مقاله پژوهشی/مروری/سخن سردبیر
تاریخ دریافت: ۰۰/۰۰/۰۰؛ تاریخ پذیرش: ۰۰/۰۰/۰۰
eISSN: ISSN:

--پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران---------
دوره ؟، شماره ؟، نام فصل، سال، ص ص
.atu.ac.ir
DOI:

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 need for development is increasing and the demand for energy is rising. The construction of new power plants has become necessary to meet this growing demand. To protect the environment and conserve finite fossil fuels, renewable energy sources are crucial to the transition to green energy production. Examining the impact of energy production on the environment is crucial, and not just in terms of financial, economic and geographical factors. The aim of this study is to understand the contribution of renewable and non-renewable power plants to the total emissions generated over a one-year operating period. The RETscreen analysis software was used to estimate the emission coefficient and a cost-benefit analysis method was used to evaluate the environmental impact. The value of each ton of carbon dioxide and the discount rate for environmental effects are key factors in estimating the emission coefficient of the different energy systems. Renewable energy systems have an emission coefficient of zero, while gas turbine systems, two-way gas engines, two-way biogas engines and coal-fired steam turbines have emission coefficients of ۷۰۰, ۷٤۷, ٤٥ and ۱,٥۰۹ billion rials, respectively.

Keywords: environmental effects, plant, renewable, non-renewable
JEL Classification: Q۵۱ ،Q۴۳ ،Q۵۴ ،Q۵۶

ارزیابی زیست‌محیطی نیروگاه‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تولید برق از منظر انتشار CO_2

نویسنده اول * کارشناس ارشد رشته اقتصاد نظری، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

لزوم گسترده فعالیت‌های توسعه‌ای و روند درحال 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 به امری مهم تبدیل شده است. از موارد مهم در احداث سیستم‌های تولید انرژی علاوه‌بر درنظر گرفتن مسائل مالی، اقتصادی و مسائل جغرافیایی، بررسی اثرات زیست‌محیطی نیروگاه‌ها از منظر میزان انتشار گاز گلخانه‌ای است. هدف از این تحقیق تعیین نقش نیروگاه‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در انتشار کل ایجاد شده در یک سال از دوره بهره‌برداری است که از نرم افزار تجزیه و تحلیل RETscreen برای برآورد ضریب انتشار و روش تحلیلی هزینه_منافع برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی استفاده شده است. بر اساس نقش ارزش هر تن کربن دی‌اکسید و نرخ تنزیل اثرات زیست‌محیطی در برآورد ارزش هر تن کربن دی‌اکسید منتشر شده، ضریب انتشار سیستم‌های تجدیدپذیر صفر و برای سیستم‌های توربین گازی، موتور دوطرفه گازی، موتور دو طرفه بیوگاز و توربین بخار_زغال سنگ معادل ۷۰۰، ۷۴۷، ۴۵ و ۱،۵۰۹ میلیارد ریال هزینه انتشار برآورد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی زیست‌محیطی، نیروگاه، تجدیدپذیر، تجدیدناپذیر

طبقه‌بندی JEL: Q۵۱، Q۴۳، Q۵۴، Q۵۶

* نویسنده مسئول: Rezabakhshi۱۲۲۸@gmail.com

مقدمه

تاثیر نیروگاه‌ها بر محیط‌زیست موضوعی است که در جامعه علمی بسیار مورد توجه است. نیروگاه‌ها به‌عنوان عوامل موثر در آلودگی هوا، انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی آب شناخته شده‌اند (بینش پور 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 محیط‌زیست یک موضوع پیچیده در دنیای امروز است. نیاز روبه رشد انرژی در جوامع مختلف تحت تأثیر عواملی ازجمله نرخ رشد اقتصادی (المالی[۹]، ۲۰۱۴؛ هانسون[۱۰]، ۲۰۰۲) و نرخ رشد جمعیّت (آوتار و همکاران[۱۱]، ۲۰۱۹) به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه، جوامع 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

---

۱. Bineshpour et.al
۲. Mohammadi et.al
۳. Mahdipour et.al
۴. Meystre and Haug.
۵. Al Garn and Awasthi
۶. Singh and Singal
۷. Wang and Li
۸. Mishra
۹. Al-Mulali,
۱۰. Hannesson
۱۱. Avtar et.al

شامل تجزیه و تحلیل جامع عوامل محیطی از جمله کیفیت هوا، کیفیت آب، سلامت خاک و تنوع زیستی است (آچاریا[۱]، ۲۰۲۲؛ آرگیردیس و همکاران[۲]، ۲۰۲۰). یکی از اهداف کلیدی ارزیابی زیست محیطی، شناسایی هر گونه خطر بالقوه یا اثرات منفی است که یک پروژه ممکن است بر محیط‌زیست 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 محیط‌زیست داشته باشد. سوزاندن سوخت‌های فسیلی مانند زغال‌سنگ، 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 آسیب-های زیست‌محیطی (آولس و والانی[۳]، ۲۰۰۷) گردد.

بر اساس گزارش آژانس بین المللی انرژی[۴] (۲۰۲۲) انتشار جهانی دی‌اکسید کربن ناشی از احتراق انرژی و فرآیندهای صنعتی ۰,۹ درصد یا ۳۲۱ میلیون تن در سال ۲۰۲۲ رشد کرده است به‌طوری که 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 از جمله در دسترس بودن منابع، هزینه ساخت و بهره‌برداری و اثرات بالقوه زیست‌محیطی باید در نظر گرفته شود (محمد و همکاران[۵]، 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 تاثیر بسیار کمتری بر محیط‌زیست دارند (افغان و کاروالیو[۶]، ۲۰۰۲). در حالی که منابع انرژی تجدیدپذیر مزایای

---

۱. Acharya
۲. Argyroudis et.al
۳. Owles and Vallani
۴. International Energy Agency
۵. Mohammed et.al
۶. 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[۱]، 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 تاثیر قرار دهد (دستورالعمل محیطزیست، بهداشت و ایمنی نیروگاه‌های خورشیدی، ضابطه شماره ۷۸۵؛ ساتبا[۲]، ۱۳۹۸).

یکی از مهم‌ترین ملاحظات در انتخاب نیروگاه، نوع سوخت یا منبع انرژی مورد استفاده است. همانطور که بحث کردیم، سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی اثرات زیست‌محیطی قابل توجهی دارند، بنابراین مهم است که منابع جایگزین مانند انرژی-های تجدیدپذیر را در نظر بگیریم (منظور و همکاران، ۱۳۹۳). منابع انرژی تجدیدپذیر علاوه‌بر 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 درنظر 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[۳]، ۲۰۱۰). این نه تنها انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر اثرات زیست‌محیطی را کاهش می-دهد، بلکه باعث صرفه‌جویی در هزینه‌های سوخت و ارائه خدمات انرژی به شیوه‌ای پایدار می‌شود (روزن[۴]، 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[۵]، 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 رساندن بهره‌وری و به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی، می‌توانیم به سمت آینده انرژی پایدارتر تلاش کنیم.

---

۱. Bolinger and Bolinger

۲. سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق

۳. Zhang et.al

۴. Rosen

۵. EIA

در این مقاله، ارتباط بین تولید انرژی و محیط‌زیست بررسی می‌شود. با تمرکز بر اینکه چگونه انواع مختلف منابع انرژی می‌توانند بر محیط‌زیست تأثیر بگذارند، و چگونه می‌توانیم برای به حداکثر رساندن بهره‌وری و در عین حال به‌حداقل 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 هر گونه خطرات زیست‌محیطی بالقوه مرتبط با بهره برداری از تاسیسات، از جمله انتشار کربن دی‌اکسید ضروری است.

پیشینه پژوهش

ارزیابی زیست‌محیطی نیروگاه‌ها به‌دلیل 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، از جمله تولید هیدروژن، یکپارچه‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر، اثرات زیست‌محیطی و پیامدهای زیست‌محیطی تولید برق ارائه کرده‌اند. مطالعات مختلف انجام شده در زمینه‌ی 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[۱]، ۲۰۱۵؛ تولبه و همکاران[۲]،۲۰۲۱)، اثرات بر خاک و زمین (دنهولم و همکاران[۳]، ۲۰۰۹؛ هرناندز و همکاران[۴]، ۲۰۱۴) و میزان انتشار در فاز ساخت و فاز عملیاتی بخش‌های مختلف مصرف‌کننده انرژی (قادیکلایی[۵]، ۲۰۲۱؛ کیم و همکاران[۶]، ۲۰۲۰) از موارد بررسی اثرات زیست‌محیطی نیروگاه‌های با تکنولوژی مختلف است. نیروگاه‌های تولید برق مبتنی بر سوخت فسیلی موادی مانند سولفیدها، نیتریدها و دی‌اکسید کربن منتشر می‌کنند که تأثیر منفی بر محیط‌زیست و

---

۱. Yang et.al
۲. Tawalbeh & et.al
۳. Denholm et et.al
۴. Hernandez & et.al
۵. Ghadikolaei
۶. Kim et.al

موجودات زنده دارند (چلیک و همکاران[1]، ۲۰۱۷). علاوه‌بر این، کاهش منابع سوخت فسیلی باعث شده است تا محققان به دنبال راه‌های پایدارتری برای تولید برق (جی[2]، ۲۰۱۰) از جمله روش‌هایی با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر باشند.

در بررسی انواع مختلف تکنولوژی‌های تولید انرژی، با وجود انتشار صفر در مرحله تولید انرژی نیروگاه‌های تجدیدپذیر، در فاز ساخت تجهیزات موردنیاز 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[3]، ۲۰۲۱).

لیچیانگ و و ژانگ[4] (۲۰۱۷) در مطالعه خود با عنوان اثرات فناوری فتوولتائیک خورشیدی بر محیط‌زیست در چین، به بررسی اثرات مثبت و منفی صفحات فتوولتائیک بر محیط‌زیست پرداختند. در این مطالعه با توجه به فواید نیروگاه خورشیدی از جمله 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، 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 هم‌چون 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

---

[1]. Celik & et.al
[2]. Jay
[3]. Tawalbeh & et.al
[4]. Liqiang and Zhang

مجموع تلفات ناشی از فناوری فتوولتائیک دارای هزینه‌ای معادل ۰,۰۰۶۶ یوان به‌ازای 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 به‌ازای هر کیلووات ساعت برق تولیدی در نیروگاه بادی، ۲۰ گرم کربن دی‌اکسید منتشر می‌شود (آروسن و هرتویچ[۱]، 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 درحال رشد اثرات زیست‌محیطی تعمیرات و حمل و نقل (به‌علت 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 درنظر گرفتند. نتایج حاکی از ایجاد اثرات خشکسالی بر مناطق پیرامون نیروگاه، مهاجرت در مناطق مورد بررسی به‌علت مصرف آب بالای نیروگاه، معنادار بودن رابطه مثبت بهبود اقتصاد روستاها با فاصله از نیروگاه و کاهش محصولات کشاورزی است.

نیروگاه‌های تجدیدپذیر (بادی، خورشیدی، برق آبی، زیست توده، زمین گرمایی، جزر و مد، اقیانوس و اسمزی) به‌دلیل 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[۲]، ۲۰۲۲).

---

۱. Arvesen and Hertwich

۲. Rahman et.al

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[1] (۲۰۲۱) در مطالعه خود تحت عنوان مزایا و معایب استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، نتایج حاکی از مزایای نیروگاه تجدیدپذیر مانند حفظ محیط‌زیست 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، ۱۱، ۰ 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 می‌پردازیم و با رویکردی ارزش محور با توجه به منبع آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا، ارزش ریالی هر تن کربن دی‌اکسید منتشر شده در یک سال فاز بهره‌برداری با فرض بهره‌برداری ۱۰۰ درصد پرداخته می‌گردد. این مطالعه منجر به بهبود دانش سیاست‌گذار در حوزه انرژی در راستای دستیابی به چرخه تولید انرژی پایدار می‌گردد.

روش

الگوی این پژوهش بر اساس روش هزینه - 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. به‌همین جهت می‌توان به‌منظور تصمیم‌گیری در زمینه اهداف زیست‌محیطی مورد استفاده و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. تحلیلگر هزینه_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

---

[1] Maradin

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 – فایده دشوار می‌سازد. در بسیاری از مدل‌ها، تجزیه و تحلیل هزینه_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. به‌عبارت دیگر، هزینه فرصت، فرصت از دست رفته در نتیجه 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-فایده در نظر گرفته می‌شود. با در نظر گرفتن همه گزینه‌ها و فرصت‌های بالقوه از دست رفته، تجزیه و تحلیل هزینه_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 در خصوص زمینه و یا ماهیت تولیدی پروژه، خدماتی و یا اجتماعی و محیط‌زیستی پرداخته می‌شود. اهدافی که در خصوص 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_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 به‌منظور تولید انرژی است. در کنار این تجزیه و تحلیل قابل توجه است که منافع و هزینه ناشی از هر یک از تکنولوژی‌ها فراتر از درنظر گرفتن صرف فاز تولید است. درنظر 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.

$$EMI_i = \varphi_{\ i} \times PE_i \qquad (۱)$$

EMI_i: میزان انتشار (تن کربن دی اکسید ($tCO_۲$)) برای هر نیروگاه

$\varphi_{\ i}$: ضریب (شدت) اننتشار (در واحد مگاوت ساعت (MWh)) برای هر نیروگاه

PE_i: ظرفیت عملی تولید انرژی هر نیروگاه

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

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 ($\varphi_{\ i}$) و ظرفیت عملی تولید انرژی (PE_i) برآورد می‌شود. در مقایسه تکنولوژی‌ها با یکدیگر، صرفه‌جویی در انتشار در راستای کاهش انتشار ناشی از بکار 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.

یافته‌ها

در راستای تجزیه و تحلیل انتشار حاصل از تکنولوژی‌های متفاوت، نیروگاه‌های گازی (مولد گاز سوز 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 با اینکه این نیروگاه‌ها با توجه به شرایط اقلیمی دارای استفاده در مناطق خاص خود هستند، بررسی آن‌ها در کنار هم جهت سیاستگذاری در جهت 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 به‌دست 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 به‌ازای هر کیلووات ساعت گزارش شده است.

جدول ۲: هزینه احداث نیروگاه‌های مختلف به‌ازای هر کیلووات ساعت ($)

تکنولوژی	کیلووات ساعت/$	
	بیشترین هزینه	کمترین هزینه
توربین بخار_زغال سنگ	۰/۱۳٤	۰/۰٦۳
موتور دوطرفه_بیوگاز/گاز محل دفن زباله	۰/۱٤۸	۰/۰٤٦
توربین بادی	۰/۱۸۹	۰/۰٦٦
توربین گازی_ سیکل ترکیبی_ گاز طبیعی	۰/۲۰۱	۰/۰٤۳
توربین گازی_گاز طبیعی	۰/۲۵۸	۰/۰۵۰
فتوولتائیک_ سیستم رهگیری	۰/۲٦۱	۰/۰٤۷
توربین بخار_بیوماس/مواد زائد شهری	۰/۲۷۰	۰/۱٤۷
فتوولتائیک	۰/۲۷۱	۰/۰۵۸
توربین بادی_ قسمت ساحلی دریا	۰/۲۸۵	۰/۱٤۲
موتور دوطرفه_گاز طبیعی	۰/۳۲۲	۰/۰۵۰
توربین برق آبی	۰/۳۲۹	۰/۰٦۳
انرژی حرارتی خورشیدی	۰/٤۲۸	۰/۲۷۵
موتور دوطرفه_ 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 احداث نیروگاه در یک بازه ماکزیمم و مینیمم در جدول ۲ برآورد می‌شود. سیستم‌های موتور دوطرفه، خورشیدی و توربین برق آبی هریک دارای هزینه‌های قابل توجهی در خصوص 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)[۱]	ضریب انتشار (MWh)	میزان انتشار ($tco_2/year$)[۲]
توربین گازی_ سیکل ترکیبی_ 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_ سیستم رهگیری	RETscreen	۲۲،۷٥٦	۰/۰۰۰۰	۰
موتور دوطرفه_گاز طبیعی	RETscreen	۸۷،۲۰۹	۰/٤۷۲۹	٤۱،۲٤۱
موتور دوطرفه_بیوگاز/گاز محل دفن زباله	RETscreen	۸۳،٦۰٦	۰/۰۳۰۳	۲،٥۳۳
انرژی حرارتی خورشیدی	تسوتسوس و همکاران[۳]،۲۰۰۳	۱۳،۹٤۲	۰/۰۰۰۰	۰
توربین بخار_زغال سنگ*	وی و همکاران[٤]، 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 درنظر گرفته شده است. مابقی مفروضات برای نیروگاه ۱۰ مگاواتی، مبتنی بر ۳۳۰ روز کاری در ۲٤ ساعت در روز است.

[۱] Megawatt hours per year
[۲] Tons of carbon dioxide per year
[۳] Tsoutsos et.al
[٤] Wei et.al

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_زغال سنگ دارای انتشار ۳۸،۶۶۰، ۴۱،۲۴۱، ۲،۵۳۳ و ۸۳،۳۱۳ تن کربن دی‌اکسید به‌ازای ظرفیت اسمی ۱۰ مگاوات است.

ارزش‌گذاری کربن مطابق با گزارش آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا[۱] (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 به‌ازای هرتن کربن دی‌اکسید 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 ۲ درصد قابل تصور است. بنابراین با احتساب نرخ رشد ۲ درصد، ارزش هر تن کربن دی‌اکسید در سال ۲۰۲۳ برابر ۴۴,۶ دلار است. بدین ترتیب ارزش انتشار صورت گرفته در تکنولوژی‌های مختلف در جدول ۵ برآورد و ارائه شده است.

جدول ٤: ارزش 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_ سیکل ترکیبی_ گاز طبیعی	۱،۷۲۳،۱۲٤	۷۰۰،۲۷۸
توربین برق آبی	۰	۰
فتوولتائیک	۰	۰
فتوولتائیک_ سیستم رهگیری	۰	۰
موتور دوطرفه_گاز طبیعی	۱،۸۳۸،۱٥٤	۷۴۷،۰۲۶
موتور دوطرفه_بیوگاز/گاز محل دفن زباله	۱۱۲،۹۱۰	۴٥،۸۸۶
انرژی حرارتی خورشیدی	۰	۰
توربین بخار_زغال سنگ	۳،۷۱۳،۳۲۲	۱،٥۰۹،۰۹۴
توربین بادی	۰	۰

[۱] US. Environmental Protection Agency

منبع: ارزش هرتن کربن دی‌اکسید با نرخ تنزیل ۳ درصد ارائه شده از آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا (*EPA*)؛ *RETscreen*

* نرخ تبدیل ارز معادل نرخ نیمایی ارائه شده در سامانه معاملات الکترونیکی ارز (*ETS*)، فروردین ۱۴۰۳

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

این نرخ برای ایران در مطالعه انجام شده عبدلی (۱۳۸۸) با درنظر گرفتن آمار مربوط به نرخ مرگ و میر، 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	۷۱۴،۶۳۳	۲۹۰،۴۲۷
توربین برق آبی	۰	۰
فتوولتائیک	۰	۰
فتوولتائیک_ سیستم رهگیری	۰	۰
موتور دوطرفه_گاز طبیعی	۷۶۲،۳۴۰	۳۰۹،۸۱۵
موتور دوطرفه_بیوگاز/گاز محل دفن زباله	۴۶،۸۲۷	۱۹،۰۳۱
انرژی حرارتی خورشیدی	۰	۰
توربین بخار_زغال سنگ	۱،۵۴۰،۰۳۰	۶۲۵،۸۶۸
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 ۱۴۰۳

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_زغال سنگ معادل ۲۹۰، ۳۰۹، ۱۹ و ۶۲۵ میلیارد ریال برآورد می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری

در ارزیابی زیست‌محیطی سیستم‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر نیروگاه‌ها، جریانات نقدی حاصل از ۱ 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 به‌ازای 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 دو طرفه بیوگاز و توربین بخار_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،۵۰۹میلیارد ریال برآورد می‌شود.

ارزیابی زیست‌محیطی نیروگاه‌ها برای صرفه‌جویی در انتشار، کاهش هزینه تأسیسات مورد نیاز تصفیه برای کاهش اثرات انتشار، صرفجویی 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 به‌علت سازگاری با محیطزیست را نشان می‌دهد که ارائه ارزشی از انتشار صورت گرفته، موجب بهبود چشم‌انداز سیاست‌گذار در حوزه انرژی می‌شود.

تعارض منافع

تعارض منافع ندارم.

سپاسگزاری

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

منابع

دستورالعمل محیط‌زیست، بهداشت و ایمنی نیروگاه‌های خورشیدی – فتوولتاییک. (۱۳۹۸،۱۰).ttps://www.satba.gov.ir/suna_content/media/image/۲۰۲۰/۰۲/۸۰۸۲_orig.pdf

درون متن: (دستورالعمل محیطزیست، بهداشت و ایمنی نیروگاه‌های خورشیدی، ضابطه شماره ۷۸۵؛ ساتبا[1] ، ۱۳۹۸)

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

درون متن: (منظور و همکاران، ۱۳۹۳)

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

درون متن: (کارگری و مستوری، ۱۳۸۹)

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

درون متن: (محمد حسینی و همکاران، ۱۳۹۸)

---

[1] . سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق

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

درون متن: (شکوری گنجوی و همکاران، ۱۳۹۹)

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

درون متن: نوروزی‌پور و همکاران (۱۴۰۲)

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

درون متن: ترک و همکاران (۱۴۰۱)

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

درون متن: عبدلی (۱۳۸۸)

References

Bineshpour, Meghdad, Payandeh, Khoshnaz, Nazarpour, Ahad, & Sabzalipour, Sima. (۲۰۲۱). Assessment of human health risk and surface soil contamination by some toxic elements in arak city, Iran. *Journal of advances in environmental health research*, ۹(٤), ۳۲۱-۳۳۲.

Parenthetical citations: (Bineshpour et.al, ۲۰۲۱)

Narrative citations: بینش پور و همکاران[۱]، (۲۰۲۱)

Mohammadi, Mahmoud, Ghasemi, Saber, Parvaresh, Hossein, & Dehghani Ghanateghestani, Mohsen. (۲۰۲۱). Comparing the performance evaluation models of gas refineries using ahp and topsis. *Journal of advances in environmental health research*, ۹(٤), ۳۳۳-۳٤٤.

Parenthetical citations: (Mohammadi et.al, ۲۰۲۱)

Narrative citations: محمدی و همکاران[۲](۲۰۲۱)

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]. ۲۰۲۱;۹(٤):۲۸٥-۲۹۸.

Parenthetical citations: (Mahdipour et.al, ۲۰۲۱)

Narrative citations: مهدی‌پور و همکاران[۱](۲۰۲۱)

---

[۱] . Bineshpour et.al

[۲] . Mohammadi et.al

Meystre, Stéphane, & Haug, Peter.(۲۰۰۵). *Comparing natural language processing tools to extract medical problems from narrative text*. In AMIA annual symposium proceedings (Vol. ۲۰۰۵, p. ۵۲۵). American Medical Informatics Association.

Parenthetical citations: (Meystre and Haug, ۲۰۰۵)

Narrative citations: (۲۰۰۵) میستر و هاگ[۲]

Al Garni, Hassan, & Awasthi, Anjali. (۲۰۱۸). Solar PV power plants site selection: A review. *Advances in renewable energies and power technologies*, ۵۷-۷۵.

Parenthetical citations: (Al Garn and Awasthi, ۲۰۱۸)

Narrative citations: (۲۰۱۸) الگارن و آواستی[۳]

Singh, Vineet Kumar, & Singal, Kumar. (۲۰۱۷). Operation of hydro power plants-a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, ٦۹, ٦۱۰-٦۱۹.

Parenthetical citations: (Singh and Singal, ۲۰۰۵)

Narrative citations: (۲۰۰۵) سینگ و سینگال[٤]

Wang, Lingmei, Ni, Weidou, & Li, Zheng. (۲۰۰٦). Emergy evaluation of combined heat and power plant eco-industrial park (CHP plant EIP). *Resources, Conservation and Recycling*, ٤۸(۱), ٥٦-۷۰.

Parenthetical citations: (Wang and Li, ۲۰۰٦)

Narrative citations: (۲۰۰۶) وانگ و لی[٥]

Mishra, Umesh C. (۲۰۰٤). Environmental impact of coal industry and thermal power plants in India. *Journal of environmental radioactivity*, ۷۲(۱-۲), ۳٥-٤۰.

Parenthetical citations: (Mishra, ۲۰۰٤)

Narrative citations: (۲۰۰۴) میشرا[٦]

Al-Mulali, Usama. (۲۰۱٤). GDP growth–energy consumption relationship: revisited. *International Journal of Energy Sector Management*, ۸(۳), ۳٥٦-۳۷۹.

Parenthetical citations: (Al-Mulali, ۲۰۱٤)

Narrative citations: (۲۰۱۴) الملالی[۷]

Hannesson, Rognvaldur. (۲۰۰۲). Energy use and GDP growth, ۱۹٥۰–۹۷. *OPEC review*, ۲٦(۳), ۲۱٥-۲۳۳.

Parenthetical citations: (Hannesson, ۲۰۲۰)

Narrative citations:(۲۰۲۰) هانسون[۸]

---

[۱] . Mahdipour et.al
[۲] .Meystre and Haug
[۳] . Al Garn and Awasthi
[٤] . Singh and Singal
[٥] . Wang and Li
[٦] . Mishra
[۷] . Al-Mulali,
[۸] . Hannesson

Avtar, Ram, Tripathi, Saurabh, Aggarwal, Ashwani Kumar, & Kumar, Pankaj. (۲۰۱۹). *Population–urbanization–energy nexus: a review. Resources*, ۸(۳), ۱۳٦.

Parenthetical citations: (Avtar et.al, ۲۰۱۹)

Narrative citations: آوتار و همکاران[۱](۲۰۱۹)

Acharya, Shantanu. (۲۰۲۲). Analytic assessment of renewable potential in Northeast India and impact of their exploitation on environment and economy. *b*, ۲۹(۲۰), ۲۹۷۰٤-۲۹۷۱۸.

Parenthetical citations: (Acharya, ۲۰۲۲)

Narrative citations: آچاریا[۲](۲۰۲۲)

Argyroudis, Sotirios, Mitoulis, Stergios Aristoteles, Hofer, Lorenzo, Zanini, Mariano Angelo, Tubaldi, Enrico, & Frangopol, Dan. (۲۰۲۰). Resilience assessment framework for critical infrastructure in a multi-hazard environment: Case study on transport assets. *Science of the Total Environment*, ۷۱٤, ۱۳٦۸٥٤.

Parenthetical citations: (Argyroudis et.al, ۲۰۲۰)

Narrative citations: آرگیردیس و همکاران[۳](۲۰۲۰)

Owles, Robert, & Vellani, Karim. (۲۰۰۷). Vulnerability and risk assessment in the environment of care. *Journal of Healthcare Protection Management: Publication of the International Association for Hospital Security*, ۲۳(۲), ٦۷-۷۷.

Parenthetical citations: (Owles and Vallani, ۲۰۱۷)

Narrative citations: آولس و والانی[٤](۲۰۰۷)

Mohammed, Mohammed Kamil, Awad, Omar, Rahman, M.M, Najafi, G, Basrawi, Firdaus, Abd Alla, Ahmed, & Mamat, Rizalman. (۲۰۱۷). The optimum performance of the combined cycle power plant: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, ۷۹, ٤٥۹-٤۷٤.

Parenthetical citations: (Mohammed et.al, ۲۰۱۷)

Narrative citations: محمد و همکاران[٥](۲۰۱۷)

Afgan, Naim, & Carvalho, Maria. (۲۰۰۲). Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants. *Energy*, ۲۷(۸), ۷۳۹-۷٥٥.

Parenthetical citations: (Afgan and Carvalho, ۲۰۰۲)

Narrative citations: افغان و کاروالیو[٦](۲۰۰۲)

Zhang, Xiliang, Ruoshui, Wang, Molin, Huo, & Martinot, Eric. (۲۰۱۰). A study of the role played by renewable energies in China's sustainable energy supply. *Energy*, ۳٥(۱۱), ٤۳۹۲-٤۳۹۹.

Parenthetical citations: (Zhang et.al, ۲۰۱۰)

---

۱. Avtar et.al
۲. Acharya
۳. Argyroudis et.al
٤. Owles and Vallani
٥. Mohammed et.al
٦. Afgan and Carvalho

Narrative citations:(۲۰۲۲)[۱] ژانگ و همکاران

Rosen, Marc. (۲۰۰۹). Energy sustainability: A pragmatic approach and illustrations. *Sustainability*, ۱(۱), ۵۵-۸۰.

Parenthetical citations: (Rosen, ۲۰۰۹)

Narrative citations: (۲۰۲۲)[۲] روزن

EIA (۲۰۲۳). *Natural gas combined-cycle power plants increased utilization with improved technology*. https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=٦٠٩٨٤#

Parenthetical citations: (EIA, ۲۰۲۳)

Narrative citations: (۲۰۲۳)[۳] آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا

Bolinger, Mark, & Bolinger, Greta. (۲۰۲۲). Land requirements for utility-scale PV: An empirical update on power and energy density. *IEEE Journal of Photovoltaics*, ۱۲(۲), ۵۸۹-۵۹٤.

Parenthetical citations: (Bolinger and Bolinger, ۲۰۲۲)

Narrative citations: (۲۰۲۲)[٤] بولینگر و بولینگر

Yang, Dong, Liu, Jingru, Yang, Jianxin, & Ding, Ning. (۲۰۱۵). Life-cycle assessment of China's multi-crystalline silicon photovoltaic modules considering international trade. *Journal of Cleaner Production*, ۹٤,۳۵ -٤٥.

Parenthetical citations: (Yang et.al, ۲۰۱۵)

Narrative citations: (۲۰۱۵)[۵] یانگ و همکاران

Tawalbeh, Muhammad, Al-Othman, Amani, Kafiah, Feras, Abdelsalam, Emad, Almomani, Fares, & Alkasrawi, Malek. (۲۰۲۱). Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook. *Science of The Total Environment*, ۷۵۹, ۱٤۳٥۲۸.

Parenthetical citations: (Tawalbeh et.al, ۲۰۲۱)

Narrative citations: (۲۰۲۱)[٦] تولبه و همکاران

Denholm, Paul, Hand, Maureen, Jackson, Maddalena, & Ong, Sean. (۲۰۰۹). Land use requirements of modern wind power plants in the United States (No. NREL/TP-٦A۲-٤٥۸۳٤). *National Renewable Energy Lab.*(NREL), Golden, CO (United States).

Parenthetical citations: (Denholm et.al, ۲۰۰۹)

Narrative citations:(۲۰۰۹)[۷] دنهولم و همکاران

Hernandez, Rebecca, Easter, Shane, Murphy-Mariscal, Michelle, Maestre, Fernando , Tavassoli, M, Allen, Edith, ... & Allen, Michael. (۲۰۱٤).

---

[۱] . Zhang et.al

[۲] . Rosen

[۳] . EIA

[٤] . Bolinger and Bolinger

[۵] Yang et.al

[٦] Tawalbeh & et.al

[۷] Denholm et.al

Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and sustainable energy reviews*, ٢٩, ٧٦٦-٧٧٩.

Parenthetical citations: (Hernandez et.al, ٢٠١٤)

Narrative citations: هرناندز و همکاران[١] (٢٠١٤)

Ghadikolaei, Saeed Siah Chehreh. (٢٠٢١). An enviroeconomic review of the solar PV cells cooling technology effect on the CO_2 emission reduction. *Solar Energy*, ٢١٦,٤٦٨ -٤٩٢.

Parenthetical citations: (Ghadikolaei, ٢٠٢١)

Narrative citations: قادیکلایی[٢] (٢٠٢١)

Kim, Dahye, Kim, Kyung-Tae, & Park, Young-Kwon. (٢٠٢٠). A comparative study on the reduction effect in greenhouse gas emissions between the combined heat and power plant and boiler. *Sustainability*, ١٢(١٢), ٥١٤٤.

Parenthetical citations: (Kim et.al, ٢٠٢٠)

Narrative citations: کیم و همکارن[٣] (٢٠٢٠)

Celik, Ilke, Mason, Brooke, Phillips, Adam, Heben, Michael, & Apul, Defne. (٢٠١٧). Environmental impacts from photovoltaic solar cells made with single walled carbon nanotubes. *Environmental Science & Technology*, ٥١(٨),٤٧٢٢ -٤٧٣٢.

Parenthetical citations: (Celik et.al, ٢٠١٧)

Narrative citations: چلیک و همکاران[٤] (٢٠١٧)

Jay, Stephen. (٢٠١٠). Strategic environmental assessment for energy production. *Energy Policy*, ٣٨(٧), ٣٤٨٩-٣٤٩٧.

Parenthetical citations: (Jay, ٢٠١٠)

Narrative citations: جی[٥] (٢٠١٠)

Tawalbeh, Muhammad, Al-Othman, Amani, Kafiah, Feras, Abdelsalam, Emad, Almomani, Fares, & Alkasrawi, Malek. (٢٠٢١). Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook. *Science of The Total Environment*, ٧٥٩, ١٤٣٥٢٨.

Parenthetical citations: (Tawalbeh et.al, ٢٠٢١)

Narrative citations: توالبه و همکاران[٦] (٢٠٢١)

Liqiang, Qi, & Zhang, Yajuan. (٢٠١٧). Effects of solar photovoltaic technology on the environment in China. *Environmental Science and Pollution Research*, ٢٤, ٢٢١٣٣-٢٢١٤٢.

Parenthetical citations: (Liqiang and Zhang, ٢٠١٧)

Narrative citations: لیچیانگ و و ژانگ[١] (٢٠١٧)

---

١. Hernandez et.al

٢. Ghadikolaei

٣. Kim et.al

٤. Celik et.al

٥. Jay

٦. Tawalbeh & et.al

Arvesen, Anders, & Hertwich, Edgar. (۲۰۱۲). Assessing the life cycle environmental impacts of wind power: A review of present knowledge and research needs. *Renewable and sustainable energy reviews*, ۱٦(۸), ٥۹۹٤-٦۰۰٦.

Parenthetical citations: (Arvesen and Hertwich, ۲۰۱۲)

Narrative citations: آروسن و هرتویچ[۲] (۲۰۱۲)

Rahman, Abidur, Farrok, Omar, & Haque, Md Mejbaul. (۲۰۲۲). Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants: Solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean, and osmotic. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, ۱٦۱, ۱۱۲۲۷۹.

Parenthetical citations: (Rahman et.al, ۲۰۲۲)

Narrative citations: رحمان و همکاران[۳] (۲۰۱۲)

Maradin, Dario. (۲۰۲۱). Advantages and disadvantages of renewable energy sources utilization. *International Journal of Energy Economics and Policy*, ۱۱(۳), ۱۷٦-۱۸۳.

Parenthetical citations: (Maradin, ۲۰۱۲)

Narrative citations: مارادین[٤] (۲۰۱۲)

Tsoutsos, Theocharis, Gekas, Vassilis, & Marketaki, Katerina. (۲۰۰۳). Technical and economical evaluation of solar thermal power generation. *Renewable energy*, ۲۸(٦), ۸۷۳-۸۸٦.

Parenthetical citations: (Tsoutsos et.al, ۲۰۰۳)

Narrative citations: تسوتسوس و مارکتاکی[٥] (۲۰۰۳)

Wei, Xiaoyu, Manovic, Vasilije, & Hanak, Dawid. (۲۰۲۰). Techno-economic assessment of coal-or biomass-fired oxy-combustion power plants with supercritical carbon dioxide cycle. *Energy Conversion and Management*, ۲۲۱, ۱۱۳۱٤۳.

Parenthetical citations: (Wei et.al, ۲۰۲۰)

Narrative citations: وی و همکاران[٦] (۲۰۲۰)

In Persian

Environmental, health, and safety guidelines for solar photovoltaic power plants.(۲۰۱۹,۱۲).ttps://www.satba.gov.ir/suna_content/media/image/۲۰۲۰/۰۲/۸۰۸۲_orig.pdf. [In Persian]

Manzoor, Dawood; Farmad, Majid; Arianpour, Vahid; and Shafii, Ehsanuddin. (۲۰۱۳). Evaluation of the optimal combination of power

---

۱. Liqiang and Zhang
۲. Arvesen and Hertwich
۳. Rahman et.al
٤. Maradin
٥. Tsoutsos et.al
٦. Wei et.al

plants in the country in terms of environmental costs. *Ecology*, ٤٠(٢), ٤١٥-٤٣٠. [In Persian]

Kargari, Narges; Mastouri, Reza. (٢٠١٠). Comparison of greenhouse gas emissions from different types of power plants using the LCA approach. *Iranian Energy Journal*, ١٣(٢), ٦٧-٧٨. [In Persian]

Mohammad Hosseini, Nahid; Rabati, Maryam; Omidpour, Majid. (٢٠١٨). 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*, (٤)١٩, ٢١٢-١٩٣. [In Persian]

Shakuri Ganjovi, Hamed; Kazemi, Alia; Abdulahpour, Sepehr; Guldansaz, Seyyed Mohammadreza. (٢٠١٩). Economic, social, and environmental assessment of electricity generation from renewable energies and gas. *Iranian Energy Promotional Scientific Quarterly*, (٣) ٢٣, ٣٣-٧. [In Persian]

Nowrozipour, Maria; Tabatabai Kalor, Reza; Tutoli, Ali (٢٠٢٣). Assessment of the environmental impact of electricity generation in a wind turbine (case study: Kohek Qazvin and Aghkand Middle). *Agricultural machinery*, ١٣(٤), ٤٠٥-٤٢٦. [In Persian]

Turk, Ali; Azmi, Aizeh; Moradi, Omid Ali. (٢٠٢٢). Assessment of the impact of the Shahid Muftah Hamadan power plant on the surrounding villages. *Rural Research*, ١٣(١), ١٢٢-١٣٩. [In Persian]

Abdulli, hero. (٢٠٠٩). Estimation of social discount rate for Iran. *Economic research paper*. ٩(٣٤). ١٥٦-١٣٥. [In Persian]