

MECHANICS OF SMART STRUCTURES

Available Online at: <http://jmss.qut.ac.ir/>



Feasibility and economic analysis of using wind turbines in the Rasht Industrial Park

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors

Vahid Rezaee*

Department of Mechanical Engineering,
Technical and Vocational University
(TVU), Tehran, Iran

Mojtaba Masomnezhad

Department of Mechanical
Engineering, Technical and Vocational
University (TVU), Tehran, Iran

* Correspondence

vrezaee@tvu.ac.ir

Article History

Received: 14 Nov, 2025

Accepted: 27 Apr, 2026

ePublished: 04 May, 2026

ABSTRACT

In this study, the potential of renewable energy from wind turbines in Rasht Industrial Park was evaluated using the HOMER software. The average wind speed in the Rasht Industrial Park is 6.58 meters per second, and 3 kW wind turbines can be used for electricity shortages during the hot months of the year. The HOMER software first determines the project location and then considers the electrical loads based on the type of load, i.e. industrial loads. HOMER software performs sensitivity analysis and system optimization based on economic data of discount rate, inflation rate and project life in accordance with the designed scenario. HOMER software provides the best economic system scenario and this has been done for 365 days of the year. The output results have been analyzed based on various tables and graphs. The results showed that the amount of electricity generated by 141 3 kW turbines is 722128 kWh per year and the levelized cost of energy (LCOE) was calculated to be \$0.167. Also, the total net present cost (NPC) was obtained to be \$16492240.

Keywords: Renewable energies; Wind turbine; Homer Software; Economic Feasibility.

کلید واژه‌ها

انرژی‌های تجدیدپذیر، توربین بادی، نرم‌افزار هومر، امکان‌سنجی اقتصادی.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۷

* نویسنده مسئول: vrezae@tvu.ac.ir

امکان‌سنجی و تحلیل اقتصادی استفاده از توربین‌های بادی در شهرک صنعتی رشت

وحید رضائی*

گروه آموزشی مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه ملی
مهارت، تهران، ایران

مجتبی معصوم‌نژاد

گروه آموزشی مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه ملی
مهارت، تهران، ایران

چکیده

در این پژوهش، پتانسیل انرژی تجدیدپذیر توسط توربین بادی در شهرک صنعتی رشت با نرم‌افزار HOMER ارزیابی شده است. متوسط سرعت باد در شهرک صنعتی رشت برابر با ۶.۵۸ متر بر ثانیه می‌باشد و می‌توان از توربین‌های بادی ۳ کیلوواتی برای کمبود برق در ماه‌های گرم سال استفاده کرد. توسط نرم‌افزار هومر ابتدا محل پروژه مشخص شده و سپس بارهای الکتریکی براساس نوع بار یعنی بارهای صنعتی در نظر گرفته می‌شود. نرم‌افزار هومر براساس داده‌های اقتصادی نرخ تنزیل پول، نرخ تورم و طول عمر پروژه مطابق با سناریو طراحی شده آنالیز حساسیت و بهینه‌سازی سیستم را انجام می‌دهد. نرم‌افزار هومر بهترین حالت سیستم اقتصادی را ارایه داده و این کار برای ۳۶۵ روز سال انجام شده است. نتایج خروجی براساس جداول و نمودارهای مختلف تحلیل شده است. نتایج نشان داد که مقدار برق تولیدی توسط ۱۴۱ عدد توربین ۳ کیلوواتی برابر ۷۲۲۱۲۸ کیلووات ساعت در سال می‌باشد و هزینه تراز شده انرژی (LCOE) برابر با ۰.۱۶۷ دلار محاسبه شد. همچنین کل هزینه خالص فعلی (NPC) ۱۶۴۹۲۲۴۰ دلار بدست آمده است.

۱ مقدمه

روند کنونی مصرف سوخت‌های فسیلی در جهان باعث می‌شود که این منابع در یک قرن آینده کاهش یابند. از سوی دیگر، استفاده از سوخت‌های فسیلی مشکلات زیست‌محیطی منفی مانند اثر گلخانه‌ای، آلودگی جو و آلودگی خاک و آب را به همراه دارد. بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه در سراسر جهان سیاست‌هایی را برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند باد و خورشید اتخاذ کرده‌اند تا وابستگی خود را به منابع انرژی تجدیدناپذیر کاهش دهند. انرژی‌های تجدیدپذیر یا به اصطلاح «سبز» مانند انرژی باد، خورشیدی، زمین گرمایی و آبی تمام نشدنی، پاک و رایگان هستند. انرژی‌های تجدیدپذیر حدود ۱۸ درصد از نیازهای انرژی نهایی جهان را تامین می‌کنند. توسعه فناوری در انرژی بادی کشور ایران را ترغیب کرده است تا با توجه به شرایط جغرافیایی خود به ویژه برای تولید برق به یکی از این انرژی‌ها روی آورند [۱]. اولین تجربه ایران در نصب توربین‌های بادی به سال ۱۳۷۳ بر می‌گردد. دو نیروگاه بادی ۵۰۰ کیلوواتی در منجیل و رودبار در استان گیلان در شمال ایران نصب شد. تولید سالانه نیروی بادی آنها بیش از ۱.۸ میلیون کیلووات ساعت است. میانگین سرعت باد در مناطق رودبار و منجیل به ترتیب ۱۵ متر بر ثانیه برای ۳۷۰۰ ساعت در سال و ۱۳ متر بر ثانیه برای ۳۴۰۰ ساعت در سال است. دومین تجربه موفق در سال ۱۳۷۸ بود که ۲۷ توربین بادی در منجیل، رودبار و هرزویل نصب شد. هرزویل نزدیک منجیل است که حدود ۱۳۰۰

متر از سطح دریا ارتفاع دارد و حدود ۵۰۰ متر از منجیل بالاتر است. منجیل دارای ۲۱ توربین بادی نصب شده است که یکی ۵۰۰ کیلووات، پنج عدد ۵۵۰ کیلووات و پانزده ۳۰۰ کیلووات است [۱-۳]. در مورد امکان‌سنجی انرژی‌های تجدیدپذیر مطالعاتی زیادی در ایران و جهان انجام شده است که مهمترین مقالات ارایه شده در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر باد با نرم‌افزار هومر در کشور ایران به صورت زیر می‌باشند.

مصطفایی‌پور و همکاران [۴] امکان‌سنجی انرژی بادی برای شهر بایک ایران را انجام دادند. با میانگین چگالی توان باد ۱۰۰ وات بر مترمربع، مشخص شد که شهر بایک مکان مناسبی برای ساخت نیروگاه‌های بادی در مقیاس بزرگ نیست، اما برای استفاده از سیستم‌های الکتریکی و مکانیکی بادی خارج از شبکه مناسب است. یک ارزیابی اقتصادی به منظور امکان‌سنجی نصب توربین‌های بادی کوچک انجام شد. سعیدی و همکاران [۵] امکان‌سنجی پتانسیل انرژی بادی در دو استان خراسان شمالی و جنوبی ایران را انجام دادند. در این تحقیق داده‌های اندازه‌گیری سرعت باد در سال ۱۳۸۶ در ارتفاعات ۱۰ متر، ۳۰ متر و ۴۰ متر برای دو استان خراسان شمالی و جنوبی، به منظور تعیین پتانسیل تولید برق بادی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته است. این مقاله پتانسیل انرژی بادی را در چهار پهنه این استان‌ها، بجنورد، اسفراین در استان خراسان شمالی، نهبندان و فدشک در استان خراسان جنوبی ارائه می‌کند. هدف پژوهش، ارزیابی مهمترین ویژگی انرژی باد در سایت‌های مورد مطالعه است. علمداری و همکاران [۶] ارزیابی انرژی باد در ایران را انجام دادند. در این تحقیق یک دوره ده دقیقه‌ای اندازه‌گیری داده‌های سرعت باد در سال ۱۳۸۶ در ارتفاعات ۱۰ متر، ۳۰ متر و ۴۰ متر برای نقاط مختلف ایران، به منظور تعیین پتانسیل باد مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته است. تولید برق شصت و هشت سایت مورد مطالعه قرار گرفته است. هدف مقاله، ارزیابی مهم‌ترین ویژگی‌های انرژی باد در سایت‌های مورد مطالعه است. نگرش‌های آماری به ما امکان می‌دهد میانگین سرعت باد، تابع

توزیع سرعت باد، میانگین چگالی توان باد و افزایش باد در سایت در سه ارتفاع مختلف تخمین زده شود. مصطفایی‌پور و همکاران [۷] ارزیابی پتانسیل انرژی بادی به عنوان منبع تولید برق در بینالود ایران را انجام دادند. در این مقاله، داده‌های اندازه‌گیری ساعتی سرعت باد برای سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۹ در ارتفاع ۱۰ متر، ۳۰ متر و ۴۰ متر برای منطقه بینالود ایران به منظور تعیین پتانسیل تولید برق بادی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته است. این مطالعه نشان داد که سرعت باد در دراز مدت نسبتاً بالا بود. نتایج نشان می‌دهد که بینالود دارای پتانسیل انرژی باد زیادی برای سیستم اتصال به شبکه است. دباغیان و همکاران [۸] ارزیابی پتانسیل انرژی بادی در استان بوشهر را انجام دادند. میانگین سالانه چگالی توان باد برای این مکان حدود ۲۶۵ وات بر متر مربع برای بادهای با ارتفاع ۴۰ متر است. تجزیه و تحلیل انرژی برای تعیین بهترین توربین‌های بادی برای هر مکان استفاده می‌شود. دوازده توربین بادی با ظرفیت‌های تولید از ۱ کیلووات تا ۱۰۰ کیلووات مورد بررسی قرار گرفته و ضریب ظرفیت سالانه و خروجی انرژی سالانه توربین‌های بادی محاسبه می‌شود. مقایسه نتایج برای توربین‌های بادی نشان می‌دهد که ۱۵ نقطه بالاترین ضریب ظرفیت را دارد و از نظر اقتصادی بهترین انتخاب برای همه مکان‌ها در نظر گرفته شده است.

مجتبی هراتیان و همکاران [۹] امکان‌سنجی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر باد و سلول‌های فتوولتائیک را برای سایت خسو^۱ با نرم‌افزار هومر را انجام دادند. نتایج تحلیل اقتصادی براساس در نظر گرفتن تابش خورشیدی، سرعت باد، مشخصات تقاضای الکتریکی و ویژگی‌های تجهیزات تعیین شد. نتایج نشان داد که مقرون به صرفه‌ترین پیکربندی در بین سیستم‌های مختلف انرژی تجدیدپذیر باتری فتوولتائیک است که مجموع هزینه خالص فعلی یا NPC برابر با ۸۱۷۳ دلار آمریکا و هزینه انرژی COE برابر با ۰.۵۴۶ دلار در کیلووات ساعت را دارد.

¹ KhshU Site-Iran

حداقل رساندن هزینه‌ها و اثرات زیست‌محیطی و در عین حال به حداکثر رساندن توان خروجی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که قزوین پتانسیل قابل توجهی برای اجرای سیستم‌های بادی دارد، به طوری که تقریباً ۱۵۲۲ کیلومتر مربع (۱۰ درصد) از منطقه مورد مطالعه به عنوان "بسیار مناسب تا مناسب" طبقه‌بندی شده است. در مقابل، تقریباً ۶۹۸۷ کیلومتر مربع (۴۰۱۹ درصد) از منطقه مورد مطالعه برای نصب سیستم‌های بادی کمتر مناسب یا نامناسب هستند. سیامک حسین‌زاده و فتح‌اله پورفیاض [۱۲] با استفاده از نرم‌افزار HOMER برای شبیه‌سازی‌ها، عملکرد و قابلیت اقتصادی سیستم‌های تجدیدپذیر را در ۱۵ شهر با شرایط آب و هوایی متنوع ارزیابی کردند. یافته‌ها پتانسیل قابل توجهی را در مناطقی مانند زاهدان، که شرایط باد مطلوب، قابلیت تجدیدپذیری را افزایش می‌دهد، برجسته می‌کند، در حالی که ساری با چالش‌هایی روبرو است که از منابع خورشیدی و بادی غیربهمینه رنج می‌برد. این تحلیل نشان می‌دهد که ترکیبی از منابع تجدیدپذیر می‌تواند به طور مؤثر بار الکتریکی روزانه ۵ مگاوات ساعت را تأمین کند، مشروط بر اینکه ظرفیت اجزا و هزینه‌های سرمایه‌گذاری را به دقت در نظر بگیرد. علیرضا احمدی و همکاران [۱۳] چهار منطقه آب و هوایی در ایران را بررسی کرده و انتخاب بین دو سیستم ذخیره‌سازی، باتری-هیدروژن و باتری-فلاپویل، را از طریق شبیه‌سازی و بهینه‌سازی دو مرحله‌ای ارزیابی کردند. نرم‌افزار HOMER PRO برای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی استفاده شد، در حالی که روش مبتنی بر حذف اثرات معیارها (MERECE) برای وزن‌دهی معیارها در تصمیم‌گیری، همراه با تکنیک ترتیب اولویت بر اساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل (TOPSIS) به کار گرفته شد. یافته‌ها نشان می‌دهد که سیستم باتری-هیدروژن به طور قابل توجهی مقرون به صرفه‌تر است و تا ۲۱۱۳۲۷ دلار در هزینه خالص فعلی (NPC) و ۰.۷۳۸ دلار در هزینه انرژی (COE) صرفه‌جویی می‌کند. علاوه بر این، سیستم باتری-هیدروژن وابستگی بیشتری به منابع انرژی تجدیدپذیر

مهدی جهانگیری و همکاران [۱۰] امکان‌سنجی تولید همزمان برق و گرما با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در زرین‌شهر ایران را انجام دادند. این مقاله با استفاده از نرم‌افزار HOMER به بررسی چهار سناریوی استفاده از انرژی‌های بادی، خورشیدی و زیست توده برای تولید همزمان برق و گرما در زرین شهر واقع در استان اصفهان پرداخته است. نتایج نشان داد که دریافت برق از شبکه سراسری در صورتی که محل مورد مطالعه کمتر از ۲/۵۸ کیلومتر از نقاط دسترسی به این شبکه فاصله داشته باشد نسبت به استفاده از زیست توده برتری دارد. امین میرزاخانی و همکاران ۲۰۲۳ با هدف شناسایی پتانسیل انرژی باد، خورشید و پیل سوختی (FC) در تأمین برق روستای واقع در استان سیستان و بلوچستان توسط نرم‌افزار هومر انجام شده است. سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت و ژنراتورهای دیزلی (DGs) و باتری‌ها به عنوان پشتیبان سیستم مورد استفاده قرار گرفتند. کار حاضر اولین پروژه هیبریدی تجدیدپذیر مبتنی بر پیل سوختی برای یک منطقه دورافتاده در یکی از اقلیم‌های ایران است و تحلیل‌های دقیق و به روز فنی، اقتصادی، انرژی و زیست محیطی نتایج را بسیار حائز اهمیت کرده است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که سیستم توربین DG-Wind ارزان‌ترین سیستم با قیمت هر کیلووات ساعت برق تولیدی معادل ۰.۷۳۵ دلار است. سیستم مبتنی بر پیل سوختی همچنین آلاینده‌های تولیدی را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. با هزینه ۱.۰۰۴ دلار به ازای هر کیلووات ساعت برق تولید شده و ۵۳ درصد از انرژی تجدیدپذیر بیشتر از سناریوی اقتصادی برتر استفاده می‌کند.

یگانه علی‌آبادی و همکاران [۱۱] با ارائه رویکردی برای شناسایی مکان‌های مناسب نیروگاه‌های بادی در استان قزوین، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره و نرم‌افزارهای فنی، به چالش‌های فعلی پرداختند. به عبارت دیگر، یک نیروگاه بادی با استفاده از نرم‌افزار HOMER برای ارزیابی فنی در دو منطقه در مکانی که توسط نرم‌افزار GIS شناسایی شده بود، مدل‌سازی کردند. بیست و یک عامل برای به

نشان می‌دهد و در مقایسه با سیستم باتری-فلائیویل تا ۲۳.۶ درصد افزایش می‌یابد.

در این پژوهش، امکان‌سنجی استفاده از انرژی بادی برای تولید برق در شهرک صنعتی رشت توسط نرم‌افزار HOMER انجام شده است. آنالیز اقتصادی براساس نرخ تنزیل پول ۲۰ درصد و نرخ تورم ۶۰ درصد انجام خواهد شد. همچنین طول عمر پروژه ۱۵ سال در نظر گرفته شد. نرم‌افزار هومر شبیه‌سازی را براساس ۸۷۶۰ ساعت در سال انجام می‌دهد.

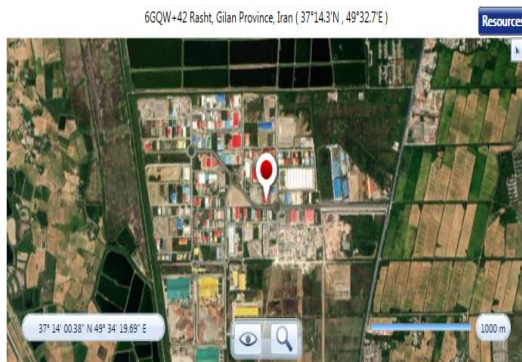
۱-۱ مدل‌سازی در نرم‌افزار هومر

نرم‌افزار هومر با هدف صرفه‌جویی در مصرف انرژی، انتقال تجهیزات به بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای طراحی شده است و به مهندسين کمک می‌کند تا با ارائه طرح‌های هوشمند و بهینه‌سازی تجهیزات فعلی بتوانند ضمن حفظ محیط‌زیست، هزینه‌های شبکه‌بندی را تا حد چشم‌گیری کاهش دهند. این نرم‌افزار از سه بخش اصلی شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و آنالیز حساسیت تشکیل شده است [۱۴]. نرم‌افزار ریزشبکه هومر پرو توسط هومر انرژی استاندارد جهانی برای بهینه‌سازی طراحی ریزشبکه در همه بخش‌ها، از برق دهکده‌ها و تاسیسات جزیره‌ای گرفته تا پردیس‌های متصل به شبکه و پایگاه‌های نظامی است. هومر پرو یا هومر (بهینه‌سازی ترکیبی انرژی‌های تجدیدپذیر چندگانه الکتریکی)، کار ارزیابی طرح‌ها را برای سیستم‌های برق خارج از شبکه و متصل به شبکه ساده می‌کند. تعداد زیاد گزینه‌های فناوری، تنوع در هزینه‌ها و در دسترس بودن منابع انرژی این تصمیمات را دشوار می‌کند. الگوریتم‌های بهینه‌سازی و تحلیل حساسیت هومر ارزیابی بسیاری از تنظیمات سیستم ممکن را آسان‌تر می‌کند.

برای استفاده از هومر، اطلاعاتی را در زیر دکمه Design انتخاب کرده و وارد می‌کنید تا ورودی‌های مدل شامل اجزا (مانند ژنراتور، باد و خورشید)، هزینه‌های اجزا و در دسترس بودن منابع

را در اختیار مدل قرار دهید. همچنین می‌توانید مؤلفه‌ها، منابع و بارهای جدیدی را در زیر دکمه Library اضافه کنید. وقتی روی دکمه محاسبه کلیک می‌کنید، هومر از این ورودی‌ها برای شبیه‌سازی پیکربندی‌های مختلف سیستم یا ترکیبی از اجزا استفاده می‌کند و نتایجی را تولید می‌کند که می‌توانید آنها را به‌عنوان فهرستی از پیکربندی‌های امکان‌پذیر طبقه‌بندی شده بر اساس هزینه فعلی خالص در زیر دکمه نتایج مشاهده کنید. همچنین نرم‌افزار هومر نتایج شبیه‌سازی را در طیف گسترده‌ای از جداول و نمودارها نمایش می‌دهد که به شما کمک می‌کند پیکربندی‌ها را مقایسه کنید و آن‌ها را بر اساس شایستگی‌های اقتصادی و فنی ارزیابی کنید. می‌توانید جداول و نمودارها را برای استفاده در گزارش‌ها و ارائه‌ها صادر کنید. همچنین می‌توانید از این مدل برای انجام تحلیل‌های حساسیت استفاده کنید تا تأثیراتی را که تغییر در عوامل، مانند در دسترس بودن منابع و شرایط اقتصادی، ممکن است بر اثربخشی هزینه پیکربندی‌های مختلف سیستم داشته باشد، بررسی کنید. برای انجام تجزیه و تحلیل حساسیت، مقادیر حساسیتی را به هومر ارائه می‌دهید که طیفی از در دسترس بودن منابع و هزینه‌های اجزا را توصیف می‌کند. هومر هر پیکربندی سیستم را با استفاده از محدوده مقادیر شبیه‌سازی می‌کند. شما می‌توانید از نتایج یک تحلیل حساسیت برای شناسایی عواملی که بیشترین تأثیر را بر طراحی و عملکرد یک سیستم قدرت دارند، استفاده کنید. همچنین می‌توانید از نتایج تجزیه و تحلیل حساسیت هومر برای پاسخ به سؤالات کلی در مورد گزینه‌های فناوری برای اطلاع‌رسانی تصمیمات برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری استفاده کنید.

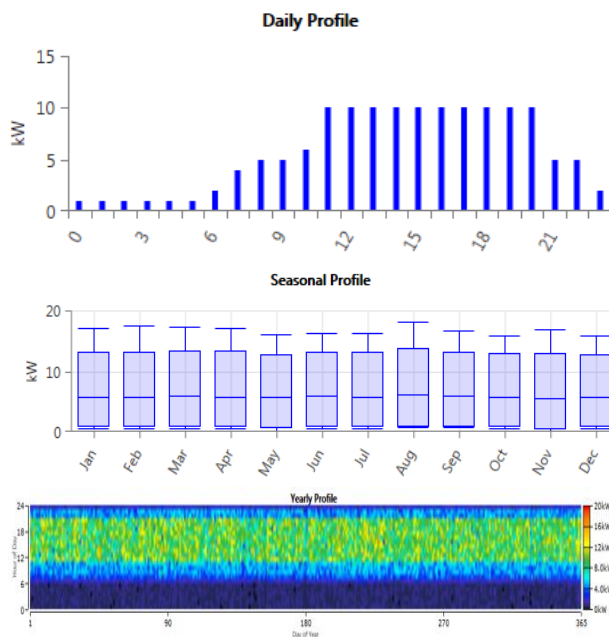
هومر با انجام محاسبات تراز انرژی در هر مرحله زمانی (بازه زمانی) سال، عملکرد یک سیستم را شبیه‌سازی می‌کند. برای هر مرحله زمانی، هومر تقاضای الکتریکی و حرارتی در آن مرحله زمانی را با انرژی که سیستم می‌تواند در آن مرحله زمانی تامین کند، مقایسه می‌کند و جریان انرژی به و از هر جزء از سیستم را محاسبه می‌کند. برای سیستم‌هایی که شامل باتری یا ژنراتورهای



شکل ۱ مختصات محل پروژه

۲-۱ مشخصات بارهای الکتریکی

در شکل ۲ مشخصات روزانه، ماهانه و سالانه بارهای الکتریکی که به صورت صنعتی می باشد، ارائه شده است. مقدار متوسط بارهای الکتریکی روزانه برابر با ۱۴۴ کیلووات در ساعت در روز می باشد. همچنین در ماههای گرم جولای و آگوست مصرف برق بالاست و قطع مکرر چندساعته در این شهرک وجود دارد.



شکل ۲ مشخصات بارهای الکتریکی

سوخت رسان هستند، هومر همچنین در هر مرحله زمانی تصمیم می گیرد که چگونه ژنراتورها کار کرده و باتری ها را شارژ یا دشارژ کند [۳].

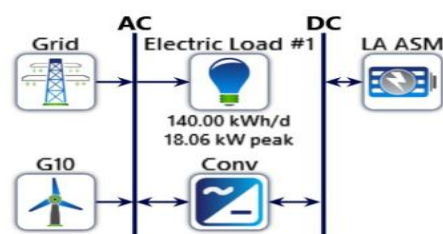
۲ مشخصات محل پروژه

شهر صنعتی رشت طبق مصوبات اولیه در وسعتی به میزان ۲۲۸۸ هکتار طراحی و ۵۲۰ هکتار آن آماده سازی و بخش عمده ای به متقاضیان واگذار گردیده است که با توجه به برنامه ریزی های انجام شده، بر اساس تقاضا قابل توسعه است. در حال حاضر تعداد ۲۸۰ واحد صنعتی در این شهرک وجود دارد که از این تعداد ۱۴۰ واحد در حال کار و ۱۱۰ واحد نیز در حال احداث هستند. شهر صنعتی رشت هم اکنون دارای پست برق ۶۳،۲۰ کیلووات به ظرفیت ۶۰ مگاوات ساعت است که با افزایش تجهیزات به ظرفیت ۸۰ مگاوات ارتقا و واگذار شده است. پست دوم شهر صنعتی به ظرفیت ۳۶۰ مگاوات در حال احداث است و شرکت برق متعهد است که با متقاضیان، قرارداد تأمین برق به میزان مورد نیاز منعقد نماید. همچنین ۱۰۰٪ خیابان های شهر صنعتی با شبکه ۲۰ کیلوولت تجهیز شده است و واحدهای صنعتی انشعاب خود را از جنب در ورودی تحویل می گیرند. به علت گرمای شدید در تابستان و کمبود برق در شهرک صنعتی رشت امکان سنجی انرژی های تجدیدپذیر در این منطقه به عنوان یک انرژی تولید برق ضروری به نظر می رسد. شکل ۱ محل پروژه با مختصات ۳۷،۱۴ درجه شمالی و ۴۹،۳۲ درجه شرقی را نشان می دهد.

۲-۳ مشخصات سیستم توربین بادی مدل‌سازی

شده در نرم‌افزار

در شکل ۵ شماتیک سیستم توربین بادی شامل توربین و کانورتر و مبدل را نشان می‌دهد. مشخصات این سیستم در شکل ۶ ارائه شده است.



شکل ۵ شماتیک طرح

Component	Name	Size	Unit
Wind turbine	Generic 3 kW	141	ea.
Grid	Grid	999,999	kW
Dispatch strategy	HOMER Cycle Charging		

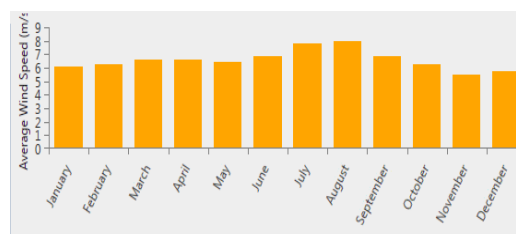
شکل ۶ مشخصات توربین بادی

۳ نتایج

مدل‌سازی اقتصادی در HOMER بر اساس به حداقل رساندن کل هزینه خالص فعلی (NPC) و هزینه یکسان شده انرژی (LCOE) است. این دو عامل اصلی اقتصادی بر هزینه کل سیستم که بر اساس سالانه محاسبه می‌شود، متکی هستند. این هزینه، هزینه سالانه قطعات است که شامل هزینه سرمایه سالانه، هزینه بهره‌برداری و نگهداری (O&M)، هزینه جایگزینی، و هزینه سالانه عملیات و نگهداری (O&M) سیستم منهای هر گونه هزینه متفرقه مانند انتشار CO₂ است. پارامتر NPC یک مفهوم ریاضی است در حالی که COE نوعی دلخواه است. مقدار هزینه توربین بادی و برق شبکه در شکل ۷ نشان داده شده است.

۲-۲ مقدار پتانسیل انرژی باد در محل پروژه

مقدار متوسط سالانه سرعت باد در شهر رشت برابر با ۶.۵۸ متر بر ثانیه می‌باشد. در شکل ۳ مقدار پروفایل باد در یک سال نشان داده شده است. همچنین در شکل ۴ مقدار عددی ماهانه سرعت باد در ۱۲ ماه سال ارائه شده است.



شکل ۳ پروفایل سرعت باد

Month	Average (m/s)
January	6.060
February	6.280
March	6.590
April	6.610
May	6.400
June	6.870
July	7.770
August	7.960
September	6.880
October	6.240
November	5.490
December	5.770
Annual Average (m/s): 6.58	

شکل ۴ مقدار عددی سرعت باد

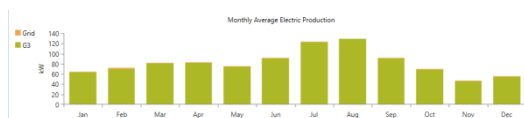
در تحلیل مقایسه اقتصادی شکل ۹ نشان می‌دهد که این طرح در انتهای طول عمر ۱۵ ساله خود برگشت سرمایه دارد.

Architecture				Cost	
	Grid (kW)	Conv (kW)	NPC (\$)	Initial capital (\$)	
Base system	999,999		\$700,625	\$0.00	
Current system	141	999,999	-\$16.5M	\$2.54M	

Metric	Value
Present worth (\$)	\$17,192,860
Annual worth (\$/yr)	\$125,396
Return on investment (%)	-4.5
Internal rate of return (%)	n/a
Simple payback (yr)	n/a
Discounted payback (yr)	14.06

شکل ۹ تحلیل اقتصادی

مقدار تولید الکتریسیته توسط برق شبکه و توربین بادی در شکل های ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۰ مقدار تولید برق

Production	kWh/yr	%
Generic 3 kW	713,105	98.8
Grid Purchases	9,023	1.25
Total	722,128	100

Quantity	kWh/yr	%
Excess Electricity	0	0
Unmet Electric Load	0	0
Capacity Shortage	0	0

Quantity	Value
Renewable Fraction	98.8
Max. Renew. Penetration	100

Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	51,100	7.08
DC Primary Load	0	0
Grid Sales	671,028	92.9
Total	722,128	100

شکل ۱۱ مقدار تولید و مصرف برق

در شکل ۱۲ مقدار تولید برق توسط توربین بادی نشان می‌دهد که تولید برق برابر با ۷۱۳۱۰۵ کیلووات ساعت در سال است. همچنین فاکتور ظرفیت برابر با ۱۹.۲ درصد است.



شکل ۷ مقدار هزینه اولیه

مقدار جریان نقدینگی یا cash flow در ۱۵ سال طول عمر پروژه شکل ۸ نشان می‌دهد که بیشترین هزینه برای سرمایه اولیه طرح می‌باشد. جریان نقدینگی مقدار پول نقد و غیر نقدی است که وارد یک سیستم شده یا از آن خارج می‌شود. این موضوع که روزانه چقدر درآمد و چقدر هزینه دارید و یا اینکه طی یک دوره کوتاه مدت زمانی (به عنوان مثال یک ماهه) چه مقدار پول به حساب کسب و کار شما وارد شده و چقدر از آن خرج می‌شود، مثال‌های ساده‌ای از جریان نقدینگی هستند. جریان نقدینگی مثبت به معنی ورود بیشتر پول نسبت به مقداری است که خارج می‌شود و به این معنی است که کسب و کار برای ادامه انجام فعالیت و پرداخت هزینه‌ها، پول کافی دارد. اگر شرکتی جریان نقدی مثبتی داشته باشد، دارایی‌های نقدینگی شرکت در حال افزایش است. جریان نقدینگی منفی به معنی ورود کمتر پول نسبت به خروج آن است. جریان نقدینگی منفی به این معنی است که شما بیش از میزان درآمد خود خرج می‌کنید و حتی ممکن است برای پرداخت هزینه‌هایتان نیاز به دریافت وام و یا قرض کردن پول داشته باشید. جریان نقدینگی از طریق جمع کردن جریان‌های پولی مثبت و منفی و سپس محاسبه کردن یک نسبت پولی به دست می‌آید.



شکل ۸ نمودار جریان نقدینگی

محاسبه می‌کند که برابر با کل خرید از شبکه منهای کل فروش از شبکه است. برای محاسبه میزان انتشار هر آلاینده مرتبط با این خریدهای شبکه، نرم‌افزار هومر خرید خالص از شبکه (برحسب کیلووات ساعت) را در ضریب انتشار (برحسب گرم بر کیلووات ساعت) برای هر آلاینده ضرب می‌کند. اگر سیستم در طول سال برق بیشتری نسبت به خرید از شبکه به شبکه بفروشد، خرید خالص از شبکه منفی است و میزان انتشار هر آلاینده مرتبط با شبکه نیز منفی است.

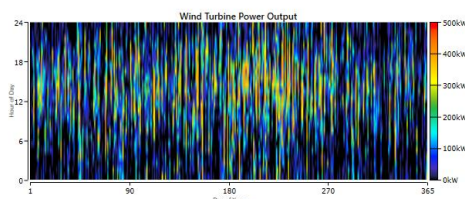
Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	5,702	kg/yr
Carbon Monoxide	0	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0	kg/yr
Particulate Matter	0	kg/yr
Sulfur Dioxide	24.7	kg/yr
Nitrogen Oxides	12.1	kg/yr

شکل ۱۵ انتشار آلودگی

جریان‌های نقدی اسمی سالانه جاری در ۱۵ سال طول عمر پروژه در شکل ۱۶ نشان می‌دهد در سال آخر پروژه بازگشت سرمایه داریم و با اینکه در سال مقدار زیادی هزینه اولیه انجام شده است اما این سیستم مقدار توان تولیدی مثبتی دارد. برای ۱۵ سال طول عمر پروژه نشان می‌دهد که فقط در سال اول تهیه توربین‌های بادی نیاز به سرمایه بسیار زیادی داریم و در سالهای بعد فقط هزینه تعمیر و نگهداری بسیار کمی باید پرداخت شود. به عبارت ساده‌تر، جریان نقدی اسمی به مقدار واقعی دلار پولی اشاره دارد که یک پروژه انتظار دارد بدون تعدیل تورم، آن را دریافت و پرداخت کند. این برای پیش بینی درآمد و هزینه‌های آینده مفید است. به عنوان مثال، اگر پروژه بخواهد در طول دو دهه آینده مبلغی را که برای پروژه خود هزینه خواهد کرد، پیش بینی کند، می‌تواند مبلغ هزینه کرد خود را به دلار بگیرد و از

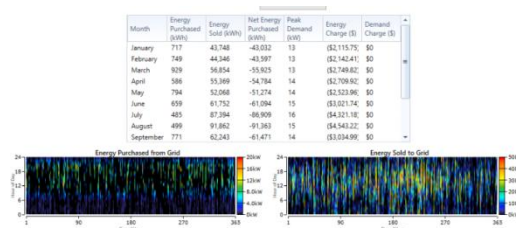
Quantity	Value	Units
Total Rated Capacity	423	kW
Mean Output	81.4	kW
Capacity Factor	19.2	%
Total Production	713,105	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	423	kW
Wind Penetration	1,396	%
Hours of Operation	7,142	hrs/yr
Levelized Cost	-0.123	\$/kWh



شکل ۱۲ تولید برق و فاکتور ظرفیت

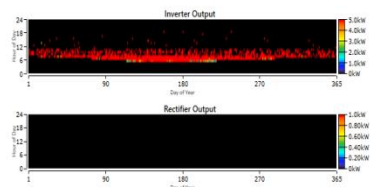
در شکل ۱۳ مقدار تولید برق توسط شبکه اصلی برق نشان می‌دهد که می‌توانیم مقدار زیادی از برق تولیدی را به دولت بفروشیم. مشخصات کانورتر در شکل ۱۴ نشان می‌دهد که ساعت کارکرد برابر با ۱۰۴۸ ساعت در سال می‌باشد. همچنین مقدار اتلافات برابر ۲۱۵ کیلووات ساعت در سال است.



شکل ۱۳ مقدار تولید و فروش برق شبکه

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	5.00	4.00	kW
Mean Output	0.588	0	kW
Minimum Output	0	0	kW
Maximum Output	5.00	0	kW
Capacity Factor	11.8	0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of Operation	1,048	0	hrs/yr
Energy Out	5,154	0	kWh/yr
Energy In	5,369	0	kWh/yr
Losses	215	0	kWh/yr



شکل ۱۴ مشخصات کانورتر

در شکل ۱۵ مقدار انتشار آلودگی نشان می‌دهد که مقدار کربن تولیدی ۵۷۰۲ کیلوگرم در سال می‌باشد. در شبیه‌سازی یک سیستم متصل به شبکه، نرم‌افزار هومر خرید خالص از شبکه را

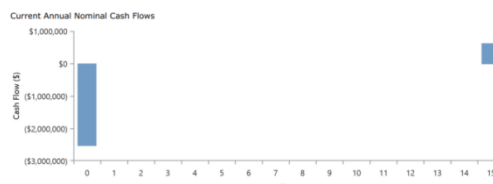
بادی ۳ کیلوواتی برای کمبود برق در ماههای گرم سال استفاده کرد. نتایج آنالیز اقتصادی براساس نرخ تنزیل پول ۲۰ درصد و نرخ تورم ۶۰ درصد بدست آمد. مهمترین نتایج این تحقیق به صورت زیر می باشند:

- مقدار تولید برق توسط ۱۴۱ عدد توربین بادی ۳ کیلوواتی برابر با ۷۲۲۱۲۸ کیلووات ساعت در سال می باشد که معادل ۹۸.۸ درصد برق تولیدی مورد نیاز پروژه می باشد.
- هزینه تراز شده انرژی (LCOE) برابر با ۰.۱۶۷ دلار می باشد. هزینه تراز شده انرژی یا هزینه تراز شده برق، معیار متوسط هزینه خالص فعلی تولید برق برای یک نیروگاه تولیدی در طول عمر آن است. هزینه تراز شده انرژی به عنوان نسبت بین کلیه هزینه های تخفیف خورده در طول عمر یک نیروگاه برق تقسیم می شود و بر مبلغ تخفیف داده شده از انرژی واقعی تحویلی تقسیم می شود.
- همچنین کل هزینه خالص فعلی (NPC) ۱۶۴۹۲۲۴۰ دلار می باشد. ارزش خالص فعلی یعنی تفاوت بین هزینه هایی که برای شروع یک سرمایه گذاری پرداخت می کنید و تمامی جریان های درآمدی که از آن سرمایه گذاری به دست می آید. اگر ارزش خالص فعلی یک پیشنهاد بزرگتر از صفر بود، آن پیشنهاد باید پذیرفته شود.

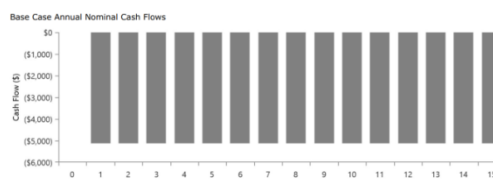
۵ منابع

- [1] Mostafaeipour A, Jadidi M, Mohammadi K, Sedaghat A. An analysis of wind energy potential and economic evaluation in Zahedan, Iran. Renewable and sustainable energy reviews. 2014 Feb 1;30:641-50.
- [2] Mohammadi K, Mostafaeipour A, Sabzpooshani M. Assessment of solar and wind energy potentials for three free economic and industrial zones of Iran. Energy. 2014 Apr 1;67:117-28.
- [3] Alamdari P, Nematollahi O, Mirhosseini M. Assessment of wind energy in Iran: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012 Jan 1;16(1):836-60.

میانگین افزایش سالانه اجاره برای پیش بینی میزان هزینه در سال های بعدی استفاده کند. در شکل ۱۷ جریان های نقدی اسمی سالانه مورد پایه در طول عمر ۱۵ سال نشان داده شده است.

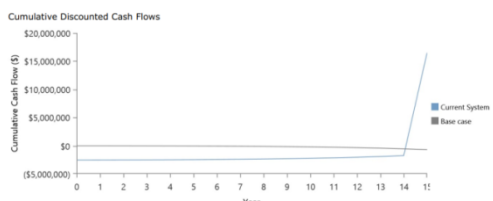


شکل ۱۶ جریان نقدی سالانه اسمی جاری



شکل ۱۷ جریان نقدی سالانه اسمی پایه

جریان های نقدی با تخفیف تجمعی در ۱۵ سال در شکل ۱۸ ارائه شده است. نتایج نمودار نشان می دهد که سیستم جاری در سال آخر خروجی مثبتی دارد.



شکل ۱۸ جریان نقدی یا تخفیف تجمعی

۴ نتیجه گیری و جمع بندی نهایی

در این مقاله امکان سنجی توربین های باید در شهرک صنعتی رشت براساس شرایط آب و هوایی و پارامترهای اقتصادی توسط نرم افزار Homer انجام شد. متوسط سرعت باد در شهرک صنعتی رشت برابر با ۶.۵۸ متر بر ثانیه می باشد و می توان از توربین های

- [14] Ahmadi A, Hajinezhad A, Fattahi R, Moosavian SF. Techno-Economic Comparison of Battery–Flywheel With Battery–Hydrogen Storage System in the Vicinity of Off-Grid HRES for Four Climates: MCDM Method. *Energy Science & Engineering*. 2025 May;13(5):2512-29.
- [15] Rezaee V, Shemshadi R. Feasibility study of using renewable energy sources for Technical and Vocational University of Guilan Using Homer software. *Journal of Energy Conversion*. 2024 Dec 10;11(3):1-4.
- [4] Mostafaeipour A, Sedaghat A, Dehghan-Niri AA, Kalantar V. Wind energy feasibility study for city of Shahrabak in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011 Aug 1;15(6):2545-56.
- [5] Saeidi D, Mirhosseini M, Sedaghat A, Mostafaeipour A. Feasibility study of wind energy potential in two provinces of Iran: North and South Khorasan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011 Oct 1;15(8):3558-69.
- [6] Alamdari P, Nematollahi O, Mirhosseini M. Assessment of wind energy in Iran: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012 Jan 1;16(1):836-60.
- [7] Mostafaeipour A, Sedaghat A, Ghalishooyan M, Dinpashoh Y, Mirhosseini M, Sefid M, Pour-Rezaei M. Evaluation of wind energy potential as a power generation source for electricity production in Binalood, Iran. *Renewable energy*. 2013 Apr 1;52:222-9.
- [8] Dabbaghiyan A, Fazelpour F, Abnavi MD, Rosen MA. Evaluation of wind energy potential in province of Bushehr, Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016 Mar 1;55:455-66.
- [9] Haratian M, Tabibi P, Sadeghi M, Vaseghi B, Poustdouz A. A renewable energy solution for stand-alone power generation: A case study of KhshU Site-Iran. *Renewable Energy*. 2018 Sep 1;125:926-35.
- [10] Jahangiri M, Rizi RA, Shamsabadi AA. Feasibility study on simultaneous generation of electricity and heat using renewable energies in Zarrin Shahr, Iran. *Sustainable Cities and Society*. 2018 Apr 1;38:647-61.
- [11] Mirzakhani A, Pishkar I. Finding the best configuration of an off-grid PV-Wind-Fuel cell system with battery and generator backup: a remote house in Iran. *Journal of Solar Energy Research*. 2023 Apr 1;8(2):1380-92.
- [12] Aliabadi Y, Noorollahi Y, Asgari O, Rezazadeh M, Moltames R. High share of renewables in energy system planning through integration of wind energy. *Energy Conversion and Management: X*. 2025 Apr 1;26:100899.
- [13] Hoseinzadeh S, Pourfayaz F. Comparative techno-economic analysis of using multisource renewable energy with flexible storage systems for various environments. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 2025 Mar;44(2):e14544.