

امکان‌سنجی استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر در دانشگاه مازندران

علی یوسفی روشن¹، احمدعلی ربیع نتاج درزی²

¹ مهندسی انرژی‌های تجدید پذیر، دانشکده مهندسی و فناوری، دانشگاه مازندران، بابل‌سر، ایران)
(Ali.yousefiroshan.1372@gmail.com

² مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی و فناوری، دانشگاه مازندران، بابل‌سر، ایران

چکیده.

در این تحقیق به بررسی استفاده انرژی‌های تجدید پذیر در دانشگاه مازندران در حالت متصل به شبکه و مستقل شبکه یک سیستم هیبرید پرداخته می‌شود، همچنین سعی شد که امکان‌سنجی¹ اقتصادی استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر در دانشکده علوم پایه دانشگاه مازندران با استفاده از نرم افزار هومر² مورد بررسی قرار گیرد. اطلاعات آب و هوایی مکان مورد نظر نیز به صورت آنلاین از سایت ناسا³ نرم افزار هومر لحاظ شد. سیستم‌های مورد نظر شامل پنل خورشیدی⁴، توربین بادی⁵، دیزل ژنراتور⁶، باتری⁷، اینورتر⁸ و شبکه⁹ هست تا هومر در انتها بهینه‌ترین سیستم ممکن را از لحاظ اقتصادی معرفی شده و امکان‌سنجی استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر در دانشکده علوم پایه مازندران مورد بررسی قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: انرژی تجدید پذیر¹⁰، دانشگاه مازندران، آنالیز اقتصادی¹¹

1. مقدمه

اقتصاد دنیا روز به روز در حال گسترش است و نیاز کشورها به انرژی رو به افزایش است، افزایش جمعیت شهری و کمبود سوخت‌های فسیلی مشکلات زیادی را برای جوامع گوناگون به وجود آورده است همچنین استفاده از سوخت‌های فسیلی مشکلات زیست محیطی متعددی را برای دنیا به وجود آورده است به خاطر همین کشورها استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر را از بعد اقتصادی، محیط زیستی، اجتماعی و... در اولویت خود قرار داده‌اند. [1]. استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر که هر ساله یک سوم نسبت به سال قبل رشد می‌یابد و رشد تولید برق از انرژی‌های تجدید پذیر در سال 2024 به 4500 گیگاوات می‌رسد که برابر با مجموع تولید برق ایالت متحده و چین است [2]. کشور ایران دارای منابع مختلف خورشیدی، بادی، برق آبی و... است در نتیجه استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر سبب کاهش آلودگی شده و نیازهای داخلی کشور را می‌تواند تا حد چشمگیری رفع کند [3]. حدود 4/92 درصد از برق مصرفی کشور ایران از طریق سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود که سهم زیادی در تولید آلودگی دارد که باید استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر در اولویت قرار گیرد [4].

¹ Feasibility

² Homer

³ Nasa

⁴ Solar panel

⁵ Wind Turbine

⁶ Diesel generator

⁷ Battery

⁸ inverter

⁹ Grid

¹⁰ Renewable Energy

¹¹ Economic Analysis

همچنین رشد و تقاضای استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر در دنیا تا سال 2040 رشد 37 درصدی خواهد داشت [5]. دنیا امروزه با شتاب بیشتری به سمت انرژی‌های تجدید پذیر حرکت می‌کند و مقالات زیادی با نرم‌افزار هومر برای بررسی امکان‌سنجی اقتصادی استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر صورت گرفته است که تعدادی از این مقالات به شرح زیر است:

- 1- در تحقیقی که در پاکستان با نرم‌افزار هومر انجام شد و نتایج این تحقیق نشان داد که سیستم فتوولتائیک-ژنراتور بیوگاز-باتری بهترین گزینه برای آن منطقه با هزینه حال حاضر 4.48 میلیون دلار هست که طول عمر پروژه 25 سال است و بازگشت سرمایه¹² آن 5/9 سال است [6].
 - 2- در تحقیقی که در اردبیل ایران با نرم‌افزار هومر صورت گرفت که پنل خورشیدی، دیزل، توربین بادی و باتری 4 راه‌حل ممکن برای آن منطقه می‌باشد که میانگین مصرف برق روزانه 02/11 کیلووات ساعت در روز بود و بیک تقاضای بار 370 وات پیش‌بینی شده بود مجموع هزینه خالص فعلی و هزینه همسطح انرژی 304380 دلار آمریکا و 471/0 دلار در هر کیلووات ساعت به دست می‌آید که سیستم هیبرید برق مصرفی منطقه مورد مطالعه را تأمین می‌کرد [7].
 - 3- در تحقیقی که در روستایی در کج بلوچستان با نرم‌افزار هومر صورت گرفت میانگین بار روزانه مصرفی 197.74 کیلووات ساعت در روز و اوج بار 27.84 کیلووات است که 4 توربین بادی 3 کیلوواتی، 103 کیلووات پنل خورشیدی، 224 عدد باتری 72 آمپر ساعتی و 29.1 کیلووات اینورتر برق منطقه را تأمین می‌کند [8].
 - 4- در تحقیقی که در لاگواجیرا کلمبیا انجام شد که توسط پنل خورشیدی و توربین بادی انجام شد 95 درصد انرژی‌های تجدید پذیر را تأمین می‌کند که مشوق‌های دولتی می‌تواند باعث انگیزه بیشتری به استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر شود و تولید کربن دی اکسید و گازهای دیگر را کاهش می‌دهد که از 441 کیلووات پنل خورشیدی و 3 توربین بادی بهترین سیستم هیبرید برای منطقه لاگواجیرا است که بهترین هزینه حال حاضر 8/11 میلیون دلار است [9].
 - 5- در تحقیقی که در یک روستا در کشور اتیوپی انجام شد بهینه ترین سیستم ممکن 110 کیلووات پنل خورشیدی، 40 کیلووات اینورتر، 5 کیلووات پیل سوختی، 25 کیلووات الکتروایزر، 1 توربین بادی 25 کیلوواتی و 1156 آمپر ساعت باتری بهینه ترین سیستم ممکن است که از برق تولید شده به کمک پیل سوختی می‌توان هیدروژن را تولید کرد [10].
- در تحقیقی که در دانشکده علوم پایه دانشگاه مازندران انجام شد سیستم‌های هیبریدی در دانشکده علوم پایه دانشگاه مازندران را در حالت متصل به شبکه و بدون شبکه در طول عمر¹³ 20، 25 و 30 مورد بررسی قرار داده تا بهینه‌ترین سیستم ممکن را در طول عمر پروژه‌های مختلف بررسی کرده تا امکان‌سنجی اقتصادی استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر در دانشگاه مازندران مورد بررسی قرار گیرد. در این گزارش از روش درآمد-هزینه¹⁴ در نرم‌افزار هومر استفاده شده است و از آنجاکه نرم‌افزار هومر، یک نرم‌افزار تحلیل اقتصادی در حوزه انرژی‌های تجدید پذیر است و تمام حالت‌های ممکن را بررسی کرده تا بهینه‌ترین سیستم ممکن را نشان می‌دهد.

در تحقیق انجام شده، مقدار مصرف برق یک سال دانشگاه علوم پایه مورد تحلیل قرار گرفت و به ساعات اوج بار¹⁵، کم باری¹⁶ و میان باری¹⁷ نیز در 24 ساعت شبانه‌روز در نرم‌افزار هومر

¹² Payback Cost

¹³ lifetime

¹⁴ Income-cost method

¹⁵ peak load

¹⁶ low load

¹⁷ Intermediate electrical

یوسفی و ربیع نتاج

لحاظ شد که در 6 ماه اول سال و 6 ماه دوم سال ساعات مختلفی دارد که مبنای محاسبه‌ی گزارش برحسب سال میلادی است. میانگین مصرف بار روزانه 8/2709 کیلووات ساعت در روز و میانگین بار 91/112 کیلووات شد و پیک بار نیز 5/268 کیلووات بدست آمد. همچنین ماه دسامبر بیشترین مصرف برق را در دانشگاه علوم پایه مازندران دارد که در جدول 1 آمده است.

جدول 1- مشخصات بار دانشکده علوم پایه دانشگاه مازندران

مقیاس شده	خط پایه	متریک
8/2709	8/2709	میانگین (کیلووات ساعت در روز)
91/112	91/112	میانگین (کیلووات)
5/268	5/268	پیک بار (کیلووات)
42/0	42/0	ضریب بار (درصد)

برای لحاظ نمودن هزینه‌ها و قیمت تجهیزات، استعلام بروزی از شرکت‌های معتبر گرفته شد و هزینه‌ها و مشخصات تجهیزات مختلف در نرم‌افزار هومر وارد شد، قیمت اولیه¹⁸، قیمت جایگزینی¹⁹ و قیمت تعمیرات و نگهداری²⁰ پنل برحسب دلار لحاظ شده است که مشخصات آن در جدول 2 آمده است. همچنین طول عمر پنل خورشیدی 25 سال در نظر گرفته شده است و هر سال 2/0 درصد از راندمان پنل خورشیدی کم می‌شود.

مشخصات	335 وات	1000 وات	جدول 1- قیمت اولیه، جایگزینی و تعمیرات و نگهداری پنل خورشیدی 1000000 وات
قیمت اولیه (دلار)	20/119	08/340	314600
جایگزینی (دلار)	20/119	08/340	314600
تعمیرات و نگهداری (دلار در سال)	19/1	48/3	6/314

قیمت اولیه، جایگزینی و تعمیرات نگهداری توربین بادی برحسب دلار در نرم‌افزار در جدول 3 آمده است. همچنین طول عمر توربین بادی 25 سال در نظر گرفته شده است.

جدول 2- قیمت اولیه، جایگزینی و تعمیرات و نگهداری توربین بادی

¹⁸ Initial Capital

¹⁹ Replacement

²⁰ Repair and Maintenance

مشخصات	قیمت
قیمت اولیه (دلار)	2500
جایگزینی (دلار)	2500
تعمیرات و نگهداری (دلار در سال)	50

قیمت اولیه، جایگزینی و تعمیرات نگهداری باتری برحسب دلار که در نرم افزار هومر لحاظ شد، در جدول 4 و جدول 5 آمده است. همچنین طول عمر باتری 5 سال و طول عمر اینورتر 10 سال در نظر گرفته شده است.

مشخصات	جدول 3- قیمت اولیه، جایگزینی و تعمیرات و نگهداری باتری قیمت
قیمت اولیه (دلار)	19/269
جایگزینی (دلار)	23/198
تعمیرات و نگهداری (دلار در سال)	5

جدول 4- قیمت اولیه، جایگزینی و تعمیرات و نگهداری اینورتر

مشخصات	2 کیلووات	50 کیلووات
قیمت اولیه (دلار)	72/180	73/4470
جایگزینی (دلار)	72/180	73/4470
تعمیرات و نگهداری (دلار در سال)	80/1	7/447

در این بخش هومر بین دیزل ژنراتور و ژنراتور گازسوز، دیزل ژنراتور را به ما پیشنهاد داد همچنین مشخصات دیزل ژنراتور نیز در جدول 6 برحسب دلار آورده شده است. لازم به ذکر است که قیمت سوخت دیزل در کشور ایران نسبت به میانگین جهانی بسیار پایین تر است.

جدول 5- قیمت اولیه، جایگزینی، تعمیرات و نگهداری دیزل ژنراتور و قیمت سوخت دیزل

مشخصات	335 وات
قیمت اولیه (دلار)	20/119
جایگزینی (دلار بر ساعت)	20/119
تعمیرات و نگهداری (دلار در سال)	19/1

یوسفی و ربیع نتاج

36/0	قیمت سوخت (دلار بر لیتر)
------	--------------------------

هزینه خرید و فروش از شبکه در ایران به ترتیب 0.008 دلار بر کیلووات ساعت و 0.04 دلار بر کیلووات ساعت است که نسبت به میانگین جهانی مقدار بسیار کمی است.

جهت بررسی دقیق تر و کاملتر، آنالیز حساسیت‌هایی در نظر گرفته شد که طول عمر پروژه را 20، 25 و 30 سال در نظر گرفته و طبق استعلام از بانک مرکزی نرخ بهره²¹ و نرخ تورم²² را به ترتیب 22 و 35 در نظر گرفته شد، همچنین جریمه انتشار²³ برای هریک از ذرات در جدول 7 آمده است [1].

جدول 6- جریمه انتشار آلاینده‌ها

نوع آلاینده	جریمه انتشار (دلار بر تن)
کربن دی‌اکسید	86/2
کربن مونواکسید	54
هیدروکربن‌های سوخته نشده	60
ذرات معلق	6/1228
سولفور دی‌اکسید	5/521
نیترژن اکسید	5/171

2. نتایج اصلی

همانطور که در بخش قبلی گفته شد در این مطالعه، استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر در دانشکده علوم پایه دانشگاه مازندران مورد بررسی قرار گرفته است و بهینه‌ترین سیستم‌های ممکن در حالت متصل به شبکه و بدون شبکه در طول عمر 20، 25 و 30 مورد تحلیل قرار گرفته است.

2.1. امکان‌سنجی استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر در حالت بدون شبکه در دانشکده علوم پایه دانشگاه مازندران.

در حالت بدون شبکه به علت بالا بودن نرخ تورم و نرخ بهره استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر هزینه‌بر است و هزینه حال حاضر²⁴ مثبت است که بهترین هزینه حال حاضر مربوط به سال 30 است نرم‌افزار هومر به علت برابر نبودن طول عمر تجهیزات و طول عمر پروژه، تعداد 24 گیگاوات پیل خورشیدی را سفارش داده که هم از لحاظ مکانی ایجاد چنین فضای در

²¹ Interest rate

²² Inflation

²³ emission penalty

²⁴ Net Present Cost

دانشگاه میسر نیست و مقدار زیادی انرژی به علت نبودن باتری هدر می‌رود زیرا با برابر بودن طول عمر پروژه و طول عمر باتری، خرید باتری صرفه اقتصادی نداشته است و 90 درصد از انرژی تولید شده توسط انرژی‌های تجدید پذیر از بین می‌رود همچنین در سال 30 با توجه به طول عمر دیزل ژنراتور استفاده از دیزل ژنراتور صرفه اقتصادی ندارد و در سال 20 و 25 فقط برای هزینه اسقاط و درآمدزایی گزارش شده است و همچنین دیزل ژنراتور روشن نشده و فقط برای هزینه اسقاط در سیستم قرار داده شده است و به علت جریمه انتشار اصلاً روشن نشده است و بیشتر هزینه اسقاط آن مدنظر قرار گرفته است در سال 20 نیز تعداد پنل خورشیدی کم‌تری گزارش شده است زیرا طول عمر پنل خورشیدی و طول عمر پروژه برابر شده است در نتیجه نرم‌افزار هومر فقط بعد اقتصادی را مدنظر قرار داده و عملاً رسیدن به سیستم بهینه با نرخ تورم و بهره بالا امکان‌پذیر نیست. در سال 25 نیز به علت برابر بودن طول عمر پروژه و طول عمر تجهیزات تعداد پنل کم‌تری گزارش شده است اما ایجاد فضایی برای 4 گیگاوات پنل خورشیدی امکان‌پذیر نیست.

جدول 7- بهینه‌ترین سیستم ممکن در طول عمرهای مختلف و هزینه حال حاضر در حالت بدون شبکه

هزینه حال حاضر (میلیون دلار)	بهینه‌ترین سیستم بدون شبکه	طول عمر پروژه
44/4	فتوولتائیک-دیزل-باتری	20 سال
3/11	فتوولتائیک-توربین بادی-دیزل-باتری	25 سال
91/3	فتوولتائیک-توربین بادی-باتری	30 سال

2.2. امکان‌سنجی استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر در حالت متصل به شبکه در دانشکده علوم پایه دانشگاه مازندران.

در حالت متصل به شبکه بهینه‌ترین هزینه حال حاضر سال 30 است که 7/47- میلیون دلار گزارش شده است که بدین معنی است که این سیستم برای دانشگاه ایجاد درآمد می‌کند، اما این سیستم 8130 کیلووات پنل خورشیدی گزارش داده است که امکان ایجاد چنین فضایی در دانشگاه وجود ندارد و 5/96 درصد از انرژی تولید شده توسط تجهیزات از بین رفته است چون با توجه به برابر بودن طول عمر باتری و طول عمر باتری، تعداد کمی گزارش شده است و پنل خورشیدی و دیگر تجهیزات فقط برای هزینه اسقاط گزارش شده است. همچنین به علت پایین بودن قیمت خرید برق از شبکه 6/86 درصد برق از شبکه خریداری شده است و مقدار کمی از انرژی تولید شده به شبکه فروخته شده زیرا با توجه به برابر بودن طول عمر باتری و طول عمر پروژه، باتری زیادی گزارش نشده است در نتیجه مقدار زیادی انرژی هدر می‌رود. در سال 20، 25 و 30 دیزل ژنراتور گزارش شده است که فقط برای هزینه اسقاط گزارش شده است. در سال 25 تعداد پنل کم‌تری گزارش شده است اما ایجاد فضا برای 2 گیگاوات پنل خورشیدی امکان‌پذیر نیست و 13 درصد از انرژی تولید شده توسط پنل خورشیدی به صورت انرژی اضافی از بین رفته است و 8/70 درصد از برق مصرفی توسط شبکه تأمین شده است در سال 20 نیز 8130 کیلووات پنل خورشیدی گزارش شده است که این سیستم صرفه فنی نداشته است.

جدول 8- بهینه‌ترین سیستم ممکن در طول عمرهای مختلف و هزینه حال حاضر در حالت متصل به شبکه

یوسفی و ربیع نتاج

هزینه حال حاضر (میلیون دلار)	بهینه‌ترین سیستم متصل به شبکه	طول عمر پروژه
-0/11	فتوولتائیک-توربین-دیزل-شبکه	20 سال
-8/6	فتوولتائیک-دیزل-شبکه	25 سال
-7/47	فتوولتائیک-توربین-دیزل-شبکه	30 سال

3. نتیجه‌گیری

در کشور ایران با توجه به بالا بودن نرخ تورم و نرخ بهره استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر به صرفه نیست زیرا بیشتر درآمذزایی سیستم صرف هزینه اسقاط شده که ملاک عملکرد فنی یک سیستم هیبرید تولید انرژی است و در وهله دوم درآمذزایی موردتوجه قرار می‌گیرد همچنین پایین بودن هزینه خرید برق از شبکه، تولید برق از انرژی‌های تجدید پذیر گران‌تر تمام می‌شود در نتیجه استفاده از آن انرژی‌های تجدید پذیر با مشکلات زیادی همراه است همچنین مشوق‌های دولتی، کاهش قیمت اولیه، دادن امکانات بلاعوض دولت، حذف مالیات و ... در تشویق جامعه به سمت انرژی‌های تجدید پذیر مؤثر است اما کافی نیست چون اقتصاد نقش به سزایی در گسترش انرژی‌های تجدید پذیر در ایران دارد.

مراجع

- [1] M. Jahangiri, R. A. Rizi, and A. A. Shamsabadi, "Feasibility study on simultaneous generation of electricity and heat using renewable energies in Zarrin Shahr, Iran," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 38, no. August 2017, pp. 647–661, 2018, doi: 10.1016/j.scs.2018.01.043.
- [2] IEA, "Renewable power growth is surging – driven by the global energy crisis and policy momentum." [Online]. Available: <https://www.iea.org/energy-system/renewables>
- [3] Fazelpour Farivar Soltani Nima, "Feasibility study of renewable energy resources and optimization of electrical hybrid energy systems: Case study for Islamic Azad University, South Tehran Branch, Iran," *Therm. Sci.*, 2017, doi: <https://doi.org/10.2298/TSCI150902218F>.
- [4] Y. Noorollahi, M. Pourarshad, and A. Veisi, "The synergy of renewable energies for sustainable energy systems development in oil-rich nations; case of Iran," *Renew. Energy*, vol. 173, pp. 561–568, 2021, doi: 10.1016/j.renene.2021.04.016.
- [5] S. Pahlavan, M. Jahangiri, and A. Alidadi, "Assessing the Current Status of Renewable Energies and Their Limitations in Iran," vol. 9, no. 1, pp. 97–105, 2020.
- [6] M. K. Shahzad, A. Zahid, T. Rashid, M. A. Rehan, M. Ali, and M. Ahmad, "Techno-economic feasibility analysis of a solar-biomass off grid system for the electrification of remote rural areas in Pakistan using HOMER software," *Renew. Energy*, vol. 106, pp. 264–273, 2017, doi: 10.1016/j.renene.2017.01.033.
- [7] G. Zhang, C. Xiao, and N. Razmjoooy, "Optimal operational strategy of hybrid PV/wind renewable energy system using homer: a case study," *Int. J. Ambient Energy*, no. 0, pp. 1–33,

2020, doi: 10.1080/01430750.2020.1861087.

- [8] J. Ahmed, K. Harijan, P. Hameed Shaikh, and A. Ali Lashari, “Techno-economic Feasibility Analysis of an Off-grid Hybrid Renewable Energy System for Rural Electrification,” *J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 9, no. 1, p. 7, 2021, doi: 10.11648/j.jeee.20210901.12.
- [9] A. Arango-manrique and N. Ricardo, “HOMER Pro ® : A Case Study in Colombia,” *Energies*, pp. 1–19, 2020.
- [10] M. Hailu Kebede and G. Bekele Beyene, “Feasibility Study of PV-Wind-Fuel Cell Hybrid Power System for Electrification of a Rural Village in Ethiopia,” *J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/4015354.
- [11] M. A. V. R. G. P. R. S. M. M. A. Rad, “Techno-economic analysis of a hybrid power system based on the cost-effective hydrogen production method for rural electrification, a case study in Iran,” *ENERGY*, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116421>.

الزامات اخلاقی نگارش مقاله

نویسنده/ ارسال کننده مقاله آقای علی یوسفی روشن متعهد می‌شود:

- مقاله ارسالی حاصل کار پژوهشی ایشان (و همکاران) بوده و در مواردی که از دستاوردهای تحقیقاتی دیگران استفاده شده، مطابق ضوابط و رویه معمول، مشخصات منابع مورد استفاده درج شده است.

- مقاله ارسالی (یا ترجمه آن) و مقاله‌ای با همپوشانی قابل توجه با این مقاله قبلاً در هیچ مجله و یا کنفرانسی ارائه نشده و به طور همزمان نیز در حال ارزیابی در مجله یا کنفرانس دیگری نیست.

- همه نویسندگان مقاله از کلیه محتویات علمی و نیز ترتیب قرارگیری نام و مشخصات و وابستگی شغلی خود در مقاله آگاهی و رضایت کامل دارند.

- چنانچه هر زمان خلاف موارد فوق و یا بروز هرگونه تقلب یا تخلف پژوهشی در رابطه با این مقاله اثبات شود، عواقب ناشی از آن متوجه نویسنده مقاله است و دبیرخانه کنفرانس مجاز است با ایشان (و همکاران) مطابق با ضوابط و مقررات رفتار نموده و هیچ‌گونه ادعایی قابل قبول نخواهد بود.

محل امضا

