

طراحی بهینه سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر برای پایگاه‌های مرزی با در نظر گرفتن سامانه سوخت‌رسانی بین پایگاهی

رضا غفارپور

استادیار، دانشگاه جامع امام حسین(ع)

(دریافت: ۹۷/۱۲/۲۴، پذیرش: ۹۸/۰۴/۱۸)

چکیده

طراحی بهینه سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر برای مناطق منفصل از شبکه، به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های مناسب تأمین انرژی، به جهت استفاده حداکثری از منافع این سامانه‌ها، صورت می‌پذیرد. جهت کسب نتایج واقعی‌تر و عملیاتی‌تر، باید سعی شود تا حد امکان مدل‌سازی انجام‌شده کامل‌تر و با در نظر گرفتن جزئیات صورت پذیرد. یکی از مناطق منفصل از شبکه که دارای اهمیت بالایی هستند، پایگاه‌های نظامی مرزی هستند. از لحاظ تأمین انرژی، با وجود جدایی این پایگاه‌ها از یکدیگر از لحاظ الکتریکی، ولی به‌دلیل حضور سامانه حمل و نقل سوخت‌رسانی، رفتار مصرف انرژی این پایگاه‌ها به یکدیگر ارتباط می‌یابد. در این مقاله، از دیدگاه یک سازمان بالاسری، کاهش هزینه تأمین انرژی مجموعه کل پایگاه‌ها به‌عنوان تابع هدف مسئله بهینه‌سازی طراحی، در نظر گرفته شده است. به‌منظور مدل‌سازی کامل مسئله، سامانه سوخت‌رسانی بین‌پایگاهی تحت مدل‌سازی قرار گرفته و به‌عنوان یکی از منابع هزینه‌ای مسئله در نظر گرفته شده است. قیود ارزیابی اقتصادی نیز جهت تضمین اقتصادی بودن سرمایه‌گذاری صورت پذیرفته، نوشته شده است. نتایج شبیه‌سازی صورت گرفته بر روی یک تست سامانه ۴ پایگاهی، نشان می‌دهد که با استفاده از یک سرمایه‌گذاری اقتصادی، می‌توان هزینه کل تأمین انرژی مجموعه را به میزان ۷۸ درصد کاهش داد.

کلیدواژه‌ها: سامانه انرژی تجدیدپذیر، پایگاه مرزی، سامانه سوخت‌رسانی، طراحی بهینه

Optimal Planning of Renewable Systems for Multi Border Garrisons Considering the Fuel Transportation System

R. Ghaffarpour

Imam Hossein University

(Received: 15/03/2019; Accepted: 09/07/2019)

Abstract

The aim of optimal planning of renewable system is to maximize achieved benefits from this investment. Modelling the problem with more details will cause to achieve the results with more reality and practicality. One of the most important off-grid areas are border garrisons. Although, these spots are disconnected from each other electrically, but, their energy usages are interconnected because of the presence of unique fuel transportation system. In this paper, the reduction of energy provision's cost from a overhead organization's aspect has been considered as objective function. To model the problem with elaboration, the fuel transportation system has been considered as the one of cost source of problem. In addition, the constraints of economical evaluation have been written to guarantee the economic condition of carried out investment. The results of simulation using the test system including 4 garrisons, show that with an economical investment, the total cost of energy provision can be decreased up to 78%.

Keywords: Renewable Enrgy Systems, Border Garrison, Fuel Transportation System, Optimal Planning

۱. مقدمه

با توجه به مشکلات فوق و با عنایت به توانایی‌های موجود در مجموعه‌های داخلی، برای راه‌اندازی سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر، استفاده از این سامانه‌ها برای رفع مشکلات حالت فعلی تأمین انرژی پایگاه‌های مرزی پیشنهاد می‌شود. لیکن، آنچه در این میان از اهمیت بسیاری برخوردار است، طراحی بهینه این سامانه‌ها برای بهره‌مندی هر چه بیشتر از مزایای آن‌ها، کاهش هزینه‌های تأمین انرژی پایگاه‌ها و دوری از یک سرمایه‌گذاری غیراقتصادی است.

طراحی بهینه اهمیت بسیار فراوانی در مهندسی سامانه‌های تجدیدپذیر دارد و همین مسئله باعث شده است تا این موضوع مورد توجه محققان قرار بگیرد. در مطالعات صورت گرفته، بهینه‌سازی طراحی سامانه‌های تجدیدپذیر در حضور سامانه‌های قدیمی و ذخیره‌ساز با استفاده از برنامه تخصصی HOMER به انجام رسیده است [۱]. محققان یک بهینه‌سازی سامانه‌های تجدیدپذیر هیبریدی را مورد مطالعه قرار داده‌اند. طراحی بهینه سامانه‌های خورشیدی و بادی در کنار اندازه‌یابی سامانه‌های ذخیره‌ساز، از اهداف این بهینه‌سازی صورت گرفته توسط روش simulation optimization بوده است [۲]. بهینه‌سازی جهت تعیین اندازه بهینه سامانه خورشیدی با در نظر گرفتن امکان اتصال به شبکه در منابع مورد مطالعه قرار گرفته است [۳]. در این مرجع، علاوه بر شاخص‌های فنی، شاخص‌های زیست‌محیطی نیز در نظر گرفته شده‌اند. در کارهای صورت پذیرفته، مطالعه فنی و اقتصادی ریزشبکه‌ها، از لحاظ بهره‌مندی این مجموعه‌ها از سامانه بهینه منابع تجدیدپذیر مورد بررسی قرار گرفته است [۴] و [۵]. طراحی سامانه‌های تجدیدپذیر صرفاً در مقیاس شبکه‌ای مورد بحث و بررسی نبوده است. استفاده از این سامانه‌ها در مقیاس خانگی نیز تحت مطالعه پژوهشگران قرار گرفته است. اقدام به یک بهینه‌سازی در طراحی سامانه‌های تجدیدپذیر با هدف ارائه یک مدل خانگی جهت تأمین صد در صد انرژی مصرفی به‌منظور کاهش هزینه اقتصادی نمونه‌ای از مطالعات مقیاس کوچک بوده است [۶]. البته قابل به ذکر است که این مرجع قید قابلیت اطمینان را نیز در نظر گرفته است. یک تحقیق مروری بر کارهای صورت پذیرفته در مورد مسئله تأمین انرژی مناطق جزیره‌ای منفصل از شبکه با در نظر گرفتن سامانه‌های تجدیدپذیر نیز از جمله کارهای صورت پذیرفته در این حوزه است [۷]. یکی از مزایای برجسته سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر، کاهش وابستگی مجموعه به بیرون از لحاظ تأمین انرژی و افزایش امنیت انرژی تأمین است. این بحث می‌تواند از دیدگاه پدافند غیرعامل بسیار قابل توجه باشد. بدین جهت، مطالعه‌ای به بررسی اثرات سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر از دیدگاه پدافند غیرعامل و شاخص‌های زیست‌محیطی پرداخته است [۸]. بهینه‌سازی صورت

امروزه پیشرفت‌هایی که در فناوری ساخت منابع تأمین انرژی تجدیدپذیر اعم از پنل‌های خورشیدی و توربین‌های بادی صورت پذیرفته است، باعث رقابت‌پذیر شدن کامل این سامانه‌ها با منابع سنتی تأمین انرژی گشته است. هم اکنون، منابع انرژی تجدیدپذیر توانسته است سهم قابل‌توجهی را در تأمین انرژی کشورها به خود اختصاص دهد. با وجود منافع بسیاری که استفاده از این منابع در مقیاس بزرگ برای کشورها داشته است، استفاده از سامانه‌های تجدیدپذیر برای تأمین انرژی مناطق منفصل از شبکه از جذابیت خاصی برخوردار بوده است. این جذابیت اقتصادی، به جهت امکان تأمین انرژی این مناطق بدون هزینه سرمایه‌گذاری کلان احداث خطوط حاصل می‌گردد.

یکی از مناطق منفصل از شبکه بسیار پر اهمیت، پایگاه‌های نظامی مرزی هستند. این پایگاه‌ها عموماً به جهت قرار گرفتن در نقاط مرزی دور از مناطق شهری، از شبکه سراسری برق فاصله زیادی دارند. تأمین انرژی این مجموعه‌ها در حال حاضر با استفاده از ژنراتورهای دیزلی صورت می‌پذیرد. به دلیل مشکل محدودیت سوخت و به خاطر ترجیح فرماندهان پایگاه‌های برای کارکرد دیزل در حالت کم‌فشار جهت کم شدن میزان خرابی، این پایگاه‌ها ساعات زیادی در طی روز، در حالت خاموشی هستند و بدین ترتیب یکی از راهبردی‌ترین نقاط کشور از لحاظ تأمین انرژی، بدون برق می‌ماند. نحوه تأمین سوخت برای این پایگاه‌ها هم، توسط یک خودرو سوخت‌رسانی که هر چند وقت یک‌بار به حرکت در می‌آید، صورت می‌پذیرد. مشکلات سامانه تأمین انرژی فعلی پایگاه‌های مرزی کشور عبارت‌اند از:

- **ساعات زیاد خاموشی:** این مشکل باعث تضعیف پایگاه از لحاظ دفاعی خواهد شد، در واقع به دلیل محدودیت انرژی موجود، پایگاه مجبور به محدود کردن سامانه‌های روشنایی و سایر ادوات انرژی بر خود خواهد بود که از لحاظ دفاعی یک نکته منفی به حساب می‌آید.
- **سر و صدای زیاد ژنراتور دیزلی:** آلودگی صوتی حاصل از کارکرد ژنراتورهای دیزلی باعث کاهش تمرکز کارکنان پایگاه می‌شود.
- **وابستگی پایگاه از لحاظ سوخت‌رسانی:** در سامانه فعلی تأمین انرژی، پایگاه کاملاً متکی به سامانه سوخت‌رسانی است که در صورت بروز مشکل برای این سامانه، پایگاه از لحاظ تأمین انرژی دچار مشکل خواهد شد. این مسئله یک نقطه ضعف از دیدگاه پدافند غیرعامل است.

۲. فرمولاسیون ریاضی مسئله

در ادامه به فرمول‌بندی ریاضی مسئله بهینه‌سازی طراحی سامانه‌های تجدیدپذیر برای مجموعه‌ای از پایگاه‌های مرزی منفصل از شبکه با لحاظ سامانه حمل و نقل سوخت پرداخته شده است.

لازم به ذکر است در این مطالعه همانند روال معمول مطالعات بهینه‌سازی طراحی، به‌منظور کاهش حجم مسئله از لحاظ تعداد متغیر و کاهش بار محاسباتی، از روش کلاسه‌بندی اطلاعات استفاده شده است. با توجه به این موضوع که سیکل کاری سامانه سوخت‌رسانی چند روزه است، بنابراین، هر کلاس، به میزان ۲۴ ساعت انتخاب نشده است، بلکه چند روز ۲۴ ساعته انتخاب گشته تا نحوه برنامه‌ریزی بهینه سامانه حمل و نقل طی چند روز مشخص گردد. لازم به ذکر است که برای نشان دادن روز و ساعت از علائم ریاضی متفاوتی استفاده شده است.

۲-۱. تابع هدف

هدف بهینه‌سازی، کمینه کردن هزینه تأمین انرژی مجموعه پایگاه‌های مرزی است. روش کاهش هزینه مد نظر نیز، سرمایه‌گذاری برای نصب سامانه‌های تجدیدپذیر استفاده می‌شود، که بررسی اقتصادی بودن این سرمایه‌گذاری در قیود مسئله آمده است. رابطه (۱) تابع هدف مسئله را نشان می‌دهد.

$$of = \left\{ \begin{array}{l} \left(\sum_{i=1}^I \sum_{c=1}^C \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^{24} (Cost_e(i.c.d.t) + \right. \\ \quad Cost_{cu}(i.c.d.t) + \\ \quad Cost_{sh}(i.c.d.t) + \\ \quad \left. Cost_{un}(i.c.d.t)) \right) \\ \sum_{c=1}^C \sum_{d=1}^D Cost_t(c.d) + \\ \quad Cost_{rep} \times Y \end{array} \right. \quad (1)$$

$$Cost_e(i.c.d.t) = C_f \times L_f(i.c.d.t) \quad (2)$$

$$Cost_{sh}(i.c.d.t) = C_{sh} \times P_{sh}(i.c.d.t) \quad (3)$$

$$Cost_{cu}(i.c.d.t) = C_{cu} \times P_{cu}(i.c.d.t) \quad (4)$$

$$Cost_t(c.d) = \sum_{r=1}^R u_r(c.d.r) \times Ro(r) \times C_T \quad (5)$$

$$Cost_{un}(i.c.d.t) = C_{un} \times P_{dis}(i.c.d.t) \quad (6)$$

$$Cost_{rep} = \left(\frac{Inv}{1.1} \right) \times 0.03 \times CRF \quad (7)$$

$$Inv = (C_w N_w(i) + C_{so} N_{so}(i) + C_{st} N_{st}(i)) \times 1.1 \quad (8)$$

$$CRF = int \times \frac{(1 + int)^Y}{(1 + int)^Y - 1} \quad (9)$$

گرفته در این مرجع با استفاده از روش الگوریتم جستجوی گرانشی بوده است. بررسی تأمین انرژی مجموعه‌های حساس با ایجاد ریزشبکه‌های مبتنی بر اینورتر [۹] و استفاده از روش الگوریتم‌های هوشمند برای طراحی بهینه منابع تجدیدپذیر [۱۰] از جمله کارهای انجام شده این حوزه است.

در یک مجموعه نظامی با چند پایگاه، تمامی پایگاه‌ها از لحاظ مسئله تأمین انرژی، دارای اهمیت است. از دیدگاه فرماندهی یک مجموعه نظامی، کاهش هزینه تأمین انرژی کل مجموعه پایگاه‌ها اولویت اصلی است. بنابراین، سرمایه‌گذاری که به‌منظور تجهیز پایگاه‌ها انجام می‌پذیرد باید به‌گونه‌ای باشد که باعث بیشترین کاهش هزینه کل مجموعه شود و ممکن است صرفاً تمرکز بر روی یک پایگاه خاص باعث هدررفت سرمایه گردد. بنابراین، طراحی بهینه سامانه‌های تجدیدپذیر برای پایگاه‌های نظامی باید به‌صورت یکجا انجام شود تا بیشترین صرفه‌جویی حاصل گردد.

شاید در وهله اول به نظر برسد که پاسخ بهینه‌سازی چندین پایگاه منفصل از یکدیگر به‌صورت مستقل، همان پاسخی خواهد بود که با در نظر گرفتن تمامی پایگاه‌ها در مسئله به‌دست خواهیم آورد. ولی باید در نظر داشت که پایگاه‌های نظامی مرزی، اگرچه از لحاظ الکتریکی منفصل از همدیگر هستند، ولی از لحاظ سامانه حمل و نقل سوخت که یکی از هزینه‌های مجموعه در مسئله تأمین انرژی محسوب می‌گردد، به یکدیگر متصل شده‌اند. به بیان دیگر، آنچه مسئله را پیچیده‌تر و چالش‌برانگیزتر از طراحی بهینه یک مجموعه منفصل از شبکه می‌نماید، در نظر گرفتن سامانه سوخت‌رسانی به همراه قیود آن است که مسئله تأمین انرژی و رفتار مصرف انرژی تمامی پایگاه‌ها را به هم مربوط ساخته و لازم می‌دارد تا بهینه‌سازی به‌صورت یک جا و با مدل‌سازی سامانه حمل و نقل سوخت نوشته شود.

مطالعه‌ای که در این مقاله صورت پذیرفته است، طراحی بهینه سامانه‌های تجدیدپذیر چندین پایگاه مرزی از دیدگاه مجموعه بالاسری، با در نظر گرفتن هزینه و قیود عملیاتی سامانه سوخت‌رسانی بین پایگاهی است. در این مقاله، سامانه حمل و نقل سوخت‌رسانی از دو لحاظ مورد مدل‌سازی قرار گرفته است. اول از لحاظ هزینه‌ای و دوم از لحاظ فنی و عملیاتی. در نظر گرفتن حجم محدود سوخت تانکر سامانه سوخت‌رسانی و سایر قیود عملیاتی باعث خواهد شد که دید جامع‌تری در نحوه طراحی به‌دست آید و پایگاه‌ها (در صورت محدودیت بودجه) از لحاظ سرمایه‌گذاری اولویت‌بندی گردند.

۲-۳. قیود ذخیره‌ساز انرژی الکتریکی

برای تأمین انرژی پایدار یک پایگاه با استفاده از منابع تجدیدپذیر بادی یا خورشیدی و به‌منظور مقابله با تغییرات تولید این منابع، در طراحی سامانه‌های تجدیدپذیر از ذخیره‌ساز استفاده می‌شود. جهت مدل‌سازی این سامانه ذخیره‌ساز از قیود (۱۱) تا (۱۵) استفاده شده است. روابط (۱۱) و (۱۲) به‌منظور مدل‌سازی آهنگ شارژ و دشارژ، رابطه (۱۳) به جهت جلوگیری از رخداد شارژ و دشارژ هم‌زمان، رابطه (۱۴) برای اعمال محدودیت حجم ذخیره‌ساز و رابطه (۱۵) جهت برقرار قانون بقای انرژی نوشته شده است.

$$0 \leq P_c(i, c, d, t) \leq N_{st}(i)\beta^c I_c(i, c, d, t) \quad (11)$$

$$0 \leq P_d(i, c, d, t) \leq N_{st}(i)\beta^d I_d(i, c, d, t) \quad (12)$$

$$I_c(i, c, d, t) + I_d(i, c, d, t) \leq 1 \quad (13)$$

$$0 \leq LV_{st}(i, c, d, t) \leq N_{st} LV_{st}^{max}(i) \quad (14)$$

$$LV_{st}(i, c, d, t) = LV_{st}(i, c, d, t - 1) + P_d(i, c, d, t) \eta_d - P_c(i, c, d, t) \eta_c \quad (15)$$

در مدل‌سازی نوشته‌شده برای ذخیره‌ساز توجه به یک نکته ضروری است. در روابط (۱۱) و (۱۲) ضرب متغیر باینری در متغیری دیگر این روابط را غیرخطی و در نتیجه کل مسئله را غیرخطی می‌کند. جهت استفاده از مزایای مدل خطی، این دو رابطه توسط روش خطی‌سازی بدون ساده‌سازی ضرب باینری در متغیر، تحت خطی‌سازی قرار گرفته است [۱۱].

۲-۴. قید محدودیت مکا

در پایگاه‌های نظامی، به‌منظور امکان محافظت از تجهیزات، باید تمامی ادوات در داخل محدوده مشخصی که فنس‌کشی شده است، نصب گردد. احداث هیچ‌گونه تجهیزاتی در خارج از محدوده پایگاه، مجاز نیست. بدین منظور، مساحت محدودی برای نصب پنل‌های خورشیدی که فضا را به‌صورت قابل‌توجهی درگیر می‌کنند وجود دارد. برای رعایت این محدودیت از رابطه (۱۶) استفاده می‌شود.

$$0 \leq N_{so}(i) \leq N_{so}^{max}(i) \quad (16)$$

۲-۵. رابطه تولید توان توربین بادی

توان تولید شده توسط توربین بادی وابسته به سرعت باد منطقه است. به‌منظور به دست آوردن میزان تولید توربین بادی می‌توان از رابطه (۱۷) استفاده نمود [۱۲].

$$P_w(v(i, c, d, t)) = \quad (17)$$

در تابع هدف فوق، قسمت اول نشان‌دهنده هزینه انرژی الکتریکی تأمین شده است که با عنایت به رابطه (۲)، شامل هزینه سوخت مصرفی کل پایگاه‌ها است. قسمت دوم تابع هدف نمایانگر هزینه‌ای است که سامانه به‌ازای خاموشی متحمل می‌شود. برای مدل‌سازی این هزینه از یک ضریب جریمه برای هر کیلووات ساعت تأمین نشده استفاده شده است. قسمت سوم، هدررفت سرمایه به جهت قطع تولید منابع تجدیدپذیر را نشان می‌دهد. نحوه مدل‌سازی این بخش با این فرض صورت گرفته است که هر کیلووات ساعت انرژی قطع‌شده در منابع تجدیدپذیر به‌عنوان سرمایه‌ای است که می‌توانست در پایگاه مورد استفاده قرار بگیرد که به‌دلیل عدم مهندسی مناسب مجبور به قطع آن و عدم استفاده از آن هستیم. به همین خاطر میزان انرژی تجدیدپذیر قطع‌شده با یک ضریب جریمه مدل‌سازی می‌گردد تا از سرمایه‌گذاری مازاد نیاز جلوگیری نماید.

قسمت چهارم تابع هدف به‌منظور مدل‌سازی هزینه‌ای عدم تمرکز کارکنان و ناراحتی مجموعه از کارکرد دیزل ژنراتور گنجانده شده است. این مدل‌سازی بدین‌صورت بوده است که خسارت ناشی از عدم تمرکز و ناراحتی کارکنان در اثر کارکرد دیزل ژنراتور با یک ضریب جریمه مدل شده است. به عبارت دیگر در نظر گرفته شده است به‌ازای هر کیلووات ساعت تولید انرژی توسط دیزل چه هزینه‌ای بر پایگاه بر اثر ناراحتی و عدم تمرکز کارکنان تحمیل خواهد شد.

قسمت پنجم هزینه حمل و نقل سوخت را به‌عنوان یکی از شاخص‌های هزینه‌ای کل معرفی می‌نماید که همان‌گونه که در رابطه (۵) آورده شده است تابعی از مسیر انتخابی برای حرکت است. نهایتاً بخش آخر معرفی‌گر هزینه تعمیرات تجهیزات تجدیدپذیر است که برابر ۳٪ هزینه سالانه تجهیزات در نظر گرفته شده است. در مورد رابطه (۸) نیز قابل به ذکر است که فرض شده است ۱۰٪ هزینه تجهیزات، هزینه احداث خواهیم داشت که باید در هزینه سرمایه‌گذاری لحاظ گردد.

۲-۲. قید تعادل توان

در مسائل مدیریت انرژی، قید تعادل توان الکتریکی مهم‌ترین قید فنی است که به‌منظور پایداری سامانه الکتریکی مجموعه باید رعایت گردد. این قید تضمین‌کننده تعادل تولید و مصرف در رابطه (۱۰) نشان داده شده است:

$$N_{so}P_{so}(i, c, d, t) + N_w P_w(i, c, d, t) + P_{dis}(i, c, d, t) + P_d(i, c, d, t) - P_{cu}(i, c, d, t) = P^{Load}(i, c, d, t) - P_{sh}(i, c, d, t) + P_c(i, c, d, t) \quad (10)$$

سوخت مورد انتقال تانکر بیشتر باشد. رابطه (۲۶) نیز این حقیقت را مدل‌سازی می‌کند که متغیر شارژ مخزن سوخت پایگاه، فقط در ساعتی که تانکر به پایگاه می‌رسد غیر صفر خواهد بود و در بقیه ساعت‌ها یا در مسیرهایی که پایگاه مشخصی در مسیر حرکت نیست، این متغیر مقدار صفر به خود خواهد گرفت.

$$\sum_{r=1}^R u_r(c.d.r) = 1 \quad (23)$$

$$\sum_{r=1}^R \sum_{d=1}^D u_r(c.d.r) = PD \quad (24)$$

$$Tank \geq \sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^I F^c(i.c.d.t) \quad (25)$$

$$F^c(i.c.d.t) \leq M \sum_{r=1}^R u_r(c.d.r) \times T(r.i.t) \quad (26)$$

۸-۲. ارزیابی اقتصادی

همان‌گونه که پیش‌تر نیز ذکر شد، سرمایه‌گذاری صورت پذیرفته برای احداث سامانه تجدیدپذیر باید از لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه باشد. در این مطالعه برای ارزیابی اقتصادی سرمایه‌گذاری صورت پذیرفته از روش ارزش کنونی^۱ بهره‌جسته‌ایم.

$$(CC - of) - (Inv \times CRF) \geq 0 \quad (27)$$

از سوی دیگر با توجه به اینکه سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته در یک مجموعه نظامی با یک بودجه محدود صورت می‌پذیرد، بنابراین، باید قیدی در مسئله گنجانده شود که هزینه سرمایه‌گذاری را محدود سازد. رابطه (۲۸) بدین منظور ذکر می‌شود.

$$Inv \leq Inv^{max} \quad (28)$$

۳. سامانه مورد مطالعه

به منظور ارائه نتایج مطالعه، از یک تست سامانه که شامل ۴ پایگاه است استفاده می‌شود. پایگاه‌ها به‌صورت خطی در یک راستا قرار گرفته‌اند (شکل ۱). در این صورت برای حرکت ماشین سوخت، ۴ مسیر متصور است. در مسیر ۱ به کلیه پایگاه‌ها سر می‌زند و برمی‌گردد. در مسیر ۲ فقط به ۳ پایگاه ابتدایی، مسیر ۳ تنها به ۲ پایگاه اول و مسیر ۴ فقط شامل پایگاه ۱ می‌گردد. ماشین سوخت طی هر مسیر، در ساعتی مشخص به هر یک از پایگاه‌ها می‌رسد و مسافت مشخصی را می‌پیماید که طبق جدول (۱) مشخص گردیده است. ماشین سوخت در هر سه روز، یک روز مجاز به حرکت و انجام مأموریت سوخت‌رسانی است.

$$\begin{cases} 0. & v(i.c.d.t) \leq v^{in} \\ P_W^r \frac{v(i.c.d.t) - v^{in}}{v^r - v^{in}}. & v^{in} \leq v(i.c.d.t) \leq v^r \\ P_W^r. & v^r \leq v(i.c.d.t) \leq v^{out} \\ 0. & v(i.c.d.t) \geq v^{out} \end{cases}$$

۶-۲. قیود دیزل ژنراتور

نحوه کارکرد دیزل ژنراتورهای در مطالعه حاضر با روابط (۱۸) تا (۲۰) مورد مدل‌سازی قرار گرفته است. رابطه (۱۸) نشانگر رعایت قید حد بالای تولید توان دیزل است. قید (۱۹) میزان مصرف سوخت دیزل را به‌دست می‌آورد. رابطه (۲۰) حد بالای تولید انرژی دیزل را که به‌منظور لحاظ کرد محدودیت‌های کارکرد طولانی مدت دیزل در نظر گرفته می‌شود، مدل می‌کند.

$$0 \leq P_{dis}(i.c.d.t) \leq P_{dis}^{max}(i) \quad (18)$$

$$L_f(i.c.d.t) = P_{dis}(i.c.d.t)\alpha(i) \quad (19)$$

$$\sum_{t=1}^{24} P_{dis}(i.c.d.t) \leq E^{max}(i) \quad (20)$$

۷-۲. سامانه حمل و نقل سوخت و محدودیت سوخت

پایگاه‌ها

به‌منظور مدل‌سازی سامانه سوخت‌رسانی بین پایگاهی و محدودیت‌های پایگاه‌ها از لحاظ استفاده از سوخت برای تأمین انرژی الکتریکی توسط دیزل ژنراتور، ابتدا به مدل‌سازی قیود استفاده از سوخت درون پایگاه می‌پردازیم.

سوخت مصرفی هر پایگاه مقدار محدود است که از مخزن سوخت داخل پایگاه تأمین می‌گردد. این مخزن در زمان‌هایی که ماشین سوخت رسان به پایگاه می‌رسد، امکان شارژ پیدا می‌کند. بنابراین، یک قانون بقای جرم برای مخزن سوخت هر پایگاه نوشته می‌شود.

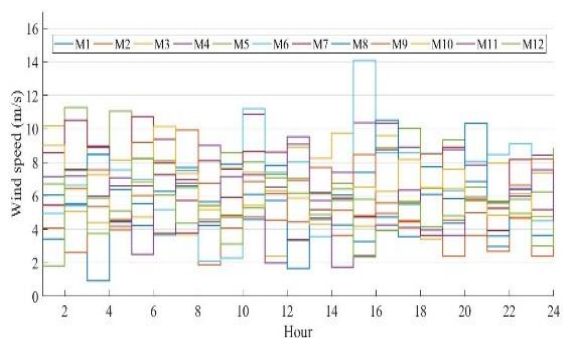
$$L_{FT}(i.c.d.t) = L_{FT}(i.c.d.t-1) - L_f(i.c.d.t) + F^c(i.c.d.t) \quad (21)$$

$$0 \leq L_{FT}(i.c.d.t) \leq L_{FT}^{max}(i) \quad (22)$$

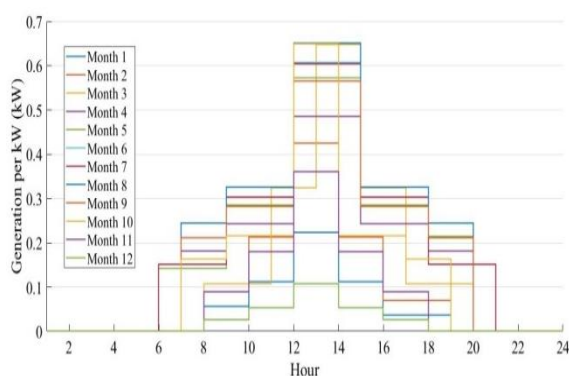
حال شروع به مدل‌سازی تردد تانکر سوخت بین پایگاه‌ها می‌نماییم. اولین قید عملیاتی حرکت تانکر سوخت این است که تانکر نمی‌تواند در هر روز از حرکت بیشتر از یک مسیر انتخاب کند. این قید در رابطه (۲۳) مدل شده است. رابطه (۲۴) بیانگر این محدودیت است که طبق برنامه مجموعه، تانکر فقط تعداد روزهای معینی طی بازه بهینه‌سازی حق حرکت دارد و هر روز نمی‌توان تانکر را برای تأمین سوخت پایگاه‌ها به حرکت درآورد. در رابطه (۲۵) نحوه رفتار مصرف سوخت پایگاه‌ها به یکدیگر لینک می‌شود. رابطه (۲۵) نشان می‌دهد که میزان دریافت سوخت تمامی پایگاه‌ها در هر بار حرکت تانکر، نباید از حجم

¹ Net Present Value

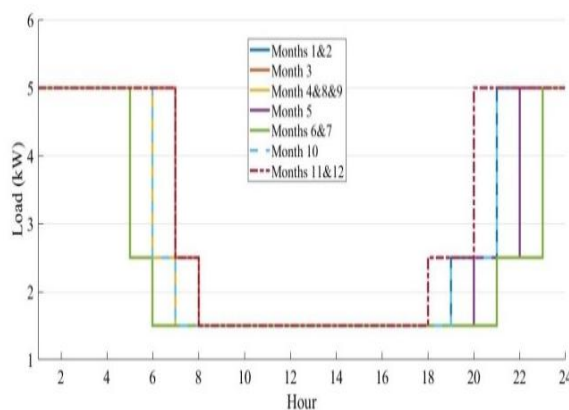
ضریبی که برای پایگاه‌های ۱ و ۴ عدد ۱، برای پایگاه ۲ عدد ۱/۵ و برای پایگاه ۳ عدد ۰/۹۵ است.



شکل ۲. سرعت باد



شکل ۳. تولید هر کیلووات سامانه خورشیدی



شکل ۴. الگوی بار پایگاهی

شکل ۱. نحوه قرار گرفتن پایگاه‌ها

سایر داده‌ها در جدول‌های (۲) و (۳) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که داده‌های ارائه شده در جدول (۲) با توجه به قیمت‌های موجود در بازار و شرایط منطقه نظامی مورد مطالعه انتخاب شده است.

جدول ۱. ساعت رسیدن ماشین سوخت به پایگاه

پایگاه	پایگاه	پایگاه	پایگاه	مسافت	
۴	۳	۲	۱		
۱۹	۱۴	۱۰	۷	۱۰ کیلومتر	مسیر ۱
-	۱۴	۱۰	۷	۲۰ کیلومتر	مسیر ۲
-	-	۱۰	۷	۴۰ کیلومتر	مسیر ۳
-	-	-	۷	۶۰ کیلومتر	مسیر ۴

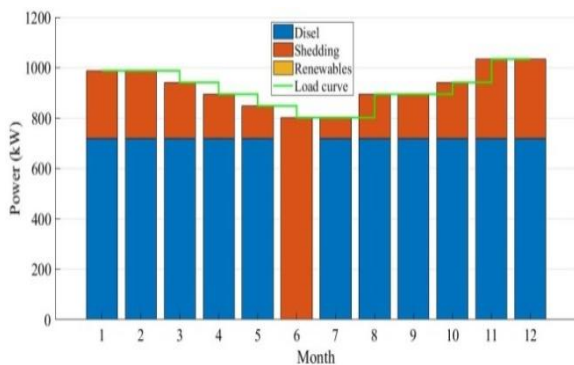
جدول ۲. لیست داده‌های هزینه‌ای (هزار تومان)

مقدار	داده	مقدار	داده
۱۰۰۰۰۰	C_w	۳	C_f
۵۵۰۰	C_{so}	۱۰	C_{sh}
۲۰۰۰	C_{st}	۰	C_{cu}
۶۰۲۲۵۰	CC	۱۰	C_T
۱۰۰۰۰۰۰	Inv^{max}	۰/۵	C_{un}

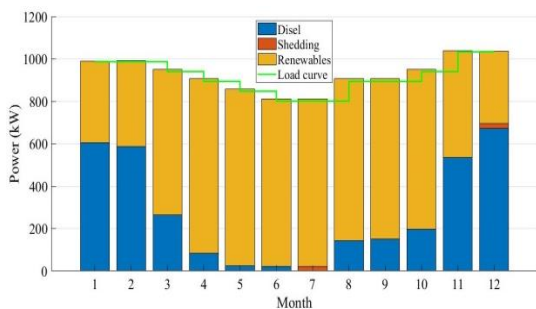
هر ۴ پایگاه به دلیل فاصله نه چندان زیاد جغرافیایی از لحاظ آب و هوایی یکسان در نظر گرفته شده‌اند. لازم به ذکر است که اطلاعات سالانه آب و هوایی و بار پایگاه‌ها در ۱۲ کلاس نشان داده شده است. شکل (۲)، میزان سرعت باد پیش‌بینی شده برای ۱۲ ماه سال را طی یک روز نمونه برای هر ماه نشان می‌دهد. شکل (۳)، میزان انرژی خورشیدی قابل کسب به‌ازای نصب هر کیلووات خورشیدی در پایگاه‌ها را برای ۱۲ ماه (به‌ازای یک روز نمونه در هر ماه) نمایان می‌سازد. شکل (۴) نیز الگوی مصرف بار پایگاه را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه الگوی مصرف پایگاه‌ها در حالت واقعی تقریباً یکسان است و صرفاً میزان مصرف با هم تفاوت می‌کند، برای نشان دادن بار پایگاه‌ها، الگوی بار (شکل ۴) نمایش داده شده است. برای به‌دست آوردن بار هر پایگاه، باید الگو در

جدول ۳. لیست داده‌های فنی

داده	مقدار	واحد	داده	مقدار	واحد	داده	مقدار	واحد
γ	۱۵	سال	η_d	۰/۹۸	-	$P_{dis}^{max}(1.3.4)$	۸	کیلووات
int	۱۵	%	$N_{so}^{max}(1.3)$	۵	کیلووات	$P_{dis}^{max}(2)$	۱۲	کیلووات
β^c	۰/۶	کیلووات	$N_{so}^{max}(2.4)$	۱۰	کیلووات	$\alpha(i)$	۱	لیتر/کیلووات ساعت
β^d	۰/۶	کیلووات	v^r	۱۲	متر / ثانیه	$E^{max}(1.3.4)$	۵۵	کیلووات ساعت
LV_{st}^{max}	۱/۲	کیلووات ساعت	v^{in}	۳	متر / ثانیه	$E^{max}(2)$	۷۵	کیلووات ساعت
η_c	۰/۹۸	-	v^{out}	۲۵	متر / ثانیه	$L_{FT}^{max}(i)$	۵۰۰	لیتر
P_w^r	۳	کیلووات						



شکل ۵. الگوی بهینه تأمین انرژی در حالت فعلی



شکل ۶. الگوی بهینه تأمین انرژی در استفاده از منابع تجدیدپذیر

مورد دیگر جدول (۴)، عدم تغییر هزینه حمل و نقل است. تحلیلی که می‌توان برای این عدم تغییر ارائه داد بدین صورت است که با توجه به ناچیز بودن هزینه حمل و نقل در مقایسه با هزینه‌های منابع تأمین انرژی از یک سو و لزوم کارکرد دیزل ژنراتورها در الگوی بهینه تأمین انرژی مجموعه از سوی دیگر حالتی را به وجود آورده است که تأمین سوخت دیزل ژنراتورها در اولویت قرار گرفته و سامانه حمل و نقل با همان انتخاب مسیر حالت قبل در حال سوخت‌رسانی به تمامی پایگاه‌ها است. جدول (۵)، نحوه برنامه حرکت ماشین سوخت‌رسانی را برای حالت استفاده از منابع تجدیدپذیر نمایش می‌دهد. همان‌گونه که ذکر شد دلیل انتخاب مسیر ۱ یا همان مسیری که تمامی پایگاه‌ها را تحت پوشش قرار می‌دهد، اهمیت دیزل ژنراتورها و سوخت‌رسانی این ادوات به منظور مشارکت در تأمین انرژی پایگاه‌ها است. به عبارت دیگر با توجه به این حقیقت که هزینه حرکت ماشین سوخت‌رسانی در مقایسه با هزینه قطع بار بسیار کمتر است، ترجیح در بهینه‌سازی صورت پذیرفته بدین صورت است که پایگاه‌ها دارای مقدار کافی سوخت برای استفاده از دیزل ژنراتور در مواقع لزوم باشند و قطعی باری رخ ندهد، حتی اگر این تصمیم به بهای طی شدن بیشترین مسافت توسط ماشین سوخت‌رسانی و مراجعه به تمامی پایگاه‌ها باشد.

سرمایه‌گذاری صورت گرفته برای احداث منابع تجدیدپذیر با توجه به محدودیت بودجه صورت پذیرفته است. طراحی بهینه به نحوی صورت گرفته است که بیشترین استفاده از بودجه با لحاظ کرد ارزیابی اقتصادی بودن آن صورت پذیرد. طراحی بهینه

۴. نتایج و بحث

برای بررسی کامل تأثیر سرمایه‌گذاری بر روی احداث منابع تجدیدپذیر با در نظر گرفتن سامانه حمل و نقل سوخت، ابتدا میزان هزینه فعلی پایگاه‌ها (در حالت کارکرد بهینه) محاسبه شده است. سپس، این هزینه‌ها با وضعیت استفاده از منابع تجدیدپذیر مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج این مقایسه اقتصادی، در جدول (۴) ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول (۴) نشان داده شده است، استفاده از منابع تجدیدپذیر برای مجموعه پایگاه‌ها، می‌تواند باعث کاهش ۷۸ درصدی هزینه‌های جاری سالیانه شود. قابل ذکر است که این صرفه‌جویی در قبال انجام یک سرمایه‌گذاری حدوداً ۱ میلیاردی به دست می‌آید.

جدول ۴. مقایسه هزینه‌های بهره‌برداری (هزار تومان)

کاهش (%)	حالت منابع تجدیدپذیر	حالت فعلی	
۵۹	۹۸۵۹۰	۲۳۷۶۰۰	هزینه سوخت
۹۹	۴۳۴۴	۳۱۴۰۴۸	هزینه قطع بار
۵۹	۱۶۴۳۲	۳۹۶۰۰	هزینه ناراحتی
۰	۱۱۰۰۰	۱۱۰۰۰	هزینه حمل و نقل
-	۴۶۵۶	۰	هزینه تعمیرات
۷۸	۱۳۵۰۲۲	۶۰۲۲۴۸	کل
-	۹۹۸۲۵۰	۰	هزینه سرمایه‌گذاری

سرمایه‌گذاری صورت گرفته در حالت بهینه، طوری بوده است که از تمام بودجه در نظر گرفته شده برای این طرح (۱ میلیارد تومان) استفاده کامل نماید. قابل توجه است که سرمایه‌گذاری صورت گرفته کاملاً اقتصادی بوده و از لحاظ ارزیابی اقتصادی به جهت اعمال قیود ارزیابی اقتصادی سود بیشتری را در مقایسه با سود بانکی ۱۵ درصد نصیب ما خواهد نمود.

نکته قابل توجه دیگر، صفر نشدن میزان استفاده از دیزل ژنراتورها در الگوی بهینه تأمین انرژی پایگاه‌ها است. با وجود نصب منابع تجدیدپذیر، ولی همچنان منابع ژنراتور دیزلی به دلیل جذابیت اقتصادی کارکردشان، سهمی را در الگوی تأمین انرژی مجموعه پایگاه‌ها به خود اختصاص می‌دهند. شکل‌های (۵) و (۶)، الگوی تأمین انرژی مجموعه را در دو حالت مختلف کاری نشان می‌دهند.

مقایسه شکل‌های (۵) و (۶) نحوه تغییر الگوی تأمین انرژی مجموعه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل (۶) نمایان است بار مجموعه با مجموع منابع تولیدی در بعضی از ساعت‌ها متفاوت است که این امر به دلیل حضور باتری‌ها و عملکرد شارژ و دشارژ آن‌ها رخ داده است.

همان‌گونه که در شکل (۷) نمایش داده شده است، با افزایش میزان سرمایه‌گذاری، درصد کاهش هزینه‌ها افزایش می‌یابد. ولی آنچه باید مورد توجه قرار گیرد این است که شکل حالت سهمی‌وار دارد که نشانگر نزولی بودن منحنی مشتق آن خواهد بود. این بدین معنی است که با افزایش سرمایه‌گذاری به هر پله، به میزان کمتری از کاهش هزینه بهره‌برداری بهره‌مند خواهیم شد.

در پایان میزان شاخص اقتصادی بازگشت سرمایه برای سرمایه‌گذاری صورت گرفته محاسبه می‌شود. بازگشت سرمایه از تقسیم میزان کل سرمایه‌گذاری صورت پذیرفته بر سود حاصل در هر سال محاسبه می‌شود. سود به‌دست‌آمده در این سرمایه‌گذاری میزان کاهش هزینه تأمین انرژی پایگاه خواهد بود. بنابراین، مدت‌زمان بازگشت سرمایه به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{998250}{602248-135022} = \frac{998250}{467226} = 2.13$$

میزان مدت بازگشت سرمایه پروژه، ۲/۱۳ سال خواهد بود که از لحاظ اقتصادی یک عدد بسیار مناسب است.

۵. نتیجه‌گیری

جذابیت بالای منابع تجدیدپذیر باعث شده است تا این منابع برای تأمین انرژی مجموعه پایگاه‌های مرزی در نظر گرفته شوند. اصلی‌ترین مسئله در استفاده از این منابع برای هدف مورد نظر، طراحی بهینه و اقتصادی این تجهیزات به‌منظور استفاده حداکثری از منافع این امر است. بدین منظور، لازم است تا تمامی بحث‌های مرتبط با هدف تأمین انرژی مورد مدل‌سازی قرار گیرند تا نتایج به‌دست آمده واقعی‌تر و عملیاتی‌تر باشد. در این مقاله تجهیز یک مجموعه شامل ۴ پایگاه با در نظر گرفتن سامانه سوخت‌رسانی بین پایگاهی مورد ارائه قرار گرفته است. علاوه بر بحث مدل‌سازی سامانه سوخت‌رسانی به‌عنوان یکی از منابع هزینه‌های مجموعه پایگاه‌ها، قیود اقتصادی بودن سرمایه‌گذاری صورت پذیرفته و حد بالای سرمایه‌گذاری به‌عنوان یک چالش جدی، در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که برای تست سامانه در نظر گرفته شده می‌توان با استفاده از یک بودجه تقریباً یک میلیارد تومانی، کل هزینه‌های سالیانه تأمین انرژی پایگاه‌ها را با استفاده از منابع تجدیدپذیر به میزان ۷۸ درصد کاهش داد.

صورت پذیرفته برای هر یک از پایگاه‌ها به‌صورت جدول (۶) بوده است. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، تعداد تجهیزات با توجه به میزان بار هر پایگاه انتخاب شده است و میزان ظرفیت ذخیره‌سازی نیز کاملاً متناسب با میزان منابع انرژی نصب‌شده در هر پایگاه است.

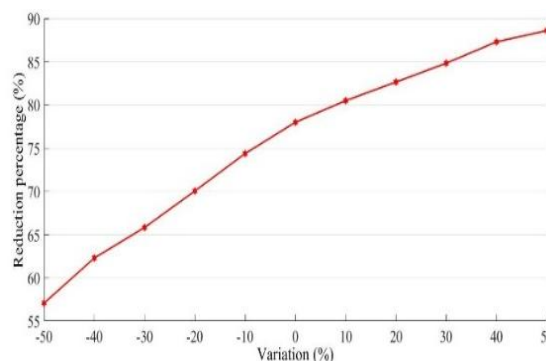
جدول ۵. برنامه حرکت ماشین سوخت‌رسانی

ماه	روز	مسیر	ماه	روز	مسیر
۱	اول	یک	۷	-	-
۲	دوم	یک	۸	دوم	یک
۳	سوم	یک	۹	دوم	یک
۴	سوم	یک	۱۰	دوم	یک
۵	سوم	یک	۱۱	دوم	یک
۶	دوم	یک	۱۲	دوم	یک

جدول ۶. تعداد بهینه ادوات تجدیدپذیر برای هر پایگاه

توربین بادی (عدد)	پایگاه ۱ (۳ کیلووات)	پایگاه ۲ (۶ کیلووات)	پایگاه ۳ (۶ کیلووات)	پایگاه ۴ (۶ کیلووات)
۱	۱	۲	۲	۱
۵	۵	۱۰	۲	۸
۱۶ (kWh ۱۹/۲)	۱۶ (kWh ۱۹/۲)	۳۰ (kWh ۲۶)	۱۶ (kWh ۱۹/۲)	۲۳ (kWh ۲۷/۶)

همان‌گونه که بحث شد، با توجه به بودجه یک میلیارد تومانی می‌توان میزان هزینه تأمین انرژی کل مجموعه را به میزان ۷۸ درصد کاهش داد. انجام یک آنالیز حساسیت در مورد نحوه تغییر این درصد بر حسب درصد تغییر بودجه تعیین شده، می‌تواند دید جامع‌تری را در مورد انجام این سرمایه‌گذاری برای ما فراهم آورد. بدین منظور، شکل (۷) نحوه تغییر درصد کاهش کل هزینه را بر حسب تغییرات حد بالای بودجه در نظر گرفته شده برای این کار نمایش می‌دهد.



شکل ۷. آنالیز حساسیت تغییر درصد کاهش هزینه

<i>Tank</i>	حجم تانکر در حال تردد برای تأمین سوخت (لیتر)
<i>T</i>	داده باینری مشخص‌کننده ساعت ورود تانکر به پایگاه
<i>CC</i>	هزینه سالیانه کل تأمین انرژی مجموعه در شرایط قبل احداث
<i>Inv^{max}</i>	حد بالای سرمایه‌گذاری

۶. مراجع‌ها

- [1] Bahramara, S.; Parsa Moghaddam M.; Haghifam M. R. "Optimal Planning of Hybrid Renewable Energy Systems Using HOMER: A Review"; Renewable Sustainable Energy Rev. 2016, 62, 609-620.
- [2] Chang, K.; Grace, L. "Optimal Design of Hybrid Renewable Energy Systems Using Simulation Optimization"; Simulation Modelling Practice and Theory 2015, 52, 40-51.
- [3] Ramli, M. A.; Hiendro, A.; Sedraoui, K.; Twaha, S. "Optimal Sizing of Grid-Connected Photovoltaic Energy System in Saudi Arabia"; Renewable Energy 2015, 75, 489-495.
- [4] Che, L.; Zhang, X.; Shahidehpour, M.; Alabdulwahab, A.; Abusorrah, A. "Optimal Interconnection Planning of Community Microgrids With Renewable Energy Sources"; IEEE Trans. Smart Grid. 2017, 8, 1054-1063.
- [5] Jung, J.; Villaran, M. "Optimal Planning and Design of Hybrid Renewable Energy Systems for Microgrids"; Renewable Sustainable Energy Rev. 2017, 75, 180-191.
- [6] Mohammadi, M.; Ghasempour, R.; Astaraei, F. R.; Ahmadi, E.; Aligholian, A.; Toopshekan, A. "Optimal Planning of Renewable Energy Resource for a Residential House Considering Economic and Reliability Criteria"; Int. J. Electr. Power Energy Syst. 2018, 96, 261-273.
- [7] Liu, Y.; Yu, S.; Zhu, Y.; Wang, D.; Liu, J. "Modeling, Planning, Application and Management of Energy Systems for Isolated Areas. A Review: Renewable Energy Systems for Microgrids"; Renewable Sustainable Energy Rev. 2018, 82, 460-470.
- [8] Sadeghi, H.; Abodollahi, A.; Mohammadian, M.; Rashidinejad, M. "Evaluating The Effects of Renewable Energy Resources from Passive Defence and Social Welfare perspectives in the Context of Expansion Planning"; Adv. Defence Sci. Technol. 2015, 6, 71-86.
- [9] Khanzade, M. H.; Nabati Rad, M. "Energy Supply of Sensitive Areas as an Inverter-Based Microgrid During Stiff Power System Black Out"; Adv. Defence Sci. Technol. 2017, 8, 85-95.
- [10] Ghaffarpour, R.; Jam, A.; Ranjbar, A. "Optimal Mix of Distributed Generation Allocation to Improve the Security of Energy Supply in Defensive Sites Using Principles of Passive Defence"; Adv. Defence Sci. Technol. 2016, 7, 19-32.
- [11] Garcés, L. P.; Conejo, A. J.; García-Bertrand, R.; Romero, R. "A Bilevel Approach to Transmission Expansion Planning Within a Market Environment"; IEEE Trans. Power Syst. 2009, 24, 1513-1522.
- [12] Soroudi, A.; Aien, M.; Ehsan, M. "A Probabilistic Modeling of Photo Voltaic Modules and Wind Power Generation Impact on Distribution Networks"; IEEE Sys. J. 2012, 6, 254-259.

داده‌ها و متغیرها

توضیحات	داده یا متغیر
نشانه‌های پایگاه، کلاس، روز، ساعت و مسیر	<i>i. c. d. t. r</i>
تعداد پایگاه، کلاس، روز و مسیر در مسئله	<i>I. C. D. R</i>
عمر پروژه طراحی	<i>Y</i>
به ترتیب هزینه هر لیتر سوخت، هر کیلووات ساعت قطع بار، هر کیلووات ساعت قطع تولید منابع تجدید پذیر، هر کیلووات تردد سامانه سوخت‌رسانی، هر ساعت روشن بودن دیزل ژنراتور	$C_f \cdot C_{sh} \cdot C_{cu} \cdot C_T \cdot C_{un}$
هزینه هر واحد توربین بادی، هر کیلووات خورشیدی و ذخیره کننده	$C_w \cdot C_{so} \cdot C_{st}$
تعداد توربین بادی، تولیدکننده خورشیدی و ذخیره کننده	$N_w \cdot N_{so} \cdot N_{st}$
میزان سوخت مصرفی دیزل ژنراتور (لیتر)	L_f
میزان قطع بار و قطع تولید منابع تجدید پذیر (کیلووات)	$P_{sh} \cdot P_{cu}$
مسیر انتخابی تانکر سوخت (باینری)	u_r
مسافت طی شده در هر مسیر	Ro
توان تولیدی دیزل ژنراتور (کیلووات)	P_{dis}
میزان توان تولیدی هر کیلووات خورشیدی و هر توربین بادی	$P_{so} \cdot P_w$
میزان شارژ و دشارژ ذخیره‌ساز انرژی	$P_c \cdot P_d$
میزان بار مصرفی کل پایگاه	P_{load}
متغیرهای باینری نشان‌دهنده حالت‌های شارژ و دشارژ	$I_c \cdot I_d$
آهنگ شارژ و دشارژ ذخیره‌ساز (کیلووات)	$\beta^c \cdot \beta^d$
سطح انرژی ذخیره‌ساز و بیشینه سطح ذخیره‌سازی انرژی	$LV_{st} \cdot LV_{st}^{max}$
بازده شارژ و دشارژ	$\eta_c \cdot \eta_d$
بیشترین کیلووات قابل نصب در محیط پایگاه	N_{so}^{max}
سرعت باد (متر بر ثانیه)	v
توان و سرعت باد نامی توربین	$P_w^r \cdot v^r$
سرعت‌های شروع و قطع توربین	$v^{in} \cdot v^{out}$
بیشینه توان تولیدی دیزل ژنراتور	P_{dis}^{max}
بازده مصرف گازوئیل دیزل (لیتر بر کیلووات)	α
بیشترین مقدار انرژی قابل تولید روزانه دیزل	E^{max}
متغیری کمکی برای مدل‌سازی	Q
سطح سوخت مخزن هر پایگاه (لیتر)	L_{FT}
میزان شارژ سوخت مخزن پایگاه	F^c
حجم مخزن هر پایگاه	L_{FT}^{max}
تعداد روزهای اجازه داده شده جهت تردد در بازه بهینه‌سازی	PD

