-- Iranian Energy Economics------
Summer 2024, 51 (13), 5-28
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2024.78595.2074

Original Research
Received: 23/Apr/2024
Accepted: 4/Mar/2024
ISSN: 2423-5954
eISSN: 2476-6437

Environmental assessment of renewable and non-renewable power plants for electricity generation from the perspective of CO_2 emission

Reza Bakhshi –

Mr. University of Tehran Faculty of Economics
Tehran, Iran.

Abstract

The unprecedented increase in energy demand due to population growth and developmental needs has intensified the necessity for constructing new power plants to meet this demand. This study aims to examine the environmental impacts of renewable and non-renewable power plants from the perspective of greenhouse gas emissions. The RETScreen software has been employed to calculate emission factors, and a cost-benefit analysis approach has been used to evaluate environmental impacts. Estimates reveal that renewable power plants such as wind and solar plants have zero emissions, whereas non-renewable power plants emit significant amounts of carbon dioxide.

This study calculates the emission factors of power plants per megawatt-hour of electricity generation. According to the data, coal-fired power plants have the highest emission factor, equivalent to 1.0734 tons of carbon dioxide per megawatt-hour, whereas this factor is zero for renewable energy-based power plants. Furthermore, an analysis of environmental costs indicates that non-renewable power plants incur substantial costs. For instance, the annual environmental cost of operating a coal-fired power plant is estimated at 1,509 billion IRR.

This research provides guidance to energy policymakers, emphasizing that selecting renewable technologies not only helps reduce greenhouse gas emissions but also eliminates environmental costs. Adopting supportive policies for the utilization of clean energy can pave the way for a sustainable future in energy production while minimizing the adverse environmental impacts of non-renewable power plants.

Methods and Material

This research employs a cost-benefit analysis method to examine the environmental impacts of renewable and non-renewable power plants. This systematic approach evaluates the environmental benefits and costs associated with each power plant over its operational lifetime. The analyses include calculating carbon dioxide

– Corresponding Author: Rezabakhshi1228@gmail.com
How to Cite: Bakhshi, R. (2024 Environmental assessment of renewable and non-renewable power plants for electricity generation from the perspective of CO_2 emission. Iranian Energy Economics, 51 (13), 5-28.

emissions, emission factors, and the economic value of emissions over a specified time period. In this method, a discount rate is applied to adjust future cash flows, enabling the calculation of the net present value of emissions and environmental costs.

The cost-benefit analysis in this study estimates the environmental costs resulting from greenhouse gas emissions. The value of each ton of carbon dioxide emitted was calculated based on a 3% discount rate, as provided by the United States Environmental Protection Agency (EPA). For the year 2023, the announced rate was set at $44.6 per ton of carbon dioxide, adjusted using an exchange rate of 406,400 IRR. Furthermore, for localizing the discount rate in Iran, calculations from Abdoli (2009) were utilized, estimating a time preference rate of 7.2%. These rates were employed in the discounting analyses to provide a realistic picture of the environmental costs and benefits throughout the operational period.

Results and Discussion

The findings of this research indicate that renewable power plants are an optimal choice for reducing environmental impacts and achieving sustainable development. These plants, with zero emission factors, not only reduce greenhouse gas emissions but also eliminate environmental costs. For example, wind and solar power plants produce no carbon dioxide emissions per megawatt-hour of electricity generation, whereas coal-fired power plants create the highest pollution and costs.

Cost-benefit analysis reveals that coal-fired power plants emit 83,313 tons of carbon dioxide annually during operation, incurring an environmental cost of 1,509 billion IRR. In contrast, opting for renewable power plants can prevent such costs and contribute to the decarbonization of the energy sector.

This study highlights the importance of supporting renewable technologies due to their environmental and economic benefits. Governments and energy companies can facilitate the transition to green energy by investing in this sector and implementing incentive policies. These measures can improve the quality of life and mitigate the impacts of climate change.

Keywords: environmental effects, plant, renewable, non-renewable

JEL Classification: Q43 , Q51 , Q54 , Q56

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

-- پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران ---------
دوره ۱۳، شماره ۵۱، تابستان ۱۴۰۳، ۵-۲۸
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2024.78595.2074

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۴
ISSN: ۲۴۲۳-۵۹۵۴
eISSN: ۲۴۷۶-۶۴۳۷

ارزیابی زیست‌محیطی نیروگاه‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تولید برق از منظر انتشار دی‌اکسیدکربن

رضا بخشی * کارشناس ارشد رشته اقتصاد نظری، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

چکیده

لزوم گسترده فعالیت‌های توسعه‌ای و روند در حال رشد تقاضای انرژی، احداث نیروگاه‌های جدید برای پاسخ نیازها، به امری ضروری تبدیل شده است. با توجه به مسائل زیست‌محیطی و پایان‌پذیر بودن منابع فسیلی، توجه به نیروگاه‌های تجدیدپذیر برای گذار به تولید انرژی سبز امری مهم قلمداد می‌شود. از موارد مهم در احداث سیستم‌های تولید انرژی علاوه بر در نظر گرفتن مسائل مالی، اقتصادی و جغرافیایی؛ ارزیابی و بررسی اثرات زیست‌محیطی نیروگاه‌ها از منظر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای است. هدف از این تحقیق تعیین نقش نیروگاه‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در انتشار کل گازهای ایجاد شده در یک سال از دوره بهره‌برداری است که از نرم‌افزار تجزیه و تحلیل RETscreen برای برآورد ضریب انتشار و روش تحلیلی هزینه منافع برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی استفاده شده است. براساس نقش ارزش هر تن کربن دی‌اکسید و نرخ تنزیل اثرات زیست‌محیطی در برآورد ارزش هر تن کربن دی‌اکسید منتشر شده، ضریب انتشار سیستم‌های تجدیدپذیر در دوره بهره‌برداری صفر و برای سیستم‌های توربین گازی، موتور دوطرفه گازی، موتور دو طرفه بیوگاز و توربین بخار ـ زغال سنگ معادل ۷۰۰، ۷۴۷، ۴۵ و ۱،۵۰۹ میلیارد ریال هزینه انتشار برآورد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی زیست‌محیطی، نیروگاه، تجدیدپذیر، تجدیدناپذیر

طبقه‌بندی JEL: Q56 , Q54 , Q51 , Q43

* نویسنده مسئول: Rezabakhshi1228@gmail.com

۱. مقدمه

تأثیر نیروگاه‌ها بر محیط زیست موضوعی است که در جامعه علمی بسیار مورد توجه است. نیروگاه‌ها به‌عنوان عوامل مؤثر در آلودگی هوا، انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی آب شناخته شده‌اند (بینش‌پور و همکاران[۱]، ۲۰۲۱). این انتشارات می‌تواند اثرات مضری بر سلامت انسان، اکوسیستم‌ها و کیفیت کلی محیط داشته باشد. یکی از منابع اصلی آلودگی هوا از نیروگاه‌ها، احتراق سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ است (محمدی و همکاران[۲]، ۲۰۲۱، مهدی‌پور و همکاران[۳]، ۲۰۲۱). در سال‌های اخیر، علاقه فزاینده‌ای به کشف منابع جایگزین انرژی برای پاسخگویی به تقاضای روزافزون جهانی برای برق وجود داشته است. جایگزین‌هایی همچون استفاده از انرژی زمین‌گرمایی (میستر و هاگ[۴]، ۲۰۰۵)، انرژی خورشیدی (الگارن و آواستی[۵]، ۲۰۱۸) و نیروگاه برق آبی (سینگ و سینگال[۶]، ۲۰۱۷) تحت عنوان انرژی‌های تجدیدپذیر در مقابل انرژی‌های تجدیدناپذیری همچون نیروگاه توربین یا مولد گازسوز (وانگ و لی[۷]، ۲۰۰۶) و زغال سنگ (میشرا[۸]، ۲۰۰۴) مورد استفاده و توجه قرار گرفته است.

رابطه بین تولید انرژی و محیط زیست یک موضوع پیچیده در دنیای امروز است. نیاز روبه رشد انرژی در جوامع مختلف تحت تأثیر عواملی ازجمله نرخ رشد اقتصادی (الملالی[۹]، ۲۰۱۴؛ هانسون[۱۰]، ۲۰۰۲) و نرخ رشد جمعیت (آوتار و همکاران[۱۱]، ۲۰۱۹) به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، آنها را در تکاپوی یافتن راه‌هایی برای افزایش بهره‌وری و کارایی در بخش انرژی و در عین حال به حداقل رساندن اثرات منفی زیست‌محیطی هدایت کرده است.

ارزیابی زیست‌محیطی ابزاری حیاتی است که در زمینه علوم محیطی برای ارزیابی اثرات بالقوه یک پروژه (اثرات اولیه و ثانویه زیست‌محیطی) استفاده می‌شود. این فرآیند

1. Bineshpour et al.
2. Mohammadi et al.
3. Mahdipour et al.
4. Meystre and Haug
5. Al Garn and Awasthi
6. Singh and Singal
7. Wang and Li
8. Mishra
9. Al-Mulali,
10. Hannesson
11. Avtar et al.

شامل تجزیه و تحلیل جامع عوامل محیطی از جمله کیفیت هوا، کیفیت آب، سلامت خاک و تنوع زیستی است (آچاریا[1]، ۲۰۲۲؛ آرگیردیس و همکاران[2]، ۲۰۲۰). یکی از اهداف کلیدی ارزیابی زیست محیطی، شناسایی هرگونه خطر بالقوه یا اثرات منفی است که یک پروژه ممکن است بر محیط زیست داشته باشد. تولید انرژی برای جامعه مدرن ضروری است و خانه‌ها، مشاغل و سیستم‌های حمل و نقل ما را تأمین می‌کند. با این حال، روش‌های تولید انرژی می‌تواند پیامدهای قابل توجهی برای محیط زیست داشته باشد. سوزاندن سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی، گازهای گلخانه‌ای را در اتمسفر آزاد می‌کند و به تغییرات اقلیمی و آلودگی هوا کمک می‌کند. علاوه بر این، استخراج معادن و حفاری این منابع می‌تواند منجر به تخریب زیستگاه، آلودگی آب و سایر آسیب‌های زیست‌محیطی (آولس و والانی[3]، ۲۰۰۷) گردد.

براساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی (IEA)[4] (۲۰۲۲) انتشار جهانی دی‌اکسیدکربن ناشی از احتراق انرژی و فرآیندهای صنعتی ۰/۹ درصد در سال ۲۰۲۲ رشد کرده است (معادل ۳۲۱ میلیون تن دی‌اکسیدکربن) به‌طوری‌که در سال ۲۰۲۲ به بالاترین سطح خود یعنی ۳۶/۸ میلیارد تن رسیده است که منابع انرژی زغال سنگ، نفت و گاز به ترتیب با انتشار ۱۵/۵، ۱۱/۲ و ۷/۳ میلیارد تن کربن دی‌اکسید در سال ۲۰۲۲ بیشترین سهم را در انتشار داشته‌اند. بیشترین افزایش مطلق از محل بخش‌ها (بخش تولید انرژی، صنعت، حمل و نقل و ساختمان‌سازی) در انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال ۲۰۲۲، مربوط به تولید برق و گرما است که معادل ۱۴/۶۵ میلیارد تن کربن دی‌اکسید است.

هنگامی که صحبت از انتخاب بهترین نیروگاه برای یک مکان خاص می‌شود، عوامل متعددی ازجمله در دسترس بودن منابع، هزینه ساخت و بهره‌برداری و اثرات بالقوه زیست‌محیطی باید در نظر گرفته شود (محمد و همکاران[5]، ۲۰۱۷) منابع انرژی تجدیدپذیر مانند باد، خورشیدی و برق آبی جایگزین پاک‌تری برای سوخت‌های فسیلی هستند. این منابع بدون انتشار گازهای گلخانه‌ای انرژی تولید می‌کنند و تأثیر بسیار کمتری بر محیط‌زیست دارند (افغان و کاروالیو[6]، ۲۰۰۲). در حالی که منابع انرژی تجدیدپذیر مزایای

1 . Acharya
2 . Argyroudis et al.
3 . Owles and Vallani
4 . International Energy Agency
5 . Mohammed et al.
6 . Afgan and Carvalho

زیست‌محیطی زیادی را ارائه می‌دهند، اما چالش‌هایی نیز دارند. به‌عنوان مثال، مزارع خورشیدی و بادی در مقیاس بزرگ می‌توانند به مقادیر قابل توجهی زمین نیاز داشته باشند (بولینگر و بولینگر[1]، ۲۰۲۲) که می‌تواند روی زیستگاه حیات وحش و اکوسیستم تأثیر بگذارد. هم‌چنین پروژه‌های برق آبی و نیروگاه خورشیدی در سطح آب می‌تواند اکوسیستم رودخانه‌ها را مختل کند و جمعیّت ماهی‌ها را تحت تأثیر قرار دهد (دستورالعمل محیطزیست، بهداشت و ایمنی نیروگاه‌های خورشیدی، ضابطه شماره ۷۸۵؛ ساتبا[2]، ۱۳۹۸).

یکی از مهم‌ترین ملاحظات در انتخاب نیروگاه، نوع سوخت یا منبع انرژی مورد استفاده است. همان‌طورکه بحث کردیم، سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی اثرات زیست‌محیطی قابل توجهی دارند، بنابراین مهم است که منابع جایگزین مانند انرژی‌های تجدیدپذیر را در نظر بگیریم (منظور و همکاران، ۱۳۹۳). منابع انرژی تجدیدپذیر علاوه بر پاک‌تر و پایدارتر بودن، به‌طور فزاینده‌ای مقرون به‌صرفه با سوخت‌های فسیلی رقابت می‌کنند و آن‌ها را به انتخابی هوشمند برای بسیاری از پروژه‌های نیروگاهی تبدیل می‌کند. یکی دیگر از فاکتورهای کلیدی که در انتخاب نیروگاه باید در نظر گرفته شود، کارایی فناوری است. نیروگاه‌های مدرن بسیار کارآمدتر از نیروگاه‌های قدیمی هستند، به این معنی که می‌توانند برق بیشتری را با سوخت کمتر تولید کنند (ژانگ و همکاران[3]، ۲۰۱۰). این نه‌تنها انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر اثرات زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد، بلکه باعث صرفه‌جویی در هزینه‌های سوخت و ارائه خدمات انرژی به شیوه‌ای پایدار می‌شود (روزن[4]، ۲۰۰۹). برای مثال، توربین‌های گازی سیکل ترکیبی می‌توانند بازدهی بیش از ۶۰ درصد را به‌دست آورند و آن‌ها را به گزینه‌ای محبوب برای پروژه‌های نیروگاهی جدید تبدیل می‌کند (آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا[5]، ۲۰۲۳).

رابطه بین تولید انرژی و محیط‌زیست موضوعی حیاتی است که نیاز به بررسی و برنامه‌ریزی دقیق دارد. با انتخاب بهترین نیروگاه برای یک مکان خاص، با به حداکثر

1. Bolinger and Bolinger

۲. سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق

3. Zhang et al.
4. Rosen
5. EIA

رساندن بهره‌وری و به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی، می‌توانیم به سمت آینده انرژی پایدارتر تلاش کنیم.

در این مقاله، ارتباط بین تولید انرژی و محیط‌زیست بررسی می‌شود. با تمرکز بر اینکه چگونه انواع مختلف منابع انرژی می‌توانند بر محیط زیست تأثیر بگذارند و چگونه می‌توانیم برای به حداکثر رساندن بهره‌وری و در عین حال به حداقل رساندن آسیب به سیاره کار کنیم. ارزیابی زیست‌محیطی فرآیندی حیاتی است که شامل ارزیابی اثرات بالقوه زیست‌محیطی یک پروژه یا فعالیت پیشنهادی قبل از انجام آن می‌شود. در مورد نیروگاه‌ها، ارزیابی زیست‌محیطی برای شناسایی و رسیدگی به هرگونه خطرات زیست‌محیطی بالقوه مرتبط با بهره‌برداری از تأسیسات، ازجمله انتشار کربن دی‌اکسید ضروری است.

بدین منظور سازماندهی این مطالعه بدین صورت است که در بخش دوم پیشینه پژوهش مطرح شده و سپس در بخش سوم روش پژوهش ارائه شده است. در بخش چهارم یافته‌های تحقیق و در بخش آخر به بحث و نتیجه‌گیری پرداخته شده است.

۲. پیشینه پژوهش

ارزیابی زیست‌محیطی نیروگاه‌ها به دلیل نگرانی‌های روزافزون در مورد اثرات زیست‌محیطی و نیاز انتقال به منابع انرژی تجدیدپذیر، یک حوزه مطالعه حیاتی است. چندین یافته تحقیقاتی بینش‌های ارزشمندی را در مورد جنبه‌های مختلف ارزیابی زیست‌محیطی در نیروگاه‌ها، ازجمله تولید هیدروژن، یکپارچه‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر، اثرات زیست‌محیطی و پیامدهای زیست‌محیطی تولید برق ارائه کرده‌اند. مطالعات مختلف انجام شده در زمینهٔ اثرات زیست‌محیطی نیروگاه‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در یک تقسیم‌بندی کلی به دو دسته کمی و کیفی تقسیم‌بندی می‌شود. اثرات زیست‌محیطی همچون مصرف آب (یانگ و دینگ[1]، ۲۰۱۵؛ تولبه و همکاران[2]، ۲۰۲۱)، اثرات بر خاک و زمین (دنهولم و همکاران[3]، ۲۰۰۹؛ هرناندز و همکاران[4]، ۲۰۱۴) و میزان

1. Yang et al.
2. Tawalbeh et al.
3. Denholm et al.
4. Hernandez & et al.

انتشار در فاز ساخت و فاز عملیاتی بخش‌های مختلف مصرف‌کننده انرژی (قادیکلایی[1]، ۲۰۲۱؛ کیم و همکاران[2]، ۲۰۲۰) از موارد بررسی اثرات زیست‌محیطی نیروگاه‌های با تکنولوژی مختلف است. نیروگاه‌های تولید برق مبتنی بر سوخت فسیلی موادی مانند سولفیدها، نیتریدها و دی‌اکسیدکربن منتشر می‌کنند که تأثیر منفی بر محیط‌زیست و موجودات زنده دارند (چلیک و همکاران[3]، ۲۰۱۷). علاوه بر این، کاهش منابع سوخت فسیلی باعث شده است تا محققان به دنبال راه‌های پایدارتری برای تولید برق (جی[4]، ۲۰۱۰) ازجمله روش‌های مبتنی بر تکنولوژی تجدیدپذیر باشند.

در بررسی انواع مختلف تکنولوژی‌های تولید انرژی، با وجود انتشار صفر در مرحله تولید (بهره‌برداری) انرژی نیروگاه‌های تجدیدپذیر؛ در فاز ساخت تجهیزات مورد نیاز و نصب و راه‌اندازی آن، موازنه انتشار آن صفر نیست. با توجه به خصوصیات خاص هر نیروگاه، میزان انتشار در فاز ساخت، فاز بهره‌برداری (عملیاتی) و فاز دفع (بازیافت) دارای میزان شدت انتشار متفاوتی است که در روش جامع ارزیابی چرخه حیات نیروگاه قابل بررسی است. میزان انتشار ناشی از سوخت‌های فسیلی همچون گاز، نفت و زغال سنگ دارای شدت انتشار بالا در دوره عملیاتی خود است (کارگری و مستوری، ۱۳۸۹). بررسی چرخه حیات نیروگاه‌ها با تکنولوژی تجدیدپذیر (نیروگاه خورشیدی، بادی و ...) بیانگر شدت انتشار بالا در فاز ساخت تجهیزات، نصب و راه‌اندازی و همچنین دوره دفع و یا بازیافت تجهیزات است (محمد حسینی و همکاران، ۱۳۹۸؛ شکوری‌گنجوی و همکاران، ۱۳۹۹؛ توالبه و همکاران[5]، ۲۰۲۱).

لیچیانگ و و ژانگ[6] (۲۰۱۷) در مطالعه خود با عنوان اثرات فناوری فتوولتائیک خورشیدی بر محیط زیست در چین، به بررسی اثرات مثبت و منفی صفحات فتوولتائیک بر محیط زیست پرداختند. در این مطالعه با توجه به فواید نیروگاه خورشیدی ازجمله کاهش نیروگاه‌های زغال سنگ با افزایش ظرفیت نیروگاه خورشیدی در چین (عمده منابع تولید انرژی در چین با زغال سنگ است)، کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای، کاهش گرد و غبار،

1. Ghadikolaei
2. Kim et al.
3. Celik & et al.
4. Jay
5. Tawalbeh & et al.
6. Liqiang and Zhang

خاکستر، نیاز به سرمایه‌گذاری بالا در نیروگاه زغال سنگ برای کاهش اثرات انتشار و گرد و غبار در مقایسه با نیروگاه خورشیدی، کاهش وابستگی به زغال سنگ، عدم تولید آلودگی صوتی ناشی از چرخش مکانیکی، کاهش هزینه نصب و انتقال و همچنین اثرات منفی انتشار گازهای گلخانه‌ای در چرخه عمر نیروگاه، آلودگی فاضلاب‌ها، آلودگی نوری ناشی از تجهیزات فتوولتائیک خورشیدی، هزینه تولید برق بالا فناوری فتوولتائیک خورشیدی، زباله‌های جامد در مرحله دفع تجهیزات خورشیدی است که در مجموع تلفات ناشی از فناوری فتوولتائیک دارای هزینه‌ای معادل ۰/۰۰۶۶ یوان به ازای هر کیلووات ساعت است که این رقم برای تولید انرژی با زغال سنگ هزینه‌ای معادل ۰/۰۵۲ یوان برای هر کیلووات ساعت برآورد شده است. در دسته نیروگاه‌های تجدیدپذیر، تکنولوژی مبتنی بر باد، عمده انتشار آن در مرحله ساخت تجهیزات است. به‌طور متوسط به ازای هر کیلووات ساعت برق تولیدی در نیروگاه بادی، ۲۰ گرم کربن دی‌اکسید منتشر می‌شود (آروسن و هرتویچ[1]، ۲۰۱۲).

نوروزی‌پور و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعه خود با عنوان ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید الکتریسیته در نیروگاه بادی (مطالعه موردی: کهک قزوین و آقکند میانه) به بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید الکتریسیته در طول چرخه حیات نیروگاه بادی (مرحله ساخت تا بهره‌برداری) با استفاده از نرم‌افزار سیماپرو پرداختند. نتایج حاکی از سهم بالای انتشار مرحله تولید و ساخت تجهیزات نیروگاه، روند در حال رشد اثرات زیست‌محیطی تعمیرات و حمل و نقل (به علت استهلاک تجهیزات) و سهم پایین اثرات حمل و نقل و تعمیر و نگهداری بر سلامتی انسان است. در بررسی سایر نیروگاه‌های تجدیدناپذیر، مشاهده می‌شود علاوه بر انتشار در فاز ساخت تجهیزات نیروگاه، انتشار قابل توجهی در فاز بهره‌برداری ایجاد می‌شود. ترک و همکاران (۱۴۰۱) در ارزیابی آثار نیروگاه شهید مفتح همدان بر روستاهای پیرامون (نیروگاه حرارتی)، روستاهای با فاصله زیر ۲۰ کیلومتر از نیروگاه و پرسشنامه‌ای متشکل از ۳۶۶ خانوار از ۱۱ روستا را در نظر گرفتند. نتایج حاکی از ایجاد اثرات خشکسالی بر مناطق پیرامون نیروگاه، مهاجرت در مناطق مورد بررسی به علت مصرف آب بالای نیروگاه، معنادار بودن رابطه مثبت بهبود اقتصاد روستاها با فاصله از نیروگاه و کاهش محصولات کشاورزی است.

1. Arvesen and Hertwich

نیروگاه‌های تجدیدپذیر (بادی، خورشیدی، برق آبی، زیست توده، زمین گرمایی، جزر و مد، اقیانوس و اسمزی) به دلیل سهم آن‌ها در کربن‌زدایی، به‌طور گسترده‌ای سبز و پاک در نظر گرفته می‌شوند. در ایجاد شبکه‌ای متنوع از منابع تولید انرژی مباحثی همچون سلامت انسان، صدا، آلودگی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، تخریب لایه اوزون، مسمومیت، سیل، تأثیر بر ساکنان، رودخانه‌های خشک شده و جنگل‌زدایی مورد توجه است (رحمان و همکاران[1]، ۲۰۲۲).

در نیروگاه‌های دارای اننتشار قابل توجه، علاوه بر هزینه‌های سرمایه‌ای فاز ساخت و نصب و راه‌اندازی و هزینه‌های عملیاتی فاز بهره‌برداری، سرفصل هزینه‌ای «محدود کردن» انتشار نیز در ارزیابی اقتصادی و اجتماعی نیروگاه‌ها منظور می‌شود. مارادین[2] (۲۰۲۱) در مطالعه خود تحت عنوان مزایا و معایب استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، نتایج حاکی از مزایای نیروگاه تجدیدپذیر مانند حفظ محیط زیست از نظر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای یا بهبود نوآوری‌ها و توسعه فنی/ فناوری است. همچنین معایب خاصی از انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق وجود دارد، مانند وابستگی به شرایط آب و هوایی یا بازده انرژی پایین و توانایی کم در تولید برق است. از منظر هزینه‌ای به ترتیب برای هزینه‌های سرمایه‌ای، هزینه عملیاتی، هزینه انرژی و هزینه انتشار برای هر مگاوات ساعت برای نیروگاه هسته‌ای معادل ۲۰، ۱۰، ۵ و ۰ پوند، برای نیروگاه گازی معادل ۶، ۵، ۴۰ و ۸ پوند، برای نیروگاه زغال سنگ معادل ۱۱، ۸، ۲۶ و ۱۸ پوند و برای نیروگاه بادی معادل ۴۲، ۰/۱۱ و ۰ پوند برآورد شده است.

در این مطالعه، به بررسی تکنولوژی‌های تولید انرژی (تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر) از منظر میزان انتشار کربن دی‌اکسید در فاز بهره‌برداری نیروگاه پرداخته می‌شود و با رویکردی ارزش محور با توجه به منبع آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، ارزش ریالی هر تن کربن دی‌اکسید منتشر شده در یک سال فاز بهره‌برداری با فرض بهره‌برداری ۱۰۰ درصد محاسبه می‌شود. ارزیابی ارزشی انتشار در این مطالعه، منجر به بهبود دانش سیاست‌گذار در حوزه انرژی در راستای دستیابی به چرخه تولید انرژی پایدار می‌گردد.

1. Rahman et al.
2. Maradin

۳. روش

الگوی این پژوهش براساس روش هزینه ـ فایده است که به یک فرآیند سیستماتیک اطلاق می‌شود. این روش در تصمیم‌گیری کسب و کارها برای تجزیه و تحلیل تصمیماتی که باید اتخاذ کنند و کدام را کنار بگذارند قابل استفاده است. به همین جهت می‌توان به منظور تصمیم‌گیری در زمینه اهداف زیست‌محیطی مورد استفاده و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. تحلیلگر هزینه ـ فایده، پاداش‌های بالقوه مورد انتظار از یک موقعیت یا اقدام را جمع می‌کند و سپس کل هزینه‌های مربوط به انجام آن اقدام را کم می‌کند. برخی از مشاوران یا تحلیلگران نیز مدل‌هایی را برای تعیین ارزش اقلام نامشهود، مانند مزایا و هزینه‌های راه‌اندازی یک پروژه را ارائه می‌دهند. در ارزیابی‌های زیست‌محیطی وجود متغیرها و عوامل کیفی و پنهان که در اصطلاح به آن اثرات جانبی نیز گفته می‌شود، کار را برای ارزیابی زیست‌محیطی بر مبنای روش کمی هزینه ـ فایده دشوار می‌سازد.

در بسیاری از مدل‌ها، تجزیه و تحلیل هزینه ـ فایده دارای جنبه بررسی هزینه فرصت در فرآیند تصمیم‌گیری مؤثر می‌باشد. هزینه‌های فرصت، مزایای جایگزینی هستند که می‌توانستند هنگام انتخاب یک جایگزین نسبت به دیگری محقق شوند. به عبارت دیگر، هزینه فرصت، فرصت از دست رفته درنتیجه یک انتخاب یا تصمیم است. در اثرات زیست‌محیطی برای منابع تولید انرژی، با توجه به گزینه‌های مختلف برای بررسی و تولید انرژی، افزایش در هزینه ثابت یک پروژه نسبت به سایر تکنولوژی‌های تولید انرژی، میزان خروجی یک منبع تولید انرژی نسبت به سایر تکنولوژی‌های تولید انرژی و یا مواد اولیه در دسترس برای یک پروژه به‌طور خاص می‌تواند به‌عنوان فرصت از دست رفته برای تولید انرژی در مقابل جایگزین کردن آن با سایر روش‌های تولید انرژی باشد که شامل منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر خواهد بود.

فاکتورگیری در هزینه‌های فرصت به مدیران پروژه یا مقامات دولتی اجازه می‌دهد تا منافع حاصل از دوره‌های اقدام جایگزین را بسنجند و نه صرفاً مسیر یا انتخاب فعلی را که در تحلیل هزینه ـ فایده در نظر گرفته می‌شود. با در نظر گرفتن همه گزینه‌ها و فرصت‌های بالقوه از دست رفته، تجزیه و تحلیل هزینه ـ فایده دقیق‌تر خواهد شد و امکان تصمیم‌گیری بهتر وسیاست‌گذاری مناسب را فراهم می‌کند. با بررسی نوع داده‌ها و ماهیت پروژه از منظر هزینه فرصت و اثرات بیرونی موجود، می‌توان گفت که روش واحد جهانی و یکه مورد قبول جهانی برای این روش وجود ندارد.

در ابتدای یک پروژه به بررسی محدوده و انواع تکنولوژی مورد تأیید و استفاده در زمینه مطالعاتی به‌منظور دستیابی به خروجی با ویژگی یکسان و مشخص پرداخته می‌شود. در این مرحله به بررسی نیازمندی‌های و یا بررسی اهداف مورد هدف درخصوص زمینه و یا ماهیت تولیدی پروژه، خدماتی و یا اجتماعی و محیط‌زیستی پرداخته می‌شود. اهدافی که درخصوص اجرای یک پروژه دنبال شود در سطح خرد و جزئی‌تر می‌تواند شامل افزایش تولید کالایی خاص برای یک منطقه و یا کسب سهم از بازار در نوع خاص تولید یا خدمات خروجی از یک پروژه باشد. علاوه بر موارد یاد شده در این مرحله به بررسی اثرات ایجادی بر ذی‌نفعان، زمان‌بندی پروژه، دسترسی به تخصص مورد نیاز، محدودیت‌های موجود مانند مواد اولیه مورد نیاز و سایر عوامل پرداخته می‌شود.

به‌منظور تجزیه و تحلیل به روش هزینه ـ فایده به مقایسه هزینه‌ها و فایده‌های ناشی از یک پروژه پرداخته می‌شود که چنین مقایسه‌ای بعد از تنزیل منافع و هزینه‌ها در طی سال‌های آتی پروژه خواهد بود. هدف از تنزیل کردن جریانات مثبت و منفی آتی، به‌دست آوردن تصویری واقعی از آن‌ها است.

در این مطالعه به بررسی هزینه و فایده نیروگاه‌ها پرداخته می‌شود که منافع آن شامل اجتناب از انتشار یک نیروگاه در مقایسه با سایر تکنولوژی‌های تولید انرژی است و هزینه نیز در حالت میزان انتشار صورت گرفته ناشی از انتخاب یک تکنولوژی به منظور تولید انرژی است. در کنار این تجزیه و تحلیل قابل توجه است که منافع و هزینه ناشی از هریک از تکنولوژی‌ها فراتر از در نظر گرفتن صرف فاز تولید است. در نظر گرفتن عوامل تحت تأثیر قرار گرفته‌ای همچون تأثیر بر سلامتی انسان‌ها (که در قالب تمایل افراد به کاهش انتشار و یا ارزش زندگی انسان‌ها نمود پیدا می‌کند)، تأثیر بر آب، خاک، اکوسیستم حیوانات محل احداث، حفظ منابع برای آینده‌گان و سایر عوامل ثانویه (عواملی که پس از اثرات اولیه ناشی از انتشار و سایر اثرات اولیه ناشی از احداث ایجاد می‌گردد) و همچنین انتشارات صورت گرفته در فاز ساخت تجهیزات، حمل و نصب آن و یا انتشار صورت گرفته در مرحله بازیافت تجهیزات است.

با توجه به بررسی صرف فاز عملیاتی نیروگاه‌ها از لحاظ عملکرد تولیدی، میزان انتشار در هر یک از نیروگاه‌ها با بررسی ضریب انتشار برای تولید هر مگاوات ساعت برق با استفاد از نرم‌افزار RETscreen برای ظرفیت اسمی مورد بررسی ۱۰ مگاوات بررسی می‌شود. با توجه

به ظرفیت عملی تولید انرژی تکنولوژی‌های مختلف (انتظار بر آن است که کمتر از ظرفیت اسمی ۱۰ مگاوات با توجه به عوامل محیطی و کیفیت تجهیزات باشد) و ضریب انتشار هر کدام، میزان انتشار برای هر نیروگاه مبتنی بر تکنولوژی خاص برآورد می‌شود.

$$EMI_i = \varphi_i \times PE_i \quad (۱)$$

EMI_i: میزان انتشار (تن کربن دی‌اکسید (tCO_2)) برای هر نیروگاه

φ_i: ضریب (شدت) انتشار (در واحد مگاوت ساعت (MWh)) برای هر نیروگاه

PE_i: ظرفیت عملی تولید انرژی هر نیروگاه

$$PE_i = \psi_i \times NC_i \quad (۲)$$

ψ_i: راندمان (درصد بازده عملی) هر نیروگاه

NC_i: ظرفیت اسمی هر نیروگاه

میزان انتشار (EMI_i) برای هر نیروگاه با توجه به ضریب انتشار (φ_i) و ظرفیت عملی تولید انرژی (PE_i) برآورد می‌شود. در مقایسه تکنولوژی‌ها با یکدیگر، صرفه‌جویی در انتشار در راستای کاهش انتشار ناشی از به کار بردن یک تکنولوژی با تکنولوژی دیگر برای تولید انرژی مشخص قابل برآورد است. ظرفیت عملی مورد استفاده با توجه به راندمان هر نیروگاه و ظرفیت اسمی نصب شده قابل برآورد است. در جهت محاسبه راندمان هر نیروگاه، مسائلی همچون فراهم بودن زیرساخت‌های مورد نیاز نیروگاه، شرایط جوی جغرافیایی، کیفیت تکنولوژی و سایر عوامل مؤثر است که در انتها ظرفیت عملی نیروگاه را مشخص می‌کند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

٤. یافته‌ها

در راستای تجزیه و تحلیل انتشار حاصل از تکنولوژی‌های متفاوت؛ نیروگاه‌های گازی (مولد گازسوز و توربین گازی)، توربین برق آبی، سیستم فتوولتائیک ثابت، فتوولتائیک با قابلیت رهگیری، توربین بخار زغال سنگ و توربین بادی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با توجه به اینکه این نیروگاه‌ها در شرایط اقلیمی خاص خود قابلیت نصب و بهره‌برداری دارند، بررسی آن‌ها در کنار هم جهت سیاستگذاری ایجاد شبکه برق ترکیبی از نیروگاه‌های مناسب، مفید واقع می‌شود.

جدول ۱. ضریب انتشار تکنولوژی‌های مختلف در واحد مگاوات ساعت

تکنولوژی	ضریب انتشار (tCO_2 /مگاوات ساعت)
دیزل	۱/۰۷۵۳
نفت	۱/۰۱۲۱
اقیانوس	۰
باد	۰
بنزین	۱/۱۹۳۱
بیوماس	۰/۰۳۰۳
خورشیدی	۰
زغال سنگ	۱/۰۷۳٤
زمین گرمایی	۰
نفت سفید	۱/۱۱۵۸
هسته‌ای	۰
هیدرو	۰
پروپان	۰/٥٦۸٦
گاز طبیعی	۰/٤۷۲۹

منبع: نتایج به دست آمده از نرم‌افزار RETscreen

با توجه به جدول ۱ منابع تولید انرژی پایدار همچون تکنولوژی‌های مبتنی بر باد، اقیانوس، خورشیدی، هسته‌ای و هیدرو دارای ضریب انتشار صفر در هر مگاوات ساعت هستند و انرژی‌های تجدیدناپذیر دارای ضریب انتشار قابل توجه در هر مگاوات ساعت گزارش شده است که به ترتیب بنزین، نفت، دیزل، زغال سنگ، نفت، پروپان، گاز طبیعی و بیوماس دارای بیشترین ضریب انتشار در هر مگاوات ساعت برآورد می‌شود. البته استفاده رایج سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌ها از جنس زغال سنگ و گاز طبیعی است و سایر منابع انرژی جهت یک مقایسه بهتر گزارش شده است.

علاوه بر ضریب انتشار صورت گرفته در هریک از نیروگاه‌ها از منظر زیست‌محیطی، بررسی هزینه‌های مالی و اقتصادی نیز جهت تصمیم‌گیری مؤثر است. در جدول ۲ میزان هزینه احداث نیروگاه‌ها به ازای هر کیلووات ساعت گزارش شده است.

جدول ۲. هزینه احداث نیروگاه‌های مختلف به ازای هر کیلووات ساعت ($)

تکنولوژی	کیلووات ساعت/$	
	بیشترین هزینه	کمترین هزینه
توربین بخار ـ زغال سنگ	۰/۱۳٤	۰/۰٦۳
موتور دوطرفه ـ بیوگاز/گاز محل دفن زباله	۰/۱٤۸	۰/۰٤٦
توربین بادی	۰/۱۸۹	۰/۰٦٦
توربین گازی ـ سیکل ترکیبی ـ گاز طبیعی	۰/۲۰۱	۰/۰٤۳
توربین گازی ـ گاز طبیعی	۰/۲۵۸	۰/۰۵۰
فتوولتائیک ـ سیستم رهگیری	۰/۲٦۱	۰/۰٤۷
توربین بخار ـ بیوماس/ مواد زائد شهری	۰/۲۷۰	۰/۱٤۷
فتوولتائیک	۰/۲۷۱	۰/۰۵۸
توربین بادی ـ قسمت ساحلی دریا	۰/۲۸۵	۰/۱٤۲
موتور دوطرفه ـ گاز طبیعی	۰/۳۲۲	۰/۰۵۰
توربین برق آبی	۰/۳۲۹	۰/۰٦۳
انرژی حرارتی خورشیدی	۰/٤۲۸	۰/۲۷۵
موتور دوطرفه ـ دیزل/نفت	۰/٤۳۳	۰/۱۸۳

منبع: نتایج حاصل از نرم‌افزار RETscreen

در بررسی هزینه احداث نیروگاه‌های مختلف، عوامل مختلفی مؤثر است که به همین علت هزینه احداث نیروگاه‌ها در یک بازه ماکزیمم و مینیمم در جدول ۲ ارائه شده است. سیستم‌های موتور دوطرفه، خورشیدی و توربین برق آبی هریک دارای هزینه‌های قابل توجهی درخصوص هزینه احداث نسبت به سایر تکنولوژی‌ها برآورد شده است.

جدول ۳. میزان انتشار برای تکنولوژی‌های مختلف در ظرفیت اسمی ۱۰ مگاوات

تکنولوژی	منبع	تولید برق (MWh/Year)[1]	ضریب انتشار (MWh)	میزان انتشار (tco_2/year)[2]
توربین گازی ـ سیکل ترکیبی ـ گاز طبیعی	RETscreen	۸۱،۷۵۲	۰/٤۷۳۰	۳۸،٦٦۰
توربین برق آبی	RETscreen	۳۷،۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰
فتوولتائیک	RETscreen	۲۰،۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰
فتوولتائیک ـ سیستم رهگیری	RETscreen	۲۲،۷٥٦	۰/۰۰۰۰	۰
موتور دوطرفه ـ گاز طبیعی	RETscreen	۸۷،۲۰۹	۰/٤۷۲۹	٤۱،۲٤۱
موتور دوطرفه ـ بیوگاز/گاز محل دفن زباله	RETscreen	۸۳،٦۰٦	۰/۰۳۰۳	۲،٥۳۳
انرژی حرارتی خورشیدی	تسوتسوس و همکاران[3]، ۲۰۰۳	۱۳،۹٤۲	۰/۰۰۰۰	۰
توربین بخار ـ زغال سنگ*	وی و همکاران[4]، ۲۰۲۰	۷۷،٦۱٦	۱/۰۷۳٤	۸۳،۳۱۳
توربین بادی	RETscreen	۲۸،۳۰۷	۰/۰۰۰۰	۰

منبع: با توجه به منبع مورد استفاده، بازده نیروگاه ۹۸ درصد در نظر گرفته شده است. مابقی مفروضات برای نیروگاه ۱۰ مگاواتی، مبتنی بر ۳۳۰ روز کاری در ۲٤ ساعت در روز است.

مطابق جدول ۴، با توجه به ضریب انتشار صفر نیروگاه‌های تجدیدپذیر؛ توربین برق آبی، فتوولتائیک ثابت و فتوولتائیک با سیستم متحرک، انرژی حرارتی خورشیدی و توربین بادی، میزان انتشار در یک سال بهره‌برداری معادل صفر است. در مقابل آن نیروگاه‌های تجدیدناپذیر توربین گازی، موتور دوطرفه گازسوز، موتور دوطرفه بیوگاز و توربین بخار ـ زغال سنگ دارای انتشار ۳۸، ۶۶۰، ۴۱، ۲۴۱، ۲، ۵۳۳ و ۸۳، ۳۱۳ تن کربن دی‌اکسید به ازای ظرفیت اسمی ۱۰ مگاوات است.

ارزش‌گذاری کربن مطابق با گزارش آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا[5] (۲۰۱۳) برای نرخ تنزیل ۳ درصد در سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ برآورد شده است. این نرخ برای سال ۲۰۱۵، ۲۰۲۰، ۲۰۲۵، ۲۰۳۰، ۲۰۳۵، ۲۰۴۰، ۲۰۴۵ و ۲۰۵۰ به ازای هر تن کربن دی‌اکسید

1. Megawatt hours per year
2. Tons of carbon dioxide per year
3. Tsoutsos et al.
4. Wei et al.
5. US. Environmental Protection Agency

معادل ۳۶، ۴۲، ۴۶، ۵۰، ۵۵، ۶۰، ۶۴ و ۶۹ دلار برآورد شده است. نرخ‌های ارائه شده در دوره ۵ ساله گزارش شده ۲۰۲۵-۲۰۲۰ دارای نرخ رشد ۱۰ درصد است که برای هر سال نرخ رشد ۲ درصد قابل تصور است. بنابراین با احتساب نرخ رشد ۲ درصدی، ارزش هر تن کربن دی‌اکسید در سال ۲۰۲۳ برابر ۴۴/۶ دلار است. بدین ترتیب ارزش انتشار صورت گرفته در تکنولوژی‌های مختلف در جدول ۴ برآورد و ارائه شده است.

جدول ٤. ارزش انتشار هر تن کربن دی‌اکسید با نرخ تنزیل ۳٪ (نرخ تبدیل ارز معادل ٤٠٦، ٤٠٠ ریال)

تکنولوژی	ارزش انتشار /دلار	ارزش انتشار /میلیون ریال*
توربین گازی ـ سیکل ترکیبی ـ گاز طبیعی	۱،۷۲۳،۱۲٤	۷۰۰،۲۷۸
توربین برق آبی	۰	۰
فتوولتائیک	۰	۰
فتوولتائیک ـ سیستم رهگیری	۰	۰
موتور دوطرفه ـ گاز طبیعی	۱،۸۳۸،۱٥٤	۷٤۷،۰۲٦
موتور دوطرفه ـ بیوگاز/گاز محل دفن زباله	۱۱۲،۹۱۰	٤٥،۸۸٦
انرژی حرارتی خورشیدی	۰	۰
توربین بخار ـ زغال سنگ	۳،۷۱۳،۳۲۲	۱،٥۰۹،۰۹٤
توربین بادی	۰	۰

منبع: ارزش هر تن کربن دی‌اکسید با نرخ تنزیل ۳ درصد ارائه شده از آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA)؛ RETscreen

* نرخ تبدیل ارز معادل نرخ نیمایی ارائه شده در سامانه معاملات الکترونیکی ارز (ETS)، فروردین ۱٤۰۳

در جدول ۴ ارزش هر تن کربن دی‌اکسید برآورد شده است. ارزش ارائه‌شده برای سیستم‌های توربین گازی، موتور دوطرفه گازی، موتور دو طرفه بیوگاز و توربین بخار ـ زغال سنگ معادل ۷۰۰، ۷۴۷، ۴۵ و ۱، ۵۰۹ میلیارد ریال برآورد می‌شود.

نرخ تنزیل اثرات زیست‌محیطی برای ایران در مطالعه انجام شده عبدلی (۱۳۸۸) با در نظر گرفتن آمار مربوط به نرخ مرگ‌ومیر، شاخص قیمت مصارف خوراکی، غیرخوراکی و آشامیدنی پس از دوره جنگ با رویکرد نرخ ترجیح زمانی، معادل ۷/۲ درصد برآورد شده است. با توجه به این نرخ می‌توان ارزش هر تن کربن دی‌اکسید را به شرح جدول ۵ برآورد کرد.

جدول ۵. ارزش هر تن کربن دی‌اکسید با نرخ تنزیل ۷/۲٪ (نرخ تبدیل ارز معادل ٤٠٦، ٤٠٠ ریال)

تکنولوژی	ارزش انتشار /دلار	ارزش انتشار /میلیون ریال*
توربین گازی_ سیکل ترکیبی_ گاز طبیعی	۷۱٤،٦۳۳	۲۹۰،٤۲۷
توربین برق آبی	۰	۰
فتوولتائیک	۰	۰
فتوولتائیک_ سیستم رهگیری	۰	۰
موتور دوطرفه_گاز طبیعی	۷٦۲،۳٤۰	۳۰۹،۸۱٥
موتور دوطرفه_بیوگاز/گاز محل دفن زباله	٤٦،۸۲۷	۱۹،۰۳۱
انرژی حرارتی خورشیدی	۰	۰
توربین بخار_زغال سنگ	۱،٥٤۰،۰۳۰	٦۲٥،۸٦۸
توربین بادی	۰	۰

منبع: ارزش هرتن کربن دی‌اکسید با نرخ تنزیل ۷٫۲ درصد (عبدلی (۱۳۸۸))؛ RETscreen

* نرخ تبدیل ارز معادل نرخ نیمایی ارائه شده در سامانه معاملات الکترونیکی ارز (ETS)، فروردین ۱٤۰۳

در جدول ۵ ارزش هر تن کربن دی‌اکسید مطابق نرخ تنزیل ۷/۲۳ درصد برآورد شده است. ارزش ارائه شده برای سیستم‌های توربین گازی، موتور دوطرفه گازی، موتور دو طرفه بیوگاز و توربین بخار ـ زغال سنگ معادل ۲۹۰، ۳۰۹، ۱۹ و ۶۲۵ میلیارد ریال برآورد می‌شود.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

در ارزیابی زیست‌محیطی سیستم‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر نیروگاه‌ها، جریانات نقدی حاصل از یک دوره روند بهره‌برداری نیروگاه در قالب میزان انتشار برای هر کیلووات ساعت برق، ارزش کربن دی‌اکسید و نرخ تنزیل زیست‌محیطی به‌عنوان متغیرهای مهم در ارزیابی زیست‌محیطی مورد بررسی قرار گرفت. در این ارزیابی ابتدا به بررسی مشخصات انتشار سیستم‌ها متناسب با ظرفیت انتخابی ۱۰ مگاوات پرداخته شد. با توجه به نرخ ارز نیمایی ۴۰۶،۴۰۰ ریال و نرخ تنزیل ۳ درصد به ازای هر تن کربن دی‌اکسید، نیروگاه‌های تجدیدپذیر با قابلیت تولید انرژی پاک دارای میزان هزینه انتشار صفر و نیروگاه تجدیدناپذیر سیستم‌های توربین گازی، موتور دوطرفه گازی، موتور دوطرفه بیوگاز و توربین بخار ـ زغال سنگ دارای هزینه انتشار قابل توجهی در یک سال از دوره بهره‌برداری برآورد شده است که نیروگاه با سوخت زغال سنگ دارای بیشترین هزینه و معادل ۱،۵۰۹ میلیارد ریال برآورد می‌شود.

ارزیابی زیست‌محیطی نیروگاه‌ها برای صرفه‌جویی در انتشار، کاهش هزینه تأسیسات مورد نیاز تصفیه برای کاهش اثرات انتشار، صرفه‌جویی در مصرف سوخت فسیلی و در نهایت، گذار به تولید انرژی سبز لزوم حمایت‌های سرمایه‌ای و غیر سرمایه‌ای شرکت‌های برق منطقه‌ای، توانیر و دولت از بخش تجدیدپذیرها به علت سازگاری با محیط زیست را نشان می‌دهد که در این مطالعه با ارائه ارزشی از انتشار صورت گرفته، می‌تواند به بهبود چشم‌انداز سیاست‌گذار در حوزه انرژی کمک کند.

٦. تعارض منافع

تعارض منافع ندارم.

۷. سپاسگزاری

از تمامی داوران محترم که با نظرات ارزشمند خود سبب ارتقاء این پژوهش شدند کمال تشکر را دارم.

ORCID
Reza Bakhshi https://orcid.org/0000-0002-2781-826X

۸. منابع

دستورالعمل محیط زیست، بهداشت و ایمنی نیروگاه‌های خورشیدی ـ فتوولتاییک. (۱۳۹۸،۱۰). ttps://www.satba.gov.ir/suna_content/media/image/2020/02/8082_orig.pdf

منظور، داوود؛ فرمد، مجید؛ آریان‌پور، وحید و شفیعی، احسان‌الدین. (۱۳۹۳). ارزیابی ترکیب بهینهٔ نیروگاه‌های کشور با لحاظ هزینه‌های زیست‌محیطی. *محیط‌شناسی*، ۴۰(۲)، ۴۳۰-۴۱۵.

کارگری، نرگس و مستوری، رضا. (۱۳۸۹). مقایسه انتشار گازهای گلخانه‌ای در انواع نیروگاه‌های برق با استفاده از رویکرد LCA. *نشریه انرژی ایران*، ۱۳(۲)، ۷۸-۶۷.

محمدحسینی، ناهید؛ رباطی، مریم و عمیدپور، مجید. (۱۳۹۸). ارزیابی اثرهای محیط‌زیستی احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر خورشیدی ـ بادی در مطالعه موردی منطقه ویژه اقتصادی سلفچگان. *فصلنامه علوم محیطی*، (۴)۱۹، ۲۱۲-۱۹۳.

شکوری گنجوی، حامد؛ کاظمی، عالیه؛ عبداله‌پور، سپهر وگلدانساز، سیدمحمدرضا. (۱۳۹۹). ارزیابی اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی تولید برق از تکنولوژی‌های تجدیدپذیر و گازی. *فصلنامه علمی - ترویجی انرژی ایران*، (۳)۲۳، ۳۳-۷.

نوروزی‌پور، ماریا؛ طباطبایی کلور، رضا و متولی، علی. (۱۴۰۲). ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید الکتریسیته در نیروگاه بادی (مطالعه موردی: کهک قزوین و آقکند میانه). *ماشین‌های کشاورزی*، ۱۳(۴)، ۴۲۶-۴۰۵.

ترک، علی؛ عزمی، آئیژ و مرادی، امید علی. (۱۴۰۱). ارزیابی آثار نیروگاه شهید مفتح همدان بر روستاهای پیرامون. *پژوهش‌های روستائی*، ۱۳(۱)، ۱۳۹-۱۲۲.

عبدلی، قهرمان. (۱۳۸۸). تخمین نرخ تنزیل اجتماعی برای ایران. *پژوهشنامه اقتصادی*. ۹(۳۴). ۱۵۶-۱۳۵.

References

Abdulli, hero. (2009). Estimation of social discount rate for Iran. *Economic research paper*. 9(34). 156-135. [In Persian]

Acharya, Shantanu. (2022). Analytic assessment of renewable potential in Northeast India and impact of their exploitation on environment and economy. *b*, 29(20), 29704-29718.

Afgan, Naim, & Carvalho, Maria. (2002). Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants. *Energy*, 27(8), 739-755.

Al Garni, Hassan, & Awasthi, Anjali. (2018). Solar PV power plants site selection: A review. *Advances in renewable energies and power technologies*, 57-75.

Al-Mulali, Usama. (2014). GDP growth-energy consumption relationship: revisited. *International Journal of Energy Sector Management*, 8(3), 356-379.

Argyroudis, Sotirios, Mitoulis, Stergios Aristoteles, Hofer, Lorenzo, Zanini, Mariano Angelo, Tubaldi, Enrico, & Frangopol, Dan. (2020). Resilience assessment framework for critical infrastructure in a multi-hazard environment: Case study on transport assets. *Science of the Total Environment*, 714, 136854.

Arvesen, Anders, & Hertwich, Edgar. (2012). Assessing the life cycle environmental impacts of wind power: A review of present knowledge and research needs. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(8).

Avtar, Ram, Tripathi, Saurabh, Aggarwal, Ashwani Kumar, & Kumar, Pankaj. (2019). *Population-urbanization-energy nexus: a review. Resources*, 8(3), 136.

Bineshpour, Meghdad, Payandeh, Khoshnaz, Nazarpour, Ahad, & Sabzalipour, Sima. (2021). Assessment of human health risk and surface soil contamination by some toxic elements in arak city, Iran. *Journal of advances in environmental health research*, 9(4), 321-332.

Bolinger, Mark, & Bolinger, Greta. (2022). Land requirements for utility-scale PV: An empirical update on power and energy density. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 12(2), 589-594.

Celik, Ilke, Mason, Brooke, Phillips, Adam, Heben, Michael, & Apul, Defne. (2017). Environmental impacts from photovoltaic solar cells made with single walled carbon nanotubes. *Environmental Science & Technology*, 51(8),4722-4732.

Denholm, Paul, Hand, Maureen, Jackson, Maddalena, & Ong, Sean. (2009). Land use requirements of modern wind power plants in the United States (No. NREL/TP-6A2-45834). *National Renewable Energy Lab*. (NREL), Golden, CO (United States).

EIA (2023). *Natural gas combined-cycle power plants increased utilization with improved technology*. *https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=60984#*

Environmental, health, and safety guidelines for solar photovoltaic power plants. (2019,12).

https://www.satba.gov.ir/suna_content/media/image/2020/02/8082_orig.pdf. [In Persian]

Ghadikolaei, Saeed Siah Chehreh. (2021). An enviroeconomic review of the solar PV cells cooling technology effect on the CO_2 emission reduction. *Solar Energy*, 216,468 -492.

Hannesson, Rognvaldur. (2002). Energy use and GDP growth, 1950-97. *OPEC review*, 26(3), 215-233.

Hernandez, Rebecca, Easter, Shane, Murphy-Mariscal, Michelle, Maestre, Fernando , Tavassoli, M, Allen, Edith, ... & Allen, Michael. (2014). Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and sustainable energy reviews*, 29, 766-779.

Jay, Stephen. (2010). Strategic environmental assessment for energy production. *Energy Policy*, 38(7), 3489-3497.

Kargari, Narges; Mastouri, Reza. (2010). Comparison of greenhouse gas emissions from different types of power plants using the LCA approach. *Iranian Energy Journal*, 13(2), 67-78. [In Persian]

Kim, Dahye, Kim, Kyung-Tae, & Park, Young-Kwon. (2020). A comparative study on the reduction effect in greenhouse gas emissions between the combined heat and power plant and boiler. *Sustainability*, 12(12), 5144.

Liqiang, Qi, & Zhang, Yajuan. (2017). Effects of solar photovoltaic technology on the environment in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 22133-22142.

Mahdipour Azam, Zaeimdar Mojgan, Sekhavatjou Mohammad Sadegh, Jozi Sayed Ali. Investigating the non-carcinogenic risk and hazard quotient of heavy metals in high-traffic districts of tehran metropolis, Iran. *Journal of advances in environmental health research*[internet]. 2021;9(4):285-298.

Manzoor, Dawood; Farmad, Majid; Arianpour, Vahid; and Shafii, Ehsanuddin. (2013). Evaluation of the optimal combination of power plants in the country in terms of environmental costs. *Ecology*, 40(2), 415-430. [In Persian]

Maradin, Dario. (2021). Advantages and disadvantages of renewable energy sources utilization. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(3), 176-183.

Meystre, Stéphane, & Haug, Peter.(2005). *Comparing natural language processing tools to extract medical problems from narrative text*. In AMIA annual symposium proceedings (Vol. 2005, p. 525). American Medical Informatics Association.

Mishra, Umesh C. (2004). Environmental impact of coal industry and thermal power plants in India. *Journal of environmental radioactivity*, 72(1-2), 35-40.

Mohammadi, Mahmoud, Ghasemi, Saber, Parvaresh, Hossein, & Dehghani Ghanateghestani, Mohsen. (2021). Comparing the performance evaluation models of gas refineries using ahp and topsis. *Journal of advances in environmental health research*, 9(4), 333-344.

Mohammed, Mohammed Kamil, Awad, Omar, Rahman, M.M, Najafi, G, Basrawi, Firdaus, Abd Alla, Ahmed, & Mamat, Rizalman. (2017). The optimum performance of the combined cycle power plant: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 459-474.

Mohammad Hosseini, Nahid; Rabati, Maryam; Omidpour, Majid. (2018). Assessment of the environmental impact of the construction of renewable solar-wind power plants in the case study of the Salafchagan Special Economic Zone. *Environmental Science Quarterly*, (4)19, 212-193. [In Persian]

Nowrozipour, Maria; Tabatabai Kalor, Reza; Tutoli, Ali (2023). Assessment of the environmental impact of electricity generation in a wind turbine (case study: Kohek Qazvin and Aghkand Middle). *Agricultural machinery*, 13(4), 405-426. [In Persian]

Owles, Robert, & Vellani, Karim. (2007). Vulnerability and risk assessment in the environment of care. *Journal of Healthcare Protection Management: Publication of the International Association for Hospital Security*, 23(2), 67-77.

Rahman, Abidur, Farrok, Omar, & Haque, Md Mejbaul. (2022). Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants: Solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean, and osmotic. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112279.

Rosen, Marc. (2009). Energy sustainability: A pragmatic approach and illustrations. *Sustainability*, 1(1), 55-80.

Shakuri Ganjovi, Hamed; Kazemi, Alia; Abdulahpour, Sepehr; Guldansaz, Seyyed Mohammadreza. (2019). Economic, social, and environmental assessment of electricity generation from renewable energies and gas. *Iranian Energy Promotional Scientific Quarterly*, (3) 23, 33-7. [In Persian]

Singh, Vineet Kumar, & Singal, Kumar. (2017). Operation of hydro power plants-a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 610-619.

Tawalbeh, Muhammad, Al-Othman, Amani, Kafiah, Feras, Abdelsalam, Emad, Almomani, Fares, & Alkasrawi, Malek. (2021). Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook. *Science of The Total Environment*, 759, 143528.

Tawalbeh, Muhammad, Al-Othman, Amani, Kafiah, Feras, Abdelsalam, Emad, Almomani, Fares, & Alkasrawi, Malek. (2021). Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook. *Science of The Total Environment*, 759, 143528.

Tsoutsos, Theocharis, Gekas, Vassilis, & Marketaki, Katerina. (2003). Technical and economical evaluation of solar thermal power generation. *Renewable energy*, 28(6), 873-886.

Turk, Ali; Azmi, Aizeh; Moradi, Omid Ali. (2022). Assessment of the impact of the Shahid Muftah Hamadan power plant on the surrounding villages. *Rural Research*, 13(1), 122-139. [In Persian]

Wang, Lingmei, Ni, Weidou, & Li, Zheng. (2006). Emergy evaluation of combined heat and power plant eco-industrial park (CHP plant EIP). *Resources, Conservation and Recycling*, 48(1), 56-70.

Wei, Xiaoyu, Manovic, Vasilije, & Hanak, Dawid. (2020). Techno-economic assessment of coal-or biomass-fired oxy-combustion power plants with supercritical carbon dioxide cycle. *Energy Conversion and Management*, 221, 113143.

Yang, Dong, Liu, Jingru, Yang, Jianxin, & Ding, Ning. (2015). Life-cycle assessment of China's multi-crystalline silicon photovoltaic modules considering international trade. *Journal of Cleaner Production*, 94,35 -45.

Zhang, Xiliang, Ruoshui, Wang, Molin, Huo, & Martinot, Eric. (2010). A study of the role played by renewable energies in China's sustainable energy supply. *Energy*, 35(11), 4392-4399.

استناد به این مقاله: بخشی، رضا. (۱۴۰۳). ارزیابی زیست‌محیطی نیروگاه‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تولید برق از منظر انتشار دی‌اکسیدکربن، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۵۱ (۱۳)، ۵-۲۸.

Iranian Energy Economics is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.