



Optimization of Hybrid Energy System with PV and Battery Storage System and Emission Reduction by 2050

Azim Heydari

Assistant professor Department of Energy, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran. Email: a.heydari@kgut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:

Research Paper

Article History:

Received 5 May 2025

Revised 2 June 2025

Accepted 13 September 2025

Published Online 23 September 2025

Keywords:

Energy system modeling, renewable energy, battery storage system, optimization, air pollution, energy security.

ABSTRACT

The planning of energy systems with a high share of renewable energy sources has become increasingly important due to environmental concerns and energy security challenges. However, the large-scale integration of renewables into the grid requires effective strategies to ensure stability and reliability. One proposed approach to addressing these challenges is the diversification of renewable energy technologies, including both dispatchable and non-dispatchable sources, combined with various energy storage solutions, such as daily and seasonal storage. In this study, an open-source energy modeling tool, PyPSA, is used to optimize the operation and planning of a hybrid energy system. Using energy modeling in PyPSA, optimal strategies for deploying photovoltaic (PV) systems and battery storage are examined to achieve the island's climate targets, which include 25%, 50%, and 100% CO₂ emission reductions by 2030, 2040, and 2050, respectively. The findings of this research provide valuable insights into cost-effective and sustainable pathways for integrating renewable energy into isolated energy systems, contributing to long-term energy transition strategies.

Cite this article:

Heydari, A. (2025). Optimization of Hybrid Energy System with PV and Battery Storage System and Emission Reduction by 2050. *Energy Systems: Technology and Management*, 1 (1), -35-42. DOI: <http://doi.org/10.48306/estm.2024.231018>



© Graduate University of Advanced Technology.
DOI: <http://doi.org/10.48306/estm.2024.231018>



بهینه‌سازی سیستم انرژی ترکیبی با در نظر گرفتن فتوولتائیک و سیستم ذخیره‌ساز باتری و کاهش آلاینده‌گی تا سال ۲۰۵۰

عظیم حیدری^{*1}

1. استادیار پژوهشکده انرژی، پژوهشگاه علوم و فن آوری‌های پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری‌های پیشرفته کرمان. رایانامه: a.heydari@kgut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	برنامه‌ریزی سیستم‌های انرژی با سهم بالای انرژی‌های تجدیدپذیر به دلیل نگرانی‌های زیست‌محیطی و چالش‌های امنیت انرژی، به طور فزاینده‌ای اهمیت پیدا کرده است. با این حال، ادغام گسترده انرژی‌های تجدیدپذیر در شبکه نیازمند استراتژی‌های مؤثر برای تضمین پایداری و قابلیت اطمینان است. یکی از رویکردهای پیشنهادی برای مقابله با این چالش‌ها، تنوع‌بخشی به فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر، اعم از قابل برنامه‌ریزی و غیرقابل برنامه‌ریزی، همراه با استفاده از انواع مختلف ذخیره‌سازی انرژی، از جمله ذخیره‌سازی روزانه و فصلی است. در این مطالعه، یک ابزار متن‌باز مدل‌سازی انرژی به نام PyPSA برای بهینه‌سازی بهره‌برداری و برنامه‌ریزی یک سیستم انرژی ترکیبی مورد استفاده قرار گرفته است. مورد مطالعه، سیستم انرژی جزیره فاوینایانا در جنوب ایتالیا است. با استفاده از مدل‌سازی انرژی در PyPSA، استراتژی‌های بهینه برای استقرار سامانه‌های فتوولتائیک (PV) و ذخیره‌ساز باتری بررسی شده‌اند تا اهداف اقلیمی این جزیره محقق شوند. این اهداف شامل کاهش ۲۵٪، ۵۰٪ و ۱۰۰٪ انتشار CO ₂ تا سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۵۰ هستند. نتایج این پژوهش بینش‌های ارزشمندی در مورد مسیرهای مقرون‌به‌صرفه و پایدار برای ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم‌های انرژی ایزوله ارائه می‌دهد و به استراتژی‌های گذار بلندمدت انرژی کمک می‌کند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۲ تاریخ انتشار: XXXX/XX/XX	
کلیدواژه: مدلسازی سیستم‌های انرژی، انرژی‌های تجدیدپذیر، سیستم ذخیره‌ساز، بهینه‌سازی.	
استناد:	حیدری، عظیم (۱۴۰۴). بهینه‌سازی سیستم انرژی ترکیبی با در نظر گرفتن فتوولتائیک و سیستم ذخیره‌ساز باتری و کاهش آلاینده‌گی تا سال ۲۰۵۰. سیستم‌های انرژی: فناوری و مدیریت، ۱ (۱) ۳۵-۴۲. DOI: http://doi.org/10.48306/estm.2024.231018

© دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته.

DOI: <http://doi.org/10.48306/estm.2024.231018>



* نویسنده مسئول.

رایانامه: a.heydari@kgut.ac.ir

۱- مقدمه

باد، هیدروژن و باتری برای آوردن سه نیاز بار معمولی در کامرون استفاده کردند. آن‌ها نشان دادند که طرح ذخیره‌سازی انرژی PV، باد و باتری پیکربندی مطمئن‌تر و مقرون‌به‌صرفه‌تر برای تامین تقاضای بار در کامرون است. مولومبا و فرزانه [۱۰] یک طرح ترکیبی PV، باد، و باتری را برای بهبود قابلیت اطمینان به منظور برق رسانی در مناطق دور افتاده در کنیا پیشنهاد کردند. آن‌ها نشان دادند که طرح ترکیبی پیشنهادی برای تامین تقاضای بار در منطقه مورد مطالعه بسیار قابل اعتماد است. استراتژی تنظیم یکپارچه برای هیبریدی باد و ذخیره انرژی باتری توسط سونگ و همکاران پیشنهاد شده است [۱۱]. ژو و همکاران [۱۲] یک مدل زمان‌بندی برای قابلیت اطمینان منبع تغذیه سیستم‌های هیبریدی آبی، بادی، PV و باتری در استان سیچوان، چین برای مواجهه با اثر آب و هوای شدید ارائه کرد. الوی و همکاران [۱۳] یک رویکرد توافقی هزینه افزایشی برای بهینه‌سازی توزیع شده در یک شبکه هوشمند برای تعادل عرضه و تقاضا ارائه کرد. بیلیچ و همکاران [۱۴] EnergyPLAN را در برنامه بهینه‌سازی تک هدف GenOpt راه‌اندازی کرد تا حداقل افزایش هزینه‌های سیستم ملی انرژی برای صربستان را در چارچوب اتحادیه اروپا ۲۰۳۰ شناسایی کند.

۲- اهمیت مدل سازی سیستم انرژی

مدل‌سازی سیستم انرژی نقشی محوری در بررسی جامع و درک پویایی سیستم‌های انرژی پیچیده پیش رو دارد که به شدت به منابع انرژی تجدیدپذیر (RES) متکی هستند [۱۵]. اهمیت این مدل‌ها به‌ویژه در زمینه تولید برق از RES، که در آن تغییرپذیری تولید انرژی به طور پیچیده با عوامل مکانی و زمانی مرتبط است، برجسته می‌شود. از نظر فضایی، در دسترس بودن منابع در مکان‌های جغرافیایی مختلف متفاوت است و نیاز به درک دقیقی از پویایی‌های منطقه‌ای و محدودیت‌های بالقوه دارد. به طور موقت، ماهیت تصادفی و نامشخص شرایط آب و هوایی به طور قابل توجهی بر خروجی منابع انرژی تجدید پذیر تأثیر می‌گذارد. با توجه به این تنوع و پیچیدگی ذاتی، مدل‌های سیستم انرژی به عنوان ابزارهای ضروری برای شبیه‌سازی، تحلیل و بهینه‌سازی عملکرد این سیستم‌ها عمل می‌کنند و بینش‌های ارزشمندی را برای سیاست‌گذاران، محققان و سهامداران صنعت ارائه می‌کنند. این مدل‌ها با تسهیل درک جامع از چالش‌های چندوجهی مرتبط با ادغام RES، به توسعه استراتژی‌های قوی برای آینده انرژی پایدار و انعطاف‌پذیر کمک می‌کنند.

۳- مدل سازی ترکیب انرژی

در این مطالعه، glpk به عنوان حل‌کننده انتخابی انتخاب شده است و از قابلیت‌های خود برای رسیدگی به طیف متنوعی از مسائل بهینه‌سازی با راه‌حل‌های منبع باز و اختصاصی استفاده می‌کند. این استفاده استراتژیک از PyPSA و glpk قابلیت اطمینان و انعطاف‌پذیری چارچوب مدل‌سازی مورد استفاده در تحقیق را افزایش می‌دهد و از

یکی از بزرگترین چالش‌های بین‌المللی برای مقابله با تغییرات آب و هوا، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. تقاضا برای انرژی و تولید برق از دهه گذشته، به ویژه در مناطق دور افتاده، رشد زیادی داشته است. استفاده از سوخت‌های فسیلی برای تولید برق منجر به مشکلات زیست محیطی جدی، از جمله مه‌دود فتوشیمیایی، باران اسیدی، مرگ جنگل‌ها و غیره می‌گردد. سیستم‌های تولید برق هیبریدی مقرون به صرفه‌تر از گزینه‌های متصل به شبکه در مناطق دور افتاده هستند که دسترسی به شبکه آسان نیست [۱].

برای افزایش قابلیت اطمینان و انعطاف‌پذیری سیستم‌های برق محلی، ریزشکبه‌ها اخیراً به عنوان شبکه‌های بیشتر با تقسیم شبکه به چندین ریزشکبه به کار رفتند. از این رو، ریزشکبه‌ها دارای بار و منابع انرژی مانند منابع انرژی توزیع شده هستند. افزایش تقاضای جهانی انرژی همراه با رشد سریع منابع انرژی تجدیدپذیر منجر به افزایش استقرار سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر ترکیبی (HRES¹) شده است [۲]. افزایش بهره‌وری انرژی بخش صنعتی و تجاری و توسعه غیرمتمرکز بخش تولید، انتقال و توزیع از مزیت‌های خصوصی سازی است. در نتیجه، یکپارچه‌سازی تولیدات پراکنده در شبکه توزیع موجب جلوگیری توسعه خطوط انتقال و ساخت نیروگاه‌ها با هزینه سرمایه‌گذاری زیاد می‌شود. یکی از مفاهیم اصلی در خصوصی سازی ریزشکبه‌هاست که می‌تواند با نیروگاه‌های مرکزی سنتی با مهیا ساختن یک سطح قابل قبول قابلیت اطمینان و کیفیت توان مشترکین انتهایی، مقاومت در برابر خطاها، هزینه و آلودگی کم رقابت کند [۳]-[۵]. در آینده، ریزشکبه‌ها ممکن است از تولیدات پراکنده و بارهای قابل کنترل و غیرقابل کنترل تشکیل شوند که در محدود الکتریکی و حرارتی مشخص برای تامین بار محلی باشند و نسبت به شبکه بالادست مستقل باشند [۶]. سیستم انرژی چندحاملی یکپارچه، به عنوان یک واحد اصلی، تحت عناوینی همچون هاب انرژی [۶] یا ریزشکبه [۷] شناخته می‌شود. این دو مفهوم دارای ویژگی‌های مشترکی در مدل‌سازی سیستم‌های انرژی آینده هستند. بنابراین، بررسی پژوهش‌های مرتبط با هاب انرژی می‌تواند به توسعه و مدل‌سازی سیستم‌های ریزشکبه کمک کند. ایده اصلی هاب انرژی، بهره‌گیری بهینه از انواع مختلف انرژی از طریق استفاده از زیرساخت‌های انرژی موجود، تنوع مبدل‌ها، و منابع ذخیره‌سازی است [۸]. همچنین، ریزشکبه تولید همزمان برق، حرارت، و سرمایه‌ش را با هزینه‌ای کمتر و با سطح بالایی از قابلیت اطمینان برای مشترکین فراهم می‌کند [۷].

نگولو و همکاران [۹] از یک روش بهینه‌سازی فراابتکاری برای اندازه‌گیری بهینه سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی فتوولتائیک (PV)،

¹ Hybrid renewable energy system

حداکثر توان تولیدی ژنراتورهای تجدیدپذیر به شرایط آب و هوایی بستگی دارد که به صورت در دسترس بودن $\bar{g}_{i,s,t}$ در واحد ظرفیت آن بیان می شود:

$$0 \leq g_{i,s,t} \leq \bar{g}_{i,s,t} G_{i,s} \quad \forall i, s, t \quad (4)$$

ظرفیت توان $G_{i,s}$ نیز مشمول بهینه سازی تا حداکثر پتانسیل قابل نصب $\bar{G}_{i,s}$ است که توسط منطقه جغرافیایی موجود محدود شده است:

$$0 \leq G_{i,s} \leq \bar{G}_{i,s} \quad \forall i, s \quad (5)$$

۳-۳- محدودیت انتشار CO2

در سناریوهای مورد بررسی، انتشار CO2 محدود شده است، با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه ای تا ۵۵٪ در سال ۲۰۳۰ و دستیابی به کاهش ۱۰٪ از سطوح فعلی تا سال ۲۰۴۰ در بخش برق. این امر با در نظر گرفتن انتشارات خاص (es) در تن CO2 در هر مگاوات ساعت منبع سوخت (ها) و بازده ژنراتور به دست می آید:

$$\sum_{i,s,t} \frac{1}{\eta_{i,s}} g_{i,s,t} \cdot e_s \leq CAP_{CO2} \quad (6)$$

۴-۳- سیستم ذخیره باتری (BESS)

علاوه بر این، این مدل قابلیت ساخت واحدهای ذخیره باتری را در هر مکان اتوبوس دارد. پتانسیل تخلیه و شارژ یک واحد یکسان است و ظرفیت انرژی که به صورت $E_{i,s} = \bar{h}_s \cdot G_{i,s}$ نشان داده می شود متناسب با این ظرفیت توان است. ضریب \bar{h}_s که روی $\bar{h}_s = 6h$ تنظیم شده است می تواند زمان تخلیه یا شارژ کامل ذخیره سازی را با حداکثر توان تعیین کند.

۴-۴- مطالعه موردی: جزیره فاوینینا ایتالیا

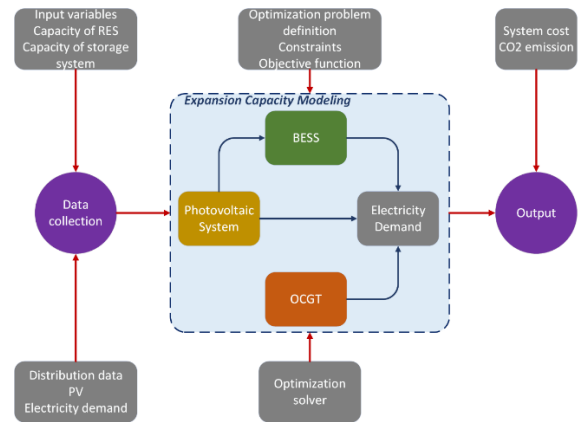
جزیره فاوینینا در سواحل غربی سیسیل ایتالیا واقع شده است. طول و عرض جغرافیایی به $37^{\circ}55'$ و $19^{\circ}12'$ است [58].



شکل ۲: جزیره فاوینینا

شبکه قدرت در این جزیره از سه بخش تشکیل شده است که در این مطالعه به بخش کوچکتر این شبکه پرداخته شده است. نمودار نرمال شده میزان تابش خورشید در شکل ۳ ارائه شده است.

بهینه سازی قوی و نمایش دقیق دینامیک سیستم انرژی پیچیده اطمینان می دهد. شکل ۱ چارچوب کلی مدل سازی انرژی ترکیبی (ECP-Pypsa) را نشان می دهد.



شکل ۱: چارچوب کلی مدل سازی انرژی ترکیبی

چارچوب PyPSA یک مدل تعادل جزئی را پیاده سازی می کند که هم عملیات کوتاه مدت و هم سرمایه گذاری بلندمدت در سیستم انرژی را به عنوان یک مسئله خطی با استفاده از معادلات جریان توان خطی بهینه می کند [38]. تولید بهینه را برای تامین نیاز ساعتی برق در سال مرجع تعیین می کند.

۳-۱- تابع هدف

مدل مجموع هزینه های سالانه سیستم را به حداقل می رساند و شامل ظرفیت های $G_{i,s}$ در هر گذرگاه i برای فناوری های تولید و ذخیره سازی و هزینه های ثابت سالانه مرتبط با آن ها $c_{i,s}$ ، ارسال $g_{i,s,t}$ واحد در زمان t و هزینه های متغیر مرتبط $o_{i,s}$. بهینه سازی در تمام ساعات t در یک سال با شرایط آب و هوایی و تقاضای متفاوت انجام می شود. ما از یک پایگاه داده (PyPSA) استفاده کردیم که مفروضات و پیش بینی ها را برای فناوری های سیستم انرژی (مانند هزینه ها، کارایی، طول عمر و غیره) برای سال های معین جمع آوری می کند [18].

$$\min_{G_{i,s}, g_{i,s,t}} \left[\sum_{i,s} c_{i,s} G_{i,s} + \sum_{i,s,t} o_{i,s} g_{i,s,t} \right] \quad (1)$$

۳-۲- محدودیت های ژنراتور

ارسال ژنراتورهای معمولی $g_{i,s,t}$ با ظرفیت $G_{i,s}$ آنها محدود می شود.

$$0 \leq g_{i,s,t} \leq G_{i,s} \quad (2)$$

ارسال توسط محدودیت های نرخ شیب دار $rd_{i,s}$ و $ru_{i,s}$ در واحد توان اسمی ژنراتور محدود می شود.

$$-rd_{i,s} \leq (g_{i,s,t} - g_{i,s,t-1}) \leq ru_{i,s} G_{i,s} \quad (3)$$

سناریو دوم از نظر میزان کاهش CO₂ مشابه با سناریو اول است اما میزان مصرف انرژی در سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۵۰ برابر با ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ بیشتر نسبت به سال پایه در نظر گرفته شده است. با توجه به هزینه‌های بالای سیستم ذخیره‌سازی و همچنین هزینه اولیه سیستم‌های خورشیدی عملکرد مدل به دنبال استفاده حداکثری از فناوری OCGT است. اما نتایج با در نظر گرفتن مفروضات و محدودیت‌های ارائه شده در سناریوهای اول و دوم رفتار مدل را به استفاده بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر و سیستم ذخیره‌سازی انرژی سوق می‌دهد. جدول‌های ۱ و ۲ ظرفیت ژنراتور OCGT، سیستم خورشیدی (PV) و سیستم ذخیره‌ساز باتری (BESS) را در سناریوهای اول و دوم نشان می‌دهند.

جدول ۱: ظرفیت ژنراتور، سیستم خورشیدی و سیستم ذخیره‌ساز

باتری در سناریوی اول

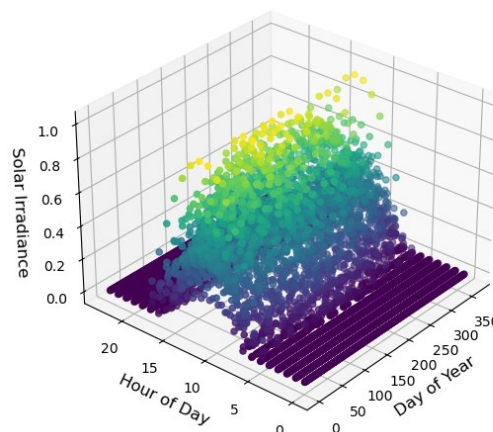
Technology	Year			
	2016	2030	240	2050
OCGT	2.064	3.85	2.31	0
PV	4.48	5.7	9.528	37.2
BESS	0	0.269	1.825	7.979

جدول ۲: ظرفیت ژنراتور، سیستم خورشیدی و سیستم ذخیره‌ساز

باتری در سناریوی دوم

Technology	Year			
	2016	2030	240	2050
OCGT	2.064	3.69	2.45	0
PV	4.48	7.45	12.36	45.1
BESS	0	0.743	2.55	9.288

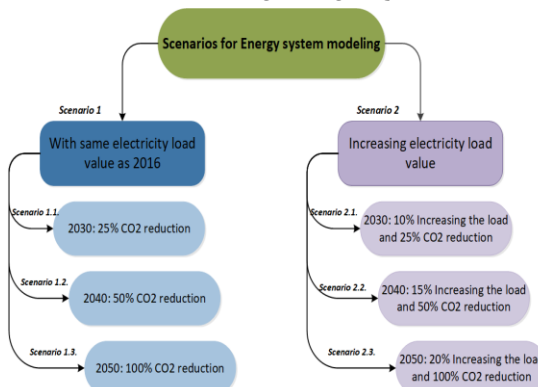
همچنین، شکل‌های ۵ و ۶ نمایی بصری از پروفایل‌های تولید ساعتی برق در یک هفته از ماه آگوست را برای ریزش‌بکه ارائه شده در سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۳۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۵۰ نمایش می‌دهند. این پروفایل‌ها برای دو سناریو بررسی شده‌اند: سناریوی اول (مصرف انرژی ثابت) و سناریوی دوم (افزایش مصرف انرژی بر اساس درصد‌های تعیین شده در بخش‌های قبل). این تجسم، بینش‌هایی در مورد الگوهای تولید در سناریوهای مختلف ارائه می‌دهد.



شکل ۳: تابش خورشید

۵- نتایج

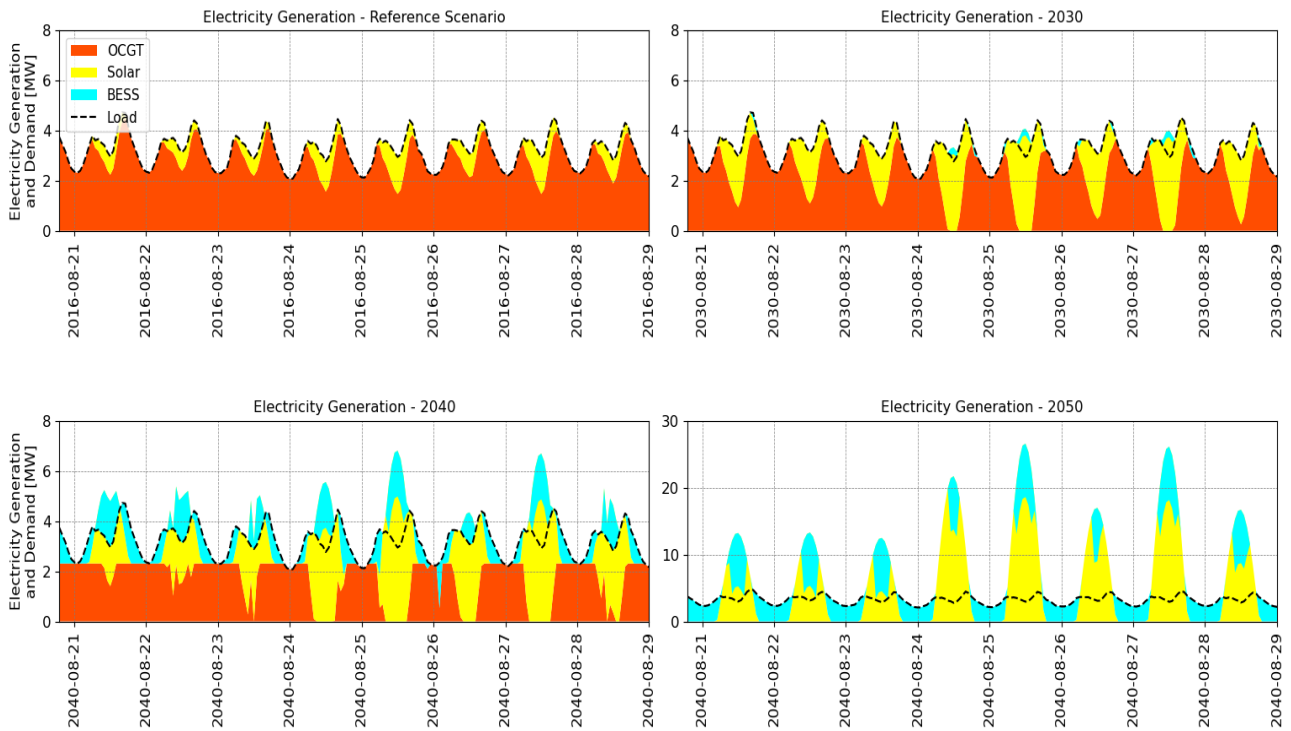
این بخش نتایج به دست آمده با اعمال مدل ECP-Pypsa در سیستم انرژی جزیره فائینا را از نظر بهینه‌سازی عملیاتی و برنامه‌ریزی ظرفیت توسعه نشان می‌دهد. این بخش به یافته‌های به دست آمده از مدل سازی انرژی ترکیبی انجام شده می‌پردازد. در ابتدا مدل ارائه شده برای داده‌های سال ۲۰۱۶ به عنوان سال پایه بررسی شده است. همچنین در این مدل از ژنراتور توربین گازی چرخه باز (OCGT²) و انرژی خورشیدی به عنوان منابع تولید کننده انرژی و همچنین باتری به عنوان سیستم ذخیره انرژی استفاده شده است. در این مطالعه به منظور ارزیابی بهتر مدل ارائه شده و همچنین سیستم انرژی ارائه شده از دو سناریو اصلی و برای هر سناریو سه سناریو فرعی تعریف شده است که در شکل ۴ نشان داده شده است.



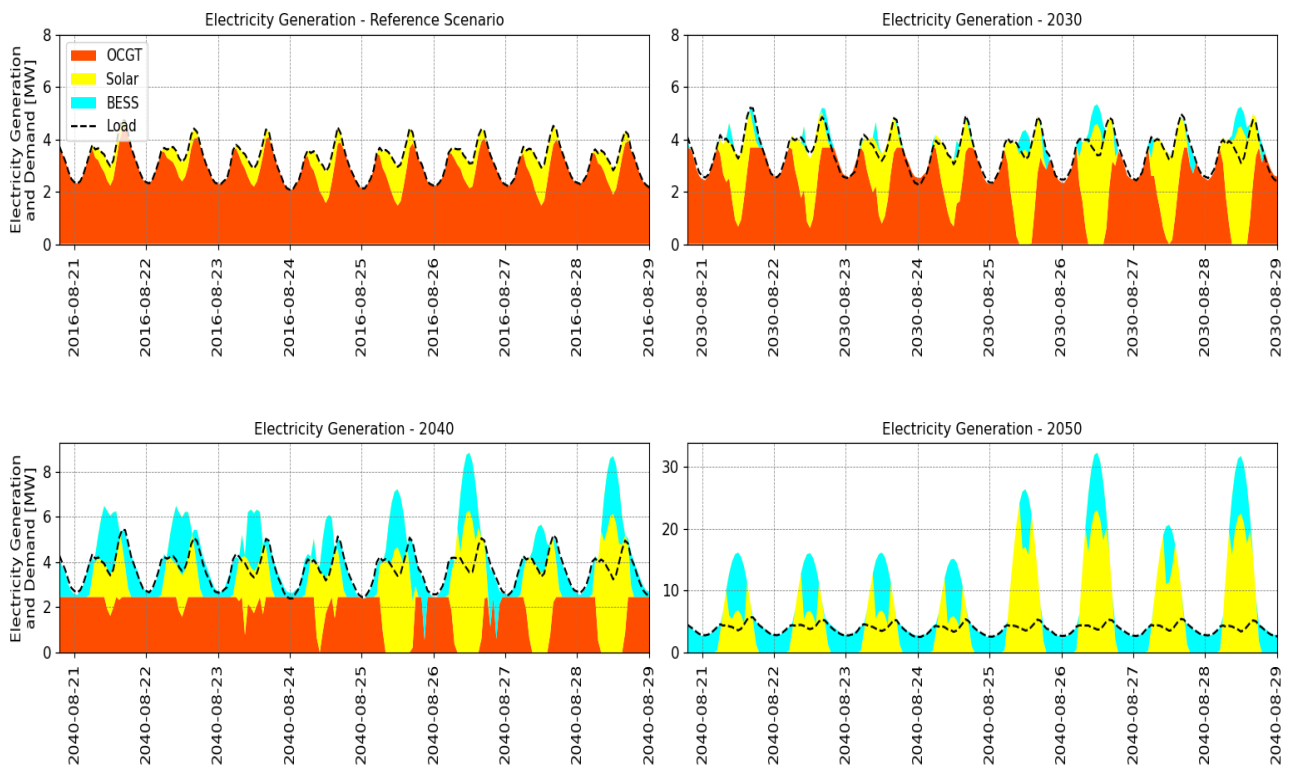
شکل ۴: سناریوهای مدل سازی انرژی

در سناریو اول میزان مصرف انرژی در سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ برابر با مصرف انرژی در سال پایه یعنی سال ۲۰۱۶ در نظر گرفته شده است و فقط میزان کاهش CO₂ برابر با ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد برای سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۵۰ به ترتیب در نظر گرفته شده است.

² Open Cycle Gas Turbine



شکل ۵: تولید برق ساعتی یک هفته در ماه آگوست (سناریوی اول)



شکل ۶: تولید برق ساعتی یک هفته در ماه آگوست (سناریوی دوم)

می‌دهد. با پیشروی به سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۵۰، کل هزینه‌های سیستم به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. به‌ویژه در سال ۲۰۵۰، که سطح انتشار CO_2 برابر با صفر تنظیم شده است، هزینه کل سیستم به

همچنین، هزینه‌های هر فناوری موجود در ریزشبهه مورد مطالعه در دو سناریو تجزیه و تحلیل شده است که بر اهمیت برنامه‌ریزی استراتژیک تأکید می‌کند. شکل‌های ۷ و ۸ هزینه هر فناوری را در سناریو اول و دوم در سال‌های مختلف نشان می‌دهد. مختلف نشان

به‌ویژه سامانه‌های فتوولتائیک (PV)، همراه با راهکارهای ذخیره‌سازی انرژی ضروری است. با توجه به افزایش تدریجی تقاضای انرژی و الزام به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، بهینه‌سازی برنامه‌ریزی انرژی از طریق مدل‌سازی پیشرفته مانند PyPSA می‌تواند نقش مهمی در تدوین سیاست‌های پایدار داشته باشد. تحلیل سناریوهای مختلف نشان داد که ظرفیت موردنیاز سامانه‌های فتوولتائیک به‌طور قابل‌توجهی در طول زمان افزایش می‌یابد و برای دستیابی به کربن‌زدایی کامل تا سال ۲۰۵۰، توسعه گسترده زیرساخت‌های تولید و ذخیره انرژی ضروری است. علاوه بر این، یافته‌ها تأکید می‌کنند که یکپارچه‌سازی مناسب منابع تجدیدپذیر در شبکه و سرمایه‌گذاری در فناوری‌های ذخیره‌سازی، عوامل کلیدی برای ایجاد یک سیستم انرژی پایدار و مقاوم در برابر تغییرات تقاضا و نوسانات تولید انرژی خورشیدی هستند. در نهایت، این پژوهش نه تنها مسیرهای ممکن برای گذار انرژی در مناطق ایزوله مانند فاوینیان را نشان می‌دهد، بلکه اهمیت استفاده از مدل‌های متن‌باز برای ارزیابی و طراحی استراتژی‌های بهینه انرژی را نیز برجسته می‌کند. برای تحقیقات آتی، بررسی تأثیر سایر فناوری‌های تجدیدپذیر، همچون باد و هیدروژن، و تحلیل جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی این گذار انرژی پیشنهاد می‌شود.

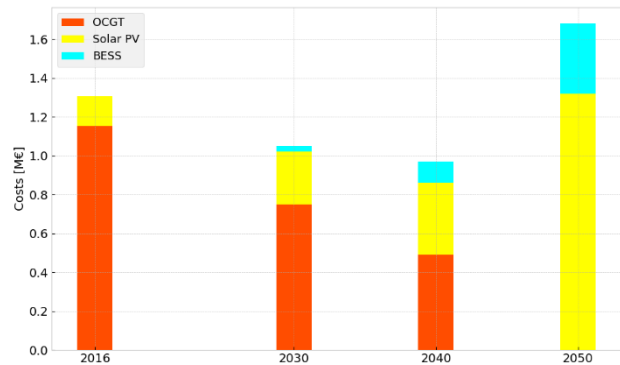
سیاسگزاری

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی شماره ۰۳/۲۶۸۰ با استفاده از اعتبارات پژوهشی - پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران انجام شده است.

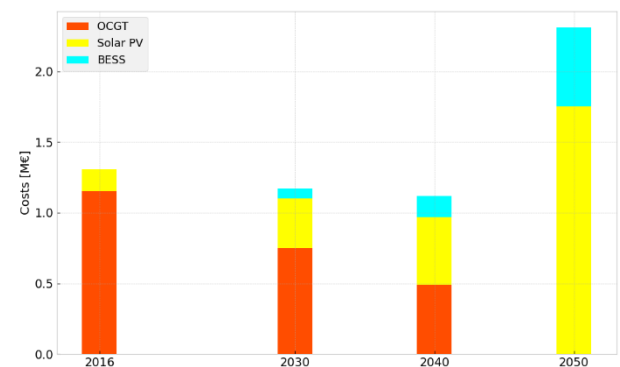
مراجع

- [1] L. Sun, X., He, H., & Ma, "Harmony search meta-heuristic algorithm based on the optimal sizing of wind-battery hybrid micro-grid power system with different battery technologies," *J. Energy Storage*, vol. 75, p. 109582, 2024.
- [2] S. Østergaard, P. A., Duić, N., Noorollahi, Y., & Kalogirou, "Advances in renewable energy for sustainable development," *Renew. Energy*, vol. 219, p. 119377, 2023.
- [3] M. Farzan, F., Lahiri, S., Kleinberg, M., Gharihi, K., Farzan, F., & Jafari, "Microgrids for fun and profit: The economics of installation investments and operations," *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 11, no. 4, pp. 52–58, 2013.
- [4] J. F. Shahidepour, M., & Clair, "A functional microgrid for enhancing reliability, sustainability, and energy efficiency," *Electr. J.*, vol. 25, no. 8, pp. 21–28, 2012.
- [5] S. Parhizi, S., Lotfi, H., Khodaei, A., & Bahramirad, "State of the art in research on microgrids: A review," *IEEE Access*, vol. 3, pp. 890–925, 2015.
- [6] G. Favre-Perrod, P., Kienzle, F., & Andersson, "Modeling and design of future multi-energy generation and transmission systems," *Eur. Trans. Electr. power*, vol. 20, no. 8, pp. 994–1008, 2010.
- [7] K. Geidl, M., Koeppl, G., Favre-Perrod, P., Klöckl, B., Andersson, G., & Fröhlich, "The energy hub—a powerful concept for future energy systems," in *In Third annual Carnegie mellon conference on the electricity industry*, 2007, p. 14.
- [8] M. E. Manshadi, S. D., & Khodayar, "Resilient operation of multiple energy carrier microgrids," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 6, no. 5, pp. 2283–2292, 2015.

دلیل افزایش ظرفیت سیستم فتوولتائیک و سیستم ذخیره‌ساز باتری افزایش چشمگیری را تجربه می‌کند.

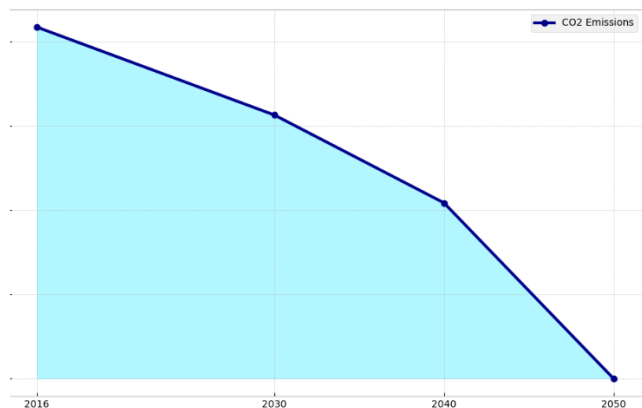


شکل ۷: هزینه هر فناوری - سناریوی اول



شکل ۸: هزینه هر فناوری - سناریوی دوم

علاوه بر این، شکل ۹ مقادیر انتشار CO₂ برای تامین برق مورد تقاضا را در سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۳۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۵۰ نشان می‌دهد. بر اساس نتایج ارائه شده در این شکل، بدیهی است که انتشار CO₂ به ترتیب به میزان ۲۵٪، ۵۰٪ و ۱۰۰٪ در راستای اهداف پایداری ۲۰۳۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۵۰ کاهش یافته است.



شکل ۹: سطح CO₂ در سال‌های مورد مطالعه

۱- نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که برای دستیابی به اهداف کاهش انتشار CO₂ در جزیره فاوینیان، توسعه ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر،

- [9] G. Ngouleu, C. A. W., Koholé, Y. W., Fohagui, F. C. V., & Tchuen, "Techno-economic analysis and optimal sizing of a battery-based and hydrogen-based standalone photovoltaic/wind hybrid system for rural electrification in Cameroon based on meta-heuristic techniques," *Energy Convers. Manag.*, vol. 280, p. 116794, 2023.
- [10] H. Mulumba, A. N., & Farzaneh, "Techno-economic analysis and dynamic power simulation of a hybrid solar-wind-battery-flywheel system for off-grid power supply in remote areas in Kenya," *Energy Convers. Manag. X*, vol. 18, p. 100381, 2023.
- [11] H. Song, Y., Du, M., Zhao, W., & Lin, "A new integrated regulation strategy and modelling for wind turbine with battery energy storage system," *J. Energy Storage*, vol. 63, p. 107111, 2023.
- [12] B. Zhou, S., Han, Y., Zalhaf, A. S., Chen, S., Zhou, T., Yang, P., & Elboshy, "A novel multi-objective scheduling model for grid-connected hydro-wind-PV-battery complementary system under extreme weather: A case study of Sichuan, China," *Renew. Energy*, vol. 212, pp. 818–833, 2023.
- [13] I. Alvi, U. E. H., Ahmed, W., Rehan, M., Ahmed, S., Ahmad, R., & Ahmed, "A novel incremental cost consensus approach for distributed economic dispatch over directed communication topologies in a smart grid," *Soft Comput.*, vol. 26, no. 14, pp. 6685–6700, 2022.
- [14] N. Bjelić, I. B., & Rajaković, "Simulation-based optimization of sustainable national energy systems," *Energy*, vol. 91, pp. 1087–1098, 2015.
- [15] S. Pfenninger, A. Hawkes, and J. Keirstead, "Energy systems modeling for twenty-first century energy challenges," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 33, pp. 74–86, May 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.02.003.