The University of Tehran Press

Journal of Sustainable Energy Systems

Online ISSN: 2980-8693

Home Page: https://ses.ut.ac.ir

Reducing the share of electricity generation from fossil fuels by replacing renewable energies in rainy areas

Saeed Ahmadi[1] | Hadi Nezhadayni[2] | Mohsen Asvad[3] | Mahmood Abdoos[4*]

1. M.sc Student, School of Energy Engineering and Sustainable Resources, College of Interdisciplinary Science and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: saeedahmadikaliji@ut.ac.ir
2. M.sc Student, School of Energy Engineering and Sustainable Resources, College of Interdisciplinary Science and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran.
3. M.sc Student, School of Energy Engineering and Sustainable Resources, College of Interdisciplinary Science and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran.
4. Corresponding Author, PhD Student, School of Energy Engineering and Sustainable Resources, College of Interdisciplinary Science and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: Mahmood.abdoos@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 31 January 2023
Revised 31 March 2023
Accepted 01 May 2023
Published Online 06 May 2024

Keywords:
Energy modeling,
Renewable energy,
Mazandaran Province,
Energy PLAN,
Gas Power Plant.

ABSTRACT

The emission of pollutants from power plants fueled by fossil resources has perennially contributed to climate pollution. Carbon dioxide emissions, particularly, have been catalysts for global warming and climate upheavals. Governments worldwide are diligently endeavoring to avert these climate shifts by means of multifaceted strategies and policies. To mitigate environmental degradation, the substitution of fossil fuel facilities with renewable energy sources emerges as a commendable solution. This article focuses on the West Mazandaran gas power plant, boasting a nominal capacity of 50 megawatts and an annual output of 0.1 terawatt hours in Mazandaran Province. Through a rigorous evaluation of three distinctive scenarios spanning two phases, namely 1403 and 1405, this facility is eliminated from the energy production cycle and is instead substituted by renewable sources. The energy systems employed in this study are meticulously modeled and analyzed by the ENERGY PLAN software, while the statistical data utilized in this article are derived from the energy balance sheet of Iran. The first scenario entails the replacement of 40 megawatts of wind power, the second scenario embraces the substitution of 31 megawatts of solar power, and the third scenario revolves around augmenting the operational hours of the Black Forest hydroelectric power plant, thereby facilitating the generation of 0.1 terawatt hours of electricity. The project demonstrates several positive outcomes, including a reduction in carbon dioxide emissions by 60,000 tons, the preservation of the thermal value equivalent to 50 GWh of petroleum products and 130 GWh of natural gas, and a surge in the share of renewable energy production from 12 percent to 14.5 percent. To achieve the noble objective of clean and sustainable energy, meticulous and principled short-term, medium-term, and long-term planning are imperative.

Cite this article: Ahmadi, S.; Nezhadayni, H.; Asvad, M. & Abdoos, M. (2023). Reducing the share of electricity generation from fossil fuels by replacing renewable energies in rainy areas. *Journal of Sustainable Energy Systems*, 2 (3), 299-312. DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.373595.1056

© Saeed Ahmadi, Hadi Nezhadayni, Mohsen Asvad, Mahmood Abdoos.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.373595.1056

Introduction

Given the planetary crisis encompassing phenomena such as global warming, climate change, and the melting of polar ice, which have perpetually posed a threat to humanity, there arises an imperative for mankind to curtail its consumption of fossil fuels. Consequently, significant strides have been taken to facilitate the realization of sustainable energy and environmental preservation. These endeavors

encompass the inception of energy-efficient conversion systems boasting minimal ecological footprints, the augmentation and proliferation of renewable energy sources, regulatory measures governing greenhouse gas emissions, and pioneering advancements in carbon dioxide sequestration. In recent years, the escalating global energy demand has underscored the potential of renewable energy, thereby necessitating a paradigm shift towards cleaner energy supply on the part of administrators and researchers. Unlike power plants reliant on fossil fuels such as coal or natural gas, renewable energy solutions like wind power do not degrade air quality. Utilizing renewable energy sources, enhancing the efficiency of existing power plants, and implementing waste recycling practices across diverse industries present viable solutions for optimizing energy systems and diminishing reliance on fossil fuel consumption. Drawing upon the characteristics of the studied region's rainy and humid environment, this article scrutinizes prior endeavors conducted within this context. Isanlu et al. have embarked on a study elucidating renewable energy prospects in Mazandaran Province, revealing that the region's renewable energy share could surge from 5.4 percent to 47.7 percent. Substantially curbing annual fossil fuel consumption by 11 terawatt hours and greenhouse gas emissions by 2.438 million tons between 2020 and 2030 constitutes a plausible outcome of the study. Directed towards the potential of wind energy in Mazandaran Province, Byramond explores the subject matter in painstaking detail. Employing ArcGIS software, a wind resource map projecting a height of 50 meters is obtained.

It is deduced that an annual electricity generation capacity of 511,450 kilowatt-hours, with a network capacity of 17.7 percent, is feasible within Mazandaran. The average monthly wind speed approximates 5.98 meters per second, and the average annual wind power is estimated at 58.4 kilowatts. In the article, the author commences by elucidating the significance of renewable energy, subsequently highlighting marine energy as a dependable energy source delimited by its high density and associated environmental impacts. Iran's extensive coastline, burgeoning population, escalating energy demands, and pervasive air pollution have cultivated substantial potential for marine energy development. Notably, the Caspian Sea emerges as a focal point for exploring marine energy resources. This article initially examines the proposed model centered on Mazandaran Province, thereafter assessing the province's renewable energy potential with reference to upstream and governmental documentation. Following this, an analysis is conducted on the nominal capacity, electricity generation, fuel consumption, and carbon dioxide emissions of a fossil fuel-powered plant in the region, with the objective of subsequently eliminating the plant while substituting its electricity supply with a portfolio of renewable energy sources commensurate with the province's renewable potential. Modeling and scenario simulations pertaining to renewable energy sources are performed within the ENERGY PLAN software environment. Ultimately, the benefits of this plan will be assessed by 1405. Given Mazandaran's status as one of the most energy-consuming provinces in the country, coupled with the influx of millions of tourists from various corners of Iran each year, it becomes imperative to facilitate the progression towards sustainable energy development, safeguarding the province's pristine and resplendent environment in the process.

Proposed Model

The production of power plants in Mazandaran province has been determined, but by 1403 we will turn off half of the power plant and by 1405 we will turn off all the gas power plant in West Mazandaran and remove it from the production cycle and replace it with three renewable energy scenarios. In the first scenario, by removing the power plant, 20 megawatts of wind power plant will enter the power generation cycle according to the potential of Mazandaran Province, which will easily compensate for 0.1 terawatt hours of energy generated by the fossil fuel power plant and no problems will occur in the power supply of the province. In the second scenario, with the removal of the power plant, 15 megawatts of photovoltaic solar power plant replaced the gas power plant and in 1405, it generated 0.1 terawatt hours of electricity. In the third scenario, due to the high capacity of the Black Forest power plant, the working hours of the power plant increased and due to the abundant water resources of Mazandaran Province, 0.1 terawatt hours used more than the normal electricity generation of the power plant. In all of these scenarios, there's no problem with sustainable electricity supply, but it's very helpful to the environment in that area.

Conclusion

Iran currently holds the seventh position as one of the world's largest carbon dioxide producers, with an alarming increase in emissions year after year. The release of carbon dioxide is known to be a primary contributor to the escalating issues of global warming and climate change. Embracing renewable energy sources presents a viable solution to counter this phenomenon. The utilization of renewable energies ensures the preservation of finite fossil fuel resources for the benefit of future generations. The forthcoming three scenarios entail the substitution of the existing power plant with wind, solar, and hydroelectric power, consequently elevating the share of renewable energy in the overall electricity generation to a commendable 14.5 percent. In implementing these scenarios, there is a substantial reduction of 30,000 tons of carbon dioxide emissions in 1403, followed by a further reduction of 60,000 tons in 1405. Additionally, these scenarios generate the notable advantage of conserving fuel consumption of the power plant, estimated to be approximately 180 GWh in the year 1405. The cumulative installed capacity of renewable energy sources encompasses 40 megawatts of wind energy, 31 megawatts of solar energy, and an augmented utilization of the Black Forest power plant, boasting an existing capacity of 1054 megawatts. The energy output across all scenarios amounts to 0.1 terawatt hours, effectively supplanting the gas power plant without any complications.

فصلنامهٔ سیستم‌های انرژی پایدار

انتشارات دانشگاه تهران

سایت نشریه: https://ses.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۸۶۹۳-۲۹۸۰

کاهش سهم تولید برق از سوخت‌های فسیلی با جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر در مناطق پرباران

سعید احمدی[۱] | هادی نژادعینی[۲] | محسن اسود[۳] | محمود عبدوس[۴*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکدهٔ مهندسی انرژی و منابع پایدار، دانشکدگان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: saeedahmadikaliji@ut.ac.ir

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکدهٔ مهندسی انرژی و منابع پایدار، دانشکدگان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکدهٔ مهندسی انرژی و منابع پایدار، دانشکدگان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۴. نویسندهٔ مسئول، دانشجوی دکتری مهندسی سیستم‌های انرژی دانشکدهٔ مهندسی انرژی و منابع پایدار، دانشکدگان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: Mahmood.abdoos@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۲/۱۷

کلیدواژه:
مدل‌سازی انرژی، انرژی‌های تجدیدپذیر، ENERGY PLAN، سیاست‌گذاری انرژی، توسعهٔ پایدار انرژی

چکیده

انتشار آلاینده‌ها از نیروگاه با خوراک سوخت فسیلی همواره یکی از عوامل آلودگی آب‌وهوا است. آلایندهٔ کربن دی‌اکسید باعث گرم شدن کرهٔ زمین می‌شود و تغییرات آب‌وهوایی را به دنبال دارد. تمام دولت‌ها می‌کوشند که با روش‌های گوناگون و سیاست‌های مختلف از این تغییرات آب‌وهوایی جلوگیری کنند. برای جلوگیری از آسیب‌های زیست‌محیطی، جایگزین کردن نیروگاه‌های سوخت فسیلی با انرژی‌های تجدیدپذیر، راهکاری مناسب است. در این مقاله، نیروگاه گازی غرب مازندران با ظرفیت نامی ۵۰ مگاوات و تولید سالیانه ۰/۱ تراوات ساعت در استان مازندران با سه سناریوی مختلف طی دو مرحله در سال‌های ۱۴۰۳ و ۱۴۰۵ از چرخهٔ تولید مدار خارج شده و انرژی تجدیدپذیر جایگزین می‌شود. سیستم‌های انرژی پیاده‌شده در این مطالعه توسط نرم‌افزار ENERGY PLAN در سه سناریو مدل‌سازی شده و تحلیل می‌شود و همچنین آمارهای مورد استفاده در این مقاله، از ترازنامهٔ انرژی کشور ایران به دست آمده است. سناریوی اول جایگزین کردن ۴۰ مگاوات نیروگاه بادی، سناریوی دوم جایگزین کردن ۳۱ مگاوات نیروگاه خورشیدی، سناریوی سوم افزایش ساعات کاری نیروگاه برق‌آبی سیاه‌بیشه و تولید ۰/۱ تراوات ساعت انرژی برق است. از آثار مثبت این پروژه می‌توان به کاهش ۶۰ هزار تنی کربن دی‌اکسید، صرفه‌جویی ارزش حرارتی ۵۰ گیگاوات ساعت فرآورده‌های نفتی و ۱۳۰ گیگاوات ساعت گاز طبیعی و رشد سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از ۱۲ درصد به ۱۴/۵ درصد نام برد. رسیدن به انرژی پاک و پایدار مستلزم برنامه‌ریزی دقیق و اصولی کوتاه‌مدت، میان‌مدت، کوتاه‌مدت است.

استناد: احمدی، سعید؛ نژادعینی، هادی؛ اسود، محسن و عبدوس، محمود. (۱۴۰۲). کاهش سهم تولید برق از سوخت‌های فسیلی با جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر در مناطق پرباران. *فصلنامهٔ سیستم‌های انرژی پایدار*، ۲ (۳) ۲۹۹-۳۱۲. DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.373595.1056

© سعید احمدی، هادی نژادعینی، محسن اسود، محمود عبدوس.
DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.373595.1056

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

با توجه به وضعیت بحرانی که کرهٔ زمین درگیر آن است از جمله گرمایش زمین، تغییر اقلیم و ذوب شدن یخ‌های قطبی که همواره تهدیدی برای بشر بوده است، بشر ناگریز مجبور به کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی است [۱]. به‌ناچار برای دستیابی به انرژی پایدار و حفاظت از محیط زیست، بشر راهکارهایی را در پیش گرفته است از جمله توسعهٔ سیستم‌های تبدیل انرژی کارآمد با اثرات زیست‌محیطی کم، توسعه و گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر، محدودیت در انتشار گازهای گلخانه‌ای و پیشرفت‌های نوآورانه در جذب کربن دی‌اکسید [۲ و ۳]. در سال‌های اخیر، بشر به انرژی بیشتری نیاز پیدا کرده است و با توجه به پتانسیل‌های موجود در انرژی‌های تجدیدپذیر باید رویکرد مدیران و محققان به سمت انرژی‌های پاک پیش برود. انرژی‌های تجدیدپذیر همچون باد، هوا را مانند نیروگاه‌هایی که به سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ یا گاز طبیعی متکی هستند، آلوده نمی‌کند [۴ و ۵]. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، افزایش کارایی نیروگاه‌های موجود و بازیافت زباله در صنایع مختلف راه حل‌های مناسبی برای افزایش و بهبود عملکرد سیستم‌های انرژی برای کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی است [۶]. کشور ایران نیز به عنوان یک صادرکننده و مصرف‌کنندهٔ سوخت‌های فسیلی در تلاش است با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در بخشی از سبد انرژی خود به سمت پایداری انرژی حرکت کند [۷]. انرژی‌های تجدیدپذیر بهترین راهکار برای تولید برق پایدار است که با محیط زیست سازگار و از لحاظ اقتصادی نیز به‌صرفه است. همچنین با توجه به نقاط مثبت آن، دانشمندان به دنبال افزایش عملکرد تولید انرژی‌های تجدیدپذیر به‌خصوص بازده تبدیل انرژی هستند [۸]. روند رو به رشد اقتصاد جهانی با نیاز روزافزون به انرژی همراه با حفاظت از محیط زیست، به‌ویژه آب‌وهواست. افزایش آگاهی در مورد تخریب زمین و اهمیت آن باعث محبوب شدن انرژی‌های تجدیدپذیر شده است [۹]. همچنین امنیت انرژی کشورهایی می‌شود که از منابع سوخت‌های فسیلی برخوردار نیستند پس از جهت سیاسی و امنیتی نیز حائز اهمیت دو چندان می‌شود [۱۰].

در دسته‌ای از مطالعات برخی پژوهشگران به حذف کربن دی‌اکسید خروجی از نیروگاه‌ها با مایع‌سازی آن پرداختند که از آلودگی محیط زیست می‌کاهد و به پاکیزگی هوا کمک شایانی می‌کند. Ma و همکاران، از تزریق کربن فعال برای کاهش آلودگی آلاینده‌های آلی از نیروگاه‌های زغال سنگ استفاده کردند که با تزریق ۱۵۰ میلی‌گرم از آن حدود ۴۶/۴۹ درصد از غلظت هیدروکربن کاسته شد [۱۱]. همچنین دزیدری در مقالهٔ خود یک سیستم حذف کربن دی‌اکسید که با مایع‌سازی، دی‌اکسید کربن را از دودکش نیروگاه‌های معمولی جدا می‌کند را مدل‌سازی کرد و به این نتیجه رسید که برای جذب ۹۰ درصدی به محلول آبی با ۳۰ درصد محتوای آمین نیاز است [۱۲]. علاوه بر کربن دی‌اکسید جیوه نیز یکی از آلاینده‌های سنگین و مضر است که روش‌های متفاوتی برایش پیشنهاد شده است. از جمله Xiao از کلسیم کلرید به عنوان یکی از جاذب‌های جیوه در پژوهش خود یاد کرده و در آزمایش خود نشان داده راندمان حذف کل جیوه با استفاده از تزریق سدیم کلرید به ۹۸ درصد رسیده است که نتیجه می‌دهد حذف عنصری جیوه توسط سدیم کلرید برای واحدهای زغال سنگ در مقیاس بزرگ بسیار مناسب است [۱۳]. گوا در یک بازهٔ ۱۵ساله در مدل خود که کشور چین بود با در نظر گرفتن شست‌وشوی زغال سنگ، دستگاه‌های کنترل آلودگی هوا، ساعات عملیاتی و طول عمر باعث کاهش مواد مضر از ۱۲/۹ هزار تن در سال ۲۰۰۵ به ۸/۸ هزار تن در سال ۲۰۲۰ برسد این مطالعه بینش‌هایی را برای کنترل دقیق فلزات سنگین و انتشار کربن مطرح کرد [۱۴].

در برخی پژوهش‌های دیگر، به بررسی پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر در مناطق مختلف جهان پرداخته می‌شود. بندیک و همکاران با در نظر گرفتن نقش رو به رشد انرژی‌های تجدیدپذیر مبتنی بر سیاست‌های بهبود امنیت انرژی است. که نتایج اصلی آن شامل برآورد سه منبع اصلی انرژی تجدیدپذیر خورشیدی، بادی و زیست‌توده و ترسیم نقشه‌هایی که که پتانسیل انرژی خورشیدی و بادی و زیست‌توده را با وضوح مکانی بالا نشان می‌دهد [۱۵]. اردن ۹۴ درصد از نفت و گاز خود را وارد می‌کند بنابراین در مقابل تغییرات قیمت سوخت بسیار آسیب‌پذیر است. بنابراین ابورومان و همکاران به بررسی وضعیت انرژی اردن پرداخته و پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر موجود برای سرمایه‌گذاری مستقیم را بررسی کرده‌اند تا بتوانند ۱/۱۳ تا ۱/۸ گیگاوات از سهم برق خود را تا سال ۲۰۲۰ از انرژی‌های تجدیدپذیر بهره ببرند [۱۶]. علی بلوچ و همکاران با دانستن این موضوع که تمرکز کشورهای در حال توسعه روی انرژی‌های تجدیدپذیر است و هدفشان کاهش کربن برای بهبود شرایط اقلیمی است، به ارزیابی

انرژی‌های تجدیدپذیر در پاکستان پرداخته‌اند. آن‌ها در مقاله‌شان از مدل DEA برای بررسی انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده کردند و نتیجه گرفتند که انرژی باد دارای بیشترین کارایی است. همچنین انرژی خورشیدی در جایگاه دوم قرار دارد [۱۷]. نوپان و همکاران برای اولین‌بار تجزیه‌وتحلیل اقتصادی پتانسیل انرژی خورشیدی را در کشور نپال انجام دادند و بر اساس مدل‌سازی فضایی براساس معیار فنی مناسب به این نتیجه رسیدند که نپال مستعد تولید انرژی ۴۷۶۲۸ مگاوات از انرژی خورشیدی و ۱۶۸۶ مگاوات از انرژی بادی است و نقاط دارای پتانسیل بیشتر را استان‌های کرنالی و گندکی معرفی کرده است [۱۸].

با توجه به محیط بارانی و مرطوب مورد مطالعه، کارهای متفاوتی که در گذشته روی این محیط انجام شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. ایزانلو و همکاران به بررسی انرژی‌های تجدیدپذیر در استان مازندران پرداخته و یافته‌اند که می‌توان سهم این استان از انرژی‌های تجدیدپذیر را از ۵/۴ درصد به ۴۷/۷ درصد افزایش داد تا انتشار سالیانهٔ کربن دی‌اکسید و مصرف سوخت‌های فسیلی به میزان قابل توجهی کاهش یابد. در دورهٔ ده‌ساله (از ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰) به میزان ۱۱تراوات ساعت از مصرف سوخت فسیلی و ۲/۴۳۸ میلیون تن از انتشار گازهای گلخانه‌ای کاسته می‌شود [۶]. بایرامواند به طور اختصاصی به پتانسیل انرژی باد در استان مازندران پرداخته است. ایشان با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS نقشهٔ پهن‌بندی باد به ارتفاع ۵۰ متر را به دست آورده است. ایشان به این نتیجه رسیده که می‌توان در مازندران سالانه ۵۱۱۴۵۰ کیلووات ساعت در سال با ظرفیت شبکه ۱۷/۷ درصد برق تولید کرد. سرعت متوسط باد ماهیانه حدود ۵/۹۸ متر بر ثانیه و متوسط قدرت باد سالانه ۵۸/۴ کیلووات است [۴]. خجسته و همکاران در مقالهٔ خود ابتدا به اهمیت انرژی‌های تجدیدپذیر پرداختند و سپس از انرژی دریایی به عنوان یک منبع انرژی قابل اعتماد یاد کردند که با چگالی بالا و اثرات زیست‌محیطی محدود است. از آنجا که ایران دارای خط ساحلی طولانی و جمعیت رو به رشد است و افزایش تقاضای انرژی و آلودگی شدید هوا باعث شده پتانسیل زیادی برای توسعهٔ انرژی دریایی را داشته باشد، یکی از نقاط با پتانسیل بالا در زمینهٔ انرژی دریایی، دریای خزر است [۱۹].

در این مقاله ابتدا به بررسی مدل پیشنهادی که استان مازندران است، پرداخته شده و سپس به بررسی پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر موجود در این استان با توجه به اسناد بالادستی و دولتی اشاره شده است. در گام بعدی ظرفیت اسمی، تولید ناویژهٔ برق، میزان سوخت مصرفی، میزان کربن دی‌اکسید منتشرشده طی سال توسط یکی از نیروگاه‌های این منطقه با خوراک سوخت فسیلی را جزءبه‌جزء مورد تحلیل قرار می‌دهد. سپس با حذف نیروگاه سعی در پر کردن توان انرژی این نیروگاه با جایگزین کردن سبد انرژی‌های تجدیدپذیر با توجه به پتانسیل این استان در منابع تجدیدپذیر شده است. مدل‌سازی و سناریوسازی انرژی‌های تجدیدپذیر در محیط نرم‌افزار ENERGY PLAN صورت گرفته است. در انتها مزایای این طرح تا سال ۱۴۰۵ مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که مازندران از استان‌های پرمصرف کشور است و سالانه میلیون‌ها گردشگر را از جاهای متفاوت ایران پذیراست، ضروری است که به سمت توسعهٔ پایدار انرژی توأم با حفظ محیط زیست زیبا و بکر خود حرکت کند.

۲. روش کار

۲. ۱. معرفی منطقهٔ مطالعه‌شده

در این تحقیق اقدام به حذف نیروگاه گازی غرب مازندران از چرخهٔ تولید برق استان مازندران در یک بازهٔ ۴ ساله با کاهش ۵۰ درصدی در سال ۱۴۰۳ و حذف کامل ۱۰۰ درصدی در سال ۱۴۰۵ از برق تولیدی نیروگاه و جبران این کاهش با جایگزین کردن سبد انرژی‌های تجدیدپذیر با توجه به پتانسیل شناخته‌شده در این استان بررسی شده است.

همان‌گونه که می‌دانید، مازندران یکی از استان‌های شمالی ایران به مختصات جغرافیایی 36.3994° N,52.1912° E است که ۱/۴۶ درصد مساحت ایران را تشکیل می‌دهد. این استان در جنوب بزرگ‌ترین دریاچهٔ جهان یعنی دریاچهٔ خزر قرار دارد. مازندران حدود ۴ میلیون نفر جمعیت دارد و یکی از استان‌های پرجمعیت و پرتراکم ایران است که به علت جاذبه‌های گردشگری و طبیعی سالانه میلیون‌ها نفر مسافر را پذیراست. به همین علت نیازمند عرضهٔ بسیار زیاد انرژی طی سال است. این استان دارای چهار نیروگاه مهم سیکل ترکیبی شهید سلیمی نکا، سیکل ترکیبی غرب مازندران، گازی غرب مازندران و تلمبه‌ای ذخیره‌ای سیاه‌بیشه است.

جدول ۱. ویژگی دما و رطوبت استان مازندران

ردیف	نوع اقلیم	میانگین حداکثر دما در تابستان (سانتی‌گراد)	میانگین رطوبت نسبی در تابستان (٪)	میانگین حداقل دما در زمستان (سانتی‌گراد)	میانگین رطوبت نسبی در تابستان (٪)
۱	معتدل و بارانی	۳۰-۲۵	بیشتر از ۶۰	۵-۰	بیشتر از ۶۰

با توجه به جدول ۱ ویژگی اقلیمی استان مازندران بیان شده است. سواحل جنوبی دریای خزر به دلیل محصور شدن بین رشته‌کوه البرز و دریای خزر، دارای هوای مرطوب با بارش فراوان است. رشته‌کوه البرز این منطقه را از فلات مرکزی ایران جدا می‌کند. از جمله ویژگی‌های این اقلیم، رطوبت زیاد هوا و اعتدال دماست. در تابستان معمولاً دما بین ۲۵ تا ۳۰ درجه است و در زمستان معمولاً دما بالای صفر درجه است. در این منطقه بارندگی بسیار زیاد و در تابستان به صورت رگبار است [۲۰].

نیروگاه گازی غرب مازندران به مختصات جغرافیایی 13.3736° N,49.3051° E نیروگاهی از نوع گازی با ظرفیت تولید ۵۰ مگاوات متشکل از دو واحد گازی با ظرفیت ۲۵ مگاوات است که در سال ۱۳۸۸ در شهرستان نوشهر به بهره‌برداری رسید. خوراک اصلی این نیروگاه گاز طبیعی است، اما در شرایط اضطرار می‌تواند با سوخت پشتیبان نفت گاز کار کند که در دو مخزن ۵ میلیون لیتری ذخیره‌سازی می‌شود. هدف از احداث این نیروگاه، تأمین انرژی غرب مازندران و بهبود ولتاژ شبکهٔ برق با هزینهٔ تقریبی ۲۵ میلیارد تومانی است. این نیروگاه مشکلات زیست‌محیطی را برای مردم آن منطقه فراهم کرده و سهم بسیار کمی هم در تولید برق استان مازندران دارد.

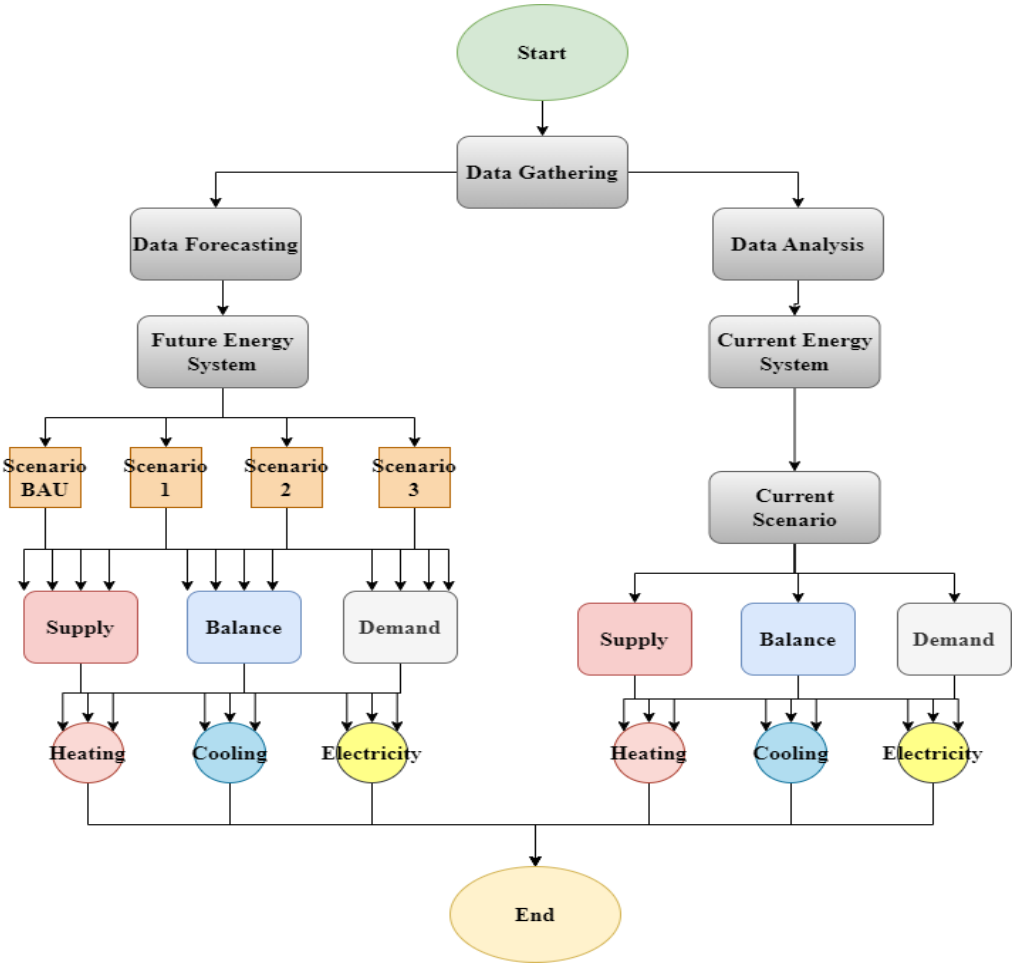
همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است، این مقاله با استفاده از نرم‌افزار ENERGY PLAN که برای آینده‌پژوهی و کاوش در آینده ساخته شده، نوشته شده است. این نرم‌افزار توسط دانشگاه Aalborg کشور دانمارک توسعه یافته است. رویکرد مدل‌سازی آن به صورت bottom-up و مدل‌سازی آن با نگرش سیستمی و بهینه‌سازی است. افق زمانی این نرم‌افزار به صورت میان‌مدت و بلندمدت است و جغرافیای آن می‌تواند به صورت محلی، منطقه‌ای و یا ملی باشد. آمارهای ورودی این نرم‌افزار جمعیت، رشد اقتصادی، مصرف انرژی، میزان انتشار آلاینده‌ها، میزان تولید برق و قیمت سوخت‌ها است. در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار ENERGY PLAN سالی ۵۰ درصد از توان تولید نیروگاه گازی غرب مازندران که با سوخت فسیلی کار می‌کند کم شده و با سبد انرژی‌های تجدیدپذیر جایگزین می‌شود و تأثیر آن روی کاهش کربن دی‌اکسید و کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی تا سال ۱۴۰۵ و به تبع آن، روی سلامت و بهداشت و اقتصاد استان مازندران بررسی می‌شود.

آمارهای استفاده‌شده در این مقاله از آمارنامه‌های منتشرشده از وزارت نیرو و همچنین، ترازنامهٔ انرژی کشور ایران بین سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۸ به دست آمده و با استفاده از نرخ رشد داده‌های قدیمی و رگرسیون، اطلاعات و داده‌های آینده یافته شده است. به صورت پیش‌فرض چهار سناریو مطرح است. نخست آنکه طبق رویهٔ قبلی پیش برود و تغییری ایجاد نشود. سناریوی دوم حذف تدریجی نیروگاه فعال در شبکه با جایگزین کردن انرژی باد در مدار شبکه است. سناریوی سوم حذف این نیروگاه فسیلی با جایگزین کردن انرژی خورشیدی، و سناریوی چهارم جایگزین کردن نیروگاه فسیلی با نیروی برق‌آبی است. ابتدا اطلاعات و آمار استان مازندران از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۸ جمع‌آوری شده است.

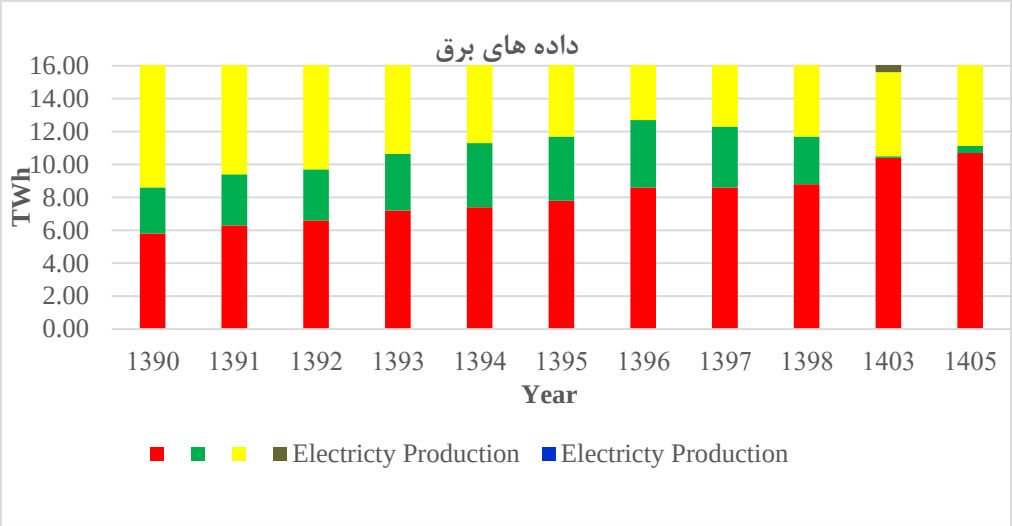
طبق شکل ۲ تقاضای برق استان مازندران از سال ۱۳۹۰ همواره رو به افزایش است و روند صعودی را طی می‌کند که به دلیل افزایش جمعیت روزافزون این استان و مهاجرت از استان‌های دیگر به این استان به دلیل آب‌وهوای خوب و معتدل است. این روند رو به رشد اگر ادامه داشته باشد، نیازمند تصمیم جدی در روش‌های تأمین نیاز برق این استان است. همچنین این نمودار نشان‌دهندهٔ ظرفیت بالا و تولید زیاد نیروگاه استان مازندران با توجه به مصرف زیاد این استان است و هر ساله ظرفیت و تولید ناویژهٔ برق این استان در حال افزایش است. به علت پرباران بودن و داشتن آب کافی در این استان نیروی برق‌آبی بسیار مورد توجه قرار گرفته و حدود یک چهارم ظرفیت این استان در بخش برق‌آبی است، ولی به انرژی‌های تجدیدپذیر دیگر مانند خورشیدی و بادی توجه نشده است. از سال ۱۳۹۳ نیروگاه برق‌آبی سیاه‌بیشه وارد چرخهٔ تولید برق و تأمین برق این استان شده است، که گامی مهم به سمت انرژی‌های پاک است و روزبه‌روز باید به آن بیشتر توجه شود [۲۱]. در این مقاله نیروگاه گازی غرب مازندران که به دلیل راندمان پایین و تولید کربن دی‌اکسید به محیط زیست آسیب زده، قرار است که از چرخهٔ تولید برق مازندران خارج شود [۲۲]. این نیروگاه به علت سوخت مازوت در بعضی مواقع سال دارای اثر منفی بر آب‌وهوای آن منطقه بوده

است و با توجه به ظرفیت آن، سهم زیادی در تولید برق مورد نیاز آن استان ندارد. در این نمودار میزان صادرات و واردات برق استان مازندران به نمایش گذاشته شده و میزان صادرات این استان همواره از میزان واردات آن بیشتر بوده است که نشان می‌دهد این استان سهم بسیار مهمی در بخش انرژی کشور دارد و انرژی تولیدی نیروگاه‌های این استان همواره بیشتر از مصرف داخلی است. دلیل صادرات این استان هم ظرفیت بالای نیروگاه‌های این استان است، اما روزبه‌روز از میزان صادرات این استان کم شده و پیش‌بینی می‌شود که در آینده با این ظرفیت نیروگاهی به صفر برسد. دلیل واردات هم کاهش اتلاف شبکهٔ توزیع در مناطق دوردست است، زیرا برق‌رسانی این مناطق از نیروگاه‌های استان‌های دیگر اتلاف کمتری دارد.

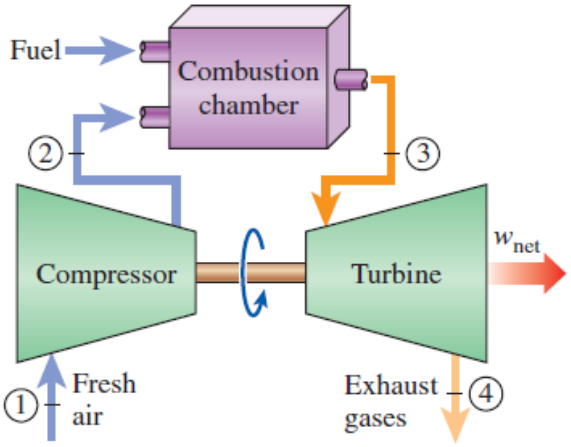
همان‌گونه که می‌دانید، حدود یک سوم سوخت مصرفی نیروگاه‌های استان مازندران را فرآورده‌های نفتی و دو سوم آن را گازطبیعی تشکیل می‌دهد و با گذشت زمان سهم گاز روزبه‌روز بیشتر شده و فرآورده‌های نفتی در مواقع کمبود گاز طبیعی استفاده می‌شوند و جایگاه سوخت ذخیره‌ای نیروگاه‌ها را دارد. علت استفادهٔ بیشتر از گاز طبیعی این است که حمل آن با لوله انجام می‌گیرد و راحت‌تر است، اما فرآورده‌های نفتی به وسیلهٔ تانکرهای نفت صورت می‌پذیرد و این کار باعث افزایش هزینهٔ تمام‌شدهٔ برق می‌شود. برای نمونه در سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۱ میزان مصرف گاز طبیعی نیروگاه به‌شدت کاهش یافته، ولی کمبود آن با فرآورده‌های نفتی جبران شد. گاز طبیعی به نسبت سوخت‌های دیگر سوخت پاک‌تری است و آلایندگی کمتری دارد و آسیب‌های آن به محیط زیست به شدت مازوت نیست، اما این روند رشد، تأمین گاز طبیعی در آینده به دلیل اینکه مازندران در شمال ایران واقع است و گاز طبیعی باید مسافت زیادی را طی کند و حتماً دچار افت می‌شود و باید چاره‌ای اندیشید. سوخت‌های فسیلی به عنوان منابع پایان‌پذیر شناخته می‌شود و برای رسیدن به انرژی پایدار مصرف آن حتماً باید کم شود و با منابع در جریان باید جایگزین شود تا سوخت‌های فسیلی برای آیندگان به یادگار بماند [۲۳].



شکل ۱. فلودیاگرام نرم‌افزار ENERGY PLAN



شکل ۲. آمارهای انرژی الکتریکی استان مازندران



شکل ۳. شماتیک نحوهٔ کارکرد سیکل برایتون در نیروگاه گازی [۲۴]

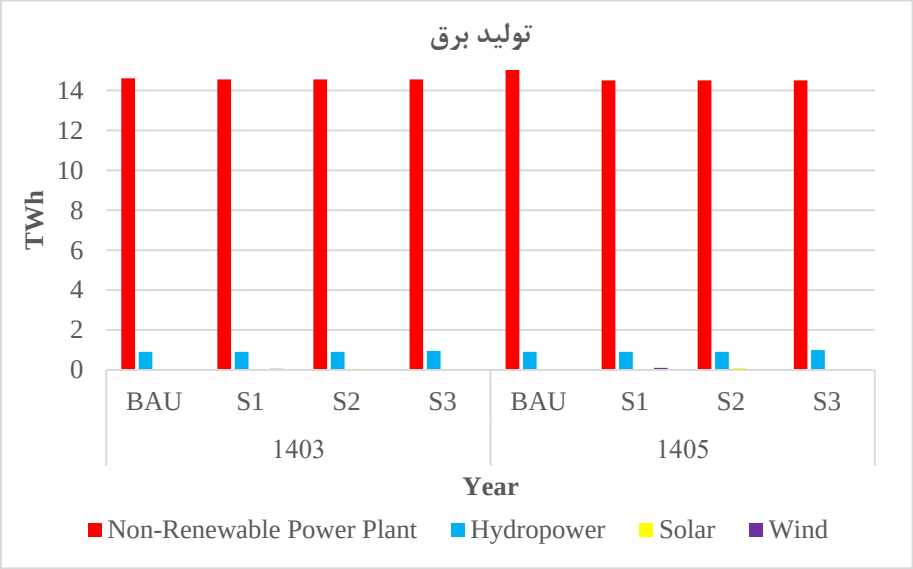
همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، در نیروگاه گازی سیال عامل هوا است و بر اساس سیکل برایتون کار می‌کند. سه جزء اصلی نیروگاه گازی مطابق شکل، کمپرسور، توربین گاز و اتاق احتراق است. نیروگاه‌های گازی کشور راندمانی بین ۲۰ تا ۳۰ درصد دارند. این نیروگاه دارای هزینهٔ کمتر و وزن کمتر نسبت به نیروگاه‌های بخاری است، به همین دلیل در گذشته مورد استقبال قرار می‌گرفت، اما امروزه به دلیل راندمان پایین بسیار کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. سوخت این نیروگاه‌ها می‌تواند به صورت گاز یا مایع باشد. سیاست جدیدی که در حال حاضر در کشور ایران پیاده می‌شود این است که نیروگاه‌های گازی کشور به سیکل ترکیبی تبدیل شود و راندمان بالا برود که نتیجهٔ آن این است که با مصرف سوخت کمتر، برق تولید شود.

۳. یافته‌ها

۳. ۱. مقایسهٔ فنی تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر در سال‌های ۱۴۰۳ و ۱۴۰۵

طبق شکل ۴، میزان تولید نیروگاه‌های استان مازندران مشخص شده است، ولی تا سال ۱۴۰۳ نصف نیروگاه و تا سال ۱۴۰۵ تمام نیروگاه گازی غرب مازندران را خاموش کرده و از چرخهٔ تولید خارج می‌کنیم و با سه سناریوی انرژی‌های تجدیدپذیر جایگزین می‌کنیم. در سناریوی اول با حذف نیروگاه، ۲۰ مگاوات نیروگاه بادی با توجه به پتانسیل استان مازندران وارد چرخهٔ تولید برق می‌شود که به‌راحتی ۰/۱ تراوات ساعت انرژی تولیدی نیروگاه سوخت فسیلی را جبران می‌کند و هیچ مشکلی در تأمین

برق استان پیش نمی‌آید. در سناریوی دوم با حذف نیروگاه، ۱۵ مگاوات نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک جایگزین نیروگاه گازی می‌شود و در سال ۱۴۰۵، ۰/۱ تراوات ساعت انرژی برق تولید می‌کند. در سناریوی سوم با توجه به ظرفیت بالای نیروگاه سیاه‌بیشه، ساعت کار این نیروگاه را افزایش داده و با توجه به منابع آبی فراوان استان مازندران ۰/۱ تراوات ساعت بیشتر از تولید برق معمولی این نیروگاه استفاده کرد. در تمام این سناریوها هیچ مشکلی در تأمین پایدار انرژی برق به وجود نیامده اما به محیط زیست آن منطقه بسیار کمک می‌کند.



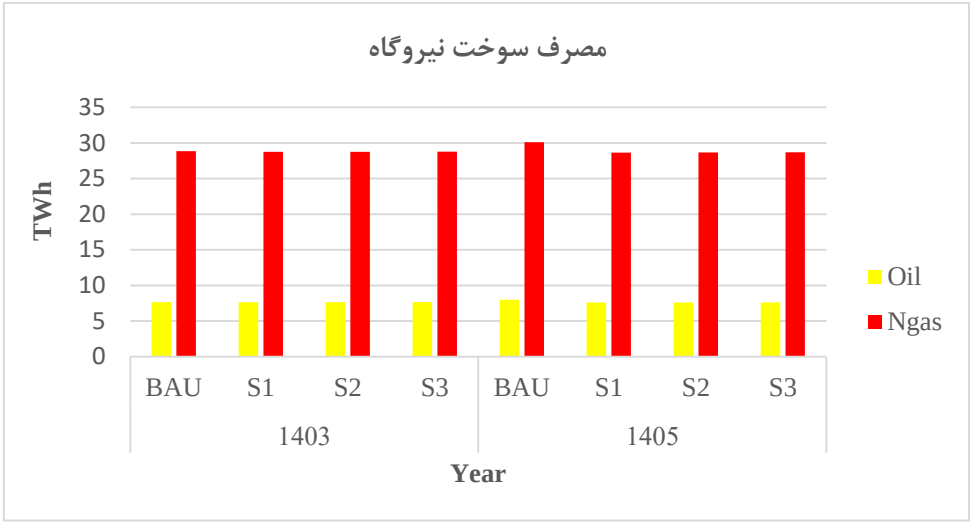
شکل ٤. تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر

۳. ۲. مقایسهٔ مصرف سوخت نفت و گاز طبیعی نیروگاه

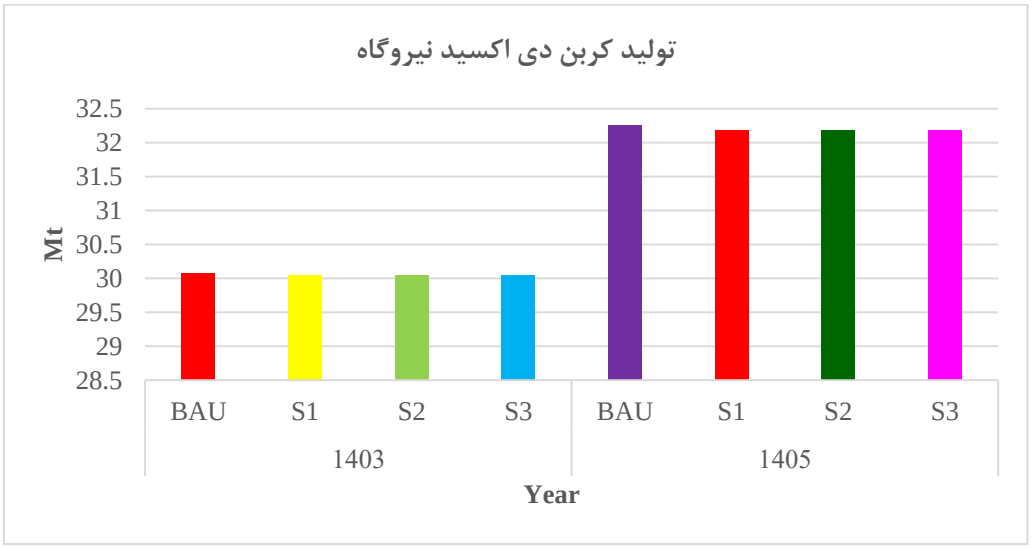
شکل ۵ سوخت مصرفی نیروگاه‌های استان مازندران را نشان می‌دهد. تا سال ۱۴۰۳ و با از مدار خارج کردن نیمی از نیروگاه، ارزش حرارتی معادل ۳۰ گیگاوات ساعت از فرآورده‌های نفتی و ۱۰۰ گیگاوات ساعت گاز طبیعی صرفه‌جویی شده و منابع پایان‌پذیر سوخت‌های فسیلی حفظ می‌شود. در سال ۱۴۰۵ و با خارج کردن کامل نیروگاه از مدار ۵۰ گیگاوات ساعت فرآورده‌های نفتی و ۱۳۰ گیگاوات ساعت در مصرف گاز طبیعی صرفه‌جویی می‌شود. کشور ایران در سال‌های اخیر با مشکل کمبود گاز طبیعی روبه‌رو است که به‌ناچار گاز طبیعی صنایع را قطع می‌کند. استان مازندران هم از این قاعده جدا نیست. با اجرای این سناریوها می‌توان به صنایع استان سوخت رساند و تولید کارگاه‌ها و کارخانه‌ها متوقف نکرد. این کاهش مصرف باعث حفظ سوخت‌های فسیلی برای آیندگان می‌شود و از هدررفت سرمایه‌های کشور جلوگیری می‌کند.

۳. ۳. مقایسهٔ اثرات زیست‌محیطی نیروگاه طی سال‌های ۱۴۰۳ و ۱۴۰۵

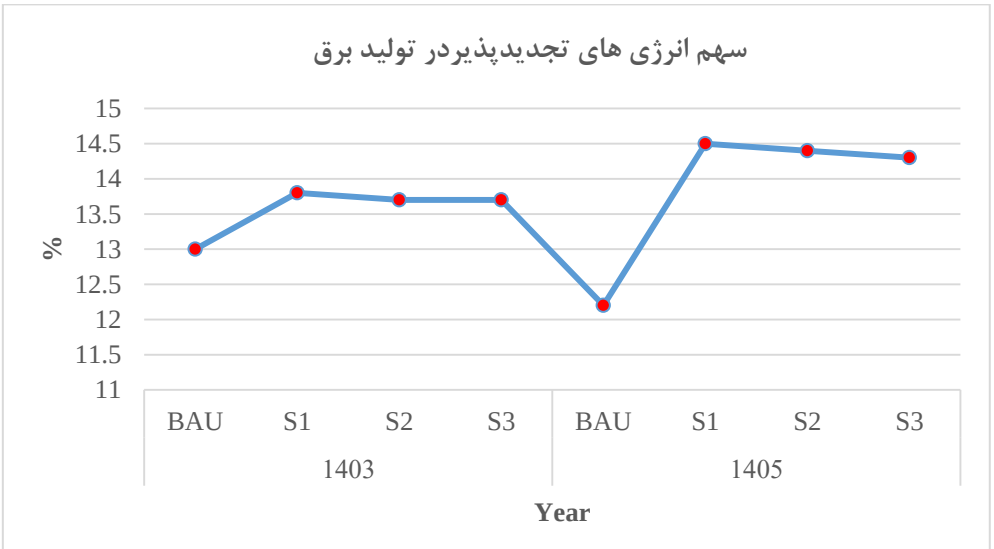
در شکل ۶ تولید کربن دی‌اکسید در استان مازندران نشان داده شده است. کربن دی‌اکسید که از سوختن سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود، عامل اصلی گرمایش زمین و تغییرات اقلیمی است و بر سلامتی مردم تأثیر می‌گذارد. تولید بیش از حد کربن دی‌اکسید در یک محیط باعث تنگی نفس افراد سالخورده، کودکان و افراد دارای بیماری‌های مزمن می‌شود که موجب افزایش هزینه‌های بهداشت و درمان می‌شود و هزینه‌هایی بر دوش دولت می‌گذارد. در مازندران با توجه به توریست‌پذیر و قطب گردشگری ایران بودن اهمیت این موضوع دو چندان می‌شود. اگر تولید کربن دی‌اکسید در این استان کنترل نشود، باعث گرمایش بیش از حد آن می‌شود و آتش‌سوزی جنگل‌ها را به دنبال دارد. طبق ۳ سناریوی پیاده‌شده در استان مازندران، تا سال ۱۴۰۳، ۳۰ هزار تن، و تا سال ۱۴۰۵، ۳۲ هزار تن از تولید کربن دی‌اکسید کاسته می‌شود. این کاهش کربن دی‌اکسید از آسیب رسیدن به مزارع کشاورزی اطراف این نیروگاه جلوگیری می‌کند. این گام مثبت در محیط زیست آن منطقه بسیار تأثیرگذار است.



شکل ۵. سوخت مصرفی نیروگاه‌های استان مازندران



شکل ٦. تولید کربن دی‌اکسید نیروگاه



شکل ۷. سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق

با توجه به شکل ۷، سناریوهای مختلف پیاده‌شده باعث افزایش سهم ۲/۵ درصدی انرژی‌های تجدیدپذیر در استان مازندران در سال ۱۴۰۵ شده و این رشد می‌تواند باعث متنوع شدن سبد انرژی‌های تجدیدپذیر مازندران و گامی مؤثر در اهمیت دادن محیط زیست و حفظ منابع پایان‌پذیر باشد. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به پایداری انرژی استان کمک بسیاری می‌کند و باید این سهم بیشتر از این افزایش یابد. هر چه سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در یک منطقه بیشتر باشد نشان از رشد و پیشرفت تکنولوژی در آن منطقه است. رشد انرژی‌های تجدیدپذیر در مازندران می‌تواند از این هم بیشتر باشد و در سیاست‌های انرژی این استان برای آینده باید مورد توجه قرار بگیرد.

۳. ۴. بررسی رویکردهای سیاست‌گذاری

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر گوناگون را در استان مازندران نشان می‌دهد. در سناریوی اول از انرژی بادی برای جبران نیروگاه حذف شده استفاده می‌شود. انرژی بادی از انرژی‌های پاک بوده و تولید برق به وسیلهٔ آن، آلودگی کمتری نسبت به سوخت فسیلی دارد، اما انرژی بادی معایبی را به همراه دارد که در سیاست‌گذاری باید لحاظ شود. توربین‌های بادی مناظر بکر طبیعت را دست‌خوش تغییر می‌دهد و صدای نامطلوبی ایجاد می‌کند و از آنجا که مازندران قطب توریست ایران است و سالانه مسافرهای زیادی بابت بازدید از مناظر طبیعی وارد این استان می‌شوند، این معایب بیشتر به چشم می‌آیند و حس می‌شوند، اما به حفظ محیط زیست این استان کمک شایانی می‌کند. در سناریوی دوم با استفاده از سیستم فتوولتائیک ۱۰۰ گیگاوات ساعت وارد چرخهٔ تولید برق این استان شده و کمبود ناشی از حذف نیروگاه جبران می‌شود. انرژی خورشیدی در این استان مورد کم‌مهری قرار گرفته و تا کنون از آن استفاده نشده است. اما با توجه به ظرفیت تابش این استان، می‌توان تنها با احداث نیروگاهی به ظرفیت ۳۱ مگاوات، کمبود انرژی را جبران کرد، اما برای استفاده از برق آن باید از باتری استفاده کرد، زیرا به طور نامنظم در نوسان هستند و به آب‌وهوا وابسته‌اند. که کمی هزینه‌ها را بالا می‌برد و دورهٔ عمر مشخصی دارند که سیاست‌گذاران را برای استفاده از آن دچار تردید می‌کند، اما بر هیچ‌کس پوشیده نیست که استفاده از آن به حفظ محیط زیست کمک بسیاری می‌کند. با توجه به بارش سالیانه بالا در استان مازندران و وجود سد سیاه‌بیشه در استان مازندران سناریوی سوم به استفاده از انرژی برق‌آبی پرداخته است. انرژی برق‌آبی معایبی دارد که باید به آن توجه شود. در سال‌هایی که بارش باران کم می‌شود نمی‌توان از این نیروگاه استفاده کرد، زیرا هدررفت آب دارد و ممکن است برای سال‌های بعد که مازندران با کم آبی روبه‌رو می‌شود دردسرساز شود، اما استفاده از آن در صورت بارش کافی به محیط زیست مازندران کمک می‌کند و به‌راحتی جایگزین نیروگاه گازی غرب مازندران می‌شود. در هر سه سناریو انرژی تجدیدپذیر جایگزین نیروگاه با خوراک سوخت فسیلی شده و هیچ مشکلی در سیستم عرضهٔ انرژی این استان اتفاق نمی‌افتد و تمام این جایگزینی‌ها با پتانسیل موجود در این استان سیاست‌گذاری شده است و با توجه به معایب و مزایای این انرژی‌های در جریان می‌توان بهترین گزینه را یافت و مشکل محیط زیستی غرب مازندران را حل کرد و در این پژوهش به چند مورد می‌توان اشاره کرد:

هزینهٔ بالا: استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر با نفوذ بالا هزینه‌های ابتدایی بالایی دارد، اما با پیشرفت تکنولوژی و افزایش تولید مقیاسی، هزینه‌ها کاهش می‌یابد.

نیاز به زمین: برای ایجاد نیروگاه‌های بزرگ بر انرژی‌های تجدیدپذیر نیاز به فضای زیادی است که ممکن است در برخی مناطق محدودیت‌هایی وجود داشته باشد .

تابعیت و قدرت چندمنظوره: تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر نیاز به تکنولوژی‌های پیچیده‌تری دارد که به طور هم‌زمان برای تولید برق و مدیریت شبکه باید عملکرد مناسب داشته باشند.

ذخیره‌سازی انرژی: یکی از چالش‌های اصلی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر با نفوذ بالا، ذخیره‌سازی انرژی در زمان‌هایی است که تولید انرژی بیش از نیاز است.

ادغام با شبکه‌های موجود: برای ادغام بهینهٔ انرژی تولیدی از انرژی‌های تجدیدپذیر با شبکه‌های برق موجود، نیاز به فناوری‌ها و تجهیزات جدید است.

مدیریت نیازهای تولیدی: نیاز به مدیریت دقیق تقاضا و تأمین انرژی بر اساس شرایط جغرافیایی و محیطی هر منطقه، یکی از چالش‌های اصلی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر با نفوذ بالا است.

نیاز به همکاری بین‌المللی: توسعهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر با نفوذ بالا نیاز به همکاری بین‌المللی برای تبادل تجارب و فناوری‌ها دارد.

۴. نتیجه‌گیری

ایران هفتمین کشور تولیدکنندهٔ کربن دی‌اکسید در دنیا است و سال‌به‌سال بر مقدار تولید کربن دی‌اکسید آن افزوده می‌شود. کربن دی‌اکسید عامل اصلی گرمایش زمین و تغییرات اقلیمی است. یکی از راهکارهای مواجهه با این پدیده، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر است. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در جریان، انرژی‌های پایان پذیر سوخت‌های فسیلی را برای نسل‌های آینده حفظ می‌کند. در این مقاله، یک نیروگاه گازی در غرب استان مازندران را طی دو مرحله از چرخهٔ تولید حذف و با سبد انرژی‌های تجدیدچذیر طی سه سناریو جایگزین می‌کنیم. سیستم انرژی این استان با استفاده از نرم‌افزار ENERGY PLAN مدل‌سازی و بررسی شده است و مطابق یافته‌ها موارد زیر بیان می‌شود.

- سه سناریوی پیش رو جایگزینی این نیروگاه با بادی، خورشیدی و برق آبی بوده است و رشد سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق تا ۱۴/۵ درصد را در پی داشت.
- در این سناریوها مقدار ۳۰ هزار تن کربن دی‌اکسید در سال ۱۴۰۳ و ۶۰ هزار تن کربن دی‌اکسید در سال ۱۴۰۵ کاهش یافت. یکی از مزیت‌های دیگر این کار صرفه‌جویی در سوخت مصرفی نیروگاه بود که حدود ۱۸۰ گیگاوات ساعت در سال ۱۴۰۵ برآورد شده بود.
- میزان ظرفیت نصب‌شدهٔ انرژی‌های تجدید پذیر برابر است با انرژی بادی به ظرفیت۴۰ مگاوات، خورشیدی ۳۱ مگاوات و استفادهٔ بیشتر از نیروگاه سیاه‌بیشه با ظرفیت قدیمی ۱۰۵۴ مگاوات است.
- میزان انرژی تولیدی در همهٔ سناریوها ۰/۱ تراوات ساعت است که به‌راحتی جایگزین نیروگاه گازی می‌شود.
- در این مقاله با حذف نیروگاه، انرژی‌های تجدیدپذیر جایگزین شده است. در پژوهش‌های بعدی بهتر است که حذف کربن از نیروگاه مورد بررسی قرار گیرد و انرژی مورد نیاز برای حذف کربن از انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین شود.
- آمارهای ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر در این مقاله با استفاده از تابش نور خورشید و سرعت باد در مرکز استان به دست آمده است. بهتر است در پژوهش‌های بعدی مکان‌یابی دقیق محل احداث نیروگاه شناخته شود و برحسب پتانسیل این مکان‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

1. Olabi, A. and M.A. Abdelkareem, Renewable energy and climate change. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2022. 158: p. 112111.
2. Su, C.-W., et al., Renewable energy and technological innovation: Which one is the winner in promoting net-zero emissions? Technological Forecasting and Social Change, 2022. 182: p. 121798.
3. Asvad, M., et al., Multiscale kinetic modeling for biohydrogen production: A study on membrane bioreactors. International Journal of Hydrogen Energy, 2023. 48(76): p. 29641-29650.
4. Bairamvand, R., et al., Potential measurement and estimation of wind power characteristics for energy generation (Synoptic stations of Mazandaran Province). Journal of Geography and Environmental Studies, 2022. 11(43): p. 6-23.
5. Ahmadi-Kaliji, S ,.et al., Energy modeling to compensate for the seasonal lack of electrical and thermal energy depending on the different climates of Iran. Heliyon, 2023. 9(10): p. e20455.
6. Izanloo, M., Y. Noorollahi, and A. Aslani, Future energy planning to maximize renewable energy share for the south Caspian Sea climate. Renewable Energy, 2021. 175: p. 660-675.
7. Solaymani, S., A review on energy and renewable energy policies in Iran. Sustainability, 2021. 13(13): p. 7328.
8. Ang, T.-Z., et al., A comprehensive study of renewable energy sources: classifications, challenges and suggestions. Energy Strategy Reviews, 2022. 43: p. 100939.
9. Li, R., X. Wang, and Q. Wang, Does renewable energy reduce ecological footprint at the expense of economic growth? An empirical analysis of 120 countries. Journal of Cleaner Production, 2022. 346: p. 131207.
10. Tutak, M. and J. Brodny, Renewable energy consumption in economic sectors in the EU-27. The impact on economics, environment and conventional energy sources. A 20-year perspective. Journal of Cleaner Production, 2022. 345: p. 131076.
11. Ma, X., et al., Adsorption of low-concentration organic pollutants from typical coal-fired power plants by activated carbon injection. Process Safety and Environmental Protection, 2022. 159 :p. 1174-1183.
12. Desideri, U. and A. Paolucci, Performance modelling of a carbon dioxide removal system for power plants. Energy conversion and management, 1999. 40(18): p. 1899-1915.
13. Xiao, R., et al., Removal of elemental mercury from flue gas by recyclable CuCl2 modified magnetospheres catalyst from fly ash: Part 6. Commercial scale demonstration at a 1000MWth coal-fired power plant. Fuel, 2022. 310: p. 122219.
14. Guo, Y., et al., The co-benefits of clean air and low-carbon policies on heavy metal emission reductions from coal-fired power plants in china. Resources, Conservation and Recycling, 2022. 181: p. 106258.
15. Benedek, J., T.-T. Sebestyén, and B. Bartók, Evaluation of renewable energy sources in peripheral areas and renewable energy-based rural development. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. 90: p. 516-535.
16. Abu-Rumman, G., A.I. Khdair, and S.I. Khdair, Current status and future investment potential in renewable energy in Jordan: An overview. Heliyon, 2020. 6(2): p. e03346.
17. Baloch, Z.A., et al., A multi-perspective assessment approach of renewable energy production: policy perspective analysis. Environment, Development and Sustainability, 2022. 24(2): p. 2164-2192.
18. Neupane, D., et al., Solar and wind energy potential assessment at provincial level in Nepal: Geospatial and economic analysis. Renewable Energy, 2022. 181: p. 278-291.
19. Khojasteh, D., et al., Assessment of renewable energy resources in Iran; with a focus on wave and tidal energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. 81: p. 2992-3005.
20. Mohammadlou, M., et al., Objective evaluation of the Global Environmental Multiscale Model (GEM) with precipitation and temperature for Iran. Natural Resource Modeling, 2022. 35(3): p. e12343.
21. Daneshgar, S. and R. Zahedi, Investigating the hydropower plants production and profitability using system dynamics approach. Journal of Energy Storage, 2022. 46: p. 103919.
22. Karakurt, I. and G. Aydin, Development of regression models to forecast the CO2 emissions from fossil fuels in the BRICS and MINT countries. Energy, 2023. 263: p. 125650.
23. Maroufi, N. and N. Hajilary, The impacts of economic growth, foreign direct investments, and gas consumption on the environmental Kuznets curve hypothesis CO2 emission in Iran. Environmental Science and Pollution Research, 2022. 29(56): p. 85350-85363.

24 .Boyce, M.P., Gas turbine engineering handbook. 2011: Elsevier.