه برای تعیین پهنه‌های همگن و مستعد توسعه باید سایر پارامترها نیز لحاظ شود. به طور کلی نتایج این مطالعه با مطالعات کلی و اطلس انرژی ایران مطابقت دارد و پتانسیل بالای منطقه را برای میزان دریافت

انرژی خورشیدی تأیید می‌کند. همچنین با مطالعهٔ یزدان‌پناه که میزان تابش اصفهان را از روی داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی برآورد کرده بود منطبق است که می‌تواند تأییدی بر بالابودن دقت برآورد مدل r.sun باشد. همچنین، مقایسهٔ نقشهٔ حاصل از مدل r.sun و نقشهٔ ساعات آفتابی نشان از دقت بالای این مدل در برآورد میزان تابش در سطح استان دارد. بر این اساس، استفاده از مدل r.sun با توجه به دقت بالایی که در ورودی پارامترهای اعمال‌شده دارد توانسته است توزیع فضایی میزان تابش را در سطح افق استان اصفهان ارائه کند و از آنجا که از نقشهٔ مکانی ضریب آلبیدو نیز در فرایند برآورد استفاده شده است توانسته کمک شایانی در تدقیق و قابل تعمیم‌کردن نتایج داشته باشد. بهره‌گیری از مدل ارائه‌شده می‌تواند در مقیاس‌های کلی دید مناسب و دقیقی نسبت به میزان دریافت انرژی خورشیدی ارائه کند و نتایج آن در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌ها در سطوح استانی قابل استفاده است، زیرا رویکرد گرایش به استفاده از انرژی‌های پاک و لزوم توسعهٔ پایدار در زمینهٔ انرژی ضرورت استفاده از نتایج این پژوهش یا پژوهش‌های مشابه را بیشتر می‌کند. در خاتمه نیز پیشنهاد می‌شود برای بهترشدن تحقیقات، مطالعه پیرامون پهنه‌بندی انرژی، مکان‌یابی پهنه‌های مستعد استقرار نیروگاه‌های خورشیدی در سطح استان اصفهان صورت گیرد. همچنین، می‌توان با بهره‌گیری از مدل r.sun در برآوردها و نقشه‌سازی‌ها در سطح مقیاس منطقه‌ای از دقت بالاتری بهره‌مند شد تا شناسایی مناطق دارای تناسب بیشتر به صورت صحیح‌تری انجام شود. با بالابردن هرچه بیشتر دقت این مدل با استفاده از داده‌های با سطح تفضیل بهتر و قدرت تفکیک مکانی بیشتر می‌توان در آینده شاهد توسعهٔ پایدار انرژی در منطقه و استفاده از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر خورشید در سطح استان بود.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان این تحقیق از همهٔ دوستانی که در پیشبرد اهداف پژوهشی این تحقیق کمک و یاری داشتند، همچنین از راهنمایی‌های استادان گروه برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست کمال تشکر را دارند.

یادداشت‌ها

1. British thermal unit
2. Geographic Resources Analysis Support System
3. Geographic information system
4. GNU General Public License
5. U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory, a branch of U.S. Army Corps of Engineering
6. American National Standards Institute (ANSI) for the C programming language
7. Open Source Geospatial Foundation

منابع

حسینی‌شکرایی، ح. س.، عبدلی، م. ع.، گیتی‌پور، س.، دهقانی، ع. ۱۳۸۸. اثرات کاربرد سیستم‌های انرژی خورشیدی در مصرف انرژی و آلاینده‌های محیط‌زیست (مطالعهٔ موردی: شهر تهران)، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران.

خلیلی، ع.، اسحاق‌مرادی، غ. ۱۳۸۱. مقایسهٔ مدل‌های مختلف برآورد تابش مستقیم خورشید بر روی سطوح شیب‌دار، دومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران، ایران.

خلیلی، ع. ۱۳۷۶. برآورد تابش خورشید در گسترهٔ ایران بر مبنای داده‌های اقلیمی، تحقیقات جغرافیایی، شمارهٔ ۴۶، صص ۲۷- ۳۴.

ربانی‌فر، ع. ۱۳۸۶. اثرات اتلاف مصرف انرژی در تهران بر آلودگی محیط‌زیست، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ محیط‌زیست.

سلمان‌ماهینی، ع.، کامیاب، ح. ۱۳۹۰. سنجش از دور و سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی کاربردی با نرم‌افزار ایدریسی، ویرایش دوم، انتشارات مهر، تهران، ۶۱۰ صفحه.

سایت وزارت نیروی جمهوری اسلامی ایران. ۱۳۹۲. www.moe.gov.ir.

صمیمی، ج. ۱۳۶۴. انرژی خورشید برای ایران، فیزیک، سال اول، شمارهٔ ۲، جلد سوم، صص ۱۸- ۳۰.

علیزاده ا.، خلیلی، ن. ۱۳۸۸. تعیین ضرایب مدل آنگستروم و توسعهٔ یک مدل رگرسیونی برآورد تابش خورشیدی (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ مشهد)، علوم و صنایع کشاورزی (آب و خاک)، سال اول، شمارهٔ ۱، صص ۲۲۹- ۲۳۸.

علوی‌پناه، ک. ۱۳۸۸. اصول سنجش از دور نوین و تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۷۸۲ صفحه.

کمالی، م.، مهاجرزاده، م.، معصومی، ر. ۱۳۸۹. اصول و معیارهای مکانی صنایع راهبردی، انتشارات مبنای خرد، تهران، ۲۶۴ صفحه.

کمالی، غ.، مرادی، ا. ۱۳۸۴. تابش خورشید- اصول کاربردها در کشاورزی و انرژی‌های نو، انتشارات پژوهشکدهٔ هواشناسی، تهران، ۳۰۰ صفحه.

گزانه، ا.، بیگلری، م. ۱۳۹۳. ارزیابی ردیاب خورشیدی و زاویهٔ بهینه برای سیستم‌های فتوولتائیک، دهمین همایش بین‌المللی انرژی، تهران، ایران.

مرادی، ا. ۱۳۸۱. برآورد شدت تابش خورشیدی در سطوح شیب‌دار، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه تهران.

یزدان‌پناه، ح.، میرمجربیان، ر.، برقی، ح. ۱۳۸۹. برآورد تابش کلی خورشید در سطح افقی زمین در اصفهان، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال بیست و یکم، شمارهٔ ۳۷، صص ۹۵- ۱۰۵.

Alamdari, P., Nematollahi,O., and Alemrajabi, A. 2013. Solar energy potentials in iran, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 21: 778-788.

Al-Ayed, MS., AI-Dhafiri, AM., and Bin Mahfoodh, M. 1998. Global, direct and diffuse solar Irradiance in Riyadh. Saudi Arabia, Renewable Energy, 14: 249–54.

Almorox, J., Benito, M., and Hontoria, C. 2005. Estimation of monthly Angstrom–Prescott equation coefficients from measured daily data in Toledo- Spain, Renewable Energy, 30: 931–936.

Bagheri, N., Moghaddam, S., Mousavi, M., Nasiri, M., Moallemi, EA, and Yousefdehi, H. 2011. Wind energy status of Iran: evaluating Iran's technological capability in manufacturing wind turbines, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 14:4200–4211.

Benghanem, M., and Joraid, A. 2007. A multiple correlation between different solar parameters in Medina. Saudi Arabia, Renewable Energy, 32: 2424–2435.

Bristow, m. 2003. On the relationship between incoming solar radiation and atmospheric parameters, Agri & for met. 31: 15-22.

Chegaar, M., and Chibani, A. 2001. Global solar radiation estimation in Algeria, Energy Conversion and Management, 42: 967–73.

Dincer, I., Midili, A., and Kuchuk, H. 2014. Covers new technologies, strategic solution and engineering applications related to the generation of sustainable energy, Springer, 0-745.

ECJRC, 2007, European Commission Joint Research Center, http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/index.htm.

Iziomon, M.G., and Mayer, H. 2002. Assessment of some global solar radiation parameterizations, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 64: 1631–1643.

Jacovides, CP., Tymviosa, FS, Assimakopoulosc, VD. And Kaltsounidesa, NA. 2006. Comparative study of various correlations in estimating hourly diffuse fraction of global solar radiation, Renewable Energy, 31: 2492- 2504.

José, Á., Mitasova, H. and Lee Allen1, H. 2011. chilean journal of agricultural research 71(4): 601-609.

Louis, E., and Sunday, E. 2003. Relationship between Global solar radiation & sunshine duration for onne, Nigeria, Turkish Journal of Physics, 27: 161- 167.

Lopez, G., Rubio M.A., and Batlles, F.J. 2000. Estimation of hourly direct normal from measured global solar irradiance in Spain, Renewable Energy, 21: 175-186.

Matgorzata, P., Pawet, N, 2011, the method of assessment of solar potential for selected area with use Geographical Information Systems, 2nd European Energy Conference, 33: 8.

Miller, G.t.j. 2002. Sustaining the earth, an integrated approach, Cole, Thomson learning.

Nguyen, H.T., Pearce, J.M. 2010. Estimating Potential Photovoltaic Yield with r.sun and the Open Source Geographical Resources Analysis Support System" Solar Energy, 84: pp. 831-843.

Rehman, S. 1998. Solar radiation over Saudi Arabia and comparisons with empirical models. Energy, 23: 1077–1082.

Rivingtom, M., Bellocchi, G., Matthews, K.B., and Buchan, K. 2005. Evaluation of three model estimations of solar radiation at 24 UK statron, agri & for met, Agricultural and Forest Meteorology, 132: 228- 243.

Sailor, D. 1994. Simulated urban climate response modifications in surface albedo and vegetative cover, Journal of applied meteorology, 34: 1694-1705.

Sorapipatana, C. 2010. An assessment of solar energy potential in Kampuchea, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 14: 2174–2178.

Sozne, A. 2005. Solar energy potential in Turkey, Applied Energy, 80: 367-381.

Sabziparavar, A., and Shetaee, H. 2007. Estimation of global solar radiation in arid and Semi-arid climates of east and west Iran, Energy, 32: 649–655.

Tester, J. W., Drake, E. M., Driscoll, M. J., Golay, M. W., and Peters, W. A. 2012. Sustainable energy; choosing among options, The MIT Press, 2:1056.

Wohlegemuth, N., and Missfelhlt,F. 2000. The Kyoto mechanisms and the prospects of renewable energy technologies, Solar Energy, 69: 305-314.

WEC, World energy council. 1992. New Renewable Energy Resources, a Guide to the Future, Clays, WEC, London.