



## بررسی فنی-اقتصادی تامین آب شیرین در مناطق محروم ایران با استفاده از سیستم‌های هیبرید انرژی - مطالعه موردی: روستای تلنگ در سیستان و بلوچستان

محمد امین وزیری راد<sup>۱\*</sup>، سیده آمنه سجادی<sup>۲،۳</sup>، فهیمه سلیمی کوچی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری مهندسی سیستم‌های انرژی - گروه انرژی‌های نو و محیط زیست - دانشکده علوم و فنون نوین - دانشگاه تهران

۲- گروه زراعت، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

\* aminvazirirad@ut.ac.ir: نویسنده مسئول

### چکیده

کمبود انرژی و کمبود آب دو چالش جهانی جدی در روستاهای محروم می‌باشند. امروز استفاده از تکنولوژی‌های شیرین کننده آب‌های سطحی به یک راه حل ایده آل به منظور حل مشکل کمبود آب آشامیدنی در مناطق دور افتاده تبدیل شده است اما کمبود دسترسی به انرژی استفاده از آنها را محدود ساخته است. در این مطالعه به منظور تامین توان مورد نیاز یک دستگاه اسمز معکوس شیرین‌سازی آب، سیستم هیبرید متشکل از پنل خورشیدی، توربین بادی، دیزل ژنراتور و باتری مورد ارزیابی تکنیکی و اقتصادی قرار گرفت. نتایج خروجی از نرم افزار HOMER نشان داد، سیستم هیبرید انرژی متشکل از ترکیب این تکنولوژی‌ها با هزینه انرژی معادل ۰/۸۳ دلار بر کیلووات ساعت و بیش از ۴۵ درصد تولید انرژی از منابع تجدیدپذیری می‌تواند به شکل مقرون به صرفه انرژی دستگاه پاک‌سازی آب را تامین نماید و از مصرف سالیانه بیش از ۴۷۰۰ لیتر سوخت دیزل جلوگیری نماید. همچنین حاضر هزینه تولید آب شیرین از سیستم توسعه داده شده در حدود ۰/۹۵ دلار بر متر مکعب است که با نصف شدن قیمت تکنولوژی اسمز معکوس می‌تواند به کمتر از ۰/۶ دلار بر متر مکعب برسد. این نتایج نشان دهنده قابلیت مناسب استفاده از سیستم‌های هیبرید به منظور تامین آب شیرین مناطق محروم ایران بوده است.

واژگان کلیدی: شیرین‌سازی آب، سیستم‌های هیبرید، مناطق محروم، انرژی تجدیدپذیر



## Techno-economic Evaluation of Fresh Water Supply in Deprived Areas of Iran by Using Hybrid Energy Systems - Case Study: Talang Village in Sistan and Baluchestan

Mohammad Amin Vaziri Rad<sup>1\*</sup>, Seyedeh Ameneh Sajjadi<sup>2,3</sup> Fahimeh Salimi Kuchi<sup>3</sup>

1- Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Department of Agronomy, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.

3- M. Sc. Student, Department of New Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

Corresponding Author: aminvazirirad@ut.ac.ir\*

### Abstract

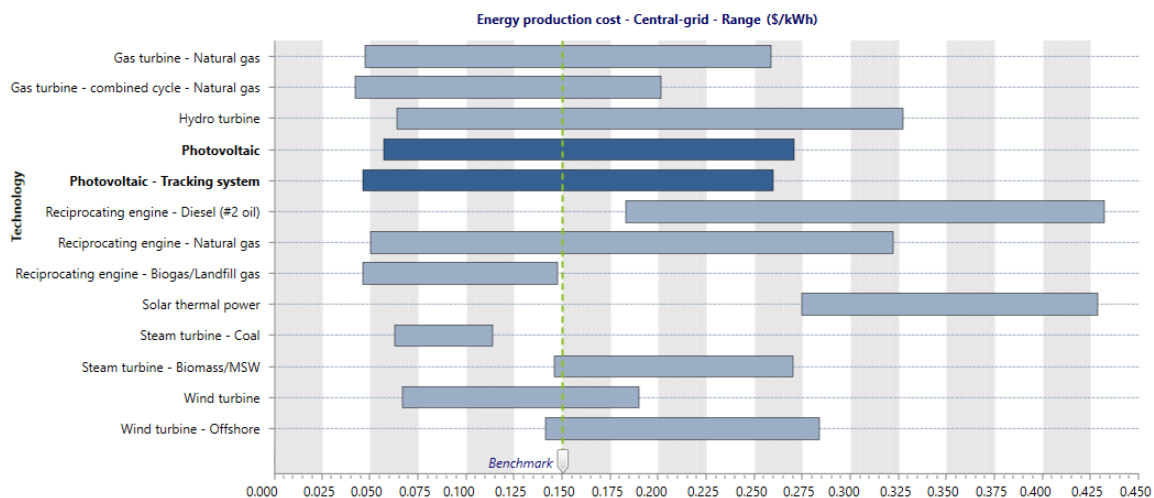
Energy shortages and water deficit are two serious global challenges in deprived villages. Today, the use of surface water treatment technologies has become an ideal solution to the problem of shortage of drinking water in remote areas, but low accessibility of energy has limited their usages. In this study, in order to provide the required power of a reverse osmosis brackish water desalination device, a hybrid system consisting of solar panel, wind turbine, diesel generator and battery was evaluated techno-economically. The results of HOMER software showed that the hybrid energy system consisting of a combination of these technologies with an energy cost of 0.083 \$/kWh and more than 45% of energy production from renewable sources can be an affordable water purifier. This efficient system can prevent the annual consumption of more than 4700 liters of diesel fuel. Also, the cost of fresh water production from the proposed system is about 0.95 \$/m<sup>3</sup>, which can be reduced to less than 0.6 \$/m<sup>3</sup> by halving the price of reverse osmosis technology. These results indicate the appropriate ability to use hybrid systems for supply fresh water in deprived areas of Iran.

**Keywords:** Water desalination, Hybrid system, deprived areas, Renewable energy



## ۱- مرور ادبیات

امروزه دولت‌ها هیبریدسازی منابع تجدیدپذیر با منابع انرژی فسیلی به منظور تامین تقاضای بار الکتریکی مورد نیاز مناطق دورافتاده را یک راهکار کارآمد برای کاهش هزینه‌های تأمین انرژی و همچنین بهبود کیفیت زندگی ساکنان این مناطق تبدیل شده است. از سوی دیگر با توجه به محدودیت منابع فسیلی و آلاینده‌گی ناشی از آنها استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر برای ناحیه‌هایی که به شبکه برق سراسری دسترسی ندارند و یا با مشکل قطعی مکرر برق (قابلیت اطمینان پایین شبکه) روبرو هستند، به عنوان یک راه حل ایده آل شناخته می‌شود [1]. ایران به عنوان کشوری با متوسط تابش ۵/۵-۵/۱ کیلووات ساعت بر متر مربع در روز و بیش از ۳۰۰ روز آفتابی در سال و همچنین پتانسیل بادی مناسب به عنوان یک از کشورهای با قابلیت بالای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر شناخته می‌شود. اگر این انرژی‌ها دارای ماهیت متناوب هستند و برای بهبود قابلیت اطمینان آنها اغلب از باتری‌ها و یا ژنراتورهای سوخت فسیلی استفاده می‌گردد [2]. شکل (۱) نشان‌دهنده هزینه تولید انرژی از تکنولوژی‌های متداول جهان در ابعاد نیروگاهی است. همانطور که مشاهده می‌کنید تکنولوژی فتوولتائیک دارای بازه عددی وسیعی است که مهمترین دلیل آن تفاوت در پتانسیل تابش خورشیدی مناطق، تفاوت در شرایط اقتصادی و گوناگونی در سطح تکنولوژی در دسترس آن در کشورهای مختلف می‌باشد.



شکل (۱) هزینه تولید انرژی در ابعاد نیروگاهی به وسیله تکنولوژی‌های انرژی متداول جهان [3]

دسترسی به آب آشامیدنی پاک و سالم با توجه به نرخ سریع رشد جمعیت، کمبود منابع آبی در کشور، اقلیم گرم و خشک قالب در ایران و همچنین وجود مناطق محروم یک چالش ملی به حساب می‌آید. البته این یک مشکل جهانی نیز می‌باشد زیرا تنها یک درصد از کل منابع آبی جهان را آب‌های شیرین تشکیل داده‌اند. تامین آب آشامیدنی برای مناطق دور افتاده و کم جمعیت یک فرآیند پرهزینه برای دولت‌ها می‌باشد که در بسیاری از مواقع به دلیل در اولویت نبودن این مناطق کیفیت بهداشت و زندگی ساکنان آن‌ها رو به کاهش می‌گراید. براساس اطلس مناطق محروم ایران منتشر شده در سال ۱۳۹۶ حدود ۰/۹ درصد از مناطق محروم کشور فاقد دسترسی به منابع آبی هستند و همچنین متاسفانه حدود ۵۶/۷ درصد این مناطق نیز تنها دارای دسترسی فصلی به منابع آبی مناسب هستند، از سوی دیگر حدود ۷۵ درصد این مناطق نیز دارای بارندگی کمتر از ۴۰۰ میلی‌متر در سال هستند لذا توجه به تامین آب شیرین با استفاده از تکنولوژی‌های پذیرفته شده در دنیا می‌تواند یک اولویت برای کشور باشد. تکنولوژی‌های متداول شیرین‌سازی آب مانند تبخیرکننده‌ها، الکترو دیالیز و اسمز معکوس به عنوان راه حلی برای تامین



آب آشامیدنی روستاها بصورت مستقل معرفی شده‌اند. اما تمامی این سیستم‌ها مصرف‌کننده انرژی بوده و استفاده از آنها در مناطق محروم یک معضل می‌باشد [4]. بنابراین ترکیب سیستم‌های هیبرید انرژی تجدیدپذیر و تکنولوژی‌های شیرین‌سازی آب یک گزینه جذاب جهت تامین آب شیرین بصورت مستقل از شبکه سراسری برق خواهد بود. طی سالیان اخیر مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است که به مرور برخی از آنها خواهیم پرداخت.

ایبراهیم و همکاران [5] با استفاده از یک سیستم هیبرید متشکل از پنل خورشیدی، دیزل ژنراتور، توربین آبی و باتری، انرژی مورد نیاز یک دستگاه نمک زدایی آب اسمز معکوس (با ظرفیت کوچک) را تامین کردند. نتایج آنها نشان داد این سیستم با هزینه انرژی ۰/۱۲ دلار بر کیلووات ساعت و همچنین هزینه تولید آب شیرین ۰/۵۶ دلار بر متر مکعب، یک سیستم مناسب جهت تامین آب شیرین در مناق روستایی مصر می‌باشد. همچنین نتایج آنها نشان داد در مناطقی مانند مصر که دارای پتانسیل تابشی بالایی هستند، وجود پنل فتوولتائیک در سیستم هیبرید به شکل قابل توجهی در کاهش هزینه انرژی سیستم موثر خواهد بود. در مطالعه دیگری در کشور مصر به منظور تامین آب شیرین در ظرفیت‌های بزرگ، عطاالله و همکاران [6] با استفاده از یک سیستم هیبرید متشکل از پنل خورشیدی، دیزل ژنراتور، توربین بادی و باتری اقدام به تامین انرژی یک دستگاه اسمز معکوس با ظرفیت ۱۰۰ متر مکعب در روز کردند. نتایج نشان داد این سیستم هیبرید با نصب ۱۶۰ کیلووات پنل خورشیدی می‌تواند به هزینه انرژی ۰/۱۰۷ دلار بر کیلووات

ساعت دست پیدا کند. با مقایسه دو مطالعه اخیر می‌توان دریافت که با افزایش ظرفیت دستگاه شیرین‌سازی آب استفاده از سیستم هیبرید انرژی به صرفه‌تر خواهد شد اما هزینه نصب اولیه سیستم نیز به مراتب بیشتر خواهد شد. کریمی و همکاران [7] به مقایسه مصرف انرژی سیستم‌های شیرین‌سازی آب اسمز معکوس (RO) و الکترو دیالیز معکوس (EDR) پرداختند، همچنین با استفاده از نرم افزار HOMER به شبیه‌سازی تکنیکی و اقتصادی تامین انرژی آنها پرداختند. نتایج آنها نشان داد که سیستم RO با هزینه انرژی ۰/۱۶ دلار بر کیلووات ساعت از سیستم EDR با هزینه انرژی حدوداً ۰/۱۷۵ دلار بر کیلووات ساعت به صرفه‌تر است. این نتایج نشان‌دهنده دلیل متداول تر بودن سیستم‌های اسمز معکوس به منظور تامین دیماندر روستایی می‌باشند. مصطفایی پور و همکاران [8] نیز با استفاده از سیستم پنل فتوولتائیک و باتری اقدام به تامین توان دستگاه اسمز معکوس در بوشهر نمودند. تحقیقات آنها نشان داد هزینه اولیه دستگاه اسمز معکوس به منظور قابل آشامیدنی سازی آب‌های محلی چیزی در حدود ۸۰ الی ۹۰ هزار دلار می‌باشد، که هزینه نهایی تامین آب مابین ۱/۹۶ دلار بر متر مکعب و ۳/۰۲ دلار بر متر مکعب خواهد بود. در مطالعه‌ای دیگر وزیری و همکاران [9] به بررسی قابلیت تامین آب شیرین مناطق زلزله زده با استفاده از دستگاه اسمز معکوس پرداختند. در این مطالعه که هدف تامین همزمان برق مورد نیاز در کانتینرهای مسکونی حادثه دیدگان و همچنین تامین آب آشامیدنی آنها بود، استراتژی‌های متفاوت جهت کنترل و همچنین رسیدن به سیستمی هیبرید با حداقل هزینه انرژی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد سیستمی شامل پنل خورشیدی، توربین بادی، دیزل ژنراتور، بایودیزل ژنراتور و باتری می‌تواند یک گزینه مناسب برای تامین توان مناطق حادثه دیده باشد. البته استفاده از توربین بادی در مناطق دارای پتانسیل پایین بادی نسبت به سایر منابع اصلاً به صرفه نبوده و می‌تواند با ظرفیت بیشتر پنل و یا ژنراتور جایگزین گردد. دستاورد این پژوهش نشان داد با رویکرد کوتاه مدت هزینه انرژی مابین ۰/۱۶۷ الی ۰/۱۶۰ دلار بر کیلووات ساعت بدست می‌آید، ولی با رویکرد بلند مدت به سیستم‌های انرژی این مقدار به شکل قابل توجهی به ۰/۱۳۰ الی ۰/۱۴۹ دلار بر کیلووات ساعت کاهش می‌یابد. این نتایج نشان دهنده اهمیت برنامه ریزی بلند مدت دولت برای استفاده از منابع تجدیدپذیر می‌باشد.

در این مطالعه با توجه به وجود مناطق محروم زیاد با محدودیت منابع آبی در استان سیستان و بلوچستان، روستای تلنگ جهت



تامین انرژی مورد نیاز برای فراهم سازی آب آشامیدنی مصرفی ساکنان با استفاده از دستگاه اسمز معکوس مورد بررسی قرار گرفت. جهت آنالیز تکنیکی و اقتصادی تامین انرژی دستگاه مذکور، سیستمی هیبرید شامل پنل خورشیدی، توربین بادی، دیزل ژنراتور و باتری با استفاده از نرم افزار HOMER شبیه سازی گردید. و انواع آنالیزهای حساسیت به منظور ایجاد قابلیت تعمیر نتایج به سایر مناطق محروم کشور مورد بررسی قرار گرفت. امید است نتایج این مطالعه گامی موثر جهت تامین منابع آبی در مناطق دور از شبکه سراسری برق باشد.

## ۲- روش تحقیق

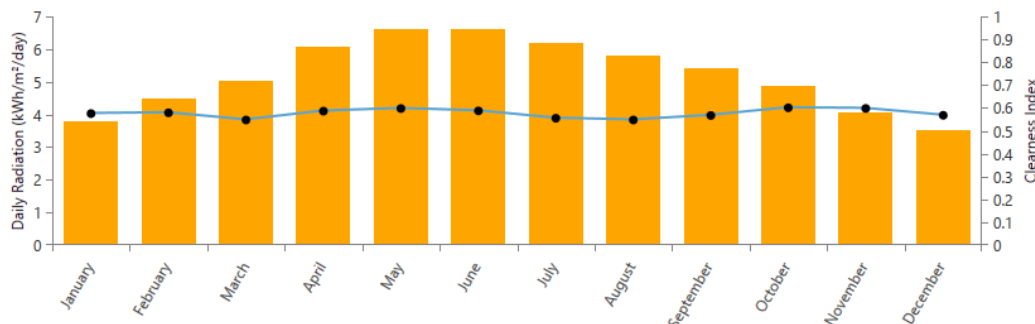
### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، روستای تلنگ از توابع بخش تلنگ شهرستان قصرقند در استان سیستان و بلوچستان می باشد. بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ این روستا دارای جمعیتی در حدود ۵۵۰ نفر (حدود ۱۵۰ خانوار) است. اقلیم این منطقه بصورت بیابانی و خشک بوده که دارای تابش خورشیدی بسیار مناسبی نیز می باشد. شکل (۲) نشان دهنده نقشه این روستا است. اقلیم گرم و خشک و قرارگیری در یک ناحیه محروم موجب شده تامین آب شیرین به یک نیاز اساسی برای ساکنان این منطقه تبدیل شود، اگر چه نبود دسترسی مناسب به برق نیز موجب کاهش کیفیت زندگی در روستای تلنگ گشته است.

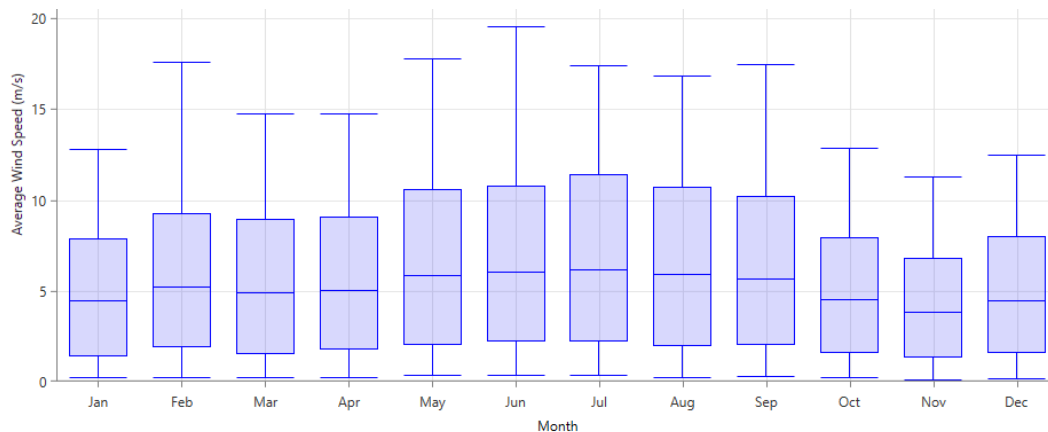


شکل (۲) نمای گوگل مپ روستای تلنگ در استان سیستان و بلوچستان

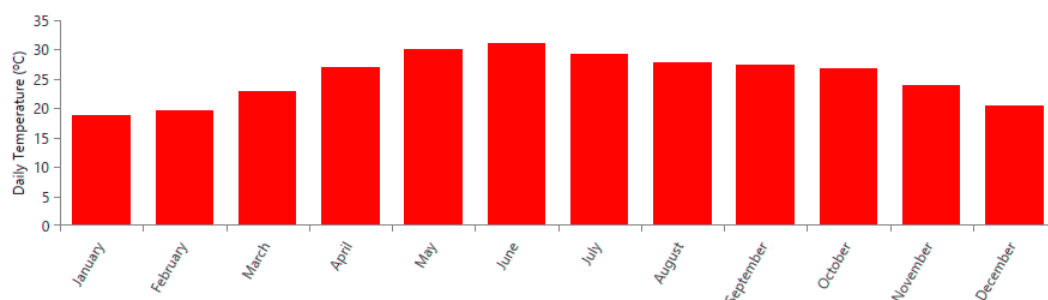
شکل (۳) نشان دهنده متوسط تابش خورشیدی ماهیانه روستای مورد بررسی است، متوسط سالیانه تابش خورشیدی این منطقه  $5/2 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$  می باشد. شکل (۴) نشان دهنده متوسط سرعت وزش باد ماهیانه است، بر این اساس متوسط سالیانه سرعت وزش باد در این منطقه در حدود  $5/3 \text{ m/s}$  می باشد. در نهایت شکل (۵) نشان دهنده متوسط روزانه دمای هر ماه در روستای تلنگ می باشد. بر این اساس متوسط سالیانه دما در حدود  $25/4 \text{ }^\circ\text{C}$  است. این آمار با دانستن پتانسیل سوخت رسانی مناسب به این منطقه که نزدیک مرزهای کشور است، نشان دهنده پتانسیل مناسب استفاده از سیستم های هیبرید انرژی است [10].



شکل (۳) متوسط ماهیانه تابش خورشیدی در روستای تلنگ بر حسب کیلووات ساعت بر متر مربع بر روز



شکل (۴) متوسط ماهیانه سرعت وزش باد در روستای تلنگ بر حسب متر بر ثانیه



شکل (۵) متوسط روزانه دمای محیط در روستای تلنگ بر حسب درجه سلسیوس

## ۲-۲- سیستم هیبرید

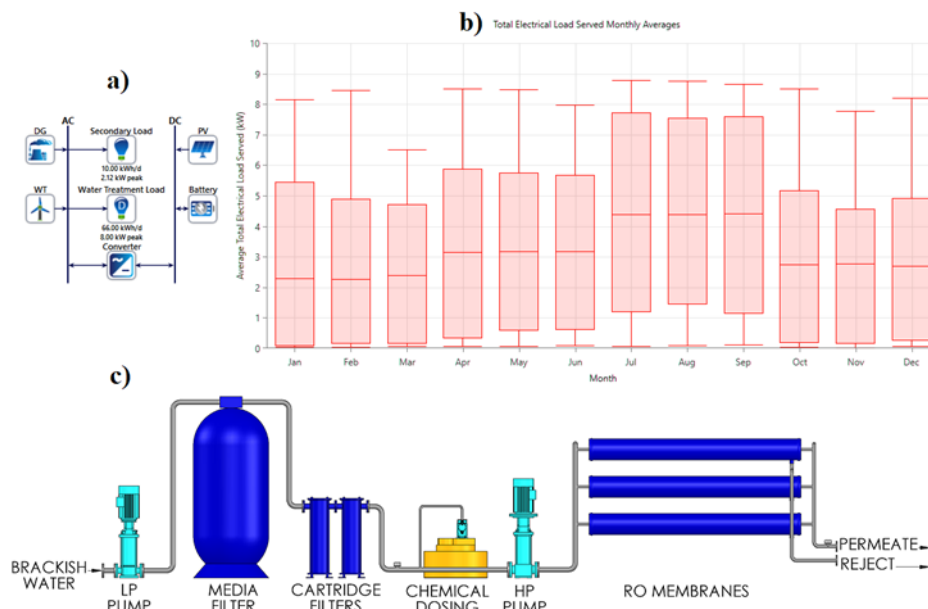
مطابق شکل (۶) بخش a این مطالعه شامل دو بار الکتریکی اصلی است، بار اصلی متعلق به بار شیرین سازی آب می باشد و یک بار ثانویه نیز به منظور فضایی جهت انبار تجهیزات، اسکان نگهبان و تامین روشنایی جانبی سیستم در نظر گرفته شده است. این بار ثانویه معادل یک واحد مسکونی ( $10 \text{ kWh/day}$ ) در نظر گرفته شده است. حداقل مقدار آب مورد نیاز هر شخص در طول روز معادل  $0.3$  متر مکعب فرض شده است. بنابراین بر اساس جمعیت روستا، حدوداً  $16/5 \text{ m}^3/\text{day}$  خواهد بود. بر اساس آمار یک دستگاه اسمز معکوس حدوداً  $4 \text{ kWh/m}^3$  توان مصرف می نماید، لذا میزان مصرف الکتریسیته دستگاه معادل



۶۶kWh/day بصورت متوسط در سال خواهد بود. اما این مقدار مصرف در ماه های گرم سال بیشتر شده و در ماه های خنک سال کاهش می یابد (شکل (۶) بخش b). در شکل (۶) بخش c نیز نمای کلی یک سیستم اسمز معکوس (جدول ۱) جهت پاک سازی آب را مشاهده می کنید.

جدول ۱ مشخصات دستگاه اسمز معکوس مورد استفاده جهت شیرین سازی [11]

مشخصات	مقدار	واحد
مدل دستگاه	BWRO-2S-130/75	-
فشار کاری	۱۸	Bar
ابعاد سامانه	۵×۱/۸×۱/۲	m
تعداد استیج	۲	stages
جریان ورودی	۸/۳	m <sup>3</sup> /h
جریان خروجی	۶/۳	m <sup>3</sup> /h
قیمت کل مجموعه	۸۱۰۰۰	\$



شکل (۶) بخش a شماتیک سیستم هیبرید، بخش b بار الکتریکی کل مورد نیاز و بخش c شماتیک دستگاه اسمز معکوس



## ۳-۲- فرضیات و روابط اقتصادی

طول عمر پروژه در این مطالعه معادل ۲۰ سال با نرخ بهره ۱۸ درصد و نرخ تورم ۱۵ درصد در نظر گرفته شده است. همچنین قیمت سوخت دیزل معادل ۰/۱ دلار به ازای هر لیتر فرض شده است. جدول ۲ قیمت تجهیزات مورد استفاده در مطالعه حاضر را نشان می‌دهد.

جدول ۲ مشخصات اقتصادی تجهیزات مورد استفاده در سیستم هیبرید انرژی

تجهیز	مدل	هزینه اولیه (\$)	تعمیر و نگهداری (\$)
پنل خورشیدی [12]	Sharp-ND250	۱۱۰۰ بر کیلووات	۱٪ هزینه اولیه
توربین بادی [13]	1.5 kW-AWS	۱۴۰۰ بر کیلووات	۲٪ هزینه اولیه
دیزل ژنراتور [1]	Generic	۵۰۰ بر کیلووات	۰/۰۲ در هر ساعت کاری
کانورتر [14]	Generic	۳۰۰ بر کیلووات	۱٪ هزینه اولیه
باتری [15]	Li-Ion	۴۰۰ بر کیلووات ساعت	۱٪ هزینه اولیه

مهمترین معیار اقتصادی تصمیم‌گیری به منظور انتخاب سناریو بهینه هزینه انرژی (COE) و ارزش فعلی سرمایه (NPC) می‌باشد:

$$COE = \frac{C_{ann.t}}{E_{served}} \quad (1)$$

$$NPC = \frac{C_{ann}}{CRF(i,R)} \quad (2)$$

$$CRF(i,R) = \frac{i(1+i)^R}{(1+i)^R - 1} \quad (3)$$

در این روابط  $C_{ann.t}$  هزینه‌ها کل سالیانه و  $E_{served}$  مقدار انرژی تولید شده بر حسب کیلووات ساعت بر سال،  $C_{ann}$  معادل مجموع هزینه‌های نصب، تعمیر و نگه‌داری، جایگزینی، سوخت، خرید برق از شبکه و غیره،  $CRF(i,R)$  معادل ضریب بازیابی سرمایه می‌باشد که با توجه به نرخ بهره واقعی  $i$  (بر اساس نرخ بهره بانکی و تورم) و طول عمر پروژه  $R$  می‌باشند [14].

## ۳- یافته‌ها

در این بخش، یافته‌های پژوهش به سه قسمت نتایج شبیه‌سازی سیستم هیبرید انرژی، آنالیز حساسیت و عملکرد سیستم هیبرید تقسیم شده و به آنها پرداخته می‌شود.

## ۳-۱- شبیه‌سازی سیستم هیبرید انرژی

جدول ۳ نشان دهنده نتایج خروجی از نرم افزار هومر می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود سیستم هیبرید شامل تمامی سیستم‌های انرژی صرفه اقتصادی بالاتری را نسبت به سیستم‌هایی به تعداد تکنولوژی‌های تولید انرژی کمتر نشان داده است. با مقایسه هزینه انرژی سناریو بهینه (۰/۰۸۳ \$/kWh) با تکنولوژی‌های مستقل تولید انرژی (شکل ۱) میتوان دریافت سیستم هیبرید توسعه داده شده دارای صرفه اقتصادی مناسبی حتی در مقیاس‌های جهانی می‌باشد. این سناریو بهینه دارای ارزش فعلی سرمایه‌ای معادل ۳۵۴۷۹ دلار و با مصرف سوخت سالیانه کمتر از ۴۶۰۰ لیتر می‌باشد. در حالی که سیستم دیزل ژنراتور

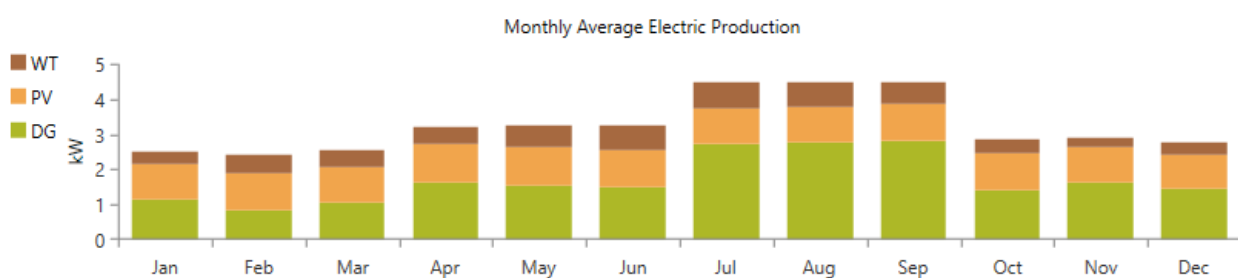




تنها بیش از ۹۳۰۰ لیتر مصرف سوخت سالیانه داشته است. البته وجود دیزل ژنراتور علی‌رغم آلاینده‌گی که دارد بر کاهش هزینه سیستم هیبرید ضروری است. همانطور که از جدول مشاهده می‌شود در صورت حذف ژنراتور هزینه انرژی نسبت به سناریو بهینه بیش از دو برابر خواهد شد. شکل (۷) نشان دهنده درصد مشارکت هر تکنولوژی در تامین بار مورد نیاز دستگاه آب شیرین کن است. بر این اساس پنل خورشیدی ۳۱/۵ درصد، توربین بادی ۱۶ درصد و دیزل ژنراتور ۵۲/۵ درصد از نیاز سالیانه را تامین کرده‌اند. همچنین تنها ۱/۴۸ درصد از برق تولیدی سیستم بصورت مازاد است که میزان بسیار مناسبی برای یک سیستم مستقل از شبکه است.

جدول ۳ ترتیب سناریوهای بهینه جهت تامین انرژی مورد نیاز

سیستم	پنل خورشیدی (kW)	توربین بادی (Unit)	دیزل ژنراتور (kW)	کانورتر (kW)	باتری (kWh)	هزینه انرژی (\$/kWh)	درصد تجدیدپذیری (%)
PV/WT/DG/Bat	۵/۵۸	۲	۴	۳/۵۹	۱	۰/۰۸۳	۴۵/۹
PV/DG/Bat	۴/۶	۰	۴	۲/۷۹	۱	۰/۰۸۶	۴۰/۶
DG	۰	۰	۶	۰	۰	۰/۱۳۷	۰
PV/WT/Bat	۱۱	۱۶	۰	۶/۵۹	۲۸	۰/۱۸۲	۱۰۰



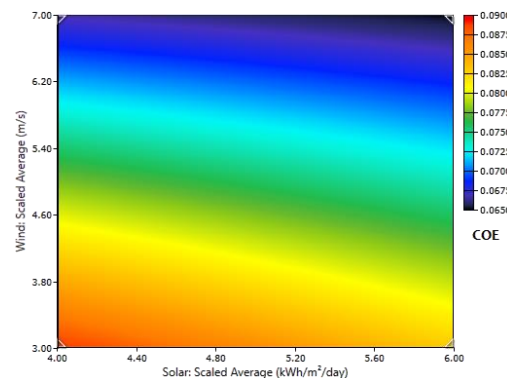
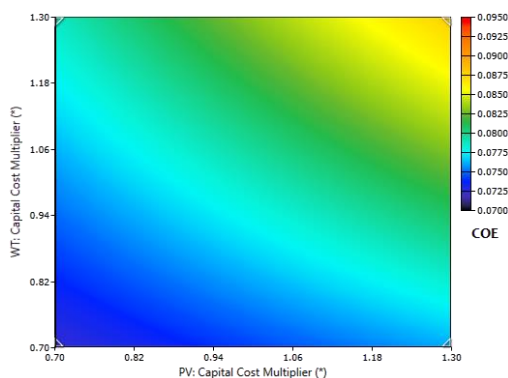
شکل (۷) سهم مشارکت ماهیانه هر یک از تکنولوژی‌های تامین انرژی در تولید توان کلی سیستم هیبرید

با در نظر گرفتن هزینه اولیه دستگاه اسمز معکوس می‌توان دریافت که میزان تقاضای روزانه آب شیرین ( $16/5 \text{ m}^3/\text{day}$ ) با هزینه حدوداً مابین  $1/03$  الی  $1/07$  دلار بر متر مکعب ( $\$/\text{m}^3$ ) تامین شده است. البته قیمت پایین سوخت دیزل در ایران نیز نقش مهمی در کاهش هزینه‌های این سیستم داشته است.

۳-۲- آنالیز حساسیت

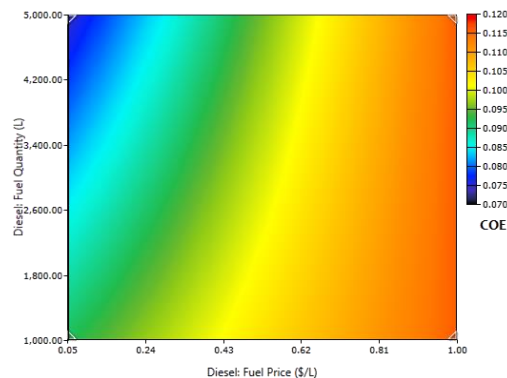
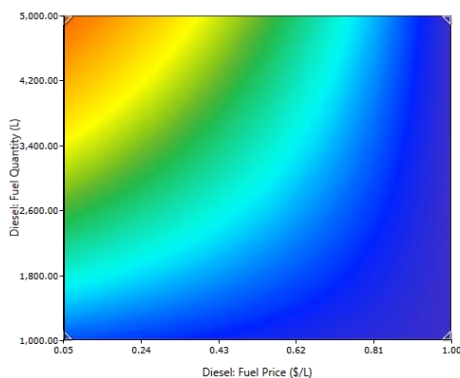


شکل (۸) بخش الف نشان‌دهنده تاثیر تغییرات قیمتی تجهیزات پنل خورشیدی و توربین بادی بر هزینه انرژی می‌باشد، با در نظر گرفتن بازه منطقی تغییرات در حدود ۳۰ درصد کاهش یا افزایش نسبت به قیمت فعلی، هزینه انرژی مابین ۰/۰۷۰ الی ۰/۰۹۵ دلار بر کیلووات ساعت خواهد بود. در بخش ب این شکل نیز با در نظر گرفتن بازه منطقی ۳۰ درصد کاهش یا افزایش در هر یک از منابع تجدیدپذیر، هزینه انرژی مابین ۰/۰۶۵ الی ۰/۰۹۰ دلار بر کیلووات ساعت خواهد بود. همانطور که از این شکل مشاهده می‌شود تغییرات پتانسیل خورشیدی تاثیرات شدیدتری در تغییرات هزینه انرژی دارد که نشان از وابستگی سیستم به پنل‌های فتوولتائیک دارد. قسمت ج شکل (۸) نشان‌دهنده تاثیر تغییرات مقدار سوخت دیزل در دسترس و همچنین قیمت سوخت دیزل بر میزان انتشار سالیانه کربن دی اکسید می‌باشد. بر این اساس به دلیل اینکه از قیمت های بالا تر از ۰/۸ دلار بر لیتر برای سوخت دیزل، استفاده از بیش از ۱۴۰۰ لیتر سوخت بهینه نمی‌باشد لذا از این قیمت به بعد میزان انتشار کربن دی اکسید تغییر نمی‌کند و روی مقدار حدوداً ۲۰۰۰ کیلوگرم بر سال ثابت می‌ماند. اما با افزایش دسترس پذیری سوخت و همچنین کاهش قیمت سوخت دیزل میزان انتشار می‌تواند تا حدود ۱۳۰۰۰ کیلوگرم بر سال افزایش یابد. در نهایت بر اساس بخش د این شکل هزینه انرژی نیز بر اساس تغییرات دسترس پذیری به سوخت و قیمت دیزل از ۰/۰۷۰ تا ۰/۱۱۵ دلار بر کیلووات ساعت متغیر باشد.



الف) تاثیر تغییرات قیمت تجهیزات تجدیدپذیر بر هزینه انرژی

ب) تاثیر تغییر پتانسیل منابع تجدیدپذیر بر هزینه انرژی

ج) تاثیر تغییرات مقدار و قیمت سوخت دیزل بر انتشار CO<sub>2</sub>

د) تاثیر تغییرات مقدار و قیمت سوخت دیزل بر هزینه

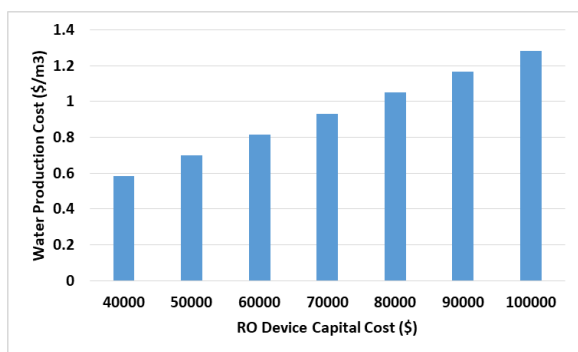
انرژی

شکل (۸) آنالیز حساسیت هزینه انرژی و میزان انتشار کربن دی اکسید سیستم هیبرید انرژی بهینه

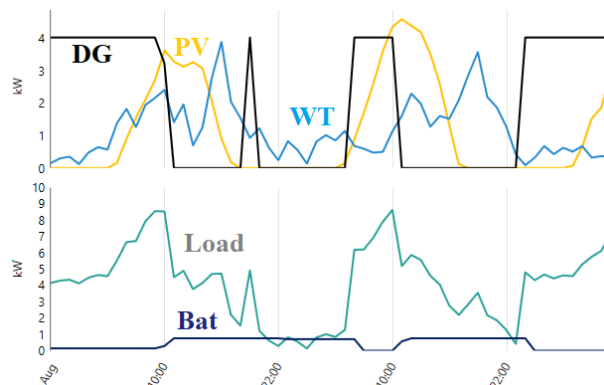


## ۳-۲- عملکرد سیستم هیبرید

با مشاهده پروفایل توان خروجی سیستم هیبرید (شکل ۹) مشاهده می‌شود که به دلیل افت میزان توان تولیدی از منابع تجدیدپذیر در ساعات شبانه و همچنین ماهیت تولید اوان متناوب آنها، دیزل ژنراتور اغلب در ساعات کمبود تابش خورشیدی و یا پیک‌های مصرف برق وارد عملیات می‌شود. باتری نیز بصورت مشابه نقش پشتیبان ژنراتور را داشته و در صورت لزوم در تامین بار دیسشارژ می‌گردد. این عملکرد نشان‌دهنده هیبرید سازی مناسب منابع انرژی به منظور دستیابی به تولید انرژی پایدار است، در حقیقت تکنولوژی‌های انتخابی به خوبی نقاط ضعف یکدیگر را پوشش داده‌اند و سیستمی با هزینه انرژی مناسب، قابلیت اطمینان بالا و با آلاینده‌گی کمتر را بوجود آورده‌اند. در نهایت با مشاهده تاثیر قیمت دستگاه اسمز معکوس بر هزینه آب آشامیدنی تولیدی (شکل ۱۰)، میتوان نتیجه گرفت هم اکنون هزینه تولید آب مابین ۱/۱ الی ۰/۹ دلار بر متر مکعب م باشد، اما با کاهش هزینه اولیه دستگاه این میزان می‌تواند به کمتر از ۰/۶ دلار بر متر مکعب نیز کاهش یابد.



شکل (۱۰) هزینه تولید آب شیرین بر حسب هزینه دستگاه RO



شکل (۹) پروفایل توان خروجی سیستم هیبرید انرژی

## ۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه یک سیستم هیبرید انرژی متشکل از منابع تجدیدپذیر توربین بادی و پنل خورشیدی و همچنین سیستم متداول باتری بانک و دیزل ژنراتور به منظور تامین توان یک واحد دستگاه شیرین سازی آب اسمز معکوس مورد آنالیز قرار گرفت. هدف این پژوهش دستیابی به سیستمی با قابلیت اطمینان بالا، مقرون به صرفه، دارای آلاینده‌گی کم و قابل استفاده در اغلب مناطق محروم کشور بوده است تا با تامین آب آشامیدنی مورد نیاز ساکنان مناطق دور افتاده از شبکه سراسری برق، بتوان گامی موثر در بهبود کیفیت زندگی روستاهای کم بضاعت برداشت. نتایج بهینه سازی تکنیکی-اقتصادی انجام شده به وسیله نرم افزار HOMER نشان داد:

- سیستم هیبرید متشکل از تکنولوژی‌های PV/WT/DG/Bat با هزینه انرژی معادل ۰/۰۸۳ دلار بر کیلووات ساعت و بیش از ۴۵ درصد تولید انرژی از منابع تجدیدپذیری می‌تواند به شکل مقرون به صرفه انرژی دستگاه پاک سازی آب را تامین نماید و از مصرف سالانه بیش از ۴۷۰۰ لیتر سوخت دیزل جلوگیری نماید.



- آنالیز حساسیت بر روی تغییرات قیمت تکنولوژی‌های تجدیدپذیر، پتانسیل منابع تجدیدپذیر، قیمت سوخت دیزل و همچنین دسترس پذیری سوخت نشان داد در بهترین حالت هزینه انرژی معادل ۰/۰۶۵ و در بدترین حالت معادل ۰/۱۱۵ دلار بر کیلووات ساعت خواهد بود که نسبت به استانداردهای جهانی کاملاً قابل قبول می‌باشد.
- قیمت دستگاه اسمز معکوس یک عامل تعیین کننده در دستیابی به فرآیند تولید آب شرب با قیمت مقرون به صرفه برای مناطق محروم می‌باشد. بر این اساس در حال حاضر هزینه تولید آب شیرین از سیستم توسعه داده شده در حدود ۰/۹۵ دلار بر متر مکعب است که با نصف شدن قیمت تکنولوژی RO میتواند به کمتر از ۰/۶ دلار بر متر مکعب برسد. در نهایت امید است این مطالعه در پیشبرد اهداف جهانی به سوی بهبود کیفیت زندگی در مناطق محروم موثر بوده باشد و پیشنهاد می‌گردد محققان این نوع سیستم‌های هیبرید جهت شیرین‌سازی آب را بصورت تجربی نیز با آزمایش گذارند.

## منابع

- [1] Jahangir MH, Shahsavari A, Vaziri Rad MA. Feasibility study of a zero emission PV/Wind turbine/Wave energy converter hybrid system for stand-alone power supply: A case study. *J Clean Prod* 2020;121250. doi:10.1016/j.jclepro.2020.121250.
- [2] Rezaei R, Ghofranfarid M. Rural households' renewable energy usage intention in Iran: Extending the unified theory of acceptance and use of technology. *Renew Energy* 2018. doi:10.1016/j.renene.2018.02.011.
- [3] nrcan.gc.ca. RETScreen Software 2020.
- [4] Bonyad Barekat. Atlas of Deprived Areas of Iran. *Res Dev Comm* 2016.
- [5] Ibrahim MM, Mostafa NH, Osman AH, Hesham A. Performance analysis of a stand-alone hybrid energy system for desalination unit in Egypt. *Energy Convers Manag* 2020;215:112941. doi:10.1016/j.enconman.2020.112941.
- [6] Osman M, Farahat MA, Elsayed M. Operation of conventional and unconventional energy sources to drive a reverse osmosis desalination plant in Sinai Peninsula, Egypt. *Renew Energy* 2020;145:141-52. doi:10.1016/j.renene.2019.05.138.
- [7] Karimi L, Abkar L, Aghajani M, Ghassemi A. Technical feasibility comparison of off-grid PV-EDR and PV-RO desalination systems via their energy consumption. *Sep Purif Technol* 2015;151:82-94. doi:10.1016/j.seppur.2015.07.023.
- [8] Mostafaeipour A, Qolipour M, Rezaei M, Babae-tirkolaee E. Investigation of off-grid photovoltaic systems for a reverse osmosis desalination system: A case study. *Desalination* 2018;0-1. doi:10.1016/j.desal.2018.03.007.
- [9] Amin M, Rad V, Shahsavari A, Rajaei F, Kasaeian A. Techno-economic assessment of a hybrid system for energy supply in the affected areas by natural disasters: A case study. *Energy Convers Manag* 2020;221:113170. doi:10.1016/j.enconman.2020.113170.
- [10] NASA. NASA Surface Meteorology and Solar Energy. NASA Data Source 2019. <https://data.nasa.gov/Earth-Science/Surface-Meteorology-and-Solar-Energy/w3p-qsan>.

شماره مجوز نشریه:

۱۳۲/۷۱۹۹۱

تاریخ تایید مجوز:

۱۳۹۹/۰۹/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله:

۱۳۹۹/۰۹/۲۴

سال اول، شماره اول، زمستان ۱۳۹۹، ص ۱۳ - ۲۵

نشریه علمی دانشجویی حفاظت آب، خاک و هوا  
انجمن علمی دانشجویی اکوهیدرولوژی دانشگاه تهران

Student Scientific Journal of Water, Soil and Air Protection



- [11] Mousavi SA, Zarchi RA, Astarai FR, Ghasempour R, Khaninezhad FM. Decision-making between renewable energy configurations and grid extension to simultaneously supply electrical power and fresh water in remote villages for five different climate zones. *J Clean Prod* 2021;279:123617. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123617.
- [12] Li Y, Gao W, Ruan Y. Performance investigation of grid-connected residential PV-battery system focusing on enhancing self-consumption and peak shaving in Kyushu, Japan. *Renew Energy* 2018. doi:10.1016/j.renene.2018.04.074.
- [13] Basir Khan MR, Jidin R, Pasupuleti J, Shaaya SA. Optimal combination of solar, wind, micro-hydro and diesel systems based on actual seasonal load profiles for a resort island in the South China Sea. *Energy* 2015;82:80–97. doi:10.1016/j.energy.2014.12.072.
- [14] Amin M, Rad V, Toopshekan A, Rahdan P, Kasaeian A, Mahian O. A comprehensive study of techno-economic and environmental features of different solar tracking systems for residential photovoltaic installations. *Renew Sustain Energy Rev* 2020;129:109923. doi:10.1016/j.rser.2020.109923.
- [15] Tsiropoulos I, Lebedeva N. Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications. 2018. doi:10.2760/87175.