



طراحی سیستم ترکیبی خورشیدی - بادی برای تأمین انرژی الکتریکی در یک ساختمان در کرمانشاه

معین صیدی^۱، مهدی امیرینژاد^{۲*}

۱- کارشناس ارشد، مهندسی شیمی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۲- استادیار، مهندسی شیمی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

*کرمانشاه، کدپستی ۶۷۱۴۴، amirinejad@razi.ac.ir

چکیده

با توجه به نیاز روزافزون به انرژی و منابع محدود فسیلی، بهترین راه برای غلبه بر تناوبی بودن منابع تجدیدپذیر، استفاده از سیستم‌های ترکیبی است. در این تحقیق، عملکرد سیستم ترکیبی بادی - فتوولتائیک جهت تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز یک ساختمان بزرگ اداری در شهر کرمانشاه مورد بررسی قرار می‌گیرد. با استفاده از میانگین مصرف برق، بار الکتریکی مورد نیاز در تمام ماه‌های سال برابر ۱۷۸۰۰۰ kWh در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از متوسط سرعت باد در ساعات شبانه روز در ماه‌های سال، توابع توزیع ویبول و ریلی رسم شده‌اند. همچنین، توان هر توربین بادی با استفاده از داده‌های سرعت باد محاسبه و انرژی سالیانه هر توربین به دست آمد. میزان متوسط ماهانه تابش روزانه با استفاده از روابط انرژی خورشیدی محاسبه شده، سپس با توجه به کل انرژی مورد نیاز سالیانه، برای چند انتخاب مختلف از مساحت صفحات خورشیدی، انرژی باد مورد نیاز سالیانه تعیین شده است. در نهایت، با استفاده از مشخصات فنی چند توربین متفاوت، نوع و تعداد توربین مورد نیاز براساس انتخاب سطح صفحات خورشیدی مشخص شده و عملکرد سیستم ترکیبی شامل ۳۰۰ m² صفحات خورشیدی و یک توربین بادی ۲۰ کیلوواتی برای تأمین انرژی الکتریکی در این ساختمان مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

کلیدواژه‌گان: انرژی خورشیدی، انرژی باد، سیستم ترکیبی، فتوولتائیک، توربین بادی

Design of solar-wind hybrid system for providing electrical energy for a building in Kermanshah

Moeen Saiedi, Mehdi Amirinejad*

Faculty of Petroleum and Chemical Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

*P.O.B. 67144 Kermanshah, Iran, amirinejad@razi.ac.ir

Received: 28 October 2018 Accepted: 23 February 2019

Abstract

With consideration of the increasing energy demand and deficit of fossil fuel resources, the best way for the conquest of renewable resources alternation is the use of hybrid system. In this research, the performance of wind-photovoltaic hybrid system for providing the required electrical energy for a big ministerial building in Kermanshah city is investigated. The required electrical load for the month of a year was calculated 178000 kWh/year by using average electrical energy consumption. With consideration of wind average velocity for hours of a year, Weibull and Rayleigh distribution functions for this location was determined. Also, the power and annual energy of each turbine using wind speed data was calculated. The amount of average solar radiation by use of solar energy relations was calculated, and then, with consideration of annual total energy, the required annual wind energy versus solar cell surfaces selection was determined. Finally, the type and number of turbines by using of their technical specification for each surface selection of solar cells was determined and the performance of hybrid system including 300 m² photovoltaic solar cells and a ۲۰ kW turbine for providing electrical energy for this building was investigated and compared.

Keywords: Solar energy, Wind energy, Hybrid system, Photovoltaic, Wind turbine



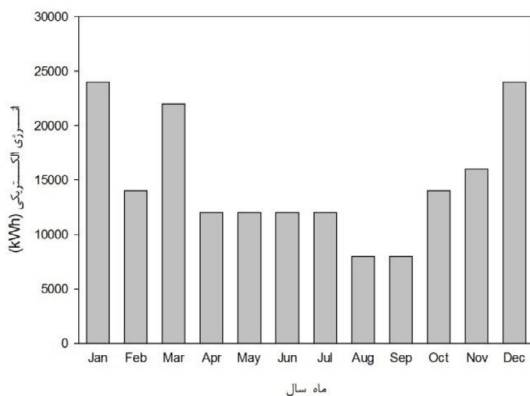
۱- مقدمه

با گذشت زمان از منابع تجدید ناپذیر و سوخت‌های فسیلی کاسته شده؛ از این رو بایستی به دنبال منابع انرژی دیگری بود تا کمبود انرژی را جبران کرد. امروزه، انرژی‌های تجدیدپذیر جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی محسوب شده که از منابع طبیعی سرچشمه می‌گیرند. این انرژی‌ها نسبت به مصرف سوخت‌های فسیلی آلودگی صفر یا بسیار کمتری در محیط زیست ایجاد می‌کنند. همچنین، تلاش بر این است که استفاده از آن‌ها از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه باشد. در سال ۱۹۸۶، الهادیدی و شهید [۱]، با تعیین انرژی الکتریکی مورد نیاز و ثبت متغیرهای ماهانه سرعت باد و تابش خورشیدی، احتمال وقوع باد و همچنین امکان‌سنجی استفاده از سیستم ترکیبی بادی-فتوولتائیک را در زهران عربستان مورد بررسی قرار دادند. کاپچه و همکاران [۲]، با داشتن انرژی الکتریکی و با استفاده از روابط توان تولیدی بدست آمده از انرژی باد، مدل بهینه از سیستم ترکیبی فتوولتائیک-باد پیشنهاد کردند. سپس، تعداد بهینه سیستم‌های فتوولتائیک را طوری تعیین کردند تا کمترین هزینه در پی داشته باشد. دیهراب و سوییان [۳]، یک سیستم ترکیبی به‌عنوان منبع تجدیدپذیر تولید برق برای استفاده در سه شهر عراق پیشنهاد کردند. مقادیر توان انرژی باد سالیانه و توان فتوولتائیک به دست آمده و پتانسیل آن برای این سه شهر عراق مورد بررسی قرار دادند. لی و همکاران [۴]، براساس منابع انرژی تجدیدپذیر و داده بار، مطالعه امکان‌سنجی فنی-اقتصادی یک سیستم مستقل ترکیبی بادی-فتوولتائیک برای خانواده‌ای در چین بوسیله مدل بهینه سازی هیبرید با استفاده از نرم‌افزار مدل بهینه سازی ترکیبی برای تجدیدپذیرهای الکتریکی (HOMER) شبیه‌سازی کرده و دمای محیط، متغیر بار و زاویه‌های مدول فتوولتائیک شبیدار را به عنوان پارامتر در نظر گرفتند. ژو و همکاران [۵]، با استفاده از داده‌های هواشناسی، شبیه‌سازی مدل سیستم ترکیبی بادی-خورشیدی را انجام داده و در ادامه معیاری برای بهینه‌سازی این سیستم ترکیبی به دست آورده، سپس، روش اندازه بهینه برای این سیستم در نظر گرفتند. بکل و پالم [۶]، امکان تامین برق از یک سیستم ترکیبی بادی-خورشیدی با استفاده از یک مدل برای یک منطقه دوردست مستقل از شبکه برق اصلی را در انبوی بررسی و پتانسیل انرژی بادی را برای چهار نقطه بررسی کردند. نما و همکاران [۷]، حالت جریان، عملیات و کنترل تجهیزات انرژی ترکیبی بادی-خورشیدی با استفاده از منابع پشتیبان متداول را مانند موتور دیزل طراحی کردند.

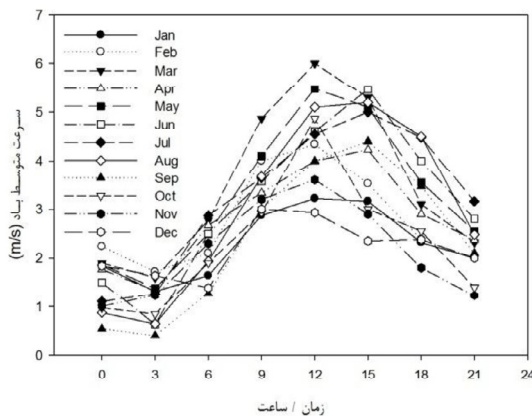
در این مقاله، با استفاده از اطلاعات پنج ساله سرعت باد ایستگاه هواشناسی استان کرمانشاه در غرب ایران با موقعیت جغرافیایی بین عرض جغرافیایی ۳۳ تا ۳۵ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ تا ۴۷ درجه شرقی، محتمل‌ترین سرعت باد و چگالی انرژی باد با استفاده از توابع توزیع ویبول و ریلی تعیین و سپس، توان توربین بادی و انرژی سالیانه توربین بادی به‌دست می‌آید. در ادامه، با استفاده از روابط، متوسط ماهانه تابش روزانه محاسبه و انرژی کل سیستم بادی-فتوولتائیک برای یک ساختمان اداری در شهر کرمانشاه به‌دست آمده و عملکرد این سیستم ترکیبی برای تامین انرژی الکتریکی این ساختمان مورد بررسی قرار می‌گیرد. داده‌های سرعت باد از اطلاعات اداره هواشناسی منطقه کرمانشاه در سال ۱۳۹۲ (۲۰۱۵ میلادی) اخذ شده است.

۲- تعیین محتمل‌ترین سرعت باد استان کرمانشاه

مهم‌ترین عامل در طراحی سیستم‌های ترکیبی، بار است. در این تحقیق، بار مورد نظر برای طراحی، انرژی الکتریکی مورد نیاز برای یک ساختمان اداری است که برای تمام ماه‌های یک سال به عنوان نمونه در نظر گرفته شده است. این بار شامل بار روشنایی، بار وسائل الکتریکی از جمله کامپیوتر، پروژکتورها، یخچال، تلویزیون و بار مورد استفاده برای راه اندازی کولر در ماه‌های گرم طبق محاسبات، برابر با 178×10^6 Wh/year تعیین گردید. شکل ۱ بار مصرفی برای تمام ماه‌ها را در این ساختمان و شکل ۲ متوسط سرعت باد در ساعات شبانه روز در ماه‌های سال برای شهر کرمانشاه در سال ۲۰۱۵ [۸] نشان می‌دهند.



شکل ۱ بار الکتریکی مورد نیاز در ماه‌های سال



شکل ۲ متوسط سرعت باد در ساعات شبانه روز در ماه‌های سال

همانطور که شکل ۲ نشان می‌دهد، بیشترین میزان سرعت باد در ساعات ۹-۱۳ از شبانه روز در ماه‌های مختلف سال می‌باشد که در هنگام ظهر به اوج خود می‌رسد و کمترین آن در حوالی ساعت ۳ بامداد می‌باشد. براساس اطلاعات سه ساعته سرعت باد، توابع احتمال ریلی و ویبول، به دست می‌آیند [۹]:

$$P_w(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (1)$$

$$P_r(v) = \left(\frac{\pi}{\gamma}\right) \left(\frac{v}{U}\right) \exp\left[-\frac{\pi}{\gamma} \left(\frac{v}{U}\right)^2\right] \quad (2)$$

Hybrid Optimization Model for Electric Renewables



که P_R توان نامی توربین، V_R سرعت نامی توربین، V_C سرعت قطع پایین توربین، V_R سرعت قطع بالای توربین، $P_W(V)$ تابع توان توربین بادی و A ، B و C پارامترهای موجود در معادله می‌باشند. اکنون می‌توان با داشتن پارامترهای موجود در معادلات فوق، انرژی سالیانه هر توربین را محاسبه کرد. این مقادیر در جدول ۱ آمده‌اند. در این جدول اطلاعات نوع توربین، توان اسمی، سرعت باد اسمی و سرعت قطع باد با توجه به کاتالوگ تهیه شده از طرف شرکت سورا تجارت به عنوان نماینده واردکننده توربین‌های بادی کوچک برای کاربردهای مسکونی و تجاری ارائه شده‌اند [۱۴].

جدول ۱ انرژی سالیانه هر توربین با استفاده از مشخصات آن

نوع توربین	توان اسمی (Wh)	سرعت باد		انرژی سالیانه کل (Wh)
		اسمی (m/s)	قطع باد (m/s)	
FD-200	۲۰۰	۷	۳	۱۸۳۹۳۳۷/۲
FD205-300	۳۰۰	۸	۳	۲۲۹۳۹۸۱/۲
FD2.5-500	۵۰۰	۸	۳	۳۸۲۳۳۰۲
FD3-1kW	۱۰۰۰	۹	۳	۶۵۷۲۶۲۸
FD3.6-2kW	۲۰۰۰	۹	۳	۱۳۱۴۵۲۵۶
FD5-3kW	۳۰۰۰	۱۰	۳	۱۷۳۲۶۴۰۴
FD6.4-5kW	۵۰۰۰	۱۰	۳	۲۸۸۷۷۳۴۰
FD-10kW	۱۰۰۰۰	۱۰	۳	۵۷۷۵۴۶۸۰
FD20kW	۲۰۰۰۰	۱۲	۳	۹۳۴۳۰۶۵۶

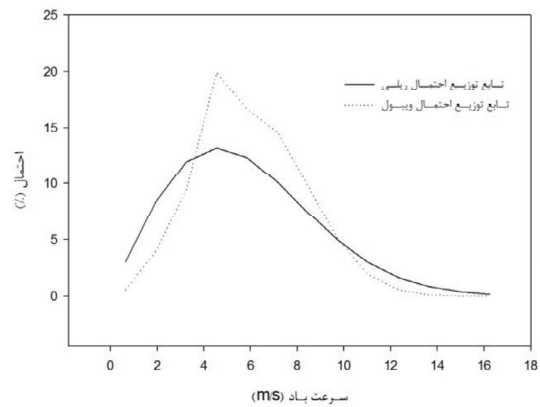
$$k = \left(\frac{\sigma_U}{\bar{U}}\right)^{-1.016P} \quad (3)$$

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (u_i - \bar{U})^2} \quad (4)$$

$$\bar{U} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i \quad (5)$$

که $P_T(v)$ و $P_W(v)$ به ترتیب توابع توزیع احتمال ویبول و ریلی، U سرعت باد، \bar{U} سرعت متوسط باد، k پارامتر شکل برای تابع ویبول، C پارامتر بزرگی برای تابع ویبول، σ_U انحراف معیار داده‌ها و N تعداد داده‌های سرعت باد می‌باشند.

چگالی نیروی باد به عنوان عاملی است که نشان می‌دهد چه مقدار انرژی قابل دسترس در هر مکان می‌تواند توسط توربین به انرژی الکتریکی تبدیل گردد [۱۰]. توابع توزیع ویبول و ریلی در شکل ۳ نشان داده شده‌اند. تابع توزیع ریلی پراکندگی داده‌های سرعت باد را بین بازه‌های ۱/۹۵ تا ۸/۴۵ m/s و تابع توزیع ویبول پراکندگی این داده‌ها را بین بازه‌های ۳/۲۵ تا ۸/۴۵ m/s نشان می‌دهند.



شکل ۳ توابع توزیع احتمال ریلی و ویبول

۴- میزان تابش انرژی خورشیدی روی صفحه شیبدار در کرمانشاه

با توجه به اینکه کرمانشاه در غرب ایران واقع شده است، مدت زمان تابش خورشیدی در آن زیاد بوده و انرژی خورشیدی زیادی قابل حصول است. با در دست داشتن روابط بعدی و با توجه به موقعیت جغرافیایی کرمانشاه می‌توان متوسط تابش روزانه را برای آن محاسبه نمود [۱۲]:

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right) \quad (10)$$

$$\bar{N} = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (11)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \delta \cdot \tan \varphi) \quad (12)$$

$$\omega_s = \min \left[\cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta), \cos^{-1}(-\tan(\varphi - \beta) \tan \delta) \right] \quad (13)$$

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin \omega_s}{(\pi/180) \omega_s \sin(\varphi - \beta) \sin \delta} + \frac{\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + (\pi/180) \omega_s \sin \varphi \sin \delta}{(\pi/180) \omega_s \sin(\varphi - \beta) \sin \delta} \quad (14)$$

۳- تعیین انرژی سالیانه توسط توربین

با داشتن سرعت‌های باد در یک منطقه و با استفاده از روابط و سرعت‌های قطع بالا و پایین توربین، توان و سپس انرژی سالیانه برای یک توربین به دست می‌آید [۱۱]:

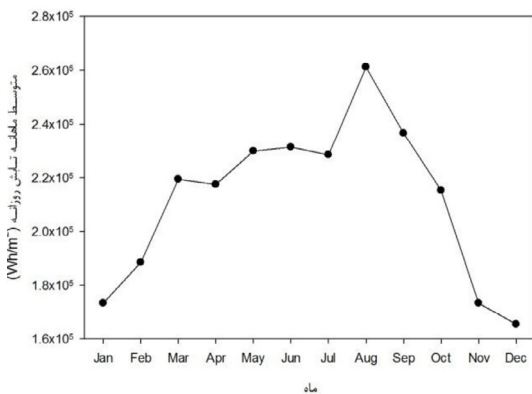
$$P_W(V) = \begin{cases} P_R(A + BV + CV^2), & V_C \leq V \leq V_R \\ P_R, & V_C \leq V \leq V_R \\ \cdot, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$A = \frac{1}{V_C^2 - V_R^2} \left[V_C(V_C + V_R) - \varphi(V_C V_R) \left(\frac{V_C + V_R}{2V_R} \right)^2 \right] \quad (7)$$

$$B = \frac{1}{V_C^2 - V_R^2} \left[\varphi(V_C + V_R) \left(\frac{V_C + V_R}{2V_R} \right)^2 - \varphi(V_C + V_R) \right] \quad (8)$$

$$C = \frac{1}{V_C^2 - V_R^2} \left[\varphi - \varphi \left(\frac{V_C + V_R}{2V_R} \right)^2 \right] \quad (9)$$





شکل ۴ متوسط ماهانه تابش روزانه برای کرمانشاه

حال با توجه به جداول ۱ و ۲، می‌توان حالت‌هایی برای طراحی توربین‌های بادی در نظر گرفت که به وسیله آنها بتوان انرژی الکتریکی مورد نیاز را تامین کرد؛ مثلاً برای انتخاب A که فقط انرژی بادی مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌توان دریافت که استفاده از دو توربین بادی ۲۰ kW می‌تواند ۱۰۰٪ انرژی باد سالیانه را تامین کند. همچنین، به جای آن می‌توان از سه توربین بادی ۱۰ kW و یا دو توربین بادی ۱۰ kW و دو توربین ۵ kW، ۱۰۰٪ انرژی باد سالیانه را تامین کرد. دقت شود که در سایر حالت‌های ممکن به دلیل زیاد شدن تعداد توربین‌ها از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشند.

جدول ۲ محاسبه انرژی باد مورد نیاز بر حسب حالت‌های مختلف

حالت	A_{solar} (m ²)	انرژی خورشیدی	انرژی باد
اول	.	.	۱۷۸۰۰۰۰۰۰
دوم	۷۰	۲۰۴۵۰۳۰۸/۵	۱۵۷۵۴۹۶۹۱/۵
سوم	۱۵۰	۴۳۸۲۰۸۹/۷	۱۳۴۱۷۷۹۱۰/۳
چهارم	۳۰۰	۸۷۶۴۴۱۷۹/۵	۹۰۳۵۵۸۲۰/۵
پنجم	۶۰۹	۱۷۸۰۰۰۰۰۰	.

برای حالت اول که فقط انرژی باد به کار رفته و از انرژی خورشیدی استفاده نمی‌شود، برحسب ماه برای دو طراحی توربین در شکل ۵ نشان داده و با بار مصرفی مقایسه شده است. همانطور که این شکل نشان می‌دهد، با استفاده از دو توربین ۲۰ kW (ردیف آخر جدول ۱) بار مصرفی پنج ماه از سال قابل تامین نمی‌باشد.

برای انتخاب پنجم زمانی که انرژی الکتریکی تولیدی توسط صفحات خورشیدی (بدون در نظر گرفتن توربین بادی) با سطح ۶۰۹ m² باشد، در شکل ۶ نشان داده و با بار مصرفی در ماه‌های سال مقایسه شده است. همانطور که این شکل نشان می‌دهد انرژی سالیانه توسط این صفحات خورشیدی برای پنج ماه از سال قابل حصول نیست.

$$H_o = \frac{24 \times 3600 \cdot G_{SC}}{\pi} \left(1 + 0.23 \cos \left(\frac{360 \cdot \Delta}{365} \right) \right) \times \left(\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \varphi \sin \delta \right) \quad (15)$$

$$\frac{\bar{H}}{H_o} = a + b \frac{\bar{n}}{N} \quad (16)$$

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1 - 1.15 \left(\frac{\bar{H}}{H_o} \right) \quad (17)$$

$$\bar{H}_T = \bar{H} \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \bar{R}_b + \bar{H}_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \bar{H} \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (18)$$

که در روابط فوق، δ : زاویه انحراف خورشید برای متوسط روز در ماه برحسب درجه، n روزهای متوسط ماه، b و a ضرایب ثابت که تابع شرایط اقلیمی محل و طول و عرض جغرافیایی است. β زاویه شیب صفحه برحسب درجه و φ عرض جغرافیایی محل بر حسب درجه می‌باشند. مقادیر a ، b و β برای شهر کرمانشاه، به ترتیب، برابر ۰/۲۵، ۰/۵۲ و ۳۴/۲° و در نظر گرفته می‌شوند [۱۳]. \bar{N} متوسط ماهانه حداکثر تعداد ساعات کاملاً آفتابی ممکن در روز (طول روز متوسط ماه)، ω_s و ω'_s ، به ترتیب، زاویه ساعت طلوع و غروب خورشید برای یک صفحه افقی و صفحه شیبدار برحسب درجه، \bar{R}_b نسبت متوسط ماهانه تابش مستقیم روزانه بر روی یک صفحه شیبدار به متوسط ماهانه تابش مستقیم روزانه بر روی یک صفحه افقی، \bar{H}_o متوسط ماهانه تابش روزانه بر روی یک صفحه افقی خارج از جو زمین برحسب MJ/m²، G_{SC} ثابت خورشیدی که برابر ۱۳۶۷ W/m² است، \bar{H}_d متوسط ماهانه تابش پخش روزانه روی یک صفحه افقی در یک نقطه مشخص از سطح زمین برحسب MJ/m²، \bar{H} متوسط ماهانه تابش روزانه روی یک صفحه افقی برحسب MJ/m²، \bar{H}_T میزان متوسط ماهانه تابش روزانه بر روی یک سطح شیبدار با شیب ثابت در یک نقطه مشخص از سطح زمین برحسب MJ/m²، \bar{n} متوسط ماهانه ساعات کاملاً آفتابی روزانه، ρ_g ضریب بازتاب پخش زمین (در مواقع عادی ۰/۲ و در روزهای برفی ۰/۷) می‌باشند.

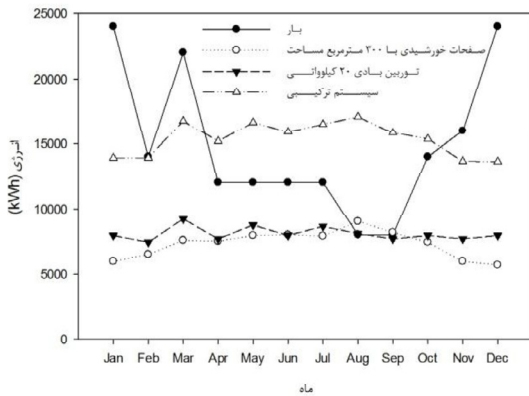
نتایج متوسط ماهانه تابش روزانه برای شهر کرمانشاه در سال ۲۰۱۵ در شکل ۴ ارائه شده‌اند. حال با توجه به انرژی مورد نیاز سالیانه (۱۷۸ MWh) و انرژی تابشی محاسبه شده، می‌توان مساحت صفحات فتوولتایک و انرژی باد مورد نیاز را از رابطه (۱۹) تعیین کرد:

$$E_t = E_{wind} + \eta_{solar} A_{solar} \sum_{i=1}^n \bar{H}_{Ti} \quad (19)$$

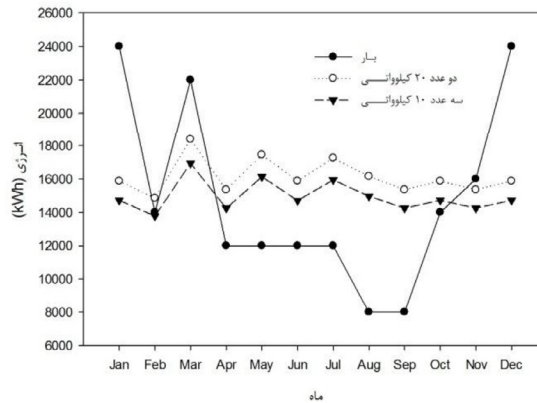
برای لحاظ کردن اثر گرد و غبار و دما، بازدهی صفحات ۱۱/۵٪ [۱۲] در نظر گرفته می‌شود.

در جدول ۲ ابتدا انرژی باد مورد نیاز در غیاب سیستم فتوولتایک محاسبه شده، سپس با توجه به در نظر گرفتن انتخاب‌هایی از مساحت صفحات خورشیدی، مقادیر انرژی باد مورد نیاز متناظر با آن بدست آمده و در نهایت (در انتخاب آخر)، مساحت صفحات خورشیدی (بدون در نظر گرفتن سیستم بادی) که می‌تواند این انرژی سالیانه را تامین کند بدست آمده که سطحی برابر ۶۰۹ m² محاسبه شده است.





شکل ۷ مقایسه عملکرد سیستم ترکیبی با خورشیدی منفرد، توربین بادی منفرد و بار مصرفی برای تأمین بار مصرفی ساختمان



شکل ۵ مقایسه انرژی تولیدی از توربین بادی طراحی شده و بار مصرفی برای ماه‌های سال برای انتخاب اول

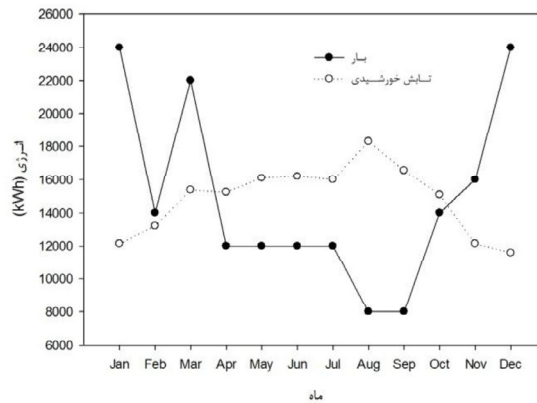
۶- نتیجه گیری

از آنجایی که انرژی‌های فسیلی روبه کاهش هستند، کشورهای صنعتی به دنبال جایگزینی برای این نوع انرژی بوده‌اند که اولاً در دسترس بوده و ثانیاً، مشکل آلودگی محیط زیست نداشته باشد. انرژی‌های تجدیدپذیر توانسته‌اند جایگزین خوبی برای انرژی‌های فسیلی محسوب شوند. مشکل استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر عدم وجود همیشگی آن‌هاست. سیستم‌های ترکیبی نظیر بادی-فتوولتائیک نسبت به سیستم‌های منفرد توانسته‌اند تا حدودی این انرژی عدم تأمین را حل کنند.

در این مقاله، به بررسی عملکرد سیستم ترکیبی بادی-فتوولتائیک برای تأمین انرژی الکتریکی یک ساختمان اداری در شهر کرمانشاه پرداخته شده است. با توجه به سرعت‌های باد در این منطقه، چگالی انرژی باد با استفاده از دو تابع ویبول و ریلی برآورد شد. با استفاده از سرعت‌های باد در ناحیه مورد نظر و مشخصات فنی چند توربین نمونه و به کمک روابط، مقدار توان و انرژی سالیانه حاصل از هر نوع توربین به دست آمد. با محاسبه متوسط ماهانه تابش روزانه و با در نظر گرفتن مساحت‌هایی برای سلول‌های فتوولتائیک مقدار انرژی باد مورد نیاز سالیانه به دست آمده و با استفاده از آن نوع و تعداد توربین مورد نیاز جهت تأمین انرژی باد سالیانه تعیین گردید. در طراحی سیستم ترکیبی شامل 300 m^2 صفحات خورشیدی و یک توربین بادی ۲۰ کیلوواتی مشخص شد که سیستم ترکیبی تنها در چهار ماه در سال جوابگوی بار الکتریکی مصرفی نیست که با استفاده از یک سیستم ذخیره باتری می‌توان این کمبود بار را جبران کرد. سیستم ترکیبی نسبت به سیستم فتوولتائیک و سیستم بادی منفرد عملکرد بهتری داشته، به طور مثال سیستم فتوولتائیک با مساحتی برابر 609 m^2 در پنج ماه از سال نمی‌تواند بار مصرفی را تأمین کند با وجود آنکه هزینه ساخت سیستم فتوولتائیک بسیار بالا بوده و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست.

۷- فهرست علائم

A	سطح (m^2)
C	پارامتر مقیاس توزیع ویبول (m/s)
G_{SC}	ثابت خورشیدی (برابر 1367 W/m^2)



شکل ۶ مقایسه انرژی تولیدی از انرژی خورشیدی و بار مصرفی برای ماه‌های سال برای انتخاب پنجم

۵- عملکرد سیستم ترکیبی برای تأمین انرژی الکتریکی

در بخش قبلی مشخص گردید اگر توربین بادی به تنهایی برای تأمین انرژی الکتریکی ساختمان اداری به کار گرفته شود، تعداد توربین‌های مورد استفاده زیاد می‌گردد. از طرف دیگر، اگر از سیستم فتوولتائیک به تنهایی استفاده شود، سطح بسیار بزرگی از صفحات خورشیدی مورد نیاز بوده که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد. در اینجا، برای مقایسه سیستم ترکیبی شامل 300 m^2 صفحات خورشیدی و یک توربین بادی ۲۰ کیلوواتی استفاده شده و عملکرد آن برای این ساختمان اداری در ماه‌های سال با عملکرد توربین بادی منفرد و انرژی خورشیدی منفرد برای برآورده کردن مقدار بار مصرفی در ساختمان مورد بررسی قرار می‌گیرد. آنچه که در نگاه اول خودنمایی می‌کند، کاهش تعداد توربین‌های بادی و سطح صفحات خورشیدی می‌باشد. همانطور که شکل ۷ نشان می‌دهد، سیستم صفحات خورشیدی به مساحت 300 m^2 به تنهایی و سیستم توربین بادی با توان 20 kW به تنهایی نمی‌تواند جوابگوی بار مصرفی ساختمان در سال باشد؛ اما، سیستم ترکیبی فقط در ۴ ماه از سال که پیک مصرف وجود دارد، جوابگوی بار مصرفی نمی‌باشد که با استفاده از یک سیستم ذخیره ساز مثل باتری می‌توان جوابگوی این افزایش بار نیز بود.



- [7] P. Nema, R.K. Nema, S. Rangnekar, A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13, pp. 2096–2103, 2009.
- [8] Synoptic meteorological data, Kermanshah Regional Meteorology Office, 2015.
- [9] F. James, J.G. Manwell, L.R. Anthony, *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*, New York: John Wiley & Sons, 2002..
- [10] M. Zolfaghari, P. Ghiabi, M.N. Hashemi, J. Sepehri, Assessment of wind force density in Markazi province, *Proceedings of The 14th Geophysics Conference of Iran*, Tehran, Iran, pp. 202-206, May ۲۰۱۰. (in Persian)
- [11] J. Wen, Y. Zheng, F. Donghan, A review on reliability assessment for wind power, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13, pp. 2485–2494, 2009.
- [12] J.A. Duffie, W.A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, New York: John Wiley & Sons, 1990.
- [13] J. Ghaemmaghami, E. Azad, H. Panahandeh, F. Geola, *Solar Energy*, Vol. 1 & 2, Tehran University, 2004. (in Persian)
- [14] Available on: www.naftkala.com/companyprofile.aspx?cid=1442

متوسط ماهانه تابش روزانه روی یک صفحه افقی برحسب MJ/m^2	\bar{H}
متوسط ماهانه تابش پخش روزانه روی یک صفحه افقی در یک نقطه مشخص از سطح زمین برحسب MJ/m^2	\bar{H}_d
متوسط ماهانه تابش روزانه بر روی یک صفحه افقی خارج از جو زمین برحسب MJ/m^2	\bar{H}_0
میزان متوسط ماهانه تابش روزانه بر روی یک سطح شیبدار با شیب ثابت در یک نقطه مشخص از سطح زمین برحسب MJ/m^2	\bar{H}_T
ثابت ضریب شکل توزیع ویبول	k
میانگین ماهیانه تعداد ساعات روزانه تابش روز آفتابی	n
متوسط ماهانه حداکثر تعداد ساعات کاملا آفتابی ممکن در روز	\bar{N}
توان نامی توربین (W)	P_R
تابع توزیع احتمال ویبول	$P_w(v)$
تابع توزیع احتمال ریلی	$P_r(v)$
تابع توان توربین بادی (W)	$P_w(V)$
نسبت متوسط ماهانه تابش مستقیم روزانه روی یک صفحه شیبدار به متوسط ماهانه تابش مستقیم روزانه بر روی یک صفحه افقی	\bar{R}_b
سرعت قطع پایین توربین (m/s)	V_C
سرعت قطع بالای توربین (m/s)	V_R

علائم یونانی

زاویه شیب صفحه برحسب درجه	β
زاویه انحراف خورشید برای متوسط روز در ماه برحسب درجه	δ
عرض جغرافیایی محل بر حسب درجه	φ
ضریب بازتاب پخش زمین	ρ_g
زاویه ساعت طلوع و غروب خورشید برای یک صفحه افقی برحسب درجه	ω_s
زاویه ساعت طلوع و غروب خورشید برای یک صفحه شیبدار برحسب درجه	ω'_s

۸- مراجع

- [1] M.A. Elhadidy, S.M. Shaahid, Feasibility of hybrid (wind + solar) power systems for Diihnan, Saudi Arabia, *Renewable Energy*, Vol. 16, pp. 97-976, 1999.
- [2] S.A. Kaabeche, M. Belhamel, R. Ibtouen, Techno-economic evaluation and optimization of integrated photovoltaic/wind energy conversion system, *Solar Energy*, Vol. 85, pp. 2407–2420, 2011.
- [3] S. Dihrab, K. Sopian, Electricity generation of hybrid PV/wind systems in Iraq, *Renewable Energy*, Vol. 35, pp. 1303–1307, 2010.
- [4] C. Li, X. Ge, Y. Zheng, C. Xu, Y. Ren, C. Song, C. Yang, Techno-economic feasibility study of autonomous hybrid wind/PV/battery power system for a household in Urumqi, China, *Energy*, Vol. 55, pp. 263-272, 2013.
- [5] W. Zhou, C. Lou, Z. Li, L. Lu, H. Yang, Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar–wind power generation systems, *Applied Energy*, Vol. 87, pp. 380–389, 2010.
- [6] G. Bekele, B. Palm, Feasibility study for a standalone solar–wind-based hybrid energy system for application in Ethiopia, *Applied Energy*, Vol. 87, pp. 487–495, 2010.

