

ORIGINAL ARTICLE

Investigating the Role of Renewable Energies in Physical Development of Rural Areas (Case Study: Villages of Ardestan Township)

Abbas Ali Arvin¹

1. Associate Professor, Department of Geography, Payame Noor University, Tehran, Iran. .

Email: a_rvin@pnu.ac.ir

How to cite

Arvin, A.A. (2023). Investigating the Role of Renewable Energies in Physical Development of Rural Areas (Case Study: Villages of Ardestan Township), *Physical Social Planning*, 8 (30), 71-86.

ABSTRACT

Renewable energies are one of the most important sources of clean energy without harmful effects on the environment, which can be optimally used in remote areas, especially in rural areas. In this research, the potential of renewable energies including wind and solar energy for rural development in Ardestan township was investigated. For this purpose, daily statistics of solar radiation intensity and sky cloudiness and wind speed and direction statistics with a 3-hour time period of Ardestan station were used. The Weibull distribution probability function was used to estimate the radiation of Angstrom's equation and to predict and estimate the power of wind turbines. The results showed that Ardestan has a high talent for using solar energy due to the lower cloudiness coefficient. In about 90% of the year in Ardestan, wind blows with a speed between 8.8-3.6 m/s from the south and southwest. So, by applying the density coefficient in relation to temperature and height, the practical power of the turbine at a height of 50 meters reaches 528 kw/h, which has a high power for generating electricity. Due to the fact that it is not possible for the villagers to use wind turbines on a large scale, the use of solar water heaters for rural households and the use of wind power towers under the management of the township's electricity distribution company are suggested.

KEY WORDS

Solar radiation, Angstrom equation, Weibull Models, Rural settlements of Ardestan.

نشریه علمی

برنامه‌ریزی توسعه کالبدی

«مقاله پژوهشی»

نقش انرژی‌های تجدید پذیر در توسعه کالبدی نواحی روستایی مورد مطالعه: روستاهای ناحیه اردستان

عباسعلی آروین^۱

۱. دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

چکیده

انرژی‌های تجدید پذیر یکی از مهم‌ترین منابع تأمین انرژی پاک و عاری از اثرات مخرب زیست محیطی هستند که می‌تواند به‌طور مطلوب در مناطق دوردست، به‌ویژه مناطق روستایی که دور از منابع اولیه تولید انرژی هستند، مورد استفاده قرار گیرد. در این پژوهش پتانسیل انرژی‌های تجدید پذیر از جمله انرژی باد و خورشیدی در توسعه روستایی شهرستان اردستان مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از آمار شدت تابش خورشید و ابرناکی آسمان به‌صورت روزانه و از آمار سرعت و جهت وزش باد با دوره زمانی ۳ ساعته ایستگاه اردستان استفاده شد. روش کار برای تخمین تابش معادله آنگستروم و برای پیش‌بینی و تخمین توان توربین‌های بادی از تابع احتمال توزیع ویبول استفاده شد. نتایج نشان داد شهرستان اردستان به دلیل ضریب ابرناکی کمتر، از استعداد بالایی برای بهره‌برداری از انرژی خورشید برخوردار است. همچنین با توجه به اینکه در حدود ۹۰ درصد اوقات سال در اردستان وزش باد با سرعت بین $3/8-6/8 \text{ m/s}$ از جهت جنوب و جنوب غرب وجود دارد. با اعمال ضریب دانسیته نسبت به دما و ارتفاع، قدرت عملی توربین در ارتفاع ۵۰ متری متری به 528 kw/h می‌رسد که از توان بالایی برای تولید نیروی الکتریسته برخوردار است. با توجه به اینکه امکان بهره‌برداری شخصی روستاییان از توربین‌های بادی با مقیاس بزرگ فراهم نیست، لذا استفاده از آبگرم-کن‌های خورشیدی برای خانوارهای روستایی و استفاده از دکل‌های برق بادی جنب نواحی روستایی با مدیریت شرکت توزیع برق شهرستان پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تابش خورشید، معادله آنگستروم، مدل‌های ویبول، سکونت‌گاه‌های روستایی اردستان.

رایانامه: a_rvin@pnu.ac.ir

استناد به این مقاله:

آروین، عباسعلی (۱۴۰۲). نقش انرژی‌های تجدید پذیر در توسعه کالبدی نواحی روستایی؛ مورد مطالعه: روستاهای ناحیه اردستان. فصلنامه علمی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی، ۸ (۳۰)، ۷۱-۸۶.

مقدمه

به گفته کارشناسان، تابش خورشید بزرگترین منبع تجدیدپذیر کره زمین است (اسلامی آبخوره و همکاران ۱۳۹۳: ۴۶). به طوری که اگر فقط یک درصد از تابش صحرای جهان توسط نیروگاه های حرارتی خورشیدی بکار گرفته شود، می‌تواند کل تقاضای برق سالانه جهان را تأمین کند (مزینانی، باعدی و مزینانی ۱۳۹۴: ۳۷). شهرستان اردستان به دلیل موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی از توان بالایی برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی و نیز به دلیل قرا گرفتن در حاشیه کویر و نیز در دامنه کوهستان در معرض وزش بادهای مداوم است. با توجه به محدودیت عرضه انرژی‌های فسیلی مانند گاز و الکتریسته به دلیل هزینه تولید، توجه به توسعه پایدار برای حفظ منابع انرژی و نیز محافظت از محیط زیست برای کاهش مصرف انرژی فسیلی برای تولید برق و نیز مصارف خانگی، لازم است تمهیدات لازم برای بهره‌برداری از انرژی‌های تجدید پذیر خورشید و باد در مناطق مستعد مانند اردستان صورت پذیرد.

نظر به اهمیت انرژی های تجدید پذیر از جمله انرژی باد و انرژی تابشی خورشید در زندگی بشر تحقیقات مختلفی در نقاط مختلف دنیا بر روی جوانب مختلف بهره‌برداری از این انرژی‌ها صورت پذیرفته است. برای مثال؛ صمیمی (۱۳۶۴) کشور ایران از لحاظ تابش خورشیدی سالانه به چهار منطقه‌ای تابش منطقه تابش کمتر از 350 cal/cm^2 در روز، مناطق با تابش متوسط بین 350 تا 390 cal/cm^2 در روز، مناطق زیاد بین 390 تا 430 cal/cm^2 و منطقه تابش خیلی زیاد بالاتر از 430 cal/cm^2 تقسیم‌بندی شده است. بررسی شدت تابش انرژی خورشید بر سطح افقی در زاهدان با استفاده از پنج مدل مختلف نشان داد مدل بیرد و هولشترم در مقایسه با دیگر روابط، به دلیل برآورد لحظه‌ای تابش پخشی و مستقیم دقت بالاتری دارد (فرزاد و همکاران ۱۳۷۸: ۱۲۷). سنجش دقت در ارزیابی و برآورد تابش هشت مدل تابش شامل؛ مدل دانشیار، مدل اصلاح شده صباغ، مدل اصلاح شده دانشیار، مدل صباغ، مدل صمیمی، مدل پروکتور، مدل پالتریج، مدل اصلاح شده پروکتور- پالتریج و مدل NRI با استفاده از معیارهای خطای استاندارد نشان داد مدل‌های دانشیار و بهینه شده به عنوان دقیق‌ترین مدل‌ها شناخته شده است (حق پرست و همکاران ۱۳۸۶: ۹۸). همچنین واسنجی مدل‌های مختلف در منطقه باجگاه استان فارس بر اساس ضرایب مدل آنگستروم نشان داد که مدل منطقه‌ای که دارای نسبت n/N و سایر اطلاعات هواشناسی است، دقت تخمین بالاتری نسبت به سایر مدل ها

دارد (مجنونی و همکاران ۱۳۸۷: ۴۹۹). نتایج آنالیز آماری و ارزیابی ضریب روشنایی بر اساس داده‌های تابشی سازمان هواشناسی و تعیین ضرایب معادله آنگستروم برای پنج اقلیم ایران نشان داد که دقت معادله منطقه‌ای چند متغیره با رابطه آنگستروم اختلاف معناداری نداشته و می‌توان بدون صرف هزینه و زمان لازم برای جمع آوری داده های هواشناسی و تنها با داشتن داده‌های ساعات آفتابی و تابش زمینی، تابش واقعی خورشیدی را با دقت مناسبی تخمین زد (سام معینی و همکاران ۱۳۸۹: ۱). ضرایب معادله آنگستروم با استفاده از روش کمترین مربعات خطی (LS) تعیین شد. ارزیابی دقت روش با استفاده از شاخص‌های خط در ایستگاه‌های منتخب نشان داد که روش نامحدود (UM) نسبت به سایر روش‌ها نتایج مناسب‌تری به‌دست می‌دهد (نادی و همکاران ۱۳۸۹: ۴۲). بررسی تأثیر پارامترهای هواشناسی بر مقادیر روزانه تابش کل دریافتی از خورشید در سطح زمین توسط (خلیلی و همکاران ۱۳۸۹: ۱۴۷) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در نهایت رابطه آنگستروم با ضریب تبیین 0.48 درصد و RMSE برابر 15.03 cal/cm^2 به عنوان مناسب‌ترین رابطه و رابطه دو متغیره با متغیرهای رطوبت نسبی و ساعات آفتابی با ضریب تبیین (R2) برابر 0.46 درصد و RMSE برابر 15.45 cal/cm^2 به عنوان دومین رابطه برگزیده شد. مطالعه پتانسیل بهره‌مندی از انرژی خورشیدی در خراسان جنوبی این نتیجه را در برداشت که با ورود تجهیزات و امکان بهره‌مندی از انرژی خورشیدی نه تنها از این قابلیت نهفته بیشتر می‌توان استفاده کرد بلکه امکان جذب سرمایه افزایش اشتغال نیز فراهم خواهد شد (صابری‌فر ۱۳۸۹: ۸۶). بررسی هفت مدل برآورد تابش خورشیدی برای مناطق نیمه خشک ایران نشان داد مدل آنگستروم – پوسکات (بهترین مدل برای این مناطق است. نتیجه نشان می‌دهد که در دوره ۲۰ ساله مورد مطالعه، بیشترین روزهای آفتابی در فروردین ماه متعلق به شهرستان بافت، در اردیبهشت متعلق به شهرستان جاسک، در خرداد ماه مربوط به شهرستان میناب، در تیرماه دهلران، در مرداد ماه مربوط به ماهشهر، شهریور بوشهر، مهر کنارک، آبان و آذر چابهار، دی و بهمن سراوان و اسفند چابهار است (موسوی بایگی و همکاران ۱۳۸۹: ۸۴۴). کاربرد دو مدل آنگستروم و مدل چند متغیره برای برآورد پتانسیل تابش خورشیدی در شهر یزد نشان داد که مدل آنگستروم دارای دقت بالاتری نسبت به

مدل چند متغیره است (معین و همکاران ۱۳۸۹ : ۱۱). ارزیابی نتایج خروجی از مدل دافی بکمن با داده‌های تابش اندازه‌گیری شده برای یک دوره از ۹ آگوست تا ۳ اکتبر ۲۰۱۱ نشان می‌دهد که این مدل بهترین مدل برای تخمین تابش ساعتی روزانه بر روی سطح افقی برای روزهای صاف است (جعفر کاظمی و همکاران ۱۳۹۰ : ۱۸). بررسی چگالی و توان باد با استفاده از تابع ویبول به منظور استفاده از انرژی آن در اردبیل توسط (زاهدی، صلاحی و جمیل، ۱۳۸۴ : ۵۴) نشان داد قدرت عملی انرژی باد در ایستگاه اردبیل $465/6$ وات بر متر مربع است که در این ایستگاه در $41/7$ درصد اوقات سال توربین بدون توقف می‌تواند به تولید انرژی باد با توان قابل قبول بپردازد و فقط در $6/3$ درصد اوقات توربین متوقف خواهد بود. ارزیابی پتانسیل تولید انرژی باد در ایستگاه‌های منتخب ایران توسط (روشن، قانقرمه و شاهکویی، ۱۳۹۳ : ۱۳) نشان داد ایستگاه زابل بالاترین توان تولید انرژی باد و گرگان پایین‌ترین توان تولید انرژی باد را در کشور دارند. همچنین فصول بهار و تابستان بالاترین چگالی توان انرژی باد را دارا هستند. با این حال بیشترین توان انرژی باد در ایستگاه‌های زابل، اردبیل و کیش به ترتیب با مقادیر 3042 ، 1675 و 1042 وات بر مترمربع در ارتفاع 40 متری به‌دست آمده است.

در خارج از کشور پتانسیل انرژی تابشی خورشیدی در آتارا هند از ایالت آتاراکانادا توسط (Ramchandra, 1997 : ۹۴۵-۹۸۸) مورد مطالعه قرار گرفت و برای تخمین تابش خورشیدی از داده‌های آب و هواشناسی بر اساس معادلات تجربی از جمله معادله انگستروم استفاده شد. بر اساس یافته‌های (Iziomon & Mayet, 2002 : 1642) اکثر مدل‌های قدیمی تخمین تابش علی‌رغم عملی شدنشان، تطبیق پذیر نیستند. ارزیابی و پارامترسازی‌های تابش خورشیدی برای یک زمین پست و یک مکان کوهستانی نشان داد به طور کلی مدل انگستروم پرسکات حداقل RMSE (کمتر از $0/047$) است. پتانسیل انرژی خورشیدی در ترکیه بررسی و یک فرمول جدید بر پایه داده‌های جغرافیایی و هواشناسی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) تعیین شد. نتایج نشان داد که حداکثر میانگین خطای (MAPE) $3/48$ درصد و مقدار R^2 $0/9987$ بوده است (Sozen, 2005 : 380). مطالعه ارتباط میان تابش کلی خورشیدی با پارامترهای آب و هواشناسی و جغرافیایی برای ایالت داماسوس سوریه نشان داد، مدل پیشنهادی قابلیت تابش خورشیدی را با خطاهای نسبی $6,37$ - درصد و $8,27$ درصد را

دارد (Skeikert, 2006, 331-345). از سوی دیگر روش‌های بهبود بخشی تخمین ساعتی، روزانه و ماهیانه تابش خورشیدی از طریق واردسازی سری داده‌های جهانی توسط یانگ (Yang, 2006 : 43-55) بررسی شد. مدل ایشان نسبت به مدل‌های قدیمی انگستروم- پرسکات صحیح‌تر است. این مدل از شکل ساده‌ای از مدل انگستروم- پرسکات و ورودی‌های آن طول مدت تابش، درجه حرارت هوا و رطوبت هوا است که از طریق مشاهدات آب و هوایی سطح عادی قابل دسترسی هستند. این مدل را به سادگی می‌توان برای مطالعات کشاورزی و هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار داد. همچنین مدل رگرسیونی چندگانه برای تخمین تشعشع خورشیدی بر روی سطوح افقی بر اساس ساعات آفتابی در پورت هارکورت نیجریه به کار برده شد (Umoh et al, 2013 : 5) و نتایج آن با استفاده از خطای تخمین و ریشه مربع خطا مورد سنجش قرار گرفت. در پژوهشی دیگر میزان تشعشع دریافتی بر روی سطوح افقی و شیب‌دار برای شش منطقه بنگلادش توسط (Datta et al, 2014 : 98) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی محاسبه و نواحی با پتانسیل بالای تشعشع خورشیدی تشخیص داده شد.

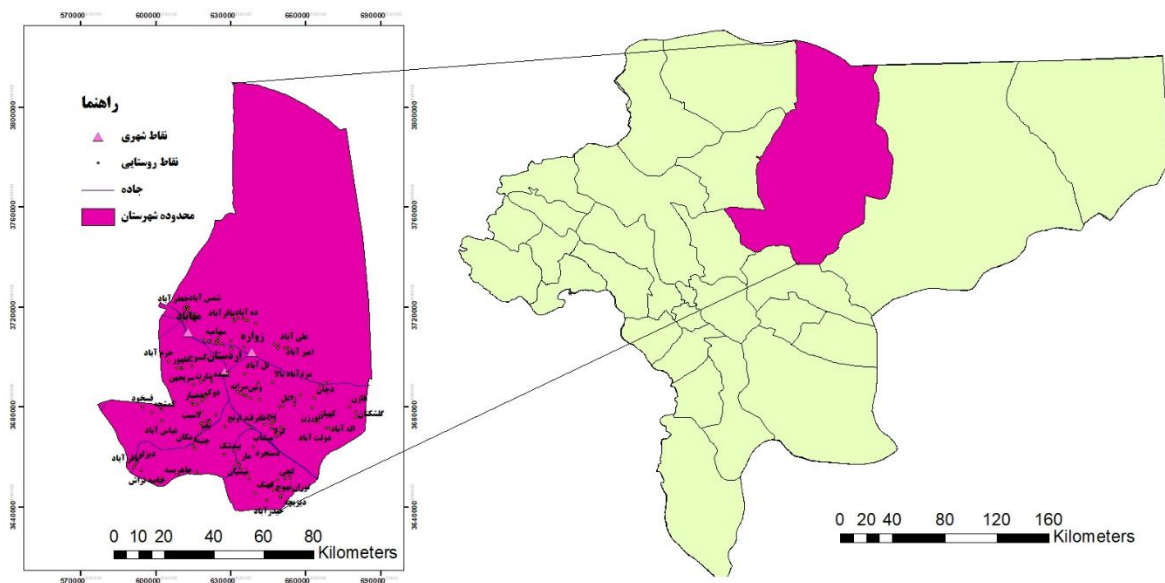
راه‌های مختلفی را که انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند به توسعه روستایی کمک کند توسط (Clausen & Rudolph, 2020 : 8) بررسی شد. ایشان نشان دادند که سیاست‌ها و توصیه‌های انتقال انرژی که توسط توسعه پایدار و الزامات رشد سبز هدایت می‌شوند، پتانسیل‌های توسعه روستایی (RD) را افزایش می‌دهد. مطالعه تأثیر سرمایه‌گذاری‌های انرژی بادی بر دستمزد در نواحی روستایی ایالات متحده نشان داد که سرمایه‌گذاری‌های انرژی بادی در نواحی روستایی تأثیر کلی مثبت اما متوسطی بر دستمزدها دارد. به عنوان مثال تخمین زده می‌شود یک مزرعه بادی بزرگ واقع در یک ناحیه روستایی دستمزدها را تا ۲ درصد افزایش دهد (Mauritzen, 2020 : ۹). اگرچه سه نتیجه ارزشمند از جایگزینی انرژی‌های فسیلی با انرژی‌های تجدیدپذیر در مناطق روستایی اسپانیا شامل: بهبود خدمات و امکانات، کاهش آلودگی و افزایش درآمد قابل حصول است. اما بر اساس نظر جمعیت روستاییان محلی، موضوع زیست محیطی در میان مدت ارزش بالاتری نسبت به سایر جنبه‌های اقتصادی در بردارد (Gargallo, Garcia-Casarejos & Salvador, 2020 : 440). ارزیابی اقتصادی پتانسیل انرژی چهار نوع توربین بادی شرق ایران بر اساس اطلاعات به دست آمده از ۲۲ ایستگاه هواشناسی نشان داد که سرمایه‌گذاری در

۵۳° ۱۳' در مرکز استان اصفهان و عرض جغرافیایی "۳۵' ۵۲° ۳۲' تا ۳۴° ۳۷' ۲۵' در شمال استان اصفهان واقع شده است (شکل ۱). این شهرستان با متوسط دمای ۲۰ درجه سلسیوس و مجموع بارش سالانه ۱۱۲ میلیمتر بر اساس شاخص دمارتن در زمره مناطق با آب و هوای خشک محسوب می‌شود.

مزارع انرژی بادی در شرق ایران می‌تواند بسیار سودآور بوده و وابستگی صنعت برق به سوخت‌های فسیلی را کاهش دهد (محمدی و همکاران، ۲۰۲۱: ۹).

داده‌ها و روش کار

شهرستان اردستان بین طول جغرافیایی "۴۱' ۴۹° ۵۱° تا ۱۶"



شکل ۱. نقشه موقعیت شهرستان اردستان در استان اصفهان

تجمعی (SDF) به صورت رابطه زیر بیان می‌شود: تابع توزیع ویبول حالت خاصی از توزیع ویبول است. این تابع نسبت به توابع دیگر نظیر رابله از انعطاف‌پذیری بیشتری برخوردار است (صلاحی، ۱۳۸۳: ۹۲).

با توجه به اینکه در ایستگاه اردستان اکتینوگراف برای اندازه‌گیری مقدار تابش در سطح زمین وجود ندارد، از روش‌های تخمین تجربی برای تعیین مقدار تابش دریافتی استفاده شد. برای این منظور از داده‌های روزانه میزان تابش، ساعات آفتابی و ابرناکی آسمان در ایستگاه ژون سنجی اصفهان برای دستیابی به مدل تخمین تابش استفاده شد.

بررسی اولیه داده‌ها نشان‌دهنده وجود داده‌های پرت در سری داده‌ها بود که احتمالاً به خاطر خطای دستگاه و یا عدم دقت در ثبت داده‌ها بوده است. برای مشخص نمودن داده‌های پرت از دامنه نیمه چارکی استفاده شد. در این روش داده‌های پرت به داده‌هایی گفته می‌شود که نسبت به میانگین ۱/۵ برابر دامنه نیمه چارکی بیشتر یا کمتر از باشد. (دامنه نیمه چارکی

در این پژوهش از سه دسته از داده‌ها استفاده شده است. **الف:** داده‌های مربوط به تابش خورشید، دسترسی به اطلاعات انرژی تابشی خورشیدی به دو روش؛ اندازه‌گیری مستقیم توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری مانند پیرانومتر و سولاریمتر و دوم برآورد تابش با استفاده از مدل‌های تجربی (با توجه به اینکه در ایستگاه اردستان دستگاه‌های تابش سنجی وجود ندارد، بر اساس سایر پارامترهای جوی مانند؛ میزان ابرناکی و ساعات آفتابی برای تخمین مقدار تابش بر اساس ضریب روشنایی $\frac{n}{N}$). **ب:** داده‌های سمت و سرعت باد ایستگاه سینوپتیک اردستان در دوره زمانی سه ساعته در دوره آماری ۲۰۲۰-۲۰۰۹. بر این اساس ضمن بررسی وضعیت عمومی وزش باد، از تابع توزیع ویبول برای تخمین انرژی باد نیز استفاده شد. تابع توزیع ویبول بدون شک یکی از قوی‌ترین و دقیق‌ترین مدل‌ها برای تخمین انرژی باد است و به صورت کلی این توزیع توسط قریب به اتفاق نویسندگان مورد استفاده قرار گرفته است (Sajid, Le & Jang, 2017: 5). شکل کلی تابع ویبول و تابع توزیع

که لازم است بر رقم ۴۱۸۷۰ تقسیم تا به کالری بر سانتی‌متر مربع بر روز تبدیل شود.

رابطه آنگستروم بر اساس ارتباط بین نسبت تابش بالای جو به تابش بر سطح زمین به نسبت تعداد ساعات واقعی تابش خورشید به طول روز نجومی بر حسب ساعت تعریف می‌شود. ضرایب a و b این معادله همان عرض از مبدأ و شیب خط هستند که از طریق روابط رگرسیونی بین دو نسبت بالا در ایستگاه‌های تابش سنجی قابل محاسبه است.

$$\frac{H}{H_0} = a + b \frac{n}{N} \quad (\text{رابطه ۶})$$

a و b ثابت اقلیمی هستند. یا ضرایب ثابت رگرسیون که برای در ایستگاه تابش سنجی باید مشخص شود.

n : تعداد ساعات آفتابی واقعی

N : تعداد ساعات آفتابی نجومی

W_s : زاویه ساعتی

$$H = \left(a + b \frac{n}{N} \times H_0 \right) = \quad (\text{رابطه ۷})$$

Estimated

Estimated: ضریب آنگستروم H_0

Major: $H_0 \times \frac{n}{N} \times$ ضریب آنگستروم

با استفاده از رابطه آنگستروم که بر اساس رابطه رگرسیون خطی برای ایستگاه اصفهان بسط داده شد، مقدار تابش دریافتی بر روی سطح زمین را بر اساس مقدار ابرناکی و ضریب تابش خورشید محاسبه گردید. ضریب همبستگی بین متغیرهای مؤثر بر مقدار تابش دریافتی بر سطح زمین و مؤلفه-های ابرناکی و ضریب تابش $R=0.745$ که با ضریب تبیین $R^2=0.555$ در سطح اطمینان ۹۹٪ معنادار است. ضریب همبستگی بین مقدار نسبت تابش بر سطح زمین بر تابش بالای جو $\left(\frac{H}{H_0}\right)$ با ضریب درخشندگی خورشید $R=0.738 \left(\frac{n}{N}\right)$ و با ابرناکی آسمان $R=0.721$ است.

مدل رگرسیونی تخمین تابش در ایستگاه اصفهان به صورت رابطه ۴ است.

$$\frac{H}{H_0} = 0.365 + 0.397 \frac{n}{N} \quad (\text{رابطه ۴})$$

در این رابطه:

H مقدار تابش دریافتی در سطح زمین است

H_0 مقدار تابش دریافتی در بالای جو

n تعداد ساعات آفتابی واقعی

N تعداد ساعات آفتابی نجومی

فاصله بین چارک اول و سوم می‌باشد). حد بالا و پایین داده-های پرت از روابط زیر محاسبه شد (ترنجی چهارمی ۱۳۹۴: ۷۹).

رابطه ۱) (چارک اول - چارک سوم) $\times 1/5$ - چارک اول = حد پایین داده‌های پرت

رابطه ۲) (چارک اول - چارک سوم) $\times 1/5$ + چارک اول = حد بالای داده‌های پرت

در داده‌های بسیار پرت می‌توان ۳ را جایگزین $1/5$ نمود.

چارک اول ۲۵٪ و چارک سوم ۷۵٪ است.

با توجه به نبود دستگاه‌های اندازه‌گیری مقدار تابش در ایستگاه اردستان، از مدل‌های تجربی و بر اساس عناصر اقلیمی ساعات آفتابی و ابرناکی، میزان انرژی خورشیدی تخمین زده شد.

ابتدا مقدار تابش در بالای جو بر اساس رابطه ۳ بر حسب ژول محاسبه شد (Duffie & Beckman, 1980 : ۳۰):

$$H_s = \frac{24 \times 3600 \times G_{SC}}{\pi} \left(1 + 0.33 \sin \left[\frac{360}{365} \right] \right) \times \left(\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta \right)$$

در این رابطه:

H_s : مقدار تابش خورشید در بالای جو

G_{SC} : مقدار ثابت خورشید بر حسب وات بر متر مربع که در این رابطه 1367 W/m^2 در نظر گرفته شده است.

n : شماره روز سال است که از اول ژانویه برای هر روز از سال محاسبه می‌گردد.

ω_s : زاویه ساعتی خورشید برای روز مورد نظر که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\cos \omega_s = -\tan \phi \tan \delta \quad (\text{رابطه ۴})$$

واضح است زاویه ساعتی معکوس کوسینوس ω_s است.

در رابطه ۲: ϕ عرض جغرافیایی محل است.

زاویه میل خورشید از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left[\frac{360}{365} (d - 81) \right] \quad (\text{رابطه ۵})$$

در این رابطه:

d : شماره روز از آغاز سال میلادی (اول ژانویه) است.

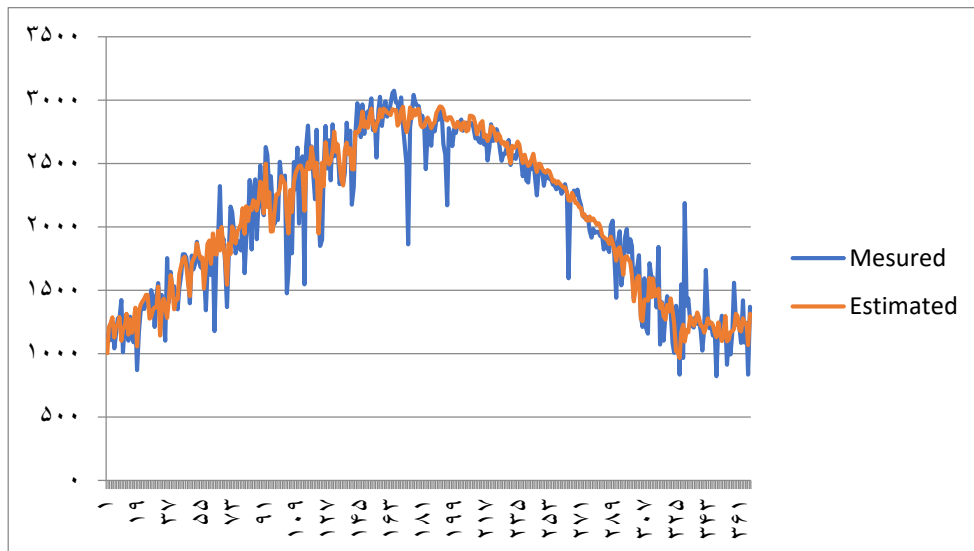
ϕ : عرض جغرافیایی محل مورد نظر

δ : زاویه میل خورشید نسبت به استوا بر حسب درجه

تذکر: مقدار محاسبه شده در رابطه ۱ بر حسب ژول بوده

و این بر اعتبار مدل در برآورد تابش تأکید دارد. ج: داده‌های مربوط به میزان انرژی الکتریسته مناطق روستایی شهرستان اردستان که از اداره توزیع برق شهرستان اردستان اخذ شد.

در شکل ۲ تابش واقعی و تابش برآورد شده توسط مدل در ایستگاه اصفهان مقایسه شده است. همانطور که در شکل دیده می‌شود مقدار برآورد شده با مقدار اتفاق افتاده بسیار نزدیک است



شکل ۲. مقایسه مقدار تخمین زده شده توسط مدل و مقدار اندازه‌گیری شده تابش دریافتی در سطح افقی زمین بر حسب کالری بر سانتی‌متر مربع بر روز

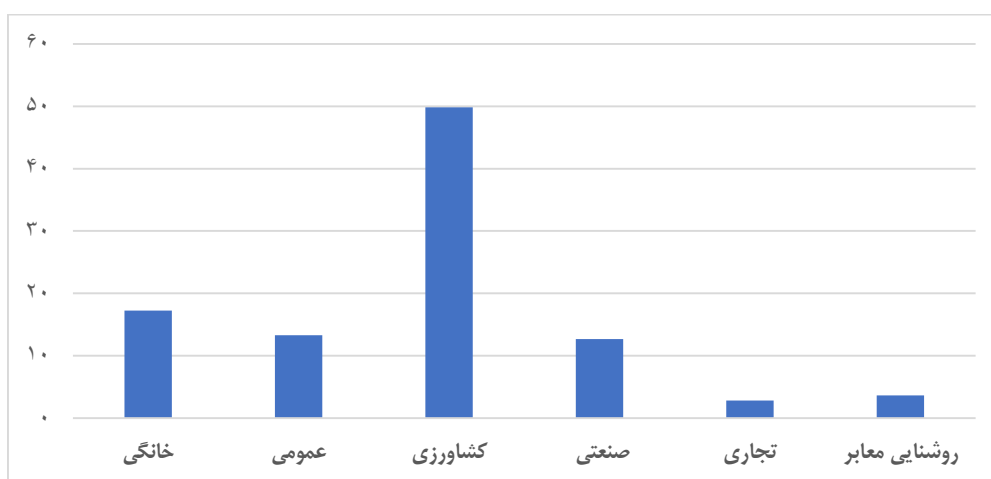
شرح و تفسیر نتایج

روند تعداد انشعابات بخش کشاورزی از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۱ روندی صعودی داشته است و از ۵۱۳ انشعاب در سال ۱۳۹۰ به ۸۶۷ انشعاب در سال ۱۴۰۰ افزایش داشته است (شکل ۴). اگر چه مصرف برق بخش کشاورزی از نوسانات بیشتری به خاطر مسائل مرتبط با خشکسالی برخوردار بوده است، اما همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است این بخش با میانگین ۱۰۴۱۷۶ مگاوات ساعت در سال حدود ۴۹/۹ یا ۵۰ درصد مصرف برق شهرستان را به خود اختصاص داده است و یکی از مهم‌ترین بخش‌های مصرف انرژی الکتریسته در شهرستان است. اگر چه سرانه مصرف برق خانوارهای نواحی روستایی نسبت به شهری کمتر است لیکن بخش کشاورزی بخش مهم و قابل توجهی از مصرف انرژی الکتریسته شهرستان را دارد و بار قابل توجهی بر شبکه توزیع برق شهرستان وارد می‌کند. بنابراین اندیشیدن راه حل برای جایگزینی سایر منابع از جمله انرژی خورشیدی و باد برای تأمین انرژی نواحی روستایی به‌ویژه بخش کشاورزی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است.

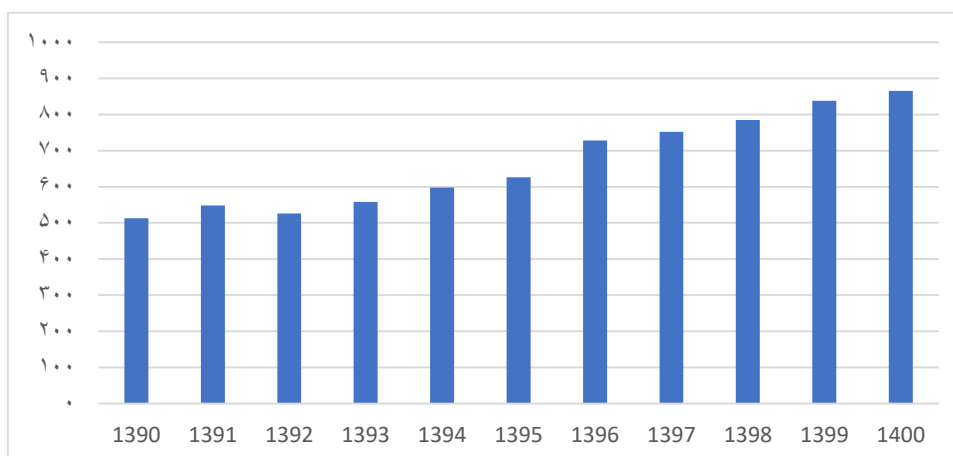
بررسی اولیه مصرف برق در شهرستان اردستان نشان می‌دهد بخش خانگی با ۲۴۸۵۰ انشعاب برق ۸۲ درصد انشعابات برق را به خود اختصاص داده است که از این تعداد ۱۲۴۸۳ مربوط به انشعابات خانگی روستایی است. به این ترتیب ۵۰ درصد انشعابات خانگی روستایی و بقیه شهری است. با این حال مصرف بخش روستایی نسبت به بخش شهری کمتر است و ۱۲۴۶۶ مگاوات ساعت است در صورتی مصرف بخش شهری ۲۳۵۸۳ مگاوات ساعت است. به این ترتیب اگر چه نواحی روستایی ۵۰ درصد انشعابات بخش خانگی را دارند ولی فقط ۳۴/۵ درصد فروش برق خانگی در ناحیه روستایی است. در صورتی که در نواحی شهری با ۵۰ درصد دیگر انشعابات خانگی ۶۵/۵ درصد برق شهرستان را مصرف می‌کند. از این رو سرانه مصرف برق در بخش روستایی حدود ۱ مگاوات در سال به ازای هر خانوار روستایی است در حالی که سرانه بخش شهری ۱/۴۵ مگاوات در سال به ازای هر خانوار شهری است (جدول ۱). در حال حاضر یکی از بخش‌های مهم مصرف برق در نواحی روستایی بخش کشاورزی است.

جدول ۱. تعداد و میزان مصرف و سرانه برق در شهرستان اردستان

سال	مصرف خانگی	تعداد خانگی	سرانه مصرف خانگی	تعداد مشترکین روستایی	مصرف مشترکین روستایی	سرانه مصرف روستایی
۱۳۹۰	۳۰۸۲۶	۲۱۱۱۹	۱/۴۵	۱۰۷۸۳	۱۱۲۶۵	۱/۰۴
۱۳۹۱	۳۱۴۷۴	۲۱۹۹۳	۱/۴۳	۱۱۰۷۱	۱۱۴۱۴	۱/۰۳
۱۳۹۲	۳۳۳۱۱	۲۳۰۵۵	۱/۴۴	۱۱۲۹۹	۱۱۸۳۶	۱/۰۴
۱۳۹۳	۳۴۵۶۱	۲۳۸۳۵	۱/۴۵	۱۲۱۷۰	۱۲۱۲۴	۰/۹۹۶
۱۳۹۴	۳۵۶۵۷	۲۴۶۷۴	۱/۴۴	۱۲۴۲۱	۱۲۳۷۶	۰/۹۹۶
۱۳۹۵	۳۶۴۴۵	۲۵۱۸۶	۱/۴۵	۱۲۳۴۳	۱۲۵۵۷	۱/۰۱
۱۳۹۶	۳۶۶۶۵	۲۵۶۶۷	۱/۴۲	۱۳۱۰۵	۱۲۶۰۸	۰/۹۶۲
۱۳۹۷	۳۹۰۳۹	۲۶۱۹۳	۱/۴۹	۱۳۱۸۵	۱۳۱۵۴	۰/۹۹۷
۱۳۹۸	۳۹۶۵۴	۲۶۶۵۱	۱/۴۸	۱۳۰۶۱	۱۳۳۹۵	۱/۰۱
۱۳۹۹	۳۴۸۱۴	۲۷۲۲۸	۱/۲۷	۱۳۹۰۲	۱۲۱۸۲	۰/۸۷۶
۱۴۰۰	۴۴۰۹۹	۲۷۷۶۴	۱/۵۹	۱۳۹۷۶	۱۴۳۱۸	۱/۰۲



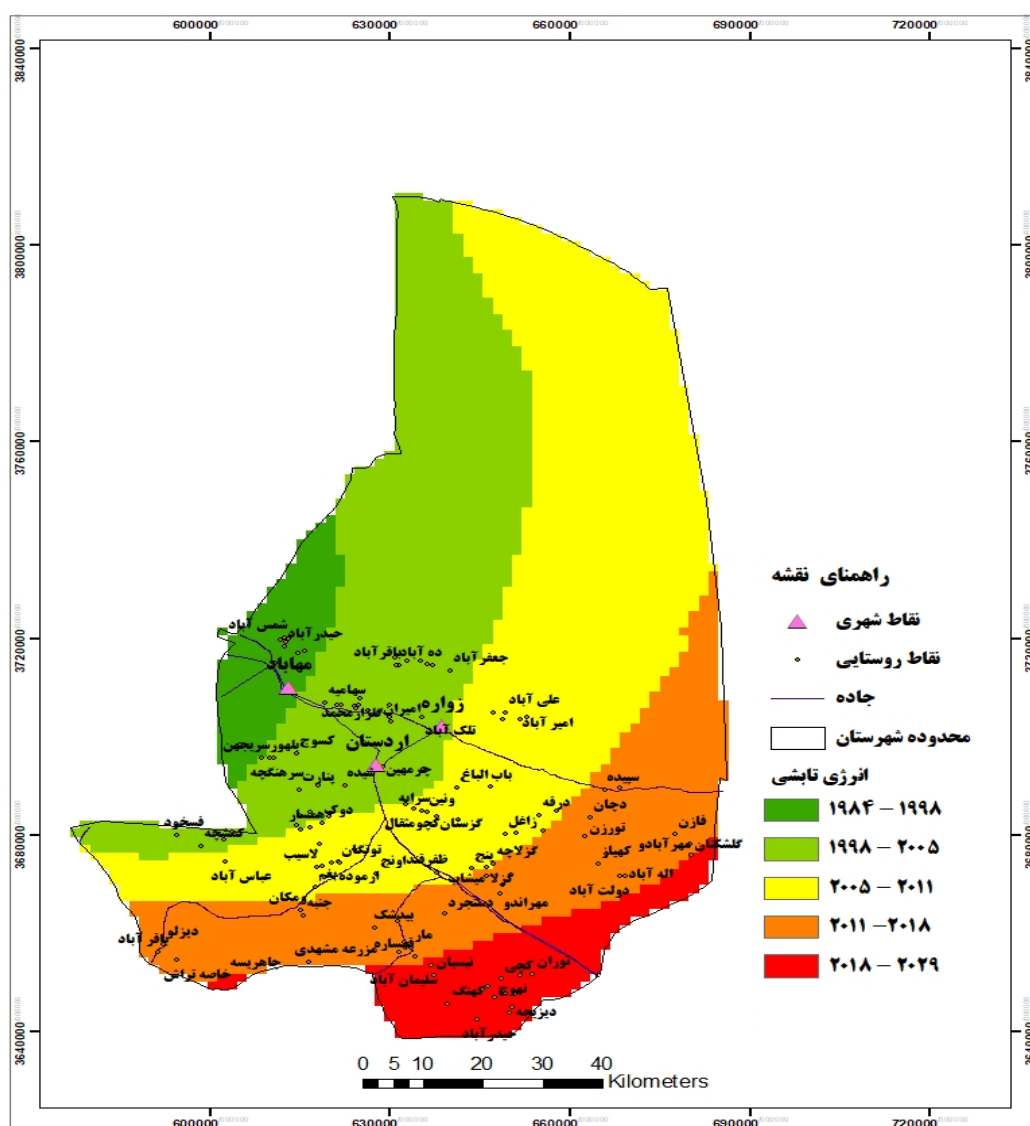
شکل ۳. میانگین میزان فروش و درصد فروش برق در بخش‌های مختلف شهرستان اردستان



شکل ۴. روند روبه افزایش تعداد انشعاب برق بخش کشاورزی در شهرستان اردستان

می‌شود. با توجه به اینکه بخش بیش از ۸۵ درصد تولید انرژی الکتریسته کشور از طریق سوخت حرارتی تأمین می‌شود (سابا^۲ ۱۳۹۵) از این رو اتکا به این بخش برای تأمین انرژی بخصوص در بخش کشاورزی می‌تواند مناطق روستایی را از نظر تأمین انرژی با چالش مواجه سازد. بنابراین، تعیین پتانسیل تولید انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند به توسعه پایدار روستایی کمک قابل توجهی کند.

شهرستان اردستان دارای ۱۶۵ نقطه روستایی است. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است نقاط روستایی شهرستان اردستان به صورت پراکنده در دامنه کوه‌های سمت جنوب شهرستان توزیع شده‌اند که برق رسانی به این نقاط پراکنده روستایی نه تنها هزینه زیادی را بر شبکه انتقال تحمیل می‌کند، بلکه هزینه نگهداری شبکه انتقال نیرو و همچنین اتلاف انرژی الکتریکی در حین انتقال را نیز شامل



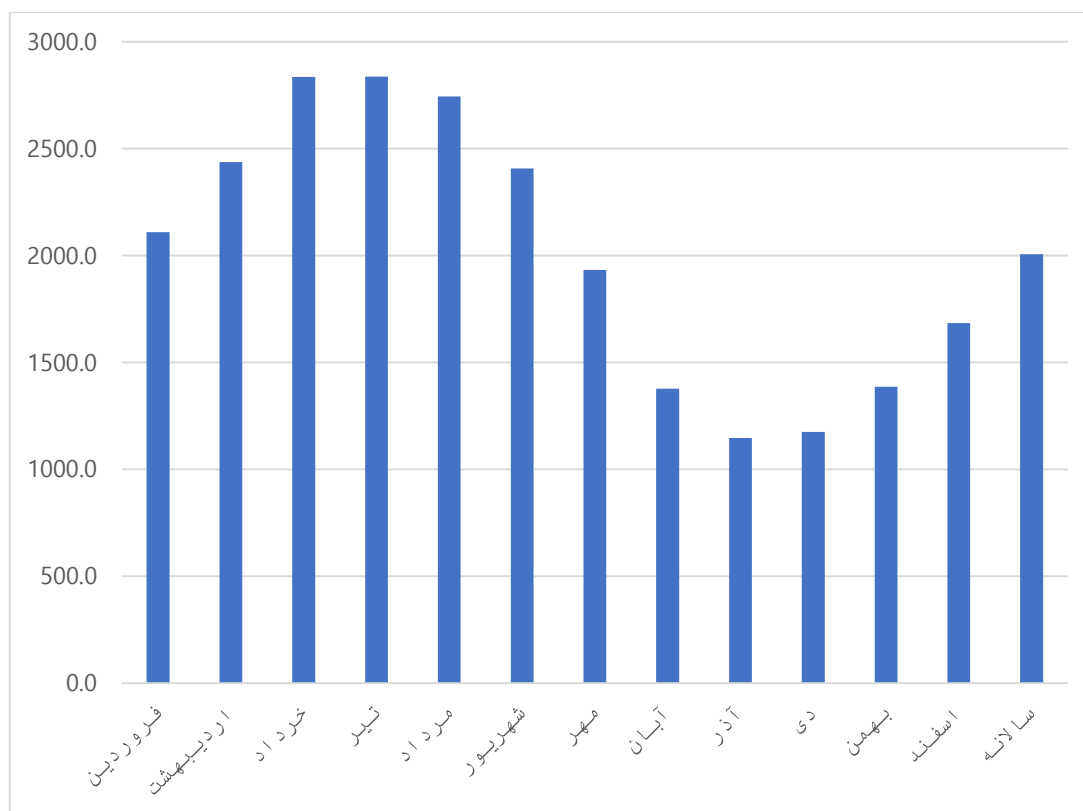
شکل ۳. پراکندگی مناطق روستایی و توزیع انرژی تابشی در شهرستان اردستان

۲. سابا : سازمان بهره‌وری انرژی ایران.

بالای شهرستان برای تولید برق خورشیدی حکایت دارد. اگر راندمان پنل خورشیدی را ۱۷-۲۲ درصد در نظر بگیریم (ساتبا ۱۴۰۲)، هر یک مربع پنل به‌طور متوسط بین ۳۴۱-۳۴۰ وات در ساعت هر پنل برق خورشیدی تولید خواهد کرد. در ماه‌های گرم خرداد، تیر و مرداد هر یک متر پنل می‌تواند بین حداقل ۶۴۶ تا حداکثر ۸۳۶ وات ساعت برق تولید نماید.

یک سیستم خورشیدی ۱/۵ کیلووات ساعته با ذخیره انرژی یک روزه می‌تواند برای هر خانوار روستایی مورد استفاده قرار گیرد. هزینه هر صفحه خورشیدی ۱۸/۸ میلیون تومان است که از طریق وام می‌تواند در اختیار روستاییان قرار گیرد. روستاییان می‌توانند برق را با قیمت هر کیلووات ۱۰۴۰ تومان به دولت بفروشند و از آن درآمد ماهانه بین ۱-۱/۵ میلیون تومان کسب نمایند و مجدد برق مورد نیاز را با هر کیلووات ساعت بین ۱۰۰ تا ۳۵۰ تومان بسته به رعایت الگوی مصرف خریداری نمایند.

بررسی وضعیت توان انرژی‌های تجدیدپذیر شهرستان اردستان بر اساس مقادیر تابش دریافتی در سطح شهرستان و سرعت، فراوانی و جهت وزش باد ایستگاه سینوپتیک اردستان صورت گرفت. شهرستان اردستان با متوسط تابش ۲۰۰۵/۴ وات بر متر مربع در زمره مناطق با تابش بالای استان اصفهان محسوب می‌شود که البته به متوسط تابش استان که ۲۰۰۵/۶ است بسیار نزدیک است. بررسی توزیع ماهانه مقدار تابش دریافتی در شهرستان اردستان نشان می‌دهد ماه‌های تیر، خرداد و مرداد به ترتیب با ۳۸۳۶/۸، ۳۸۳۵/۶ و ۳۷۴۳/۲ وات بر متر مربع در زمره پرتابش‌ترین ماه‌های سال و ماه‌های آذر و دی به ترتیب با ۱۱۴۵/۶ و ۱۱۷۴/۲ وات بر متر مربع کم تابش‌ترین ماه‌های سال هستند (شکل ۴). متوسط تابش دریافتی در اردستان (۲۰۰۵/۴ وات بر ساعت) دو برابر متوسط تابش ایران (۹۵۰ وات بر ساعت) است (ساتبا ۱۴۰۲) و در ماه‌های تیر، خرداد و مرداد حدود چهار برابر متوسط کشور است که از پتانسیل بسیار



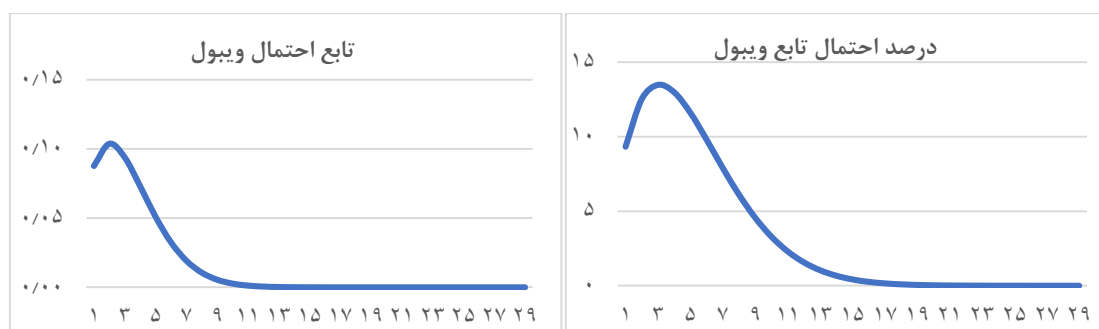
شکل ۴. مقدار تابش، ماهانه دریافتی، در ایستگاه اردستان

۱. سازمان انرژی‌های تجدید پذیر و انرژی برق که سال ۱۳۹۵ به تصویب مجلس شورای اسلامی رسید.

همچنین بررسی آماری سرعت وزش باد در طی دوره ۱۲ ساله نشان می‌دهد در ایستگاه اردستان متوسط وزش باد $4/9953$ یا ۵ متر بر ثانیه، میانه وزش باد $4/9163$ و مد سرعت وزش باد ۴ متر بر ثانیه یعنی بیشترین تکرار وزش باد مربوط به باد ۴ متر بر ثانیه بوده است لیکن میانه و میانگین در ۵ متر بر ثانیه بر هم منطبق هستند. بر اساس گلباد شکل ۴، باد با سرعت بین $3/6-8/8$ متر بر ثانیه (رنگ‌های قرمز و آبی) باد غالب منطقه است که از جنوب و جنوب غرب وزش دارد و سرعت مطمئنی برای راه‌اندازی توربین‌های بادی است. با عنایت به اینکه فقط ۱۰ درصد اوقات سال منطقه اردستان در زمره اوقات آرام است، لذا نه تنها از نظر سرعت باد، بلکه از نظر فراوانی وزش باد نیز اطمینان کافی برای نصب توربین بادی وجود دارد. زیرا باد با سرعت مطمئن جهت راه‌اندازی و تولید انرژی الکتریسته، در حدود ۹۰ درصد اوقات سال در اردستان در جریان است و می‌تواند به‌خوبی مورد استفاده قرار گیرد. بررسی احتمال رخداد وزش باد با استفاده از تابع احتمال ویبول نشان می‌دهد بادهای با سرعت متوسط ۳ متر بر ثانیه بالاترین احتمال وزش را خواهند داشت. نمودار تابع احتمال ویبول و درصد احتمال رخداد وزش باد بر اساس رابطه ویبول در اشکال ۵ نشان داده شده است. بر این اساس احتمال رخداد بادهای با سرعت وزش بین ۲ تا ۳ متر بر ثانیه بیشترین میزان است و بادهای با سرعت ۳ تا ۶ متر بر ثانیه از احتمال رخداد بالایی برخوردار هستند و بادهای با سرعت بیش از ۱۲ متر بر ثانیه احتمال رخداد بسیار کمی دارند.

بررسی‌های اولیه مبتنی بر آمار و اطلاعات وزش باد ایستگاه سینوپتیک اردستان نشان داد فقط حدود ۱۰ درصد از اوقات سال هوا آرام است و یا وزش کمتر از ۱ متر بر ثانیه برقرار است و در بیش از ۹۰ درصد اوقات سال وزش باد وجود دارد. متوسط ۱۲ ساله سرعت وزش باد در اردستان $4/9$ یا ۵ متر بر ثانیه است که سرعت مناسبی برای بهره‌برداری از انرژی باد است. بنابراین از توان بالقوه بالایی برای استفاده از انرژی باد برخوردار است. بیش از ۵۵ درصد وزش باد در اردستان دارای سرعت بین $3/6-5/7$ متر بر ثانیه است که بالاترین درصد فراوانی وزش را دارد که اگر با سرعت وزش $5/7-8/8$ متر بر ثانیه جمع شود، بیش از ۸۸ درصد وزش باد دارای سرعت با دامنه $3/6-8/8$ متر بر ثانیه خواهد بود که نشانگر بادخیز بودن منطقه با سرعت قابل قبول برای راه‌اندازی توربین‌های بادی است. با توجه به اینکه محتمل‌ترین سرعت باد $3/08$ متر بر ثانیه است و با توجه به اینکه سرعت لازم برای راه‌اندازی توربین حداقل سرعت ۳ متر بر ثانیه است. در بیش از ۸۸ درصد اوقات توربین می‌تواند به حرکت درآید و قابلیت تولید انرژی باد وجود داشته باشد لذا از پتانسیل بالایی برای تولید انرژی باد برخوردار است. از دیگر سو سرعت نامی باد در این ایستگاه ۹ متر بر ثانیه است که بر توان بالای منطقه برای تولید انرژی باد تأکید می‌کند.

بررسی آماری آزمون جهت وزش باد نشان می‌دهد، متوسط جهت وزش باد در اردستان 183 درجه، میانه جهت وزش 188 و مد جهت وزش 190 درجه است به این ترتیب باد غالب در اردستان باد جنوبی است که به سمت جنوب غرب تمایل دارد.



شکل ۵. نمودار تابع احتمال و درصد تابع احتمال ویبول

های شمالی اردستان می‌وزد (شکل ۴). امکان نصب توربین در نزدیکی روستاهای واقع در منطقه کوهستانی به ویژه روستاهای واقع در دامنه‌های رو به شمال وجود دارد. در نتیجه هزینه انتقال انرژی الکتریکی نیز کاهش می‌یابد. در حال حاضر بیش از ۱۳۰۰۰ خانوار روستایی به برق دسترسی دارند که به‌طور متوسط ۱ تا ۲ کیلووات بر ساعت مصرف می‌کنند (اداره کل برق شهرستان

از نظر پتانسیل انرژی بادی با عنایت به اینکه روستاهای شهرستان اردستان در دامنه‌های رو به شمال منطقه کوهستانی جنوب این شهرستان واقع شده‌اند (شکل ۳). از دیگر سو با توجه به اینکه ایستگاه هواشناسی اردستان که از اطلاعات باد آن در این تحقیق استفاده شده است، در دامنه کوه‌های جنوب این شهرستان قرار دارد و باد غالب از منطقه کوهستانی جنوبی به سمت دشت-

اردستان). با توجه به اینکه در ۸۸/۶ درصد اوقات، باد بین ۸/۸ تا ۳/۶ متر بر ثانیه در شهرستان اردستان می‌وزد، در صورتی که ۸۸ درصد توان توربین در ارتفاع ۵۰ متری به عنوان توان واقعی توربین در نظر گرفته شود، تولید برق و توان دائمی توربین ۴۵۰ کیلووات ساعت خواهد بود. از سوی دیگر، اگر میانگین مصرف را حداکثر $1/5 \text{ kw/h}$ فرض کنیم، یک توربین قادر است برق ۳۰۰ خانوار را تأمین کند. با توجه به اینکه خانوارهای روستایی دارای اشتراک برق در شهرستان اردستان حدود ۱۳۰۰۰ خانوار است، ۴۳ توربین بادی در ارتفاع ۵۰ متری می‌تواند برق تمامی این مشترکین روستایی را تأمین نماید. بنابراین بدیهی است که توزیع و مکان توربین‌های نصب شده به جمعیت روستا (تعداد خانوار و مشترکین برق) و پراکندگی روستاها بستگی دارد. نظر به اینکه بیشتر نیروگاه‌های تولید برق در کشور از نوع حرارتی هستند و از سوخت فسیلی برای تولید انرژی الکتریسته استفاده می‌کنند و از دیگر سو بیشتر این نیروگاه‌ها با عنایت به قدمت آن‌ها فرسوده شده و نیاز به جایگزین دارند، لذا برای تأمین پایدار انرژی به‌خصوص بخش کشاورزی که ۵۰ درصد مصرف برق شهرستان را به خود اختصاص داده لازم است از منابع تأمین پایدار انرژی از جمله انرژی‌های برق بادی و برق خورشیدی استفاده کرد.

بحث و نتیجه‌گیری

انرژی خورشیدی و بادی به دلیل اینکه به راحتی در دسترس است و از دیگر سو از کمترین خطرات و آسیب‌های زیست محیطی در فرایند بهره‌برداری برخوردار است از جمله بهترین منابع انرژی‌های تجدید پذیر تلقی می‌شوند. همچنین انرژی باد از جمله انرژی‌های تجدید پذیر هستند که می‌تواند در مقیاس قابل توجه مورد استفاده قرار گیرد و انسان را از سایر منابع انرژی بی‌نیاز سازد. استفاده از انرژی خورشید و باد به دلیل بلوغ تکنولوژیکی بهتر و هزینه‌های کمتر، بر سایر منابع انرژی‌های تجدیدپذیر برتری دارد. بررسی‌ها در این پژوهش نشان داد منطقه اردستان از جمله مناطقی است که از نظر انرژی خورشیدی و بادی در موقعیت بسیار مناسبی برخوردار است. بر اساس بررسی به عمل آمده در خصوص انرژی باد، اوقات آرام در این منطقه بسیار کم و حدود ۱۰ درصد است. با توجه به اینکه ۸۸ درصد فراوانی وزش باد سرعت بین ۳/۶ تا ۸/۸ متر بر ثانیه دارد و با توجه به سرعت نامی باد که در این ایستگاه ۹ متر بر ثانیه است، از پتانسیل خوبی برای تولید انرژی باد برخوردار می‌باشد. همچنین بررسی آماری وزش باد در این منطقه نشان می‌دهد متوسط سالانه سرعت وزش باد در این منطقه ۵ متر بر ثانیه و مد فراوانی سرعت وزش ۴ متر بر ثانیه است با توجه به اینکه میانه و

میانگین بر ۵ متر بر ثانیه منطبق است، با اطمینان بالایی سرعت ۵ متر بر ثانیه می‌تواند اساس طراحی توربین‌های بادی قرار گیرد، بررسی تابع احتمال ویبول سرعت باد نیز نشان داد، بادهای با سرعت ۲ تا ۳ متر بالاترین احتمال رخداد و بادهای با سرعت ۳ تا ۶ متر بر ثانیه نیز از احتمال رخداد بالایی برخوردار هستند. افزایش ارتفاع نصب توربین در قدرت نظری و عملی توربین تأثیر گذار است و می‌تواند قدرت توربین را تا ۲/۶ برابر از ارتفاع ۱۰ تا ۵۰ متری افزایش دهد. به این ترتیب قدرت عملی توربین از ۱۹۵ وات در ارتفاع ۱۰ متری، به ۵۱۱ وات در ارتفاع ۵۰ متری افزایش پیدا می‌کند. همچنین شهرستان اردستان با متوسط تابش $2005/4$ وات بر متر مربع در زمره مناطق با تابش بالای استان اصفهان محسوب می‌شود. شدت تابش در ماه‌های گرم سال افزایش قابل توجهی یافته و در ماه‌های تیر، خرداد و مرداد به ترتیب با $3836/8$ ، $3835/6$ و $3743/2$ می‌رسد.

بر اساس بررسی‌های صورت گرفته برای بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر در توسعه کالبدی مناطق روستایی منطقه اردستان پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

۱- در مناطق روستایی استفاده از آبرمکن‌های خورشیدی بهترین راه کار برای تهیه آبگرم مورد نیاز روستاییان پیشنهاد می‌شود. تجارب در سایر مناطق نشان داده ابگرمکن‌های خورشیدی بهترین راه‌حل برای برآورد نیاز روستاییان به تأمین آبگرم منازل است. در حال حاضر هزینه نصب آبگرمکن‌های خورشید به حدود ۱۰۰ میلیون ریال می‌رسد که می‌توان با وام‌های کم‌بهره آن را در اختیار روستاییان قرار داد زیرا نصب پتل‌های فتوولتائیک در مقیاس خرد و کوچک برای تأمین برق منازل مقرون به صرفه نیست و مشکلات و خطراتی را به همراه دارد و از دیگر سواستفاده همزمان از دو مکانیزم پیشنهاد نمی‌شود.

۲- استفاده از توربین‌های بادی در مقیاس بزرگ امکان پذیر و مقرون به صرفه است، زیرا باید توربین‌های بادی در ارتفاع ۵۰ متری نصب شود تا از توان لازم برای تولید انرژی الکتریسته وجود داشته باشد. و امکان نصب توربین در این ارتفاع برای روستاییان وجود ندارد. اما امکان سرمایه‌گذاری برای وزارت نیرو در این خصوص وجود دارد و می‌تواند با ایجاد دکل‌های توربین بادی در نزدیکی مناطق روستایی هم برق مناطق روستایی را تأمین نماید و هم هزینه پرت انرژی الکتریسته را در حین انتقال در شبکه کاهش دهد.

منابع

اسلامی‌مقدم‌آبخواره، پدram، اسلامی‌مقدم‌آبخواره، محمدرضا و

رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران، ۲۹ بهمن.
 صلاحی، برومند (۱۳۸۳). پتانسیل سنجی انرژی باد و برآزش
 احتمالات واقعی وقوع باد با استفاده از تابع توزیع چگالی
 احتمال ویبول در ایستگاه‌های سینوپتیک استان اردبیل.
 تحقیقات جغرافیایی، ۱۹ (۱) (۷۷)، ۱۰۴-۸۷.
 علیزاده، امین و خلیلی، نجمه (۱۳۸۸). تعیین ضرایب معادله
 آنگستروم و توسعه یک معادله رگرسیونی برآورد تابش
 خورشیدی. مجله آب و خاک، ۲۳، ۲۲۹-۲۳۸.
 فرزاد، عبدالعلی و ملائی، محمد (۱۳۷۸). تصحیح ضرایب برآورد
 انرژی تابش خورشیدی در زاهدان، هفتمین کنفرانس سالانه
 مهندسی مکانیک انجمن مهندسان مکانیک ایران، ۱۱۹-۱۲۷.
 مزینانی، رضا، باعدی، جواد و مزینانی، مهدی (۱۳۹۴). ساخت و
 بررسی عملکرد یک نمونه سلول خورشیدی تحت شرایط
 اقلیمی سبزوار توسط نرم افزار اسکپس. مجله مهندسی
 مکانیک و ارتعاشات، ۴ (۴)، ۴۲-۳۷.
 مجنونی‌هریس، ابوالفضل، شاه‌خرد، پارسا، سپاسخواه، علیرضا
 و ناظم‌السادات، محمدجعفر (۱۳۸۷). توسعه و ارزیابی
 مدل‌های تخمین تابش خورشیدی براساس ساعات آفتابی و
 اطلاعات هواشناسی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی،
 ۱۲ (۴۶)، ۴۹۱-۴۹۹.
 معینی، سام، جواد، شهرام، کوبی، محسن و دهقان منشادی،
 محسن (۱۳۸۹). برآورد تابش خورشیدی در ایران با استفاده
 از یک مدل بهینه. نشریه انرژی ایران، ۱۳ (۲)، ۱۰-۱.
 موسوی‌بایگی، محمد و اشرف‌میان‌آبادی، بتول (۱۳۸۹). بررسی
 مدل‌های مختلف برآورد تابش خورشیدی به منظور معرفی
 مناسب‌ترین مدل در یک اقلیم نیمه خشک. مجله آب و
 خاک، ۴، ۷۴۴-۸۳۶.
 ناد، مهدی، بذرافشان، جواد و قهرمان، نوذر (۱۳۸۹). مقایسه
 روش‌های مختلف تخمین پارامترهای مدل آنگستروم برای
 برآورد تابش روزانه خورشید بر رویه‌های افقی، چهاردهمین
 کنفرانس ژئوفیزیک ایران، مقالات شفاهی، ۱۳۹-۱۴۲.

محمديپور، علی (۱۳۹۳). بهره‌گیری از سلول‌های خورشیدی
 و نقش به سزای آن در رسیدن به اهداف معماری پایدار با
 توجه به شرایط اقلیمی (نمونه موردی: شهر تهران)،
 مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای
 نوین در نگهداشت انرژی، تهران، ۲۹ بهمن ۱۳۹۳.
 ترنجی‌چهرمی، علیرضا (۱۳۹۴). سنجش توانمندی‌های انرژی‌های
 نو در جزیره کیش (مطالعه موردی انرژی خورشیدی)، پایان
 نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور واحد بین‌الملل کیش.
 جعفر کاظمی، فرزاد و مردی، حسین (۱۳۹۰). بررسی داده‌های
 تابش خورشید در ایستگاه سینوپتیک دانشگاه آزاد اسلامی،
 واحد تهران جنوب، مجله مهندسی مکانیک، ۸۰، ۷۵-۶۸.
 حق‌پرست‌کاشانی، آرش، صالح‌ایزدخواست، پژمان، لاری،
 حمیدرضا، مهرآوران، میثم و پیش‌دست، حامد (۱۳۸۶).
 تدوین یک مدل بهینه جهت محاسبه میزان تابش خورشید
 در ایران، بیست و دومین کنفرانس بین‌المللی برق، ۱۰-۱.
 خلیلی، علی، ایران‌نژاد، پرویز و شریعتمداری، زهرا آغا (۱۳۸۹).
 مقایسه کارایی مدل‌های یک متغیره و روابط چند متغیره
 خطی در برآورد تابش دریافتی بر سطح افقی در سطح زمین با
 استفاده از متغیرهای هواشناسی، مطالعه موردی ایستگاه و
 (اقدیس) تهران، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران،
 مقالات شفاهی، ۱۴۳-۱۴۷.
 روشن، غلامرضا، قانقرمه، عبدالعظیم و شاه‌کویی، اسماعیل
 (۱۳۹۳). ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایستگاه‌های منتخب
 ایران. فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۴ (۱۴)، ۳۰-۱۳.
 زاهدی، مجید، صلاحی، برومند و جمیل، مجید (۱۳۸۴). محاسبه
 چگالی و توان باد به منظور استفاده از انرژی آن در اردبیل.
 پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۵، ۵۳-۴۱.
 سعادت، ملیکا و سجاذاده، حسن (۱۳۹۳). کهن الگوی استفاده
 از انرژی خورشیدی در حمام‌های قدیمی ایران، راهکاری نوین
 در راستای تأمین انرژی برج‌های امروزی نمونه موردی: حمام
 سلطان امیر احمد کاشان، چهارمین کنفرانس بین‌المللی

Aksakal, A. & Rehman S. (1999). Global solar radiation in northeastern Saudi Arabia, renewable Energy, 17, 461-472.
 Clausen, L.T. & Rudolph, D. (2020). Renewable energy for sustainable rural development: Synergies and mismatches, Energy Policy, 138(111289), 1-10.
 Datta, D., Chowdhury, S., Kumar Saha A. M., Islam (Ialan), M. & Mahbubur

Rahman, M. (2014). Tilted And Horizontal Solar Radiation For 6 Zones In Bangladesh, International Journal of Scientific & Technology Research, 3(2).
 Duffie, J.A. & Beckman, W.A. (1992). Solar Energy Engineering, John Wiley, U.S.A.
 Gargallo, P. Garcia-Casarejos, N. & Salvador, M. (2020). Perceptions of local

- population on the impacts of substitution of fossil energies by renewables: A case study applied to a Spanish rural area. *Energy Reports*, 6, 436–441.
- Iziomon M.G. & Mayet, H. (2002). Assessment of some global solar radiation parameter stations, *Journal of Atmospheric Solar-Terrestrial Physics* 64, 63-1643.
- Mauritzen, J. (2020). Will the locals benefit? The effect of wind power investments on rural wages. *Energy Policy*, 142 (111489), 1-10.
- Mohamadi, H., Saeedi, A., Firoozi, Z., Zangabadi, S.S. & Veisi, Sh. (2021). Assessment of wind energy potential and economic evaluation of four wind turbine models for the east of Iran. *Heliyon*, 7, 1-10.
- Rama, Ch. & Subramanian D. K. (1997). Potential and prospects of solar energy in utara kannada, district of karan ataka state, India, *Energy Sources Journal*, 79, 945-988.
- Umoh, D. M., Sunday, O., Odo, Ye-Obong, & Udoakan, N. (2014). Estimating global solar radiation on Horizontal Surface from sunshine hourse over Port Harcourt, Nigeria, *Journal of Electrical and Electronics Engineering Research*, 6(1), 1-5.
- Sajid, A., Lee, S.M. & Jang, Ch.M. (2017). Techno-Economic Assessment of Wind Energy Potential at Three Locations in South Korea Using Long-Term Measured Wind Data. *Energies*, 10(1442), 1-24.
- Skeikert, N. (2006). Correlation of global solar radiation with common geographical and meteorological parameters for Damascus province, Syria, *Energy conversion and Management, Mgmt* 47, 331-345.
- Sozen, A. (2005). Solar energy potential in Turkey, *Applied Energy*, 30, 367-387.
- Yang, K., Koike, T. & Ye, B. (2006). Improving stem at of hourly, daily and monthly solar radiation by importing global data sets, *Agrical tural and Forest meteorology* 137, 43-55.
- Alizadeh, A. & Khalili, N. (2009). Determining the Coefficients of the Angstrom Equation and Developing a Regression Equation for Estimating Solar Radiation, *Water and Soil Journal*, 23, 229-238. (In Persian)
- Farzad, A.A. & Molai, M. (1999). Correcting the Coefficients of Solar Radiation Energy Estimation in Zahedan; The 7th Annual Conference of Mechanical Engineering of the Iranian Society of Mechanical Engineers, 119-127. (In Persian)
- Hagh Parast Kashani, A., Saleh Izad Khasht, P., Lari, H.R., Mehr Avaran, M. & Pishdast, H. (2007). Development of an Optimal Model to Calculate the Amount of Solar Radiation in Iran, 22nd International Electricity Conference, 1-10. (In Persian)
- Jafar Kazemi, F. & Mardi, H. (2011). Investigating Solar Radiation Data at the Synoptic Station of Islamic Azad University, South Tehran Branch, *Mechanical Engineering Journal*, 80, 75-68. (In Persian)
- Khalili, A., Iran Nejhad, P. & Shariatmadari, Z. (2010). Comparison of the Efficiency of One-Variable Models and Linear Multivariate Relationships in Estimating the Radiation Received on the Horizontal Surface of the Earth Using Meteorological Variables, Case Study of Istagah and (Qadiseh) Station in Tehran, 14th Iran Geophysical Conference, Oral Papers, 143-147. (In Persian)
- Majnouni Haris, A., Shahrokh Rend, P., Sepas Khah, A. & Nazemosadat, M.J. (1387). Development and Evaluation of Solar Radiation Estimation Models Based on Sunshine Hours and Meteorological Information, *Agricultural Sciences and Techniques and Natural*

- Resources, 12(46), 491-499. (In Persian)
- Moini, S., Javadi, Sh., Kokabi, M. & Dehghan Monshadi, M. (2010). Estimating Solar Radiation in Iran Using an Optimal Model, Iranian Energy Journal, 13(2), 1-10. (In Persian)
- Nadi, M., Bazar Afshan, J. & Ghahraman, N. (2010). Comparison of Different Methods of Estimating Angstrom Model Parameters for Estimating Daily Solar Radiation on Horizontal Surfaces, 14th Iran Geophysical Conference, Oral Papers, 139-142. (In Persian)
- Roshan, Gh., Qangarmeh, A. & Shahkooi, I. (2014). Evaluation of wind energy potential in selected stations in Iran, *Regional Planning Quarterly*, 4(14), 13-30. (In Persian)
- Salahi, B. (2004). Wind Energy Potential and Fitting the Real Probabilities of Wind Occurrence Using the Weibull Probability Density Distribution Function in Synoptic Stations of Ardabil Province. *Geographical Research*, 19(1 (77), 104- 87. (In Persian)
- Zahedi, M., Salahi, B. & Jamil, M. (2005). Calculation of wind density and power in order to use its energy in Ardabil. *Geographical Research*, 53, 55-41. (In Persian)