طراحی بهینه سیستم انرژی ترکیبی مستقل از شبکه با در نظر گرفتن شاخص قابلیت اطمینان LPSP (مورد مطالعاتی: روستای ارسون استان اردبیل)

سعید لطفی ترازویی[۱]، محمد قیامی[۲]، حسین کاظمی کارگر[۳]

تاریخ دریافت مقاله:
۱۳۹۱/۵/۱۵
تاریخ پذیرش مقاله:
۱۳۹۱/۷/۱۸
کلمات کلیدی:
الگوریتم رقابت استعماری، انرژی‌های تجدید پذیر، ذخیره‌سازی باتری، سیستم انرژی ترکیبی، قابلیت اطمینان

چکیده:

در این مقاله، طراحی بهینه سیستم انرژی ترکیبی خورشیدی- بادی- دیزلی با ذخیره‌سازی باتری به منظور برق‌رسانی به روستای ارسون واقع در شهرستان خلخال (استان اردبیل) انجام می‌گیرد. روستای مورد نظر دارای ۳۵ خانوار است که میانگین مصرف انرژی روزانه آن ۶۳/۴ KWh برآورد شده است. هدف از این طراحی، کمینه‌سازی هزینه احداث کل سیستم پیشنهادی با در نظر گیری شاخص قابلیت اطمینان LPSP است که توسط الگوریتم رقابت استعماری انجام می‌گیرد. در این مقاله، هزینه سیستم‌های خورشیدی- دیزلی، بادی- دیزلی و خورشیدی- بادی- دیزلی با توجه به اطلاعات هواشناسی منطقه مورد نظر با یکدیگر مقایسه شده و سیستم بهینه معرفی می‌گردد. سپس به منظور دستیابی به نتایج بهینه‌تر و عملی‌تر سیستم پیشنهادی در نرم افزار HOMER نیز تحلیل می‌شود. در نهایت، نمودارهای مربوط به نحوه کارکرد و تامین بار هریک از اجزای سیستم ترکیبی، نمودار SOC بانک باتری و نمودار قابلیت اطمینان سیستم ارائه شده و هزینه مصرف سوخت در سیستم پیشنهادی و سیستم دیزلی ارائه می‌شود.

۱) دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی انرژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران. (نویسنده مسئول) s_l۰tfi@yahoo.com
۲) دکتری برق، گروه برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل. m_ghiamy@iauardabil.ac.ir
۳) دکتری برق ، گروه برق و کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی تهران. h_kazemi@sbu.ac.ir

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

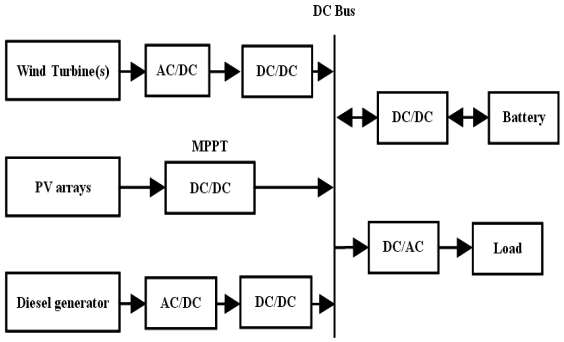
مقدمه

در سال‌های اخیر، رشد قابل توجهی در منابع انرژی تجدید پذیر مشاهده شده است، مخصوصاً انرژی باد و خورشیدی که نامتناهی ، وابسته به مکان ـ غیر آلاینده و منابعی با پتانسیل بالا برای ترکیب و تولید انرژی متناوب هستند . برای برق‌رسانی به مناطق دورافتاده عموماً از دیزل ژنراتور استفاده می‌شود که به دلیل هزینه بالا و آلودگی محیط زیست ترجیحاً با انرژی‌های تجدید پذیر جایگزین می‌گردند. از طرفی، مهمترین مانع برای استفاده از منابع تجدیدپذیر هزینه بالای تمام شده این سیستم‌ها می‌باشد. با این وجود، می‌توان برای حل این مشکل منابع انرژی تجدیدپذیر را به همراه دیزل ژنراتور و باتری برای تولید برق به کار برد که اصطلاحاً این روش را هیبرید (ترکیب) می‌گویند[۱]. سیستم‌های انرژی ترکیبی بهترین گزینه برای کاهش وابستگی به سوختهای فسیلی هستند که با استفاده از سرعت باد و تابش خورشید قابل دسترس می‌شوند . تعریفی از سیستم انرژی ترکیبی در شکل ۱ نشان داده شده است که شامل پنل‌های خورشیدی (فتوولتاییک) و یا توربین‌های بادی و یا دیزل ژنراتور و یا باتری‌هاست . سیستم‌های انرژی هیبریدی بعنوان راه‌حل‌های موثر هزینه برای مواجهه با نیازهای انرژی مناطق دور دست مطرح می‌شوند [۱۶] . در[۱۱] بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک برای تعیین وضعیت بهینه سیستم ترکیبی خورشیدی- دیزلی که بطور دقیق توصیف شده را توسعه داده شده است. [۹] آنالیز اقتصادی سیستم خورشیدی – بادی را انجام داده که نتیجه آن بررسی هزینه در حالات جداگانه هریک از سیستم هاست که کارایی سیستم ترکیب شده را ندارد. [۱۹] از نرم افزار HOMER برای ارزیابی اقتصادی سیستم خورشیدی دیزلی با ذخیره سازی باتری استفاده شده و هزینه‌های مربوط به سیستم‌ها در حالات استفاده از باتری و بدون استفاده از باتری بیان شده و میزان انتشار کربن به اندازه ۲۴٪ نسبت به حالت فقط دیزلی کاهش یافته است [۱۴] اندازه یابی بهینه سیستم ترکیبی خورشیدی- دیزلی برای برقرسانی یک شبکه کوچک در بنگلادش انجام یافته و کاربرد الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی اندازه سیستم ترکیبی و کنترل استراتژی عملکرد آن به کار گرفته شده است. [۱۸] مدل بهینه سیستم خورشیدی –بادی برای منطقه‌ای از ترکیه با استفاده از الگوریتم SA انجام داده است. [۲] هزینه سیستم ترکیبی خورشیدی- بادی با ذخیره سازی باتری را توسط الگوریتم‌های بهینه سازی اجتماع ذرات، ژنتیک و رقابت استعماری با یکدیگر مقایسه کرده و نتایج بهینه را ارائه داده است. [۴] مروری بر مدل‌های منابع تجدیدپذیر و با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی خطی برای تعیین عملکرد بهینه و بهینه‌سازی سیستم ترکیبی متشکل از آرایه‌های فتوولتاییک، بیوماس، بیوگاز، سیستم برقابی کوچک با ذخیره سازی باتری و سیستم دیزلی برای منطقه‌ای در هندوستان ارائه شده است.

در این مقاله، هدف اصلی طراحی بهینه سیستم ترکیبی بادی-خورشیدی و دیزلی است که با در نظر گرفتن شاخص قابلیت اطمینان LPSP جهت تامین مطمئن بار با کمترین هزینه توسط یک الگوریتم تکاملی بر پایه رفتار سیاسی – اجتماعی انسان است. مقایسه ترکیب‌های خورشیدی- دیزلی و بادی- دیزلی با سیستم خورشیدی- بادی- دیزلی باعث

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

انعطاف پذیری بیشتر انتخاب سیستم شده و مقایسه نتایج بهینه به دست آمده با نـرم افـزار HOMER باعـث اطمینـان از شبیه سازی و نتایج عملی‌تری می‌گردد.



شکل ۱: تعریفی از سیستم انرژی ترکیبی مستقل از شبکه [٦،١]

مدل ریاضی سیستم هیبریدی

مدل‌های مورد استفاده در این مقاله برای طراحی بهینه سیستم هیبریدی مورد مطالعه بر پایه داده‌های هواشناسـی کـه بـه صورت میانگین روزانه نمونه برداری و ثبت شده‌اند، ارائه داده می‌شوند[۶]. بنابراین، مدل‌ها به صورت زیر تشریح می‌شوند:

مدل فتوولتائیک

توان خروجی پنل‌های فتوولتائیک را با استفاده از روابط زیر می‌توان محاسبه کرد که این مدل شـامل تـاثیرات تابشـی خورشید و دمای پنل بر روی توان خروجی آن است [۷]. این روابط در نقطه بیشینه توان خروجی به صورت زیر است:

$$P_{PV}=V_{mpp}.I_{mpp} \quad (۱)$$

$$V_{mpp}=V_{mpp,ref} + P_{v,oc}(T_c - T_{c,ref}) \quad (۲)$$

$$I_{mpp}=I_{mpp,ref}+I_{SC,ref}(G_T/G_{ref})+ P_{I,SC}(T_c-T_{c,ref}) \quad (۳)$$

که P_{PV} توان پنل، V_{mpp} ولتاژ در نقطه بیشـینه تـوان، $V_{mpp,ref}$ همـان V_{mpp} در شـرایط عملکـرد اسـتاندارد (V)، I_{mpp} جریان پنل و $I_{SC,ref}$ جریان اتصال کوتاه در شرایط عملکرد استاندارد است، G_T میانگین روزانه تابش خورشید (w/m^2) و G_{ref} معادل $۱۰۰۰\ w/m^2$ برای عملکرد در شرایط استاندارد درنظر گرفته می‌شود. $P_{V,oc}$ و $P_{I,SC}$ به ترتیـب ضـرایب دمـایی بـرای ولتاژ مدار باز ($V/^oC$) و جریان اتصال کوتاه ($A/^oC$) هستند. $T_{C,ref}$ دمای پنل فتوولتائیک در شرایط عملکرد اسـتاندارد اسـت

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

که $۲۵^{o}C$ درنظر گرفته می‌شود و $T_C(t)$ دمای عملکرد پنل فتوولتائیک است که به صورت زیر محاسبه می‌شود[۱۶] :

$$T_C(t) = T_a(t) + \frac{NOCT - 20}{800}.G_T \qquad (۴)$$

در اینجا $T_a(t)$ دمای محیط (^{o}C)، NOCT (دمای سلول در عملکرد نرمال) که برای عملکرد پنل تحت تابش $۵۰۰\ w/m^{۲}$ و دمای $۲۰\ ^{o}C$ تعریف شده و معمولاً بین $۴۰\ ^{o}C$ تا $۴۶^{o}C$ درنظر گرفته می‌شود.[۲، ۲۱]

پنل‌های فتوولتائیک که به صورت ردیف‌های سری به هم وصل شده باشند، تعدادشان را با $N_{PN,S}$ نشان داده و با استفاده از ولتاژ باس‌بار DC و ولتاژ نامی پنل تعریف می‌شوند:

$$N_{PN,S} = \frac{V_{Bus}}{N_{pv,nom}} \qquad (۵)$$

که $N_{PV,nom}$ ولتاژ نامی پنل فتوولتائیک است. باید توجه داشت که $N_{PN,S}$ هدف مورد بهینه‌سازی نبوده و تعداد پنل‌های اتصال یافته به صورت موازی هدف مورد بهینه‌سازی است.[۶]

مدل توربین بادی

سرعت باد در ارتفاع مرجع h_r، به صورت میانگین روزانه برای تعیین سرعت باد برخورد کرده با توربین باد در مدل ارائه شده در ذیل به کار می‌رود. مدل توربین باد به صورت زیر بیان می‌شود [۲۱] :

$$V(t) = V_r(t)\left(\frac{h}{h_r}\right)^{\gamma} \qquad (۶)$$

که V سرعت باد در ارتفاع h است، V_r سرعت باد که در ارتفاع h ثبت گردیده و γ نمای قانونی توان نام دارد که مقدار آن بین $\frac{۱}{۷}$ تا $\frac{۱}{۴}$ است.

این فرمول از محاسبه سرعت باد برای محاسبه توان خروجی توربین و $P_{WT}(t)$ به‌کار می‌رود که به صورت زیر است :

$$P_{WT}(t) = \begin{cases} \dfrac{v - v_{ei}}{v_r - v_{eo}} P_R & V_{ei} < V < V_r \\ P_R & V_r < V < Vei \\ 0 & other\ wise \end{cases} \qquad (۷)$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

که، P_R توان مجاز، V_{eo}, V_r, V_{ei} به ترتیب سرعت قطع پایین، سرعت نامی و سرعت قطع بالای توربین بـادی است [۲۲].

مدل باتری

برای فرایند شارژ و دشارژ بانک باتری SOC [۱] را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود[۱۴] :

$$SOC(t+\Delta t) = SOC(t) + \eta_{bat}\left(\frac{P_B(t)}{V_{bus}}\right)\Delta t \qquad (۸)$$

که η_{bat} برای حالت شارژ معادل بازده ۸۰٪ و برای حالت دشارژ معادل ۱۰۰٪ است .

V_{bus} : ولتاژ باس بار DC بوده و Δt گام زمانی معادل یک روز است.

SOC_{min} به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$SOC_{\min} = (1 - DOD).SOC_{\max} \qquad (۹)$$

که DOD [۲] حداکثر عمق دشارژ باتری بوده و SOC_{min} حد پایینی که SOC باتری نمی‌تواند از آن در زمـان دشـارژ کمتر شود، SOC_{max} نیز حد بالایی است که SOC نمی‌تواند در زمان شارژ از آن بیشتر شود [۶].

مدل قابلیت اطمینان سیستم مورد نظر

به دلیل ویژگی‌های تابش خورشید و وزش باد ناپیوسته که تولید انرژی الکتریکی را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهند، آنالیزهای قابلیت اطمینان گام مهمی در طراحی سیستم‌های ترکیبی در نظر گرفته می‌شوند. در این مقاله از شاخص قابلیت اطمینان LPSP برای طراحی استفاده گردیده است.

۱) State of charge

۲) Depth of discharge

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

مدل شاخص قابلیت اطمینان LPSP

یک سیستم قدرت مطمئن سیستمی است که توان الکتریکی کافی برای تأمین بار در طول یک دوره خاص را دارد. بـه عبارت دیگر، احتمال عرضه توان (LPSP) کمی دارد.

کمبودعرضه توان را برای روز t ام می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$LPS(t) = P_{load}.\Delta t - (P_p.\Delta t + SOC(t-1) - (SOC_{\min}))\eta_{inv} \quad (۱۰)$$

که Δt گام زمانی در نظر گرفته شده (در این مطالعه یک) و Pp توان تولیدی توسط سیستم ترکیبی است.

احتمال عرضه کمبود توان (LPSP) برای یک دوره زمانی T با توجه به نرخ LPS(t) را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$LPSP = \frac{\sum_{t=1}^{T} LPS(t)}{\sum_{t=1}^{T} P_{load}(t).\Delta t} \quad (۱۱)$$

که T زمان عملکرد سیستم (در این مطالعه ۳۶۵ روز) می‌باشد [۱۲، ۱۷].

استراتژی عملکرد سیستم ترکیبی پیشنهادی

توان تولیدی توسط سیستم ترکیبی و مقدار انرژی دخیره شده وابسـته بـه زمـان هسـتند [۶]. بنـابراین، تـوان ورودی/ خروجی بانک باتری طبق رابطه زیر کنترل می‌شود:

$$\Delta P(t) = P_{re}(t) - P_1(t) \quad (۱۲)$$

که

$$P_l(t) = \frac{P_{Load}(t)}{\eta_i} \quad (۱۳)$$

P_{load} توان درخواستی توسط بار و η_i بازده مبدل DC/AC می‌باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

با توجه به مقدار ΔP، داریم:

اگر $\Delta P>0$: باقیمانده توان صرف شارژ کردن باتری‌ها خواهد شد. اگر باتری‌ها به طور کامل شارژ شدند، توان مذکور انباشته می‌شود.

اگر $\Delta P<0$: باقیمانده توان توسط باتری‌ها یا دیزل ژنراتور طبق استراتژی زیر تامین خواهد شد:

اگر باتری‌ها قابلیت تأمین ΔP را داشته باشند، باتری‌ها دشارژ و دیزل ژنراتور خاموش می‌شود.

$$P_b(i) = \Delta P \quad (۱۴)$$

اگر باتری‌ها قابلیت تامین ΔP را نداشته باشند، دیزل ژنراتور روشن شده و باتری‌ها نه شارژ می‌شوند و نه دشارژ. توان خروجی دیزل ژنراتور به صورت زیر خواهد بود:

$$P_d(i) = \Delta P \quad (۱۵)$$

نمودار جریانی این استراتژی در شکل ۲ نشان داده شده است.

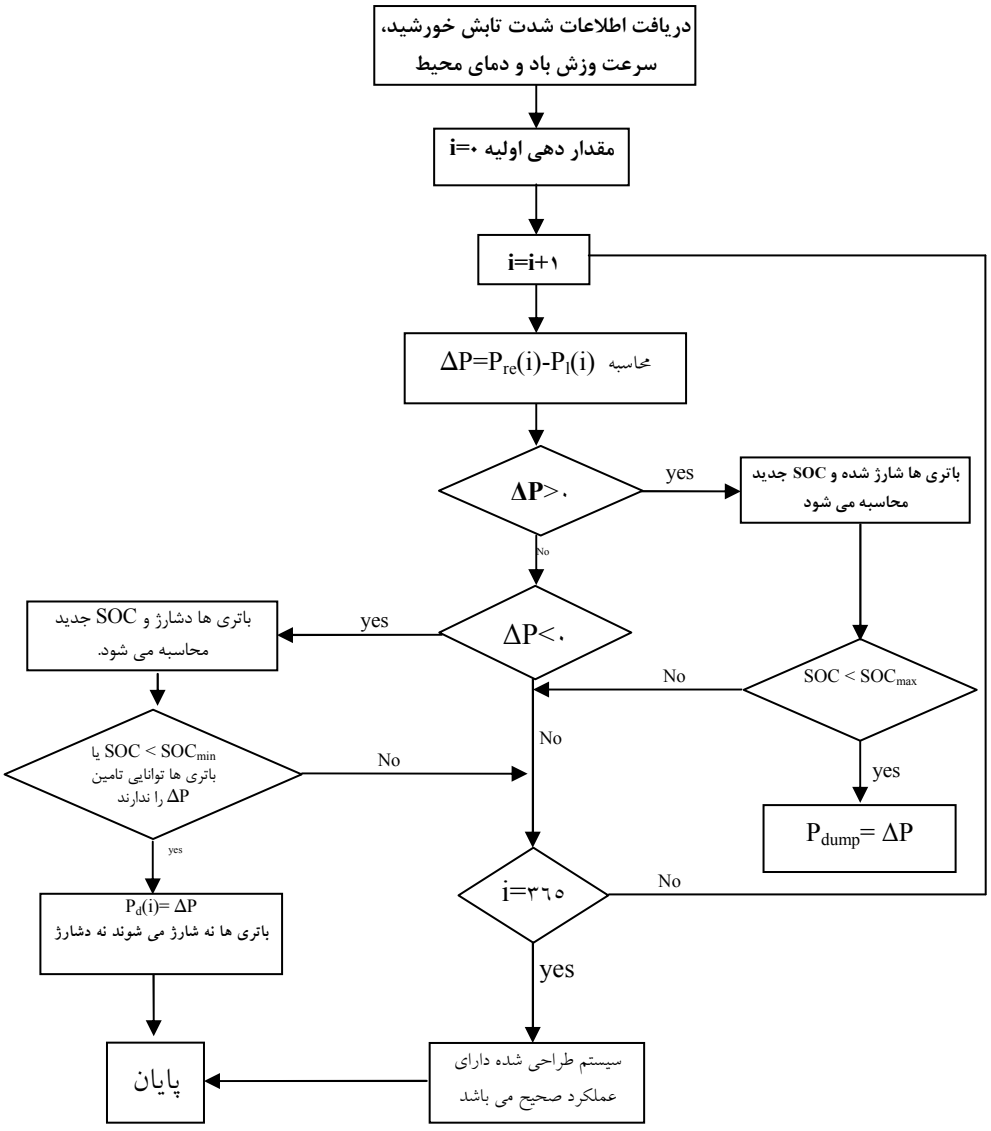
الگوریتم بهینه‌سازی مورد استفاده

الگوریتم رقابت استعماری

الگوریتم رقابت استعماری از جمله الگوریتم‌های تکاملی است [۵] که با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هرکدام از آنها یک کشور نامیده می‌شوند ، شروع می‌شود . تعدادی از بهترین عناصر جمعیت به عنوان امپریالیست انتخاب می‌شوند، باقیمانده جمعیت نیز بعنوان مستعمره در نظر گرفته می‌شود. استعمارگران بسته به قدرتشان، این مستعمرات را با یک روند خاصی به سمت خود می‌کشند . قدرت کل هر امپراطوری به هر دو بخش تشکیل‌دهنده آن بستگی دارد. رقابت امپریالیستی با شکل‌گیری امپراطوری‌های اولیه شروع می‌شود. بقای یک امپراطوری وابسته به قدرت آن در جذب مستعمرات امپراطوری‌های رقیب خواهد بود. در نتیجه، در جریان رقابت‌های امپریالیستی، به تدریج بر قدرت امپراطوری بزرگتر افزوده شده و امپراطوری‌های ضعیف‌تر حذف خواهند شد. حد نهایی رقابت استعمارگر زمانی است که یک امپراطوری واحد داشته باشیم با مستعمراتی که از لحاظ موقعیت، به خود کشور امپریالیست خیلی نزدیک هستند [۵].

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

برای پیاده سازی این الگوریتم از نرم افزار MATLAB استفاده می‌شود. در این مقاله، جمعیت اولیه (کشـور اولیـه) ۳۰ کشور و ۱۰۰ تکرار برای بهینه سازی در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۲ : نمودار جریانی استراتژی عملکرد سیستم ترکیبی پیشنهادی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

تابع هدف و قیود مساله

تابع هدف هزینه خالص فعلی(NPC(x) [۱] بر حسب دلار است که معادل جمع هزینه سرمایه گذاری کل ($C_T(x)$)، هزینه تعمیر و نگهداری ($C_M(x)$) ، هزینه جایگذاری ($C_R(x)$) و هزینه کل دیزل ژنراتور در طی طول عمر سیستم است که معادل طول عمر پنل‌های pv ۲۰ سال فرض شده‌اند. تابع هدف برای کمینه سازی به صورت زیر بیان می‌شود [۱۳]:

$$NPC(x) = N \times \{[CC + RC \times K(ir, L, y)] \times CRF(ir, R) + C_M\} \quad (۱۶)$$

که N تعداد یا ظرفیت تجهیز، C_T هزینه سرمایه گذاری اولیه، C_R هزینه هر بار جایگذاری و C_M هزینه تعمیر و نگهداری سالانه تجهیز می‌باشد. R طول عمر پروژه (در این مقاله ۲۰ سال) بوده و i_r بهره واقعی (در این مقاله ۶ درصد) بوده که بر حسب بهره نامی ($i_{r\,nominal}$) و نرخ تورم سالانه (f_r) طبق رابطه زیر قابل محاسبه است [۱۳].

$$i_r = \frac{\left(i_{rno\,\min al} - f_r\right)}{1 + f_r} \quad (۱۷)$$

CRF و K نیز به ترتیب فاکتور ارزش فعلی پرداخت‌های سالانه و ثابت بوده که به صورت زیر تعریف می‌شوند [۲۰].

$$CRF\left(i_r, R\right) = \frac{\left(1 + i_r\right)^R - 1}{i_r\left(1 + i_r\right)^R} \quad (۱۸)$$

$$K_i = \sum_{n=1}^{y_i} \frac{1}{\left(1 + i_r\right)^R} \quad (۱۹)$$

y و L به ترتیب تعداد جایگذاری‌ها و طول عمر مفید تجهیز مربوطه می‌باشد.

طبق رابطه نشان داده شده، هزینه سوخت مصرفی دیزل ژنراتور به صورت زیر محاسبه می‌شود [۶].

$$C_{fuel} = \Pr_{fuel} .\left(A.P_D + B.P_{RD}\right) \quad (۲۰)$$

$\Pr_{fuel}$: قیمت سوخت \$/l

A=۰.۲۴۶ و B=۰.۰۸۴۵ l/kwh ضرایب منحنی سوخت هستند.

P_D : توان خروجی دیزل ژنراتور

۱) Net persent cost

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

P_{RD} : توان نامی دیزل ژنراتور

در نهایت، تابع هدف مساله به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$STC(x) = \min\{\sum_i NPC_i + C_{fuel}\} \quad (۲۱)$$

که i نشانگر تجهیز مورد نظر و x بردار متغیرهای بهینه‌سازی می‌باشد.کمینه‌سازی تابع هدف با توجه به قیود اصلی زیر انجام می‌شود.

$$\begin{cases} P_p \rangle P_l \\ SOC_{\min} \le SOC \le SOC_{\max} \\ LPSP_{\min} \le LPSP \le LPSP_{\max} \end{cases} \quad (۲۲)$$

که P_p توان تولیدی توسط سیستم به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_p = P_{RE} + P_D - P_B \quad (۲۳)$$

P_{re} توان تولید شده توسط منابع تجدید پذیر است و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{RE} = N_{PV}.P_{mpp} + N_{WT}.P_{WT} \quad (۲۴)$$

که P_{mpp} , P_{WT} به ترتیب توان در mpp پنل فتوولتائیک بر حسب (w) و توان خروجی توربین بادی بر حسب (w) هستند.

N_{PV} و N_{WT} به ترتیب تعداد کل پنل‌های فتوولتائیک است که $N_{PV} = N_{PV,P} \times N_{PV,S}$ و N_{WT} تعداد کل توربین‌های بادی است.

P_B توان ورودی / خروجی بانک باتری است. در طی فرایند شارژ $P_B>0$، و در فرایند دشارژ $P_B<0$ می‌گردد و با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد: (نحوه شارژ و دشارژ باتری ها در بخش استراتژی عملکرد کاملا توضیح داده شد)

$$\Delta P(t) = P_{re}(t) - P_1(t) \quad (۲۵)$$

که

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

$$P_l(t) = \frac{P_{Load}(t)}{\eta_i} \quad (۲۶)$$

و P_{load} توان بار و η_i بازده مبدل DC/AC است

بنابراین، مدل طراحی بهینه سیستم ترکیبی خورشیدی- بادی و دیزلی مستقل از شبکه به صورت زیر بیان می‌شود:

$$STC(x) = \min\{\sum_i NPC_i + C_{fuel}\} \quad (۲۷)$$

$$where\ x = \{N_{PV,P}, N_{WT}\ ,\ N_{Bat,P}\} \quad (۲۸)$$

$$P_P(t) \rangle P_L(t) \quad (۲۹)$$

$$SOC_{\min}(t) \le SOC(t) \le SOC_{\max}(t) \quad (۳۰)$$

$$LPSP_{\min} \le LPSP \le LPSP_{\max} \quad (۳۱)$$

$$0 \le N_{PV,P} \le N_{PV,P\max} \quad (۳۲)$$

$$0 \le N_{WT} \le N_{WT\max} \quad (۳۳)$$

$$0 \le N_{Bat,P} \le N_{Bat,P\max} \quad (۳۴)$$

نتایج طراحی سیستم ترکیبی مورد مطالعه

روش ارائه شده برای طراحی سیستم ترکیبی خورشیدی- بادی و دیزلی مستقل از شبکه به منظور تامین توان بار متغیر از ۱۰ kw در پیک واقع در منطقه شمالغرب ایران (روستای ارسون از توابع استان اردبیل) با مختصات جغرافیایی : عرض جغرافیایی ′ ۳۷ ، ° ۳۱ طول جغرافیایی ۲۳ ، ° ۴۸ به کار گرفته شده است . موقعیت جغرافیایی روستای مورد مطالعه در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است.

مجموعه ۱۲ ماه از اطلاعات سرعت باد ، تابش خورشید و دمای محیط به صورت میانگین روزانه توسط سازمان هواشناسی از اول فروردین تا ۲۹ اسفند ۱۳۸۹ ثبت گردیده [۳] و در شکل‌های ۵ تا ۷ قابل مشاهده می‌باشد. لازم به ذکر است که سرعت باد در ارتفاع ۴۰ متری اندازه گیری شده است. توزیع روزانه توان موردنیاز مشتری (مشترک) طی یک روز

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

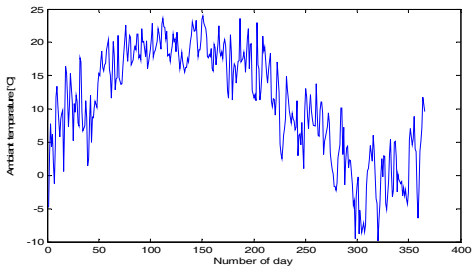
در شکل ۸ نشان داده شده است .



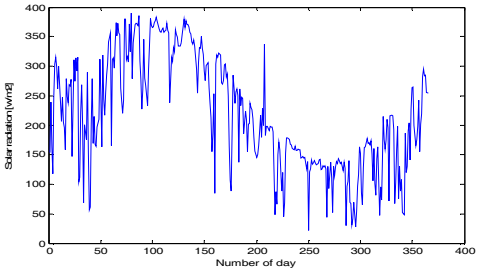
شکل۳ : موقعیت جغرافیایی روستای مورد مطالعه



شکل ٤ : روستای ارسون شهرستان خلخال (واقع در استان اردبیل)

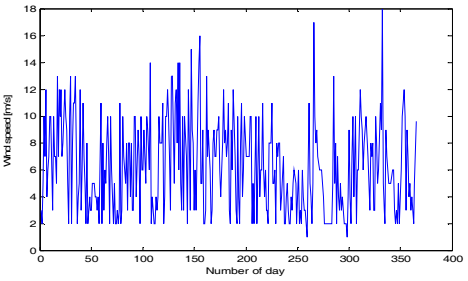


شکل ٥ : میانگین روزانه دمای محیط نمودار [۳]

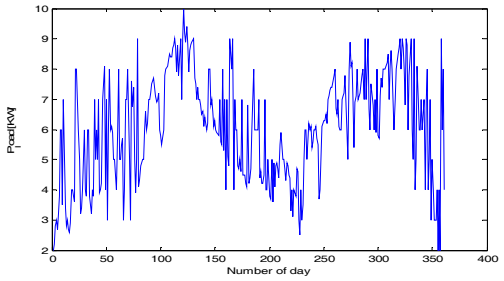


شکل ٦ : میانگین روزانه شدت تابش خورشید[۳]

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]



شکل ۷ : میانگین روزانه سرعت وزش باد [۳]



شکل ۸ : میانگین روزانه توان مصرفی مورد نیاز

در این کاربرد، دیزل ژنراتور با قدرت مجاز ۱۰ kw مورد استفاده قرار گرفته است.

خصوصیات و هزینه های مربوط به سرمایه گذاری اولیه ،تعمیر و نگهداری و جایگذاری برای انواع اجزاء در جدول ۱ تا ۳ داده شده است.

جدول ۱: مشخصات فنی- اقتصادی توربین باد [٦، ۱۳]

توان نامی	۵
v_r (m/s)	۱۱
v_{ci}(m/s)	۲/۵
v_{CO}(m/s)	۲۴
هزینه سرمایه گذاری ($)	۷۵۰۰
هزینه جایگذاری ($)	۷۵۰۰
هزینه تعمیر و نگهداری ($/year)	۷۵۰۰

جدول ۲: مشخصات فنی-اقتصادی پنل های فتوولتائیک

V_{OC}(V)	۲۵
I_{SC}(A)	۵/۱۹
Vmax(V)	۲۰/۴۵
Imax(A)	۴/۸۹
NCOT(oC)	۴۵/۸
هزینه سرمایه گذاری ($)	۴۰۰
هزینه جایگذاری ($)	۴۰۰
هزینه تعمیر و نگهداری ($/year)	۱۰

جدول۳: مشخصات فنی- اقتصادی باتری ها

ظرفیت نامی (Ah)	۲۳۰
ولتاژ نامی (V)	۱۲
حداکثر عمق دشارژ(٪)	۸۰
بازده (٪)	۸۵
هزینه سرمایه گذاری ($)	۲۵۰
هزینه جایگذاری ($)	۲۵۰
هزینه تعمیر و نگهداری ($/year)	۱۰

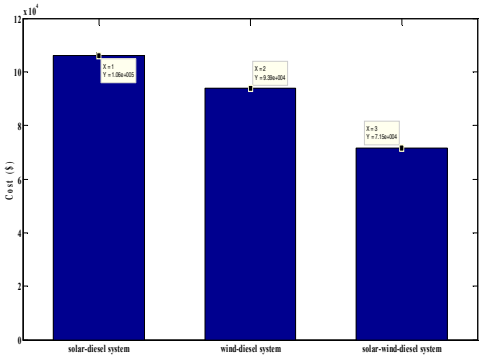
طول عمر پنل فتوولتاییک ۲۰ سال و دیزل ژنراتور ۱۵۰۰۰ ساعت می‌باشد. هزینه سوخت ۰/۹($/l) بوده و هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه تعمیر و نگهداری دیزل ژنراتور به ترتیب ۴۵۰۰ ($) و ۴۵ ($) می‌باشد. ولتاژ باس بار DC ، ۴۸ ولت بوده که این مقدار را پنل‌ها و باتری‌های اتصال یافته به صورت سری مشخص می‌کنند. طول عمر باتری‌ها ۳ سال

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

و تعداد دفعات تعویض باتری ۶ بار در نظر گرفته می‌شود. نتایج طراحی بهینه سیستم‌های ترکیبی مختلف با مقدار هزینه کلی سیستم که از الگوریتم رقابت استعماری حاصل شده‌اند، در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول٤ : نتایج بهینه حاصل از الگوریتم رقابت استعماری

نوع سیستم ترکیبی / مقادیر بهینه	خورشیدی ـ دیزلی	بادی ـ دیزلی	خورشیدی ـ بادی و دیزلی
N_{PV}	۶۷	۰	۳۳
N_{WT}	۰	۶	۳
N_{Bat}	۱۶	۱۶	۱۶
N_{inv}	۹	۹	۹
LPSP	۰/۰۶۹۱	۰/۰۵۳۹	۰/۰۶۸۴
هزینه سوخت مصرفی در سال ($)	۲۳۹۸	۲۲۷۰	۲۱۴۴
هزینه احداث کلی ($)	۱۰۶۱۳۵	۹۳۸۵۷	۷۱۴۹۸



شکل ۹ : هزینه سیستم های ترکیبی مورد مطالعه در الگوریتم پیشنهادی

در نهایت، در شکل ۹ هزینه تر کیب های مختلف با دیزل ژنراتور نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۹ و جدول ۴، ملاحظه می‌شود که ترکیب منابع تجدید پذیر خورشیدی و بادی با دیزل ژنراتور مقرون به صرفه تر از ترکیب منابع بادی یا خورشیدی با دیزل ژنراتور است.

شکل ۱۰ نتایج بهینه حاصل از نرم افزار HOMER را نشان می‌دهد.

Sensitivity Results | Optimization Results

Double click on a system below for simulation results.

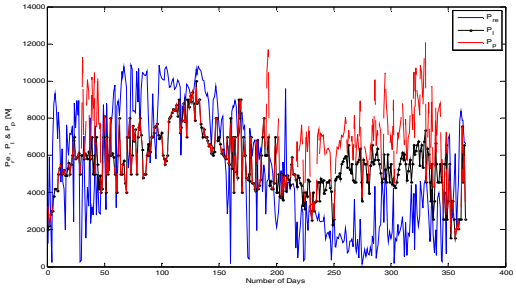
PV (kW)	XLS	Gen (kW)	T-105	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost ($/yr)	Total NPC	COE ($/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Gen (hrs)
1	3	3	16	7	$ 19,800	4,841	$ 75,329	0.285	0.87	2,562	2,824
1	3	4	16	7	$ 20,100	4,841	$ 75,630	0.286	0.87	2,548	2,175
1	3	3	16	8	$ 20,600	4,822	$ 75,909	0.287	0.87	2,537	2,775
1	3	4	16	8	$ 20,900	4,805	$ 76,015	0.287	0.87	2,511	2,125
2	3	3	16	7	$ 23,800	4,580	$ 76,330	0.289	0.88	2,352	2,608
1	3	3	16	9	$ 21,400	4,825	$ 76,747	0.290	0.87	2,526	2,754
1	3	4	16	9	$ 21,700	4,803	$ 76,790	0.290	0.87	2,497	2,104
2	3	3	16	8	$ 24,600	4,561	$ 76,913	0.291	0.88	2,327	2,561
2	3	4	16	7	$ 24,100	4,606	$ 76,935	0.291	0.88	2,355	2,036
2	3	4	16	8	$ 24,900	4,564	$ 77,251	0.292	0.88	2,314	1,981
1	3	5	16	7	$ 20,400	4,983	$ 77,559	0.293	0.87	2,604	1,910
2	3	3	16	9	$ 25,400	4,564	$ 77,748	0.294	0.88	2,316	2,540
2	3	4	16	9	$ 25,700	4,561	$ 78,009	0.295	0.89	2,300	1,956
1	3	5	16	8	$ 21,200	4,960	$ 78,092	0.295	0.87	2,556	1,857
1	3	5	16	9	$ 22,000	4,942	$ 78,686	0.297	0.87	2,529	1,823
4	3	5	16	7	$ 32,400	4,178	$ 80,318	0.304	0.91	2,009	1,443
2	3	6	16	7	$ 24,700	4,861	$ 80,456	0.304	0.89	2,418	1,561
4	3	5	16	8	$ 33,200	4,134	$ 80,611	0.305	0.91	1,966	1,397
4	3	6	16	8	$ 33,500	4,117	$ 80,721	0.305	0.91	1,938	1,193
4	3	6	16	7	$ 32,700	4,194	$ 80,799	0.305	0.91	2,001	1,250
2	3	6	16	8	$ 25,500	4,847	$ 81,097	0.307	0.89	2,370	1,519
4	3	6	16	9	$ 34,300	4,084	$ 81,147	0.307	0.91	1,903	1,162
2	3	6	16	9	$ 26,300	4,783	$ 81,158	0.307	0.89	2,309	1,458

شکل ۱۰: نتایج بهینه حاصل از نرم افزار HOMER

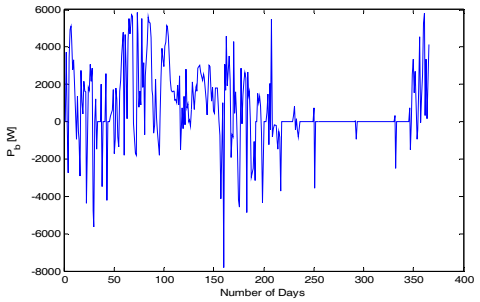
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

با توجه به شکل ۱۰، ملاحظه می‌شود که ترکیب بهینه سیستم انرژی خورشیدی- بادی- دیزلی در نرم افزار مذکور شامل ۱ KW پنل خورشیدی، ۳ توربین بادی با توان ۵ kw ، ۱۶ باتری و ۷ اینورتر می‌باشد که دارای هزینه کلی ۷۵۳۲۹ دلار می‌باشد. با توجه به جدول ۴، هزینه ترکیب بهینه مشابه حاصل از الگوریتم رقابت استعماری، دارای هزینه کلی ۷۱۴۹۸ دلار می‌باشد. لذا دقت الگوریتم رقابت استعماری در مقایسه با نرم افزار HOMER بیشتر بوده و نتایج دقیق تری به دست می‌دهد. بنابراین، سیستم‌های بهینه حاصل از الگوریتم رقابت استعماری را به طور دقیق بررسی می‌نماییم.

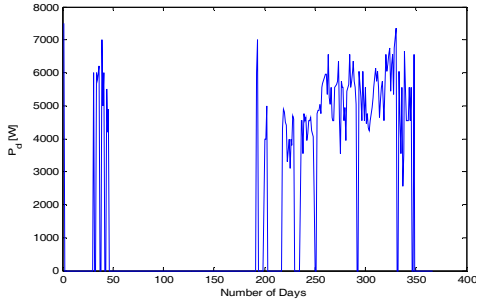
شکل‌های ۱۱ تا ۲۵ نشان دهنده نحوه تامین بار و سهم منابع تجدیدپذیر، دیزل ژنراتور و باتری‌ها در تأمین مطمئن بار هستند . همچنین SOC باتری‌ها و قابلیت اطمینان سیستم (LPSP) سیستم نیز نشان داده شده است.



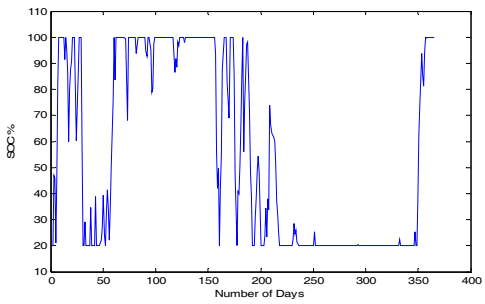
شکل۱۱: توان تولیدی توسط سیستم ترکیبی خورشیدی- دیزلی (P_p)، توان تولیدی توسط منابع تجدید پذیر(P_{re})، توان مورد نیاز بار(P_l)



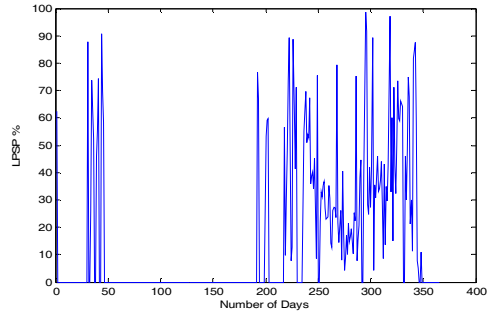
شکل ۱۲: توان ورودی/ خروجی بانک باتری در طول سال



شکل ۱۳: توان خروجی دیزل ژنراتور در طول سال

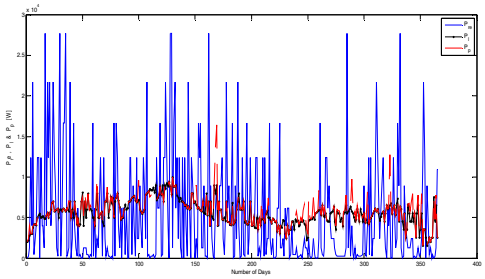


شکل۱٤: SOC بانک باتری در طول سال

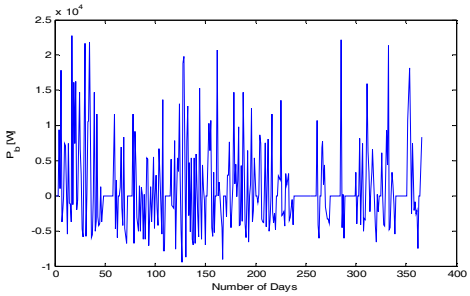


شکل ۱۵: شاخص قابلیت اطمینان سیستم ترکیبی خورشیدی- دیزلی

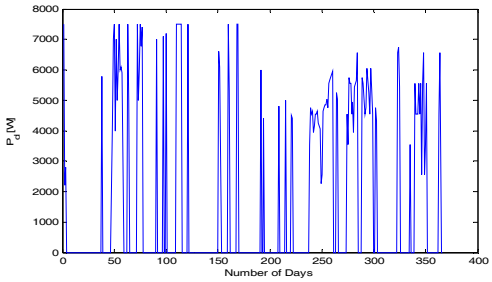
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]



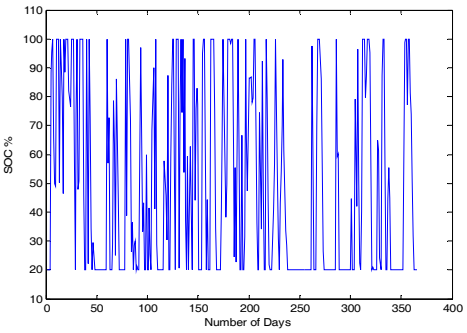
شکل ۱۶ : توان تولیدی توسط سیستم ترکیبی بادی- دیزلی (P_p)، توان تولیدی توسط منابع تجدید پذیر(P_{re})، توان مورد نیاز بار(P_l)



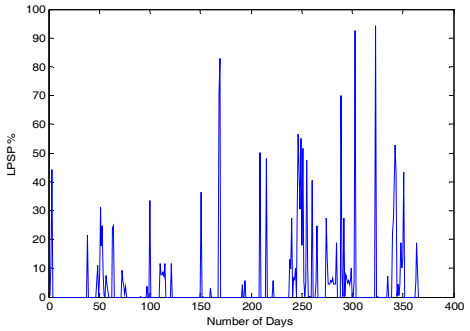
شکل۱۷ : توان ورودی/ خروجی بانک باتری در طول سال



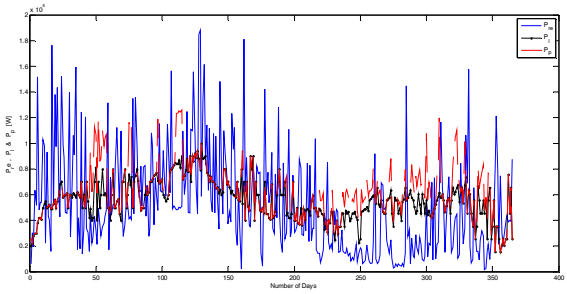
شکل ۱۸ : توان خروجی دیزل ژنراتور در طول سال



شکل ۱۹ : SOC بانک باتری در طول سال

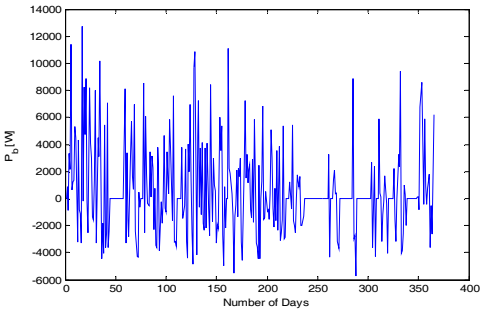


شکل ۲۰ : شاخص قابلیت اطمینان سیستم ترکیبی در طول سال

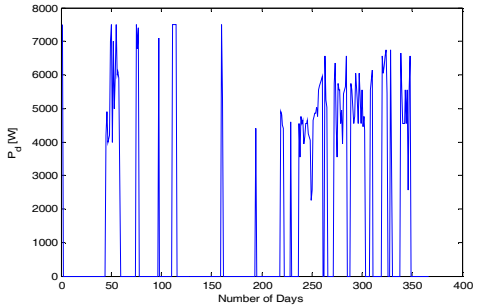


شکل ۲۱ : توان تولیدی توسط سیستم ترکیبی خورشیدی- بادی- دیزلی (P_p)، توان تولیدی توسط منابع تجدید پذیر(P_{re})، توان مورد نیاز بار(P_l)

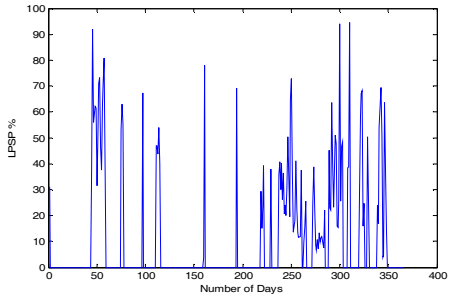
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]



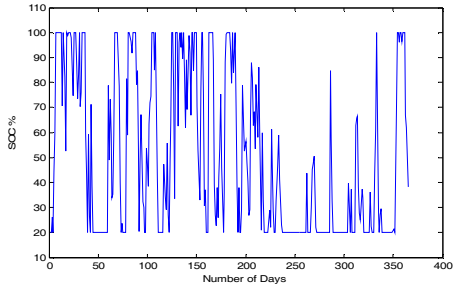
شکل ۲۲ : توان ورودی/ خروجی بانک باتری در طول سال



شکل ۲۳ : توان خروجی دیزل ژنراتور در طول سال



شکل۲٤ : SOC بانک باتری در طول سال



شکل ۲۵ : شاخص قابلیت اطمینان سیستم ترکیبی در طول سال

شکل‌های ۱۱، ۱۶ و ۲۱ توان تولیدی توسط منابع تجدیدپذیر (P_{re})، توان تولیدی کل توسط سیستم هیبریدی (P_p) و توان مورد نیاز بار را به ترتیب در سیستم‌های خورشیدی- دیزلی ،بادی- دیزلی و خورشیدی بادی و دیزلی نشان می‌دهد. توان تولیدی توسط منابع تجدیدپذیر در سیستم‌های مورد مطالعه به ترتیب ۱۶۴، ۱۲۸ و ۱۳۷ روز بیشتر از توان مورد نیاز بار بوده که توان اضافی تولید شده صرف شارژ باتری‌ها می‌شود. همچنین ۲۰۱، ۲۳۷ و ۲۲۸ روز منابع تجدیدپذیر قادر به تأمین بار نخواهند شد. لذا سیستم پشتیبان با توجه به استراتژی ذکر شده بار را تأمین خواهد کرد.

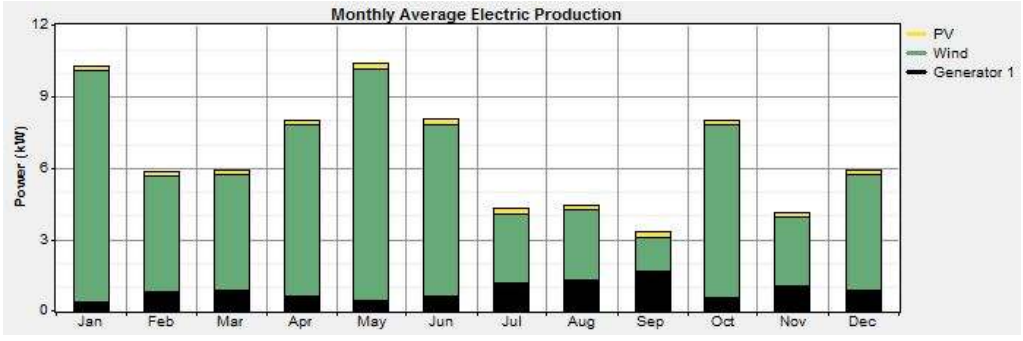
شکل‌های ۱۲، ۱۷ و ۲۲ توان ورودی / خروجی بانک باتری را نشان می‌دهد و مشخص کننده نحوه شارژ و دشارژ آنها در طول سال است. $P_b>0$ نشانگر شارژ باتری و توان ورودی به باتری است و $P_b<0$ نمایانگر دشارژ باتری و توان خروجی باتری است. این شکلها به ترتیب مربوط به سیستم‌های خورشیدی- دیزلی، بادی- دیزلی و خورشیدی بادی و دیزلی می‌باشند. با توجه به این شکلها باتری‌ها در سیستم‌های مورد مطالعه به ترتیب ۱۶۴، ۱۲۸ و ۱۳۷ روز شارژ می‌شوند. همچنین باتری‌ها به مدت ۶۸ ، ۱۲۵ و ۱۲۱ روز دشارژ شده و بار را تامین می‌کنند. در نهایت، مدت زمانی که باتری‌ها در طول روز نه شارژ می‌شوند نه دشارژ ، برای سیستم‌های مورد مطالعه به ترتیب ۱۳۳، ۱۱۲ و ۱۰۷ روز می‌باشد.

شکل‌های ۱۳، ۱۸ و ۲۳ نحوه کارکرد دیزل ژنراتور را در طول سال نشان می‌دهد. در این طراحی، دیزل ژنراتور زمانی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

بار را تأمین می‌کند که منابع تجدید پذیر و بانک باتری مورد استفاده قادر به تامین توان مورد نیاز بار نباشند. با توجه به هر سه شکل، ملاحظه می‌شود که دیزل ژنراتور در هیچ روزی از سال با توان نامی خود کار نمی‌کند. حداکثر توان خروجی آن در هر سه سیستم ترکیبی ۷/۵ KW ، به ازای ۱ روز از سال برای سیستم ترکیبی خورشیدی- دیزلی، ۱۶ روز از سال برای سیستم ترکیبی بادی – دیزلی و ۱۰ روز از سال برای سیستم ترکیبی خورشیدی- بادی- دیزلی است. همچنین به مدت ۲۳۲ روز برای سیستم ترکیبی خورشیدی- دیزلی ، ۲۳۷ روز برای سیستم ترکیبی بادی- دیزلی و ۲۴۴ روز برای سیستم ترکیبی خورشیدی- بادی- دیزلی توان خروجی دیزل ژنراتور صفر بوده که نشان دهنده صرفه جویی در مصرف سوخت است. هزینه مصرف سوخت سالانه در سیستم های مذکور به ترتیب ۲۳۹۸، ۲۲۷۰ و ۲۱۴۴ دلار می‌باشد که اگر از سیستم دیزلی به جای این سیستم ها استفاده شود، ۲۲۲۳۴ دلار هزینه مصرف سوخت خواهیم داشت. شکل‌های ۱۴، ۱۹ و ۲۴ نشانگر SOC باتری بوده و ملاحظه می‌گردد که SOC بانک باتری برای هر سه سیستم هیبریدی مورد مطالعه بین SOC_{msx} (۱۰۰٪ SOC) و SOC_{min} (۲۰٪ SOC) است که نشاندهنده کارکرد صحیح سیستم‌های طراحی شده می‌باشد. این شکلها نحوه شارژ و دشارژ باتری‌ها را نیز نشان می‌دهند. شکل‌های ۱۵، ۲۰ و ۲۵ شاخص قابلیت اطمینان سیستم‌های ترکیبی را در طول سال نشان می‌دهند. اگر LPSP برابر صفر باشد، بار به صورت مطمئن توسط سیستم طراحی شده تامین می‌گردد و اگر LPSP یک باشد، سیستم طراحی شده قادر به تأمین بار نخواهد بود.

با توجه به اشکال بالا، ملاحظه می‌شود که بار ۱۰ kw مورد نظر با هر سه سیستم طراحی شده به طور کامل پشتیبانی می‌گردد و نحوه پشتیبانی نیز کاملا واضح است. به عبارتی، هر زمانی که باتری و منابع تجدیدپذیر نتوانند بار را تأمین کنند، بلافاصله دیزل ژنراتور وارد عمل شده و بار را تأمین می‌نماید. شکل ۲۶ نیز سهم اجزای سیستم ترکیبی بهینه خورشیدی- بادی و دیزلی را که توسط نرم افزار HOMER به دست آمده، نشان می‌دهد.



شکل۲٦ : نحوه تامین توان سیستم ترکیبی حاصل از نرم افزار HOMER

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

با توجه به این شکل، سهم سیستم خورشیدی ۳٪ ، معادل ۱۷۵۷ kwh/yr برای بار مورد نظر بوده، سهم انرژی بادی ۸۴٪ ، معادل ۴۸۲۰۷ KWh/yr و در نهایت سهم دیزل ژنراتور برای تامین بار ۱۳٪ معادل ۷۵۳۷ KWh/yr می باشد. هزینه تولید انرژی توسط این نیروگاه ۰/۲۸۵ دلار بر کیلووات ساعت می‌باشد که از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه می‌باشد.

نتیجه گیری

در این مقاله طراحی بهینه سیستم انرژی ترکیبی خورشیدی- بادی- دیزلی برای روستای دور افتاده ارسون از توابع استان اردبیل ارائه شده است. طراحی توسط الگوریتم تکاملی رقابت استعماری با در نظر گرفتن تامین مطمئن بار و شاخص قابلیت اطمینان LPSP برای سیستم های ترکیبی مختلف خورشیدی- دیزلی، بادی- دیزلی و خورشیدی – بادی- دیزلی انجام یافت. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که ترکیب بهینه خورشیدی- بادی- دیزلی در مقایسه با سیستم‌های بهینه بادی – دیزلی و خورشیدی- دیزلی مقرون به صرفه تر می‌باشد. هزینه‌های بدست آمده برای ترکیبات خورشیدی- دیزلی، بادی- دیزلی و خورشیدی- بادی- دیزلی به ترتیب ۱۰۶۱۳۶، ۹۳۸۵۷ و ۷۱۴۹۸ دلار می باشد. شاخص قابلیت اطمینان که نشان دهنده احتمال خاموشی سیستم های ترکیبی مورد مطالعه بوده، به ترتیب برابر ۶/۹۱٪ ، ۵/۳۹٪ و ۶/۸۴٪ در طول سال به دست آمده است. به منظور دستیابی به نتایج عملی‌تر، سیستم بهینه خورشیدی- بادی- دیزلی در نرم افزار HOMER نیز طراحی گردید و هزینه کلی سیستم ۷۵۳۲۹ دلار به دست آمد که نتایج حاصل از الگوریتم دقیق‌تر بود. هزینه صرفه جویی شده مصرف سوخت دیزل با به کارگیری سیستم ترکیبی خورشیدی- بادی- دیزلی در مقایسه با سیستم دیزلی ۲۰۰۹۰ دلار می‌باشد. در نهایت، هزینه تولید انرژی توسط سیستم بهینه برابر ۰/۲۸۵ دلار بر واحد انرژی می‌باشد که اقتصادی بوده و استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر را توجیه پذیر می‌سازد.

مراجع

[۱] لطفی ترازویی، سعید. قیامی، محمد. کاظمی کارگر، حسین.(۱۳۹۰)، مدل‌سازی سیستم انرژی ترکیبی خورشیدی- بادی-دیزلی در مناطق دور افتاده، دومین کنفرانس انرژی‌های تجدید پذیر و تولید پراکنده، دانشگاه تهران، تهران

[۲] لطفی ترازویی، سعید. شایقی حسین. (۱۳۹۱)، مدل‌سازی و طراحی بهینه سیستم انرژی ترکیبی مستقل از شبکه با در نظر گرفتن پارامترهای اقتصادی، دومین کنفرانس سالانه انرژی پاک، کرمان.

[۳] سازمان هواشناسی کل کشور، اداره کل هواشناسی استان اردبیل، اطلاعات مربوط به شدت تابش خورشید، سرعت وزش باد و دمای هوای منطقه از اول فروردین تا ۲۹ اسفند ۱۳۸۹.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

[٤] Ajai Gupta and R.P. Saini and M.P. Sharma," Modeling of hybrid energy system—Part I: Problem formulation and model development", *Renewable Energy*, Vol. ٣٥, No. ٢, pp. ٥٢٠-٥٣٥, ٢٠١٠.

[٥] Atashpaz-Gargari. E and Caro Lucas, (٢٠٠٧) " Imperialist Competitive Algorithm: An Algorithm for Optimization Inspired by Imperialistic Competition" ,*IEEE Congress on Evolutionary Computation ,pp.* ٤٦٦١ – ٤٦٦٧.

[٦] Belfkira. R and Zhang. L and Barakat. G," Optimal Sizing study of hybrid wind/PV/diesel power generation system ", *Solar Energy* , Vol. ٨٥,No. ١, pp ١٠٠-١١٠, ٢٠١١.

[٧] Belfkira. R and Barakat. G and Nichita. C, " Sizing optimization of a stand-alone hybrid power supply unit: wind/PV system with battery storage", *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, Vol. ٣, No.٥, ٢٠٠٨.

[٨] Borowy B.S and Salameh. Z.M," Methodology for optimally sizing the combination of a battery bank and PV array in a wind/PV hybrid system", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. ١١, No. ٢, pp. ٣٦٧-٣٧٥, ١٩٩٦

[٩] Celik. A.N," Optimization and techno-economic analysis of autonomous photovoltaic–wind-hybrid energy systems in comparison to single photovoltaic and wind systems". *Energy Conversion and Management*, Vol. ٤٣, No. ١٨, pp.٢٤٥٣-٢٤٦٨, ٢٠٠٢.

[١٠] Deshmukh. M.K and Deshmukh. S. S," Modeling of hybrid renewable energy systems ", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol. ١٢, No. ١, pp. ٢٣٥–٢٤٩, ٢٠٠٨.

[١١] Dufo-Lopez, R., Bernal-Agustin, J.L.: ' Design and control strategies of PV–diesel systems using genetic algorithms '. Solar Energy , Vol. ٧٩, No. ١, pp. ٣٣–٤٦, ٢٠٠٥.

[١٢] Hongxing Yang and Wei Zhou and Lin Lu and Zhaohong Fang, " Optimal sizing method for stand-alone hybrid solar–wind system with LPSP technology by using genetic algorithm", *Solar Energy*, Vol. ٨٢, No. ٤, pp. ٣٥٤-٣٦٧, ٢٠٠٨.

[١٣] Kashefi Kaviani. A and. Riahy. G.H and Kouhsari. SH.M, "Optimal design of a reliable hydrogen-based stand-alone wind/PV generating system, considering component outages". *Renewable Energy,* Vol. ٣٤, No. ١١, pp. ٢٣٨٠-٢٣٩٠, ٢٠٠٩.

[١٤] Koutroulis. E.and Kolokotsa. D.and Potirakis. A. and Kalaitzakis. K.," Methodology for optimal sizing of stand-alone photovoltaic/wind generator systems using genetic algorithms", *Solar Energy*, Vol. ٨٠, No. ٩, pp. ١٠٧٢-١٠٨٨, ٢٠٠٦.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

[۱۵] Luna-Rubio. R and Trejo-Perea. M and Vargas-Vázquez. D and Ríos-Moreno. G.J," Optimal sizing of renewable hybrids energy systems: A review of methodologies." *Solar Energy*, Vol. ۸٦, No. ٤, pp. ۱۰۷۷-۱۰۸۸, ۲۰۱۲.

[۱٦] Markvar. T, (۲۰۰۰) *Solar Electricity*, second ed. John. Wiley & Sons.

[۱۷] Ould Bilal. B and Sambou. V and Ndiaye. P.A ans Kébé. C.M.F and Ndongo.N, " Optimal design of a hybrid solar–wind-battery system using the minimization of the annualized cost system and the minimization of the loss of power supply probability (LPSP) ", *Renewable Energy*, Vol.۳٥, No. ۱۰, pp. ۲۳۸۸-۲۳۹۰, ۲۰۱۰.

[۱۸] Orhan Ekren and Banu Y. Ekren, " Size optimization of a PV/wind hybrid energy conversion system with battery storage using simulated annealing ", *Applied Energy*, Vol. ۸۷, No. ۲, pp. ٥۹۲-٥۹۸, ۲۰۱۰.

[۱۹] Shaahid. S.M. and El-Amin. I, " Techno-economic evaluation of off-grid hybrid photovoltaic–diesel–battery power systems for rural electrification in Saudi Arabia—A way forward for sustainable development", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. ۱۳, No. ۳, pp. ٦۲٥–٦۳۳, ۲۰۰۹.

[۲۰] Shahirinia A.H and Tafreshi S.M.M and Gastaj A.H and Moghaddomjoo AR (۲۰۰٥) " Optimal sizing of hybrid power system using genetic algorithm" *In: International conference on future power systems* .

[۲۱] Yang. H and Lu. L and Zhou. W, " A novel optimization sizing model for hybrid solar-wind power generation system ", *Solar Energy* , Vol. ۸۱, pp. ۷٦–۸٤, ۲۰۰۷

[۲۲] Yang. Q and Zhang .J and Liu. Z and Xia. S and Li .W, (۲۰۰۸) " A New Methodology for Optimizing the Size of Hybrid PV/wind System", *IEEE conf* .

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]