



اندازه یابی بهینه یک نیروگاه مختلط بادی - خورشیدی - پیل سوختی به کمک الگوریتم انفجار معادن برای جزیره لاوان

حسام الدین طالبی^۱، امیر احمری نژاد^۲، محسن علیزاده بیدگلی^۳

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، واحد یادگار امام (ره) شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
Hessam.talebi@gmail.com

۲ استادیار، دانشکده مهندسی برق، دانشکده مهندسی برق، واحد یادگار امام (ره) شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
Ahmarinejad@gmail.com

۳ استادیار، دانشکده مهندسی برق، دانشکده مهندسی برق، واحد یادگار امام (ره) شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
M.alizadeh.b@gmail.com

چکیده

با توجه به رشد جمعیت، نیاز به انرژی الکتریکی بیش از پیش احساس می شود و از آنجا که سوخت فسیلی تا چند دهه آینده رو به اتمام است لذا گریزی جز پناه آوردن به انرژی های نو؛ که هم تجدید پذیر است و هم آلودگی کمتری برای محیط زیست دارد، نیست. در این مقاله سعی می شود که برق مورد نیاز جزیره لاوان را به کمک یک سیستم ترکیبی هیدروژنی تامین کرد. در این سیستم از توربین بادی، سلول خورشیدی و پیل سوختی استفاده می شود. تابع هدف در بهینه سازی این مقاله کمترین هزینه برای بهره بردار شبکه در جزیره لاوان است.

واژه های کلیدی: نیروگاه ترکیبی هیدروژنی، پیل سوختی، الگوریتم انفجار معادن، توربین بادی، سلول خورشیدی



Optimum Measurement of a Wind-Solar-Fuel Cell Power Plant Using the Mine Blast Algorithm(MBA) for Lavan Island

Hessamedin, Talebi ¹; Amir, Ahmarinejad ²; Mohsen, Alizadeh Bidgoli ³

1- Department of Electrical Engineering, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahr-e-Rey Branch, Islamic Azad University

Hessam.talebi@gmail.com

2- Department of Electrical Engineering, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahr-e-Rey Branch, Islamic Azad University

ahmarinejad@gmail.com

3- Department of Electrical Engineering, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahr-e-Rey Branch, Islamic Azad University

M.alizadeh.b@gmail.com

Abstract

With the growth of the population, the need for electrical energy is felt more and more now, and since fossil fuels are coming to an end in the next few decades, the escape, instead of sheltering new energies, which is both renewable and less polluting Not for the environment. This paper tries to provide the power of Lavan Island with the help of a hybrid hydrogen system. The system uses wind turbine, solar cell and fuel cell. The objective function in optimizing this article is the lowest cost for network operator in Lavan Island.

Keywords: Hydrogen compound power plant, Fuel cell, Explosion-mining algorithm, Wind turbine, Solar cell



مقدمه

با توجه به افزایش توجه به مسائل زیست محیطی، استفاده از منابع فسیلی برای تولید انرژی با دقت بیشتری مدنظر قرار گرفته است. سعی شده است که با استفاده از منابع انرژی نو همانند توربین بادی، سلول خورشیدی و پیل سوختی، نیاز به انرژی الکتریکی جوامع پوشش داده شود. استفاده از انرژی های نو با توجه به ماهیت تجدیدپذیر بودن و همچنین ارزانی انرژی اولیه آنها بسیار مورد توجه بهره برداران شبکه های قدرت قرار گرفته است. این منابع علیرغم مزایای بسیاری که دارند، نقاط ضعفی نیز دارند که موجب عدم همه گیر شدن آنها می شود. برای نمونه اکثر منابع تجدیدپذیر دارای ماهیت غیرقابل پیش بینی بودن هستند. این منابع در ساعات غیرمشمخصی از شبانه روز دارای توان خروجی هستند و در مابقی ساعات بدون انرژی خروجی و یا با انرژی خروجی کم هستند. در نتیجه نمی توان بر روی این منابع به تنهایی برای تامین انرژی حساب باز کرد. یکی از راهکارهای بهبود این نقطه ضعف استفاده از منابع قابل برنامه ریزی همچون پیل سوختی در کنار منابع تجدیدپذیر است [۱]. در مقالات بسیاری به مباحث مربوط به این گونه منابع ترکیبی پرداخته شده است [۲ و ۳].

به طور کلی روش های اندازه یابی اینگونه منابع ترکیبی را می توان به سه دسته تقسیم کرد:

- روش های تکراری [۴، ۵، ۶]
- روش های مبتنی بر الگوریتم های ابتکاری [۷، ۸، ۹]
- روش های مبتنی بر نرم افزار [۱۰، ۱۱].

روش های تکراری معمولاً از یک نقطه ی اولیه شروع به فعالیت می کنند و تا رسیدن به پاسخی که بتواند تمامی قیود و شرایط را برآورده کند، ادامه می یابد. در [۴] روشی بر مبنای الگوریتم تکراری ارائه شده است که در آن اندازه ی بهینه ی یک سیستم ترکیبی مجزای هیدروژن، باد، خورشیدی تعیین شده است. در این مقاله فرض شده است که این سیستم ترکیبی نمک زایی آب آشامیدنی یک منطقه ی مسکونی را انجام می دهد. هدف روش ارائه شده در [۴] پیدا کردن یک ساختار بهینه ی اقتصادی- فنی از میان اجزای سیستم موجود است.

در [۷] از یک روش ابتکاری هوشمند برای بهینه سازی اندازه ی سیستم ترکیبی شامل سلول خورشیدی، توربین بادی و باتری استفاده شده است. در روش ابتکاری ارائه شده از مشخصات سه الگوریتم بهینه سازی ابتکاری دیگر به نام های جستجوی آشوب (CS)^۱، جستجوی هارمونی (HS)^۲ و تبرید شبیه سازی شده (SA)^۳ استفاده شده است. در [۷] این سه روش با یکدیگر ترکیب شده اند و روشی به نام تبرید شبیه سازی شده ی برمبنای جستجوی گسسته ی هارمونی آشوب (DCHSSA)^۴ ارائه شده است.

تابع هدف در [۷] عبارت است از مجموع هزینه ی سالیانه که می بایست حداقل شود. هزینه ی سالیانه شامل هزینه ی سرمایه گذاری سالیانه و هزینه ی نگهداری سالیانه است. در [۷] نیز از ضریب باز یافت سرمایه به منظور تبدیل هزینه ی سرمایه گذاری اولیه به هزینه ی سالیانه استفاده شده است.

¹ Chaotic Search

² Harmony Search

³ Simulated Annealing

⁴ Discrete chaotic harmony search-based simulated annealing



نرم افزار مورد استفاده در این زمینه نرم افزاری به نام هومر^۱ است که در ادامه در مورد آن شرح داده می شود. در [۱۰] از نرم افزار برای مطالعه امکان سنجی اقتصادی و فنی تامین توان یک منطقه ی مسکونی در چین به کمک منابع انرژی تجدیدپذیر استفاده شده است.

در این مقاله از روش های مبتنی بر الگوریتم های هوشمند استفاده شده است و از الگوریتم بهینه سازی انفجار معدن استفاده شده است که الگوریتم جدیدی است و در این زمینه تاکنون استفاده نشده است. این الگوریتم در موارد بسیاری به کار گرفته شده است و نتایج نشان از برتری آن نسبت به دیگر روش ها در موضوعات مختلف دارد [۱۳].

روش ارائه شده

در این بخش تابع هدف به کار گرفته شده به همراه قیود مسئله بهینه سازی شرح داده می شود. مسئله تعریف شده در این مقاله به این صورت است که با توجه به میزان بار جزیره لاوان و همچنین میزان تابش خورشید و سرعت باد در این جزیره، مقدار بهینه ی سائز توربین بادی و سلول خورشیدی و پیل سوختی مورد نیاز برای تامین برق این جزیره تعیین گردد. فرض بر آن است که این جزیره به شبکه ی اصلی متصل نیست و برق مورد نیاز این جزیره می بایست توسط منابع موجود تامین شود. برای این منظور فرض شده است که در کنار پیل سوختی از یک سیستم الکترو لایزر و یک مخزن هیدروژن نیز استفاده شده است که این سیستم برای تولید و ذخیره سازی هیدروژن در مواقعی که توان اضافی توسط منابع تجدیدپذیر وجود دارد، به کار گرفته می شود. در نتیجه تجهیزات به کار گرفته شده در این مقاله عبارتند از توربین بادی، سلول خورشیدی، پیل سوختی، الکترو لایزر و مخزن هیدروژن. هر کدام از این پنج تجهیز می بایست اندازه یابی شوند. در مورد جزئیات مدل سازی این مسئله در بخش پیاده سازی بیشتر شرح داده می شود.

تابع هدف

تابع هدف در این مقاله میزان هزینه است. هزینه به دو بخش هزینه سرمایه گذاری و هزینه نگهداری تقسیم می شود.

$$Cost_{total} = Cost_{Cp} + Cost_{Mtn}$$

که $Cost_{total}$ هزینه کل، $Cost_{Cp}$ هزینه سرمایه گذاری اولیه و $Cost_{Mtn}$ هزینه تعمیر و نگهداری است. همگی هزینه ها بر حسب دلار است.

هزینه سرمایه گذاری اولیه به کمک ضریب باز یافت سرمایه (CRF) به هزینه ی سالیانه تبدیل می شود؛ که این ضریب عبارت است از:

$$CRF = \frac{i * (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

که i نرخ بهره ی سالیانه و n طول عمر سیستم است. در این مقاله نرخ بهره ۲۰٪ و طول عمر سیستم ۲۰ سال فرض شده است.

هزینه سرمایه گذاری سالیانه $Cost_{Cpt}$ از طریق رابطه ی زیر محاسبه می شود:

$$Cost_{Cpt} = CRF * (X_{wt} * C_{wind} + X_{pv} * C_{pv} + (n/LS_{fc}) * X_{fc} * C_{fc} + C_{elc} * X_{elc} + X_h * C_{tank})$$

که X_{wt} ظرفیت توربین بادی، C_{wind} هزینه ی خرید توربین بادی، X_{pv} ظرفیت سلول خورشیدی، C_{pv} قیمت سلول خورشیدی که شامل خرید و هزینه نصب است، X_{fc} ظرفیت پیل سوختی، LS_{fc} مدت زمان عمر پیل سوختی است، C_{fc} هزینه ی خرید پیل

¹ Homer



سوختی، Celc هزینه‌ی خرید الکتروولایز، Xelc ظرفیت الکتروولایز، Xh ظرفیت مخزن هیدروژن و Ctank هزینه‌ی خرید مخزن هیدروژن است.

هزینه‌ی سالیانه‌ی نگهداری سیستم CostMtn نیز از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{CostMtn} = (\text{CostMtnWind} * X_{wt} + \text{CostMtnPv} * X_{pv})$$

که CostMtnWind هزینه‌ی نگهداری توربین بادی و CostMtnPv هزینه‌ی نگهداری سلول خورشیدی است که در این مقاله صفر در نظر گرفته شده است.

۲-۲- قیود مساله

در مسئله‌ی بهینه‌سازی ارائه شده در این مقاله، محدودیت‌هایی نیز مدنظر قرار گرفته است که در ادامه شرح داده می‌شوند.

- تعادل توان الکتریکی

در این شرط کنترل می‌شود که میزان توان تولیدی از طریق واحدها با میزان توان الکتریکی مصرفی بارها یکسان باشد.

- شرط محدودیت ذخیره تانک هیدروژن

در این شرط کنترل می‌شود که انرژی ذخیره شده در تانک هیدروژن از ماکزیمم ظرفیت ذخیره‌ی آن بیشتر نباشد.

۳-۲- متغیرهای تصمیم‌گیری

متغیرهای تصمیم‌گیری در این مسئله بهینه‌سازی پنج مورد است که مربوط به اندازه‌ی تجهیزات به کار گرفته شده می‌باشد. این متغیرهای عبارتند از:

- اندازه سلول خورشیدی

- اندازه توربین بادی

- اندازه پیل سوختی

- اندازه سیستم الکتروولایزر

- اندازه مخزن هیدروژن

الگوریتم کنترلی

برای سیستم ترکیبی ارائه شده احتمال دارد که یک از سه وضعیت کنترلی زیر رخ دهد. سیستم کنترلی طراحی شده در این مقاله فرامین زیر را به ازای هر کدام از شرایط احتمالی از خود صادر می‌کند.

- تولید برابر مصرف: در این حالت توان تولیدی توسط سیستم ترکیبی برابر میزان توان مورد نیاز بارها است. در این حالت تمامی توان تولیدی توسط منابع توان توسط بارهای شبکه مصرف می‌شوند.

- تولید بیشتر از مصرف: در این حالت توان اضافی توسط الکتروولایزر به هیدروژن تبدیل شده و در مخزن هیدروژن ذخیره می‌شود. این عملیات طبق معادله‌ی زیر رخ می‌دهد:

$$E_{\text{store}}(h) = E_{\text{store}}(h-1) + (pv(h) * \text{Eta}_{\text{inv}} + \text{wind}(h) * \text{Eta}_{\text{inv}} - \text{load}(h)) * X_{\text{elec}}$$

که $E_{\text{store}}(h)$ و $E_{\text{store}}(h-1)$ انرژی ذخیره شده در مخزن هیدروژن در ساعت h و $h-1$ است. Eta_{inv} راندمان اینورتر (در این مقاله برابر یک فرض شده است)، $pv(h)$ میزان توان تولیدی سلول خورشیدی در ساعت h ، $\text{wind}(h)$ میزان توان تولیدی توربین بادی در ساعت h ، $\text{load}(h)$ میزان توان مصرفی در ساعت h و X_{elec} ظرفیت الکتروولایز می‌باشد.

- تولید کمتر از مصرف: در این حالت توان تولیدی توسط توربین بادی و سلول خورشیدی کمتر از توان مصرفی است که در این حالت پیل سوختی، هیدروژن ذخیره شده در مخزن را به انرژی الکتریکی تبدیل و بار اضافی را تغذیه می کند. این تزریق توان پیل سوختی طبق معادله ی زیر صورت می گیرد و منجر به کاهش ذخیره هیدروژن می گردد:

$$E_{store}(h) = E_{store}(h-1) - (Load(h) - pv(h) * \eta_{inv} - wind(h) * \eta_{inv}) * \eta_{FC}$$

که η_{FC} راندمان پیل سوختی است و در این مقاله برابر یک در نظر گرفته شده است.

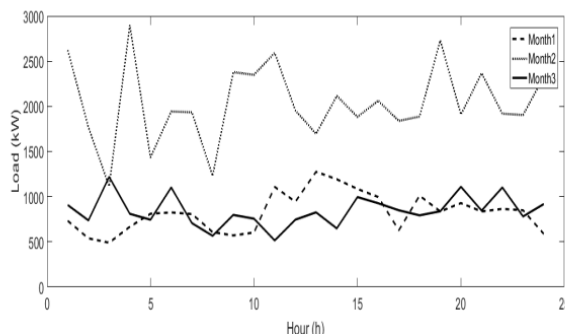
الگوریتم انفجار معدن

ایده الگوریتم انفجار معدن از مشاهده نحوه انفجار بمب در معدن گرفته شده است [۱۳]. در انفجار بمب معدن، تکه های پرت شده از هر کدام از بمبها به بمبهای دیگر برخورد می کند و این نکته منجر به انفجار آنها می گردد. برای فهم این نکته، یک میدان مین را تجسم کنید که هدف خنثی سازی تمامی مینها است. هدف اصلی در این حالت پیدا کردن اصلی ترین بمب در بهینه ترین نقطه است که بیشترین خسارت را ایجاد می کند. بمبهای مختلف با اندازه های مختلف و قدرت انفجاری مختلف در جاهای مختلف زمین قرار گرفته اند. زمانی که یک بمب منفجر می شود، تکه های تیز زیادی را ایجاد می کند. این تکه های بمب به نواحی برخورد می کند که می تواند دارای بمبهای دیگری باشد.

با توجه به این ایده الگوریتم انفجار معدن ارائه شده است و در مقالات زیادی به کار گرفته شده است [۱۳].

پیاده سازی

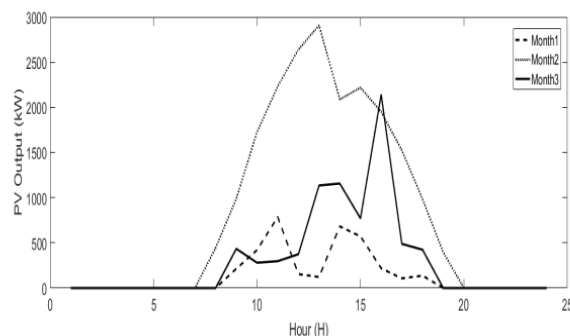
برای پیاده سازی از اطلاعات مربوط به ۱۲ روز از سال استفاده شده است. روز اول هر ماه انتخاب شده است. این تعداد روزها و این نحوه انتخاب به این دلیل صورت گرفته است که تمامی انواع آب و هوایی در طول فصول را پوشش دهد. میزان ظرفیت توربین بادی و سلول خورشیدی به نحوی تعیین شده است که هیچ باری بدون تغذیه نماند. برای نمونه میزان بار مورد نیاز در چند روز از روزهای منتخب در شکل-۱ رسم شده است. در این نمودار در محور افقی ساعت و در محور عمودی میزان بار درخواستی برحسب کیلووات نمایش داده شده است. در شکل-۱ سه نمودار دیده می شود که مربوط به سه ماه مختلف از سال است. این نمایش به دلیل نشان دادن تفاوت میزان بارها در ساعات مختلف و همچنین در ماههای مختلف آورده شده است. همانطور که مشخص است حتی نحوه تغییرات بار در ساعات مختلف در ماهها مختلف متفاوت است.



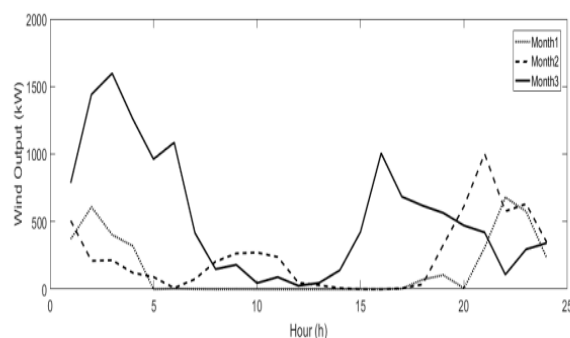
شکل ۱: بار مورد نیاز در سه ماه نمونه

میزان توان قابل استحصال از سلول خورشیدی و توربین بادی نیز در شکل های ۲ و ۳ زیر رسم شده است. در دو شکل زیر محور افقی ساعت و محور عمودی میزان توان قابل استحصال از سلول خورشیدی و توربین بادی در یک منطقه نمونه است. همانطور که در نمودارها مشخص است، میزان توان قابل استحصال از سلول خورشیدی و توربین بادی در ماههای مختلف سال متفاوت است. مقدار توان استحصال شده از سلول خورشیدی در ماههای گرم سال بیشتر و در ماههای گرم کمتر است. از طرف دیگر

میزان توان قابل استحصال از توربین بادی به نسبت در ماههای سرد سال بیشتر است. برای نشان دادن این تغییرات، این دو نمودار در سه ماه مختلف سال رسم شده است.

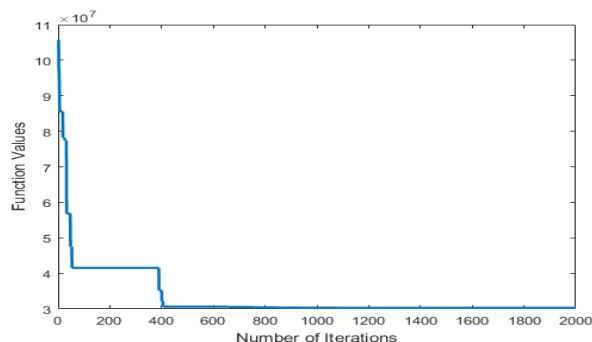


شکل ۲: میزان توان قابل استحصال از سلول خورشیدی



شکل ۳: میزان توان قابل استحصال از توربین بادی

میزان هزینه‌های سرمایه‌گذاری و تعمیر و نگهداری از مقاله [۱۴] گرفته شده است. با کمک این هزینه‌ها و همچنین براساس داده‌های موجود برای باد و خورشید الگوریتم انفجار معدن به کار گرفته شد. روند همگرایی الگوریتم انفجار معدن به صورت شکل-۴ است. در شکل-۴ محور افقی تعداد تکرار و محور عمودی مقدار تابع هدف است. همانطور که مشخص است با افزایش تکرار میزان تابع هدف کاهش می‌یابد تا به یک مقدار ثابت برسد. در حقیقت میزان همگرایی الگوریتم بهینه‌سازی به یک مقدار مشخص در شکل-۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: روند همگرایی الگوریتم انفجار معدن

پارامترهای انتخاب شده برای الگوریتم به صورت زیر است:

- تعداد متغیر تصمیم‌گیری: ۵ (ظرفیت توربین بادی، ظرفیت سلول خورشیدی، ظرفیت پیل سوختی، ظرفیت سیستم الکترولایزر، ظرفیت تانک هیدروژن)



- ضریب کاهش: ۱۰۰۰۰۰
- تعداد جمعیت اولیه: ۵۰
- تعداد تکرار: ۲۰۰۰

پارامترهای فوق براساس آزمایش و خطا انتخاب شده‌اند. با توجه به این پارامترها، خروجی بدست آمده در جدول ۱- آورده شده است.

جدول ۱: مقادیر خروجی الگوریتم انفجار معادن

مخزن هیدروژن	الکترولیز	پیل سوختی	سلول خورشیدی	توربین بادی
۱۳۳۱	۸۱۱	۸۱۱	۲۱۱	۳۸۷

اعداد ارائه شده در جدول ۱- بر حسب کیلووات می‌باشند و نشان دهنده‌ی حداکثر توانی است که هر کدام از تجهیزات می‌بایست تحمل کنند. البته عدد آخر که مربوط به ظرفیت مخزن هیدروژن است، بر حسب مترمکعب در نظر گرفته شده است. با توجه به این پارامترها، هزینه‌های تعمیر و نگهداری ۱۲۸۶۵۲۳۷ دلار و هزینه‌های سرمایه‌گذاری ۱۷۴۴۹۵۱ دلار شده است. اعداد فوق نشان می‌دهد که برای تامین توان بار مورد نظر می‌بایست توربین بادی با ظرفیت ۳۸۷ کیلووات، سلول خورشیدی به ظرفیت ۲۱۱ کیلووات و پیل سوختی به ظرفیت ۸۱۱ کیلووات وجود داشته باشد. البته این اطلاعات با این شرط بدست آمده است که بار به شبکه سراسری متصل نیست و بار به صورت ایزوله و در تمامی ساعات تغذیه می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله از الگوریتم انفجار معادن برای بهینه‌سازی اندازه‌یابی نیروگاه ترکیبی هیدروژنی استفاده شده است. به کمک این الگوریتم اندازه‌ی بهینه‌ی پنج تجهیز شامل توربین بادی، سلول خورشیدی، پیل سوختی، الکترولیزر و مخزن هیدروژن تعیین گردید. به کمک روش ارائه شده در این مقاله اندازه‌ها به گونه‌ای تعیین شدند که تمامی بار مورد نیاز جزیره لاوان توسط سیستم هیدروژنی تامین گردید و با توجه به میزان جمعیت و تقاضا جزیره، هیچ خاموشی در سیستم ایجاد نشد. همچنین با کاربرد انرژی‌های تجدید پذیر کمک شایانی به محیط زیست شده است.



۶- مراجع

- [1] Suchitra, D., Nag, S. and Jegatheesan, R., 2016. Optimal Sizing of Standalone Wind/PV/Fuel Cell/Battery System Using Adaptive Particle Swarm Optimization. *International Journal of Control and Automation*, 9(6), pp.327-340.
- [2] Nasiraghdam, H. and Jadid, S., 2012. Optimal hybrid PV/WT/FC sizing and distribution system reconfiguration using multi-objective artificial bee colony (MOABC) algorithm. *Solar Energy*, 2012, pp. 3057-3071.
- [3] Koutroulis, E., Kolokotsa, D., Potirakis, A. and Kalaitzakis, K., 2006. Methodology for optimal sizing of stand-alone photovoltaic/wind-generator systems using genetic algorithms. *Solar Energy*, 80, pp.1072-1088.
- [4] Smaoui, M., Abdelkafi, A. and Krichen, L., 2015. Optimal sizing of stand-alone photovoltaic/wind/hydrogen hybrid system supplying a desalination unit. *Solar Energy*, 120, pp.263-276.
- [5] Kaabeche, A., Belhamel, M. and Ibtouen, R., 2011. Sizing optimization of grid-independent hybrid photovoltaic/wind power generation system. *Energy*, 36, pp.1214-1222.
- [6] Erdinc, O. and Uzunoglu, M., 2012. A new perspective in optimum sizing of hybrid renewable energy systems: Consideration of component performance degradation issue. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37, pp.10479-10488.
- [7] Askarzadeh, A., 2013. A discrete chaotic harmony search-based simulated annealing algorithm for optimum design of PV/wind hybrid system. *Solar Energy*, 97, pp.93-101.
- [8] Dufo-López, R., Bernal-Agustín, J.L., Yusta-Loyo, J.M., Domínguez-Navarro, J.A., Ramírez-Rosado, I.J., Lujano, J. and Aso, I., 2011. Multi-objective optimization minimizing cost and life cycle emissions of stand-alone PV-wind-diesel systems with batteries storage. *Applied Energy*, 88(11), pp.4033-4041.
- [9] Maleki, A. and Askarzadeh, A., 2014. Artificial bee swarm optimization for optimum sizing of a stand-alone PV/WT/FC hybrid system considering LPSP concept. *Solar Energy*, 107, pp.227-235.
- [10] Li, C., Ge, X., Zheng, Y., Xu, C., Ren, Y., Song, C. and Yang, C., 2013. Techno-economic feasibility study of autonomous hybrid wind/PV/battery power system for a household in Urumqi, China. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36, pp.12664-12677.
- [11] Ma, T., Yang, H. and Lu, L., 2014. A feasibility study of a stand-alone hybrid solar-wind-battery system for a remote island. *Applied Energy*, 121, pp.149-158.
- [12] Sadollah, A., Bahreininejad, A., Eskandar, H. and Hamdi, M., 2013. Mine blast algorithm: A new population based algorithm for solving constrained engineering optimization problems. *Applied Soft Computing*, 13(5), pp.2592-2612.
- [13] Sadollah, A., Bahreininejad, A., Eskandar, H. and Hamdi, M., 2012. Mine blast algorithm for optimization of truss structures with discrete variables. *Computers & Structures*, 102, pp.49-63.
- [14] Erdinc, O. and Uzunoglu, M., 2012. A new perspective in optimum sizing of hybrid renewable energy systems: Consideration of component performance degradation issue. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37, pp.10479-10488.