



کد اختصاصی:
۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



ارزیابی تاب‌آوری انرژی ساختمان‌های خارج از شبکه با رویکرد آنالیز حساسیت در سیستم‌های

هیبریدی تجدیدپذیر (مطالعه موردی: شهر همدان)

مهدی فضیلتی^۱، رسول شهبازی گرمتان^۲، اکبر علیدادی شمس آبادی^۳

^۱گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

^۲مرکز تحقیقات توسعه پایدار در مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

^۳گروه انرژی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

* نویسنده مسؤول: رسول شهبازی گرمتان

چکیده

تاب‌آوری انرژی یکی از مؤلفه‌های کلیدی تاب‌آوری عملکردی ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی در مواجهه با بحران‌هایی نظیر قطع شبکه برق، افزایش قیمت سوخت و ناپایداری منابع انرژی است. در این پژوهش، تاب‌آوری انرژی یک ساختمان مسکونی خارج از شبکه در شهر همدان با استفاده از یک سیستم هیبریدی متشکل از سلول خورشیدی، توربین بادی، دیزل ژنراتور، باتری و مبدل مورد ارزیابی قرار گرفته است. به منظور بررسی پایداری عملکرد سیستم در شرایط عدم قطعیت، آنالیز حساسیت نسبت به شدت تابش خورشیدی، سرعت باد، قیمت سوخت و حداکثر کمبود ظرفیت سالیانه انجام شده است. شبیه‌سازی و بهینه‌سازی سیستم با استفاده از نرم‌افزار HOMER صورت پذیرفته و داده‌های اقلیمی مورد نیاز از سازمان هواشناسی کشور و پایگاه داده ناسا استخراج شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش قیمت سوخت، وابستگی به دیزل ژنراتور موجب کاهش تاب‌آوری اقتصادی سیستم شده و استفاده از سیستم‌های هیبریدی تجدیدپذیر از نظر هزینه انرژی و قابلیت اطمینان عملکردی برتری محسوس دارد. همچنین افزایش شدت تابش خورشیدی نقش مؤثری در کاهش هزینه انرژی و افزایش سهم منابع پاک در تأمین بار الکتریکی دارد، در حالی که به دلیل پایین بودن سرعت باد در منطقه مورد مطالعه، مشارکت انرژی بادی در ارتقای تاب‌آوری سیستم ناچیز ارزیابی می‌شود. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که به کارگیری سیستم‌های هیبریدی خورشیدی-دیزلی-باتری می‌تواند به عنوان راهکاری مؤثر در افزایش تاب‌آوری انرژی ساختمان‌ها و کاهش ریسک عملکردی زیرساخت‌های حیاتی در مناطق سردسیر ایران مورد توجه قرار گیرد.

کلمات کلیدی: تاب‌آوری انرژی، سیستم هیبریدی، انرژی‌های تجدیدپذیر، آنالیز حساسیت، نرم‌افزار HOMER



کد اختصاصی:
۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



Assessment of Energy Resilience of Off-Grid Buildings Using a Sensitivity Analysis Approach in Hybrid Renewable Energy Systems (Case Study: Hamedan City)

Mahdi Fazilati, Rasool Shahbazi¹, Akbar Alidadi Shamsabadi²

¹ Department of Construction Management Engineering, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Najafabad Branch, Najafabad, Iran

² PhD student in Construction Management Engineering, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Najafabad Branch, Najafabad, Iran

³ Department of Energy and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

* Corresponding author: Rasool Shahbazi

ABSTRACT

The construction industry is one of the most significant productive sectors in the global economy, playing a pivotal role in development while simultaneously accounting for a substantial share of resource consumption, waste generation, and greenhouse gas emissions. Over recent decades, sustainability has emerged as the dominant response to these challenges. However, growing evidence suggests that an exclusive focus on reducing environmental impacts—without addressing the capacity of construction systems to withstand, adapt to, and recover from future shocks and uncertainties—is insufficient to ensure the long-term performance of the built environment. In this context, the concept of resilience has gained increasing prominence as both a complement to and a reconceptualization of sustainability. Adopting an analytical–conceptual approach, this article examines the role of resilient construction management in enhancing the ability of the construction industry to adapt to climatic hazards, economic volatility, supply chain disruptions, and social transformations. Through a critical review of recent developments in sustainable and low-carbon construction, the paper demonstrates that resilience is not merely a technical or engineering concern, but is fundamentally rooted in managerial structures, decision-making processes, organizational leadership, and stakeholder interactions. By integrating managerial, technological, and policy dimensions, the article proposes a conceptual framework for resilient construction management that encompasses the entire project life cycle—from planning and design to operation and post-crisis recovery. Finally, key research gaps are identified, and future research directions in the field of resilient construction management are outlined. The findings of this study provide a conceptual reference for researchers, policy-makers, and project managers seeking to enhance the resilience of the built environment.

Keywords: Resilient construction management; built environment resilience; sustainable and low-carbon construction; risk and uncertainty management; climate change and the construction industry.



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



۱- مقدمه

با افزایش فعلی میزان مصرف انرژی، عرضه پایدار انرژی به یکی از چالش‌های اساسی پیش‌روی جوامع انسانی در آینده‌ای نزدیک تبدیل شده است؛ به‌گونه‌ای که این مسأله نه تنها برای کشورهای در حال توسعه، بلکه حتی برای کشورهای غنی از منابع فسیلی نیز به‌عنوان یک دغدغه راهبردی مطرح می‌باشد. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تقاضای جهانی انرژی تا سال ۲۰۴۰ حدود ۳۰٪ افزایش خواهد یافت [۱]. در چنین شرایطی، تاب‌آوری سیستم‌های تأمین انرژی، به‌ویژه در بخش ساختمان و زیرساخت‌های وابسته، نقشی کلیدی در تضمین پایداری عملکردی و کاهش آسیب‌پذیری در برابر نوسانات عرضه و بحران‌های احتمالی ایفا می‌کند.

در حال حاضر، صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر (RE) در پاسخ به رشد سریع اقتصادی و کمبود منابع انرژی، با سرعت قابل توجهی در کشورهای در حال توسعه گسترش یافته است [۲،۳]. حتی کشورهای خاورمیانه که به‌عنوان قلب ذخایر سوخت‌های فسیلی جهان شناخته می‌شوند، برنامه‌ریزی کرده‌اند تا سهم استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر را تا سال ۲۰۳۵ به حدود ۱۶ درصد افزایش دهند [۴]. این رویکرد، علاوه بر کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، به‌عنوان راهکاری مؤثر در افزایش تاب‌آوری انرژی و کاهش ریسک‌های زیرساختی نیز مطرح است.

ایران با در اختیار داشتن سومین ذخایر نفتی و دومین ذخایر گاز طبیعی جهان [۵]، از نظر تأمین انرژی در وضعیت مناسبی قرار دارد؛ با این حال، عواملی نظیر رشد جمعیت، افزایش تقاضا و قیمت حامل‌های انرژی، آلودگی هوا، پتانسیل بالای منابع تجدیدپذیر و مزایای اثبات‌شده این منابع، ضرورت حرکت به‌سوی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و پایدار را اجتناب‌ناپذیر ساخته است [۶-۱۰]. توسعه این منابع می‌تواند نقش مهمی در افزایش قابلیت اطمینان و تاب‌آوری سیستم‌های انرژی کشور ایفا نماید.

منابع انرژی تجدیدپذیر در ایران به‌طور کلی شامل انرژی خورشیدی، نیروی آبی، باد، زیست‌توده، انرژی زمین‌گرمایی، انرژی موج و جزر و مد می‌باشند [۵]. مطالعات اولویت‌بندی منابع انرژی تجدیدپذیر غیرآبی نشان می‌دهد که در شرایط مختلف، فناوری باد به‌عنوان امیدوارکننده‌ترین گزینه مطرح بوده و پس از آن، فتوولتائیک، گرمایش خورشیدی و بیوگاز دارای بیشترین پتانسیل بهره‌برداری هستند [۶، ۱۱]. در این میان، استفاده از سیستم‌های ترکیبی انرژی تجدیدپذیر در سال‌های اخیر روند رو به رشدی داشته و سیستم‌های هیبریدی خورشیدی-بادی به‌عنوان گزینه‌ای قابل اعتماد برای تأمین انرژی پایدار شناخته شده‌اند [۱۲، ۱۳].

تاکنون مطالعات متعددی در زمینه طراحی، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی سیستم‌های هیبریدی، به‌ویژه سیستم‌های فتوولتائیک-بادی، در مناطق مختلف ایران انجام شده است. این پژوهش‌ها عمدتاً بر امکان‌سنجی فنی-اقتصادی سیستم‌ها و کاهش هزینه انرژی تمرکز داشته‌اند که در ادامه به بررسی برخی از آن‌ها پرداخته می‌شود. از جمله، جهانگیری و همکاران در سال ۲۰۱۸ [۱۴] با استفاده از نرم‌افزار HOMER به ارزیابی تولید همزمان برق و حرارت برای یک ساختمان مسکونی در زمین شهر استان اصفهان پرداختند. همچنین در مطالعه‌ای دیگر، جهانگیری و همکاران در سال ۲۰۱۷ [۱۵] برق‌رسانی به چند روستای استان چهارمحال و بختیاری را با بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر مورد بررسی قرار دادند. شبیه‌سازی و بهینه‌سازی سیستم‌های هیبریدی فتوولتائیک-باد در مناطق مختلف کشور [۱۶-۱۸] نیز نشان‌دهنده ظرفیت بالای این سیستم‌ها در افزایش پایداری و کاهش وابستگی به شبکه سراسری است.

با وجود انجام مطالعات متعدد، بررسی عملکرد و تاب‌آوری سیستم‌های تولید برق تجدیدپذیر در شرایط عدم قطعیت و تحلیل حساسیت نسبت به پارامترهای کلیدی همچون منابع در دسترس، قیمت سوخت و ترکیب اجزای سیستم، همچنان از اهمیت بالایی برخوردار است. از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف مدیریت و آنالیز حساسیت در تولید برق تجدیدپذیر در ایران انجام شده و تلاش دارد تا با ارزیابی سیستم‌های هیبریدی، گامی در جهت ارتقای تاب‌آوری انرژی و پایداری تأمین برق در مناطق مورد مطالعه بردارد.

۲- انرژی‌های خورشید و باد در ایران

ایران عمدتاً یک کشور خورشیدی است که تقریباً ۷۴٪ انرژی خورشیدی را در شرایط مطلوب دارد [۱۹]. ایران به لحاظ میزان دریافت انرژی خورشیدی با متوسط ساعت آفتابی سالانه بیش از ۲۸۰۰ ساعت، یکی از کشورهای مناسب جهان می‌باشد که انرژی خورشیدی در آینده سهم قابل توجهی از انرژی مصرفی کشور را به خود اختصاص خواهد داد [۲۰]. ایران در کمربند خورشیدی زمین واقع شده است و با متوسط تابش ۵،۵-۴،۵ کیلووات ساعت بر متر مربع در روز یکی از کشورهای با پتانسیل بالا در زمینه انرژی خورشیدی معرفی شده است [۲۱].



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

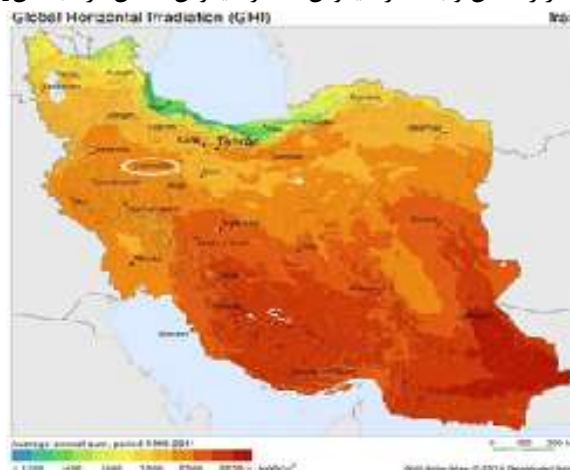
ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

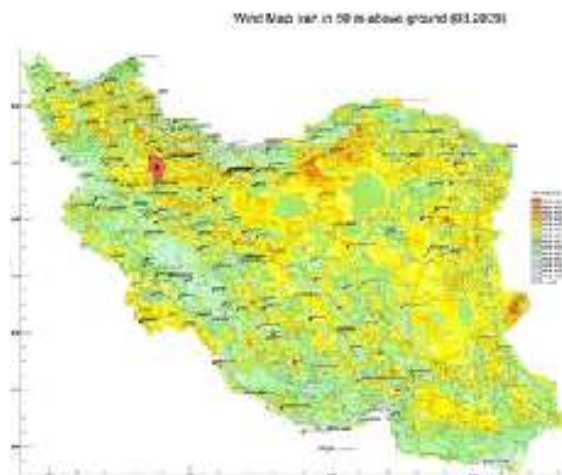
۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



نقشه تابش افقی جهانی خورشید برای ایران در شکل (۱) نشان داده است و نشان می‌دهد که نواحی جنوب و جنوب غرب کشور به همراه بخش‌هایی از مرکز کشور دارای پتانسیل بسیار خوبی برای بهره‌برداری از انرژی خورشید می‌باشد. در حال حاضر، انرژی باد بالغ‌ترین و مقرون به صرفه‌ترین تکنولوژی انرژی تجدیدپذیر می‌باشد [22]. در ایران با توجه به وجود مناطق بادخیز مناسب (شکل ۲)، بستر مناسبی جهت گسترش و بهره‌برداری از این منبع انرژی وجود دارد و این کشور یکی از بزرگترین بازارهای رو به رشد انرژی بادی در خاورمیانه محسوب می‌شود. بطوریکه پتانسیل انرژی باد در ایران در حدود MW6500 تخمین زده شده است [23]. ایران در یک محل کم فشار واقع شده است و دارای جریان بادهای قوی در تابستان و زمستان در برخی از نقاط می‌باشد که عبارتند از بادهای از اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه و همچنین از آسیای مرکزی در زمستان و بادهای از اقیانوس هند و اقیانوس اطلس در تابستان [24،25].



شکل ۱: نقشه تابش افقی جهانی خورشید در ایران و موقعیت شهر همدان [26].



شکل ۲: نقشه بادی ایران در ارتفاع ۸۰ متر بالاتر از سطح زمین و موقعیت شهر همدان.

۳- منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در استان همدان انجام شده است که در غرب ایران و در بین طول جغرافیایی $34^{\circ}47'$ و $49^{\circ}36'$ E و $33^{\circ}58'$ و $35^{\circ}48'$ N واقع شده و قدمتی بیش از ۳۰۰۰ سال و حدود ۱.۷۵ میلیون نفر جمعیت دارد [27]. استان همدان با 19493 کیلومتر مربع وسعت (۱.۲ درصد از مساحت کل کشور)، از سمت شمال به استان‌های زنجان و قزوین، از سمت جنوب به استان لرستان، از سمت شرق به استان مرکزی



کد اختصاصی:
۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



و از سمت غرب به استان‌های کردستان و کرمانشاه محدود شده است. کشور ایران با تنوع آب و هوایی زیادی روبروست. این کشور دارای چهار منطقه آب و هوایی مختلف می‌باشد: معتدل و خشک، معتدل و مرطوب، سرد و گرم و خشک [28]. این استان از نظر آب و هوایی در منطقه بسیار سرد می‌باشد. موقعیت استان همدان در کشور در شکل 3 نشان داده شده است. داده‌های مورد نیاز در این مقاله شامل داده‌های میزان تابش خورشید و سرعت باد است که برای ایستگاه همدیدی فرودگاه همدان در استان همدان می‌باشد که از بخش آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور و سایت ناسا [29] تهیه گردید. در بخش آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور بر روی داده‌ها کنترل کیفی صورت گرفته و کلیه آزمون‌های همگنی، استقلال و کفایت انجام شده است. بنابراین با اطمینان از انجام آزمون‌های آماری مذکور بر روی داده‌ها، پس از پردازش و بررسی اولیه ایستگاه، اقدام به تحلیل داده‌های تابشی و بادی نمودیم. در جدول 1 مختصات جغرافیایی ایستگاه فرودگاه همدان و دوره زمانی میانگین‌گیری اطلاعات تابشی و بادی مشاهده می‌شود.



Fig. 3. Map of Iran (Hamedan have been highlighted).

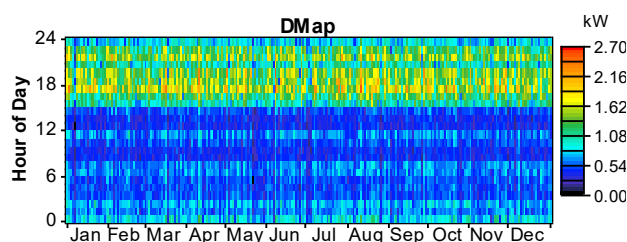
جدول 1: مختصات ایستگاه مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	دوره زمانی مورد مطالعه
1	فرودگاه همدان	48/32	34/52	1741/5	2005-1976

4-روش کار

4-1- تعیین میزان بار مصرفی

میزان برق مصرفی در ماه ژانویه سال 2017 بر اساس قبض برق مصرفی برای یک خانواده 4 نفره، در طی یک شبانه روز برابر 18/8 کیلووات می‌باشد که در شکل 4 نحوه مصرف آن در طول یک روز تخمین زده شده است.



(الف)



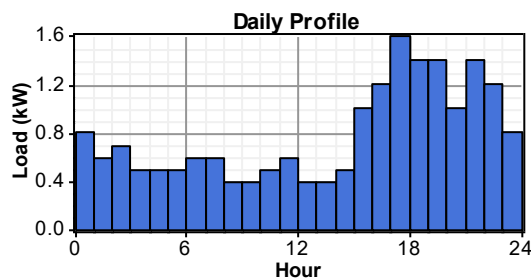
کد اختصاصی:
۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

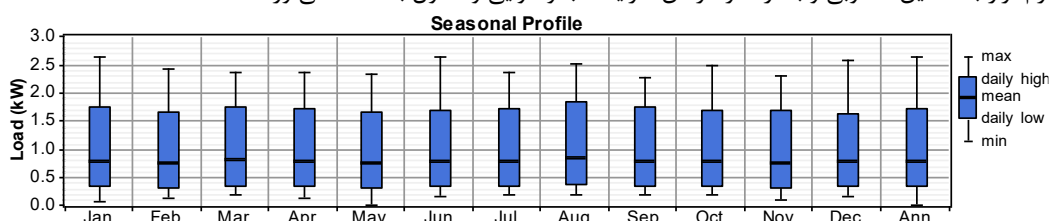
۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



(ب)

شکل ۴: میزان مصرفی برق در ۲۴ ساعت

با استفاده از نرم‌افزار می‌توان میزان مصرف برق را در روزهای دیگر سال نیز تخمین زد. میزان بار مصرفی در ماه‌های دیگر به صورت شکل (۵) است که نرم‌افزار با تخمین مطلوبی و با در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی و فصول به دست می‌آورد.

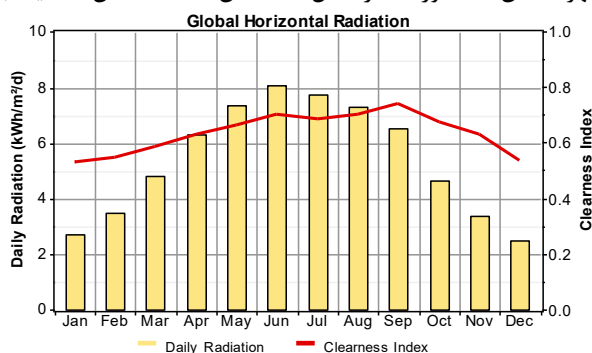


شکل ۵: میزان برق مصرفی در ماه‌های مختلف سال.

۴-۲- میزان انرژی‌های تجدیدپذیر در دسترس

از آن جایی که سیستم طراحی شده ممکن است شامل مولفه خورشیدی باشد، لازم است میزان شدت نور در منطقه در طی فصول بررسی شود. با توجه به موقعیت محل، داده‌های خورشیدی شهر همدان با مختصات عرض جغرافیایی ۳۴/۵۹ و طول جغرافیایی ۴۸/۵۲ استفاده شده است [۳۰]. میانگین ماهیانه شدت تابش نور خورشید به صورت شکل ۶ می‌باشد.

با وارد کردن میانگین سالانه تابش خورشید در نرم‌افزار HOMER، با توجه به ارتفاع محل سایت مورد بررسی شاخصی به نام شاخص شفافیت معرفی می‌شود که یک معیار برای صاف بودن آسمان است. این شاخص برابر کسری از انرژی خورشید است که از اتمسفر عبور کرده و به سطح زمین می‌رسد. این ضریب در نرم‌افزار به صورت ماهیانه محاسبه می‌شود و در یک ماه بسیار آفتابی برابر ۰/۷۵ و در یک ماه بسیار ابری برابر ۰/۲۵ است. برای شهر همدان همانطور که در شکل ۷ مشخص است، شاخص شفافیت بین ۰/۵۳۲ تا ۰/۷۴۳ است.



شکل ۶: پروفیل تابش خورشید در یک سال

پروفایل تابش خورشید در هر ماه در طول ۲۴ ساعت، در طول یک سال به صورت شکل ۷ می‌باشد. میانگین تابش در این منطقه در طول سال برابر ۵/۴۱ کیلووات ساعت بر متر مربع در یک روز می‌باشد. همچنین تابع توزیع تجمعی تابش خورشید در شکل ۸ نشان داده شده است. نتایج نشان‌دهنده این است که حدود ۵۹٪ تابش کمتر یا مساوی ۰/۱ کیلووات بر متر مربع می‌باشد.



کد اختصاصی:

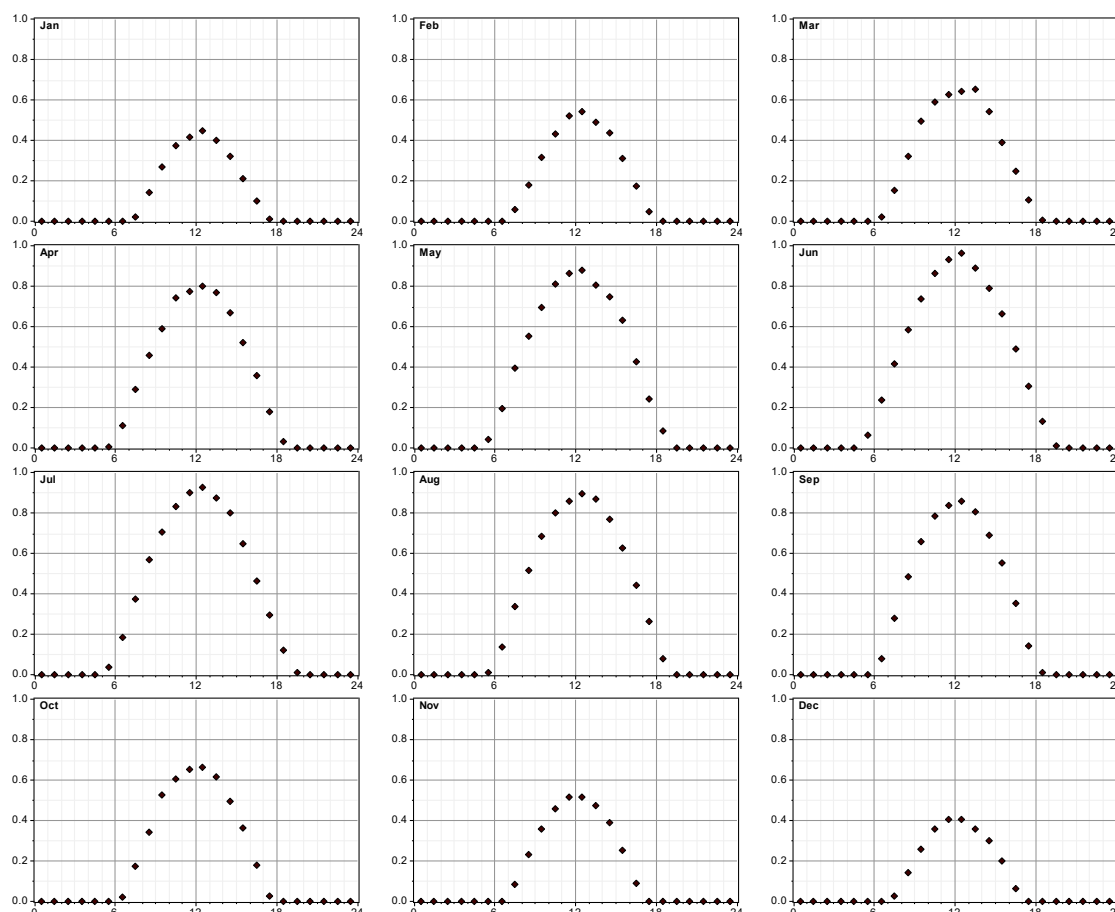
۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

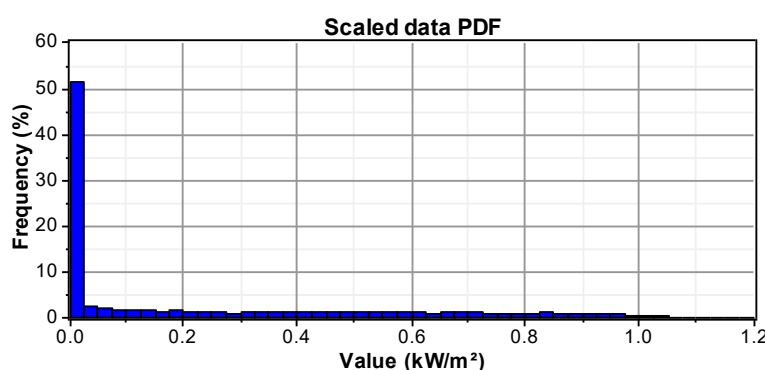
ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



شکل ۷: پروفایل تابش خورشید در هر ماه



شکل ۸-تابع توزیع تجمعی تابش خورشید

از آن جایی که سیستم طراحی شده ممکن است شامل مولفه بادی نیز باشد، لازم است سرعت باد در منطقه نیز در طی فصول مختلف مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به موقعیت محل از داده‌های بادی فرودگاه شهر همدان استفاده شده است [31]. نمودار میزان متوسط باد در ارتفاع ۱۰ متری از ارتفاع زمین از سایت ناسا استخراج شده و به صورت شکل ۹ است.



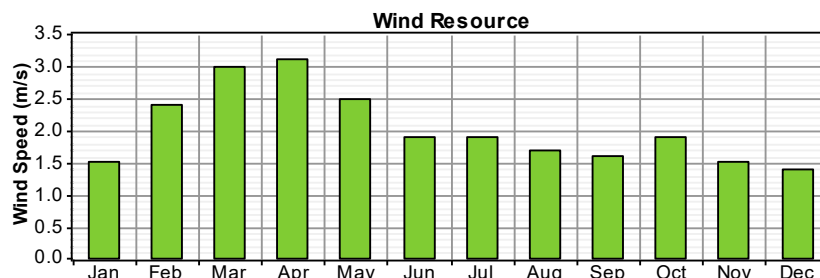
کد اختصاصی:
۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

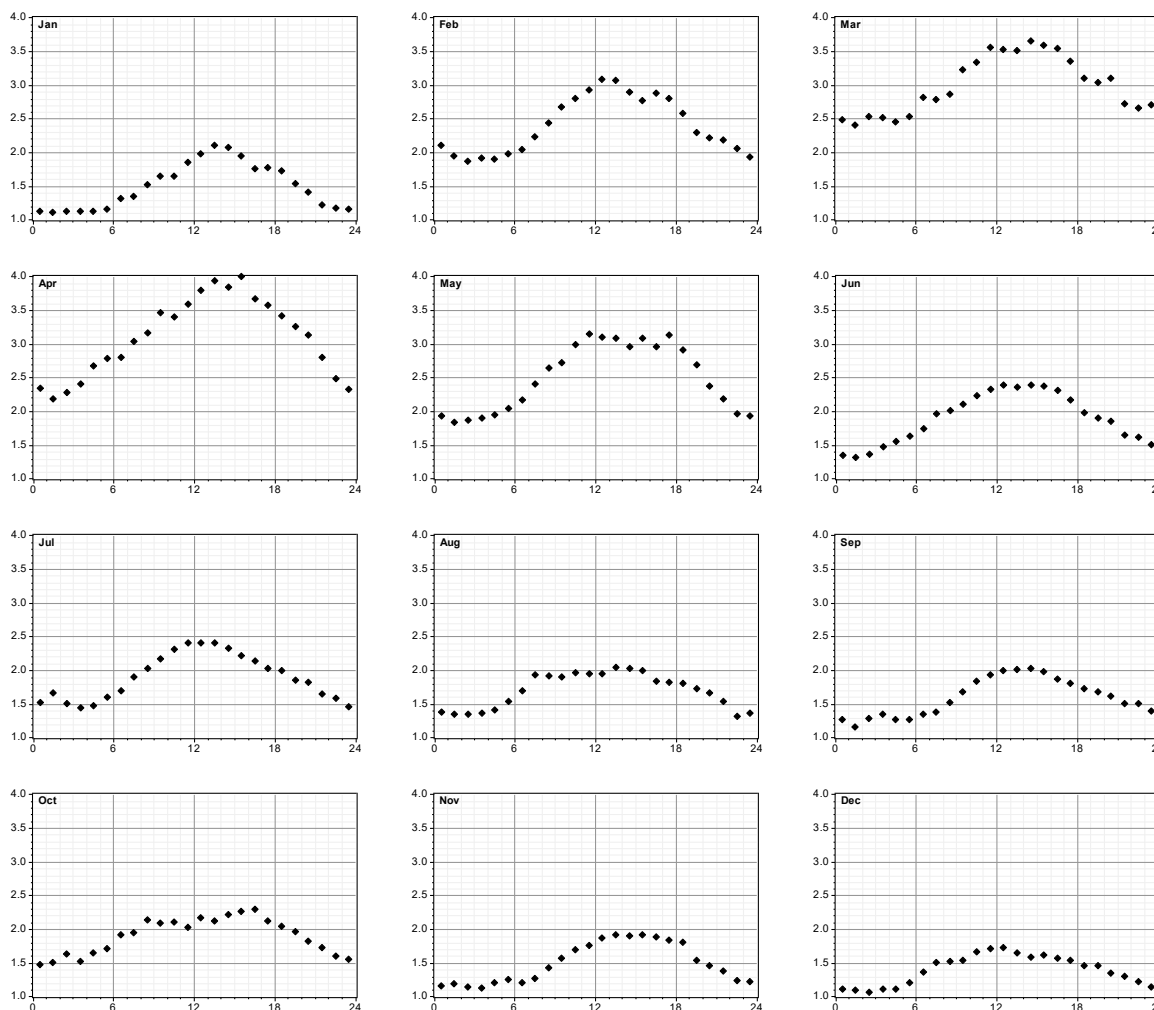
دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



شکل ۹: میزان متوسط وزش باد در ماه‌های مختلف سال

پروفایل سرعت باد در هر ماه در طول ۲۴ ساعت، در طول یک سال به صورت شکل ۱۰ می‌باشد. میانگین وزش باد در این منطقه در طول سال برابر ۲/۰۳ متر بر ثانیه می‌باشد.



شکل ۱۰- پروفایل سرعت باد در هر ماه

۴-۳- قیمت تجهیزات

پنل خورشیدی یک کیلوواتی انتخاب شده دارای هزینه اولیه ۶۹۰۰ دلار، هزینه جایگزینی ۶۹۰۰ دلار و هزینه تعمیر و نگهداری صفر دلار به ازای هر سال می‌باشد [۳]. عمر پنل خورشیدی ۲۵ سال و فاقد سیستم ردیاب خورشید می‌باشد.



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

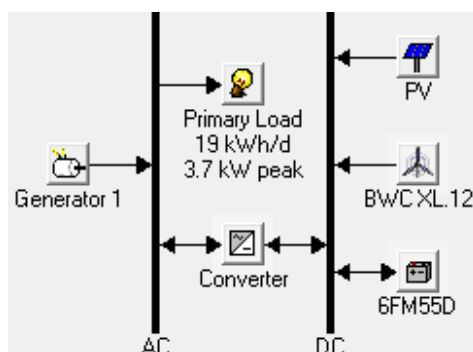
ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



توربین باد مورد استفاده مدل BWC XL.12 با قدرت 1/24 کیلو وات و جریان مستقیم ساخت شرکت Bergey می‌باشد. هزینه اولیه و جایگزینی آن 3900 دلار و سالانه 100 دلار هزینه دارد [3]. عمر توربین 25 سال و در ارتفاع 10 متری از سطح زمین قرار دارد. ژنراتور انتخاب شده دیزلی می‌باشد که تا 1 کیلو وات می‌تواند برق تولید نماید. هزینه اولیه آن 3500 دلار، هزینه جایگزینی آن 3000 دلار و هزینه تعمیر و نگهداری آن 0/036 دلار به ازای هر ساعت می‌باشد [3]. عمر دستگاه 15000 ساعت می‌باشد. باتری استفاده شده Surrette 6CS25P می‌باشد که ولتاژ آن 6 ولت و توان آن 1/156 آمپر ساعت می‌باشد. هزینه اولیه آن 1200 دلار، هزینه جایگزینی آن 1100 دلار است. همچنین سالانه 50 دلار هزینه تعمیر و نگهداری دارد [3]. سایز مبدل 1 کیلو وات است. هزینه اولیه آن 800 دلار، هزینه جایگزینی آن 700 دلار و هزینه تعمیر سالانه آن 15 دلار می‌باشد [3]. همچنین عمر مفید آن 15 سال و بازده آن 90 درصد می‌باشد. در شکل 11 شماتیکی از نیروگاه طراحی شده که در نرم‌افزار HOMER مورد بررسی قرار گرفته است، نشان داده شده است.



شکل 11- شماتیکی از نیروگاه طراحی شده

4-4- نتایج

لازم به ذکر است که برای 4 شدت تابش مختلف (3، 5/41، 6 و 8 کیلووات ساعت بر مترمربع در روز)، 3 سرعت باد مختلف (1/5، 2/03 و 3 متر بر ثانیه)، 5 قیمت سوخت مختلف (0/2، 0/5، 0/984، 1 و 2 دلار) و 3 ماکزیمم کمبود ظرفیت سالیانه (0، 5 و 10 درصد) شبیه‌سازی‌ها انجام شد که مجموعاً 180 سناریو مختلف بررسی گردید. لازم به ذکر است که مقادیر متوسط استفاده شده در شبیه‌سازی، شدت تابش 5/41 کیلووات ساعت بر متر مربع در روز، سرعت باد 2/03 متر بر ثانیه و قیمت سوخت 0/984 دلار می‌باشد.

نتایج آنالیز حساسیت بر حسب پارامترهای مورد بررسی در شکل‌های 12 تا 16 آورده شده است. همانگونه که از شکل‌های 12 تا 16 مشاهده می‌شود، با افزایش قیمت سوخت، هزینه انرژی افزایش می‌یابد و بالتبع آن استفاده از دیزل ژنراتور به تنهایی در محدوده شدت تابش خورشید کمتری به صرفه خواهد بود. همچنین با ثابت بودن قیمت سوخت و افزایش شدت تابش خورشید، هزینه هر کیلووات ساعت انرژی تولید شده توسط سیستم طراحی شده افت خواهد داشت. همچنین نتایج نشان‌دهنده این هستند که برای قیمت سوخت بیشتر از 2 دلار و هر میزان شدت تابش و سرعت بادی، استفاده از دیزل ژنراتور به تنهایی به صرفه نبوده و فقط استفاده از سیستم هیبریدی باتری/سلول خورشیدی/دیزل ژنراتور توصیه می‌شود. نتیجه دیگری که از شکل‌های 12 تا 16 بدست می‌آید این است که بدلیل کم بودن سرعت باد در منطقه مورد بررسی، استفاده از توربین بادی در هیچ شرایطی مقرون به صرفه نمی‌باشد. همچنین بدلیل تامین شدن تمامی انرژی مورد نیاز، پارامتر ماکزیمم کمبود ظرفیت سالیانه هیچ اثری روی نتایج نداشت.

با بررسی شکل‌های 12 تا 16 به این نتیجه می‌رسیم که کمترین هزینه انرژی به ازای قیمت سوخت 0/2 دلار و شدت تابش بیشتر از حدود 7/4 کیلووات ساعت بر مترمربع در روز بدست می‌آید. نتایج این حالت که شامل 1 سلول خورشیدی، 4 دیزل ژنراتور، 1 باتری و 1 مبدل می‌باشد در شکل 17 نشان داده شده است. همانگونه که از شکل 17 مشاهده می‌شود حدود 21٪ از انرژی مورد نیاز توسط سلول‌های خورشیدی و مابقی توسط دیزل ژنراتور تامین می‌شود. سایر اطلاعات در خصوص این سیستم در جدول 2 آورده شده است.

از شکل 18 مشخص است که اگر فاصله منزل مسکونی تا محل تولید برق بیشتر از 6/83 کیلومتر شود، هزینه‌ها از 57805 دلار که میزان هزینه تولید نیروگاه انرژی‌های نو است بیشتر می‌شود. بنابراین به صرفه خواهد بود که برای فواصل بیشتر از 6/83 کیلومتر از شبکه برق سراسری، از سیستم‌های انرژی ترکیبی استفاده شود. هزینه سیم کشی برق به ازای هر کیلومتر 7600/6 دلار، هزینه تعمیر و نگهداری

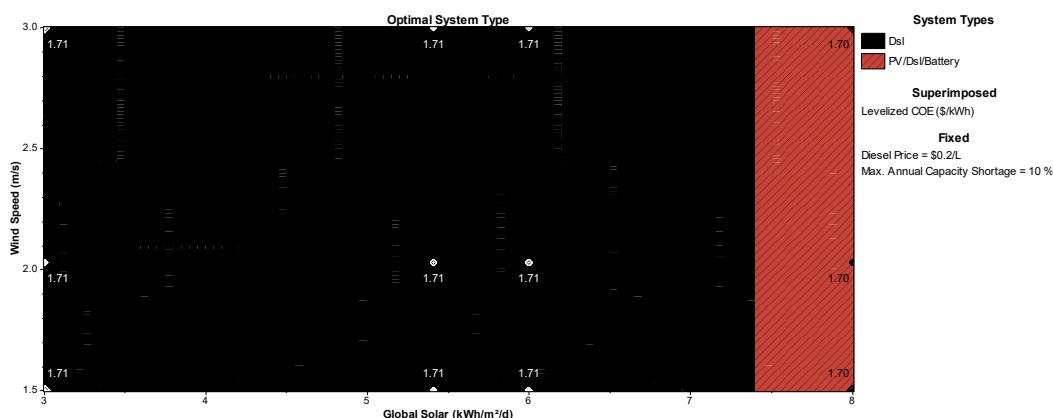


کد اختصاصی:
۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

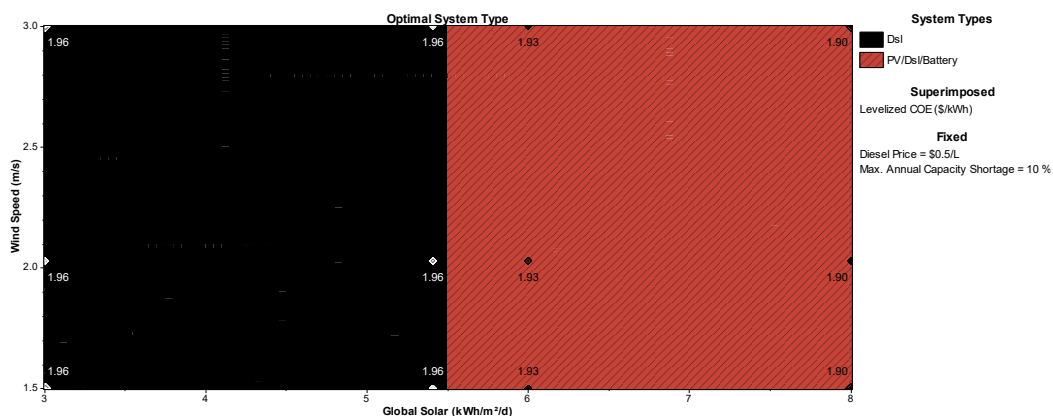
اولین همایش ملی
ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار
دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد
۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



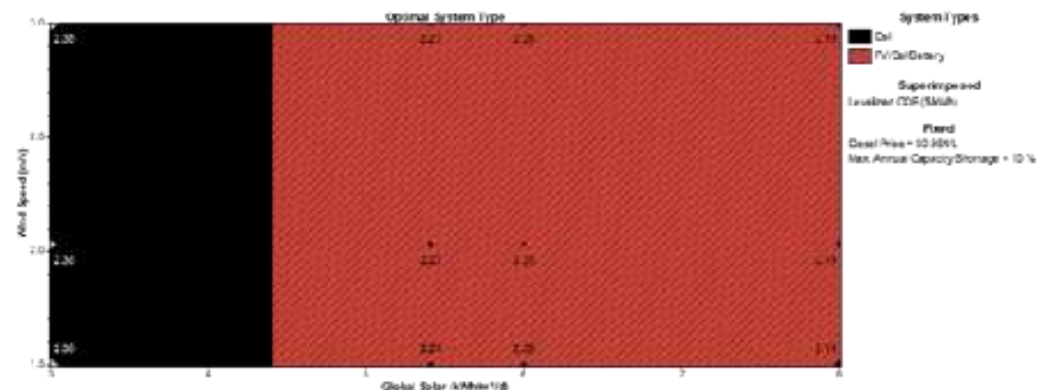
سالیانه به ازاء هر کیلومتر ۱۶۰ دلار و هزینه هر کیلووات ساعت برق شبکه سراسری ۰/۱۳۹۲ دلار در نظر گرفته شده است.



شکل ۱۲: نتایج برای قیمت سوخت ۰/۲ دلار



شکل ۱۳: نتایج برای قیمت سوخت ۰/۵ دلار

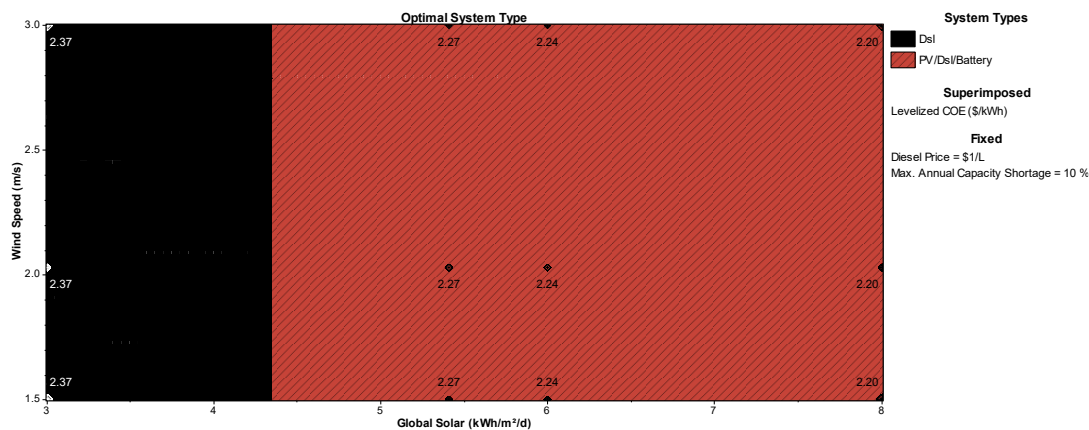


شکل ۱۴: نتایج برای قیمت سوخت ۰/۹۸۴ دلار

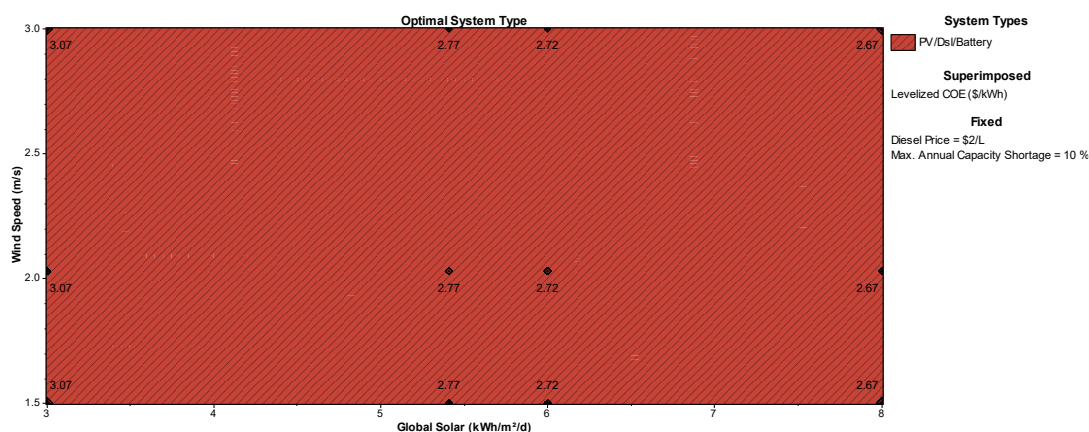


کد اختصاصی:
۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

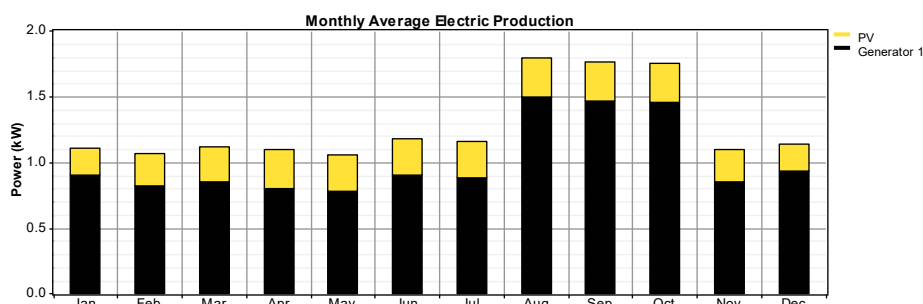
اولین همایش ملی
ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار
دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد
۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



شکل ۱۵: نتایج برای قیمت سوخت ۱ دلار



شکل ۱۶: نتایج برای قیمت سوخت ۲ دلار



شکل ۱۷: نتایج بهینه‌ترین حالت تولید انرژی از لحاظ اقتصادی در ماه‌های مختلف



کد اختصاصی:
۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

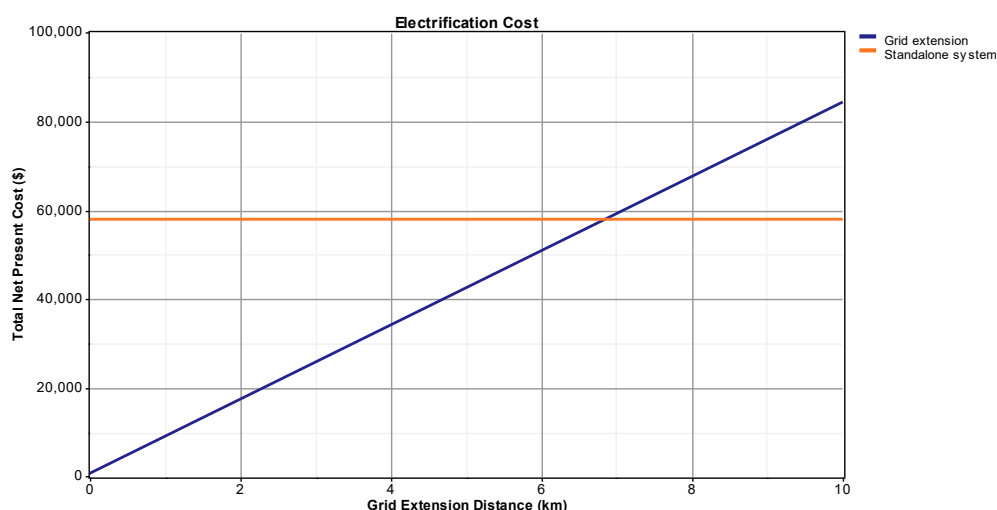
دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



جدول ۲: اطلاعات اضافی سیستم بهینه‌ترین حالت تولید انرژی از لحاظ اقتصادی

مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر
۴۴۰۵ لیتر	میزان گازوئیل مصرفی	۶۸۶۲ کیلووات ساعت	بار مصرفی مورد نیاز
۱۳ کیلووات ساعت	تلفات سالیانه باتری	۳۷/۵٪	برق مازاد تولیدی
۹۰٪	فرکانس شارژ کامل باتری	۲۳۳۳ کیلووات ساعت	کل برق تولیدی توسط سلول‌های خورشیدی
۱۱۶۰۰ کیلوگرم	میزان سالیانه گاز دی‌اکسید کربن تولید شده	۵۹۸ دلار	هزینه هر کیلووات ساعت برق تولیدی توسط بهینه‌ترین حالت تولید انرژی از لحاظ اقتصادی
۲۶۹۰	تعداد ساعات کاری اینورتر	۶۸۳۲ ساعت	تعداد ساعات کارکرد ژنراتور
۲۷۰۲	تعداد ساعات کاری رکتی‌فایر	۲/۲ سال	عمر ژنراتور



شکل ۱۸: میزان هزینه شبکه بر حسب فاصله.

۷- نتیجه‌گیری

تاب‌آوری انرژی به‌عنوان یکی از ارکان اصلی تاب‌آوری ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی، نقش تعیین‌کننده‌ای در پایداری عملکردی سیستم‌های انسان‌ساخت ایفا می‌کند. در این پژوهش، ارزیابی اقتصادی-زیست‌محیطی و آنالیز حساسیت یک سیستم هیبریدی انرژی تجدیدپذیر برای یک ساختمان مسکونی خارج از شبکه در شهر همدان با استفاده از نرم‌افزار HOMER انجام شد. نتایج نشان داد که کمترین هزینه انرژی در شرایط قیمت سوخت ۰/۲ دلار و شدت تابش خورشیدی بیش از حدود ۴/۷ kWh/m²-day حاصل می‌شود که در این حالت، سیستم بهینه شامل یک سلول خورشیدی، چهار دیزل ژنراتور، یک باتری و یک مبدل است و حدود ۲۱ درصد انرژی مورد نیاز توسط منبع خورشیدی تأمین می‌گردد.



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



تحلیل حساسیت نشان داد که با افزایش قیمت سوخت، وابستگی صرف به دیزل ژنراتور موجب کاهش تاب‌آوری اقتصادی و افزایش هزینه انرژی می‌شود، در حالی که استفاده از سیستم‌های هیبریدی تجدیدپذیر می‌تواند پایداری تأمین انرژی را در شرایط عدم قطعیت بهبود بخشد. همچنین به دلیل پایین بودن سرعت باد در منطقه مورد مطالعه، نقش انرژی بادی در افزایش تاب‌آوری سیستم ناچیز ارزیابی شد. در مجموع، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که شهر همدان از نظر بهره‌برداری مؤثر از انرژی خورشیدی پتانسیل مناسبی دارد و به‌کارگیری سیستم‌های هیبریدی خورشیدی-دیزلی-باتری می‌تواند به‌عنوان راهکاری عملی برای افزایش تاب‌آوری انرژی ساختمان‌ها، کاهش ریسک عملکردی زیرساخت‌های حیاتی و ارتقای پایداری محیط‌های انسان‌ساخت در مناطق سردسیر ایران مورد توجه قرار گیرد.

مراجع

- 1- World Energy Outlook. Executive summary, 2016. <http://www.worldenergyoutlook.org/>.
- 2-Real options analysis for renewable energy investment decisions in developing countries. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Kyeongseok Kim, Hyoungbae Park, Hyoungkwan Kim.
- 3-Jahangiri, M., Nematollahi, O., Sedaghat, A., and Saghaian, M., "Techno-economical assessment of renewable energies integrated with fuel cell for off grid electrification: a case study for developing countries," Journal of Renewable and Sustainable Energy, Vol. 7, No. 2, pp. 023123-1-13, 2015.
- 4-Afsharzade N, Papzan A, Ashjaee M, Delangizan S, Van Passel S, Azadi H. Renewable energy development in rural areas of Iran. Renew Sust Energy Rev 2016;65:743–55.
- 5-Assessment of renewable energy resources in Iran; with a focus on wave and tidal energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Danial Khojasteh.
- 6-Factors impacting diverging paths of renewable energy: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Şerife Elif Can Şener, , Julia L. Sharpb, , Annick Ancil
- 7-Benefits and costs of renewable electricity in Europe. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 61, August 2016, Pages 372-383. MargaritaOrtega-Izquierdo.
- 8-The effects of the energy price reform on households consumption in Iran. Saeed Moshiri. Energy Policy. 79 (2015) 177–188
- 9-An assessment of Iran's natural gas potential for transition toward low-carbon economy. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Hamed Hafeznia. Fathollah Pourfayaz.
- 10-Factors impacting diverging paths of renewable energy: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- 11-Optimal deployment of renewable electricity technologies in Iran and implications for emissions reductions. Energy. Volume 91, November 2015, Pages 882-893.
- 12-A review on recent size optimization methodologies for standalone solar and wind hybrid renewable energy system. Energy Conversion and Management. Volume 143, 1 July 2017, Pages 252-274.
- 13-Dalwadi, P., Shrinet, V., Mehta, C.R. and Shah, P., 2011, December. Optimization of solar-wind hybrid system for distributed generation. In Engineering (NUiCONE), 2011 Nirma University International Conference on (pp. 1-4). IEEE.
- 14-Jahangiri, M., Rizi, R.A. and Shamsabadi, A.A., 2018. Feasibility study on simultaneous generation of electricity and heat using renewable energies in Zarrin Shahr, Iran. *Sustainable Cities and Society*, 38, pp.647-661.
- 15- Jahangiri, M., Khosravi, A., Raiesi, H.A. and Mostafaeipour, A., Analysis of Standalone PV-Based Hybrid Systems for Power Generation in Rural Area.
- 16-Case study: Simulation and optimization of photovoltaic-wind-battery hybrid energy system in Taleghan-Iran using HOMER software. JOURNAL OF RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY 4, 053111 (2012). A. Shiroudi.
- 17-Techno-economic feasibility of a photovoltaic-wind power plant construction for electric and hydrogen production: A case study. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 78, October 2017, Pages 113-123.
- 18-Economic analysis of standalone hybrid energy systems for application in Tehran, Iran. International Journal of Hydrogen Energy. Volume 41, Issue 19, 2016, Pages 7732-7743.
- 19- A systematic approach of bottom-up assessment methodology for an optimal design of hybrid solar/wind energy resources – Case study at middle east region. Energy Conversion and Management. Volume 145, 1 August 2017, 138-157.
- 20- Najafi G, Ghobadian B, Mamat R, Yusaf T, Azmi WH. Solar energy in Iran: current state and outlook. Renew Sustain Energy Rev 2015;49:931–42.



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



21-Renewable energies organization of Iran, <www.suna.org.ir>.

22-Jamieson Peter. Innovation in wind turbine design. John Wiley & Sons; 2011.

23- Saeidi D, Mirhosseini M, Sedaghat A, Mostafaeipour A. Feasibility study of wind energy potential in two provinces of Iran: North and South Khorasan. Renew Sust Energy Rev 2011;15:3558-69.

24- Chaparzadeh Feseqandis R. Feasibility of applying wind turbine for achieving sustainable development. In: Proceedings of 2th national conference of energy. vol2: Tehran, Iran; March 1999. Available from: (<http://www.irannec.com/conf8>).

25- Mirhosseini M, Sharifi F, Sedaghat A. Assessing the wind energy potential locations in province of Semnan in Iran. Renew Sustain Energy Rev 2011;15:449–59.

26-Geomodel Solar. <www.solargis.com>.

27-Jalali M, Khanlari ZV. Environmental contamination of Zn, Cd, Ni, Cu, and Pb from industrial areas in Hamadan Province, western Iran. Environ Geol 2008, 55:1537–1543.

28- Sanaye S, Aghaei Meybodi M, Chahartaghi M. Modeling and economic analysis of gas engine heat pumps for residential and commercial buildings in various climate regions of Iran. Energy and Buildings 2010, 42: 1129-1138.

29- www.chaharmahalmet.ir/iranarchive.asp.

30-NASA site.

31-<http://www.chbmet.ir/stat/archive/iran/ham/HAMEDANF/36.asp>