DOR: 20.1001.1.24234931.1398.6.2.5.7
Archive of SID

مقاله

سال ششم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۸، ص ص ۳۱ - ۴۱

فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۲۱

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۱۱

# ردپای کربن و روش‌های محاسبه آن با تاکید بر تولید برق از منابع فسیلی و تجدیدپذیر

**مهناز ابوالقاسمی[۱]، حسین یوسفی[۲]* ، سیّده مهسا موسوی رینه[۱]**

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

۲- دانشیار، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

* صندوق پستی تهران، ۱۴۳۹۹۵۷۱۳۱، Hosseinyousefi@ut.ac.ir

**چکیده**

**شواهد بسیاری مبنی بر تغییرات اقلیم نشان می دهد که بشریت می‌بایست نگران آینده باشد. غلظت دی‌اکسید کربن در اتمسفر در بالاترین حد خود در ششصد و پنجاه هزار سال گذشته می‌باشد و به صورت جدی نیز در حال افزایش است. درنتیجه‌ی افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، خشکسالی، قحطی، افزایش سطح آب اقیانوس‌ها تنها بخشی از تبعات قابل پیش‌بینی این موضوع می‌باشند. بخش انرژی سهم بسزایی در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. به گزارش کنوانسیون تغییر اقلیم، رتبه ایران در سال ۲۰۱۷ از نظر تولید گاز دی اکسید کربن هفتم دنیا بوده است. مطابق توافق‌نامه پاریس برای محدود کردن افزایش درجه حرارت زمین به دو درجه سلسیوس، انتشار ناشی از بخش انرژی باید تا ۴۰ درصد کاهش پیدا کند. با توجه به این موضوع که سوخت‌های فسیلی در مرتبه اول تولید انرژی هستند، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در جهت کاهش انتشار گاز دی‌اکسید کربن و همچنین کمی کردن میزان انتشار با استفاده از ابزاری مانند ردپای کربن می‌تواند به کاهش اثرات تغییر اقلیم کمک کند. با محاسبه ردپای کربن ذخیره شده در صورت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی و منظورکردن منافع زیست محیطی و در نتیجه هزینه‌های کمتری که این نوع انرژی به محیط زیست تحمیل می‌کند میتوان اثرات مفید استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را به صورت ملموس تری نمایش داد. این مقاله مروری بر تاریخچه و روش‌های محاسبه ردپای کربن و همچنین بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی میزان انتشار کربن‌دی اکسید در تولید برق از سوخت های فسیلی و انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد. تحلیل ردپای کربن می‌تواند به فهم و آگاهی افراد از آثار فعالیت انسان‌ها و سازمان‌ها بر محیط زیست کمک کند و برای کاهش انتشار کربن و تغییرات آب و هوایی کشورها منابع علمی ارائه دهد.**

**کلیدواژگان:** ردپای کربن، تولید برق، انرژی تجدیدپذیر، سوخت فسیلی



www.SID.ir

Archive of SID


# Carbon footprint and its calculation methods with emphasis on electricity generation from renewable and fossil sources.

**Mahnaz Abolghasemi[1], Hossein Yousefi[2*], Mahsa Mousavi Reineh[1]**

1- Master of Science (MSc) Student, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran
* P.O.B. 1439957131, Tehran, Iran, Hosseinyousefi@ut.ac.ir
Received: 12 November 2018 Accepted: 1 January 2019

**Abstract**
Many evidences of climate changes suggest that humanity must be concerned about the future. The concentration of carbon dioxide in the atmosphere is at its highest in the past six hundred and fifty thousand years, and is rising steadily. Following an increase in emissions of greenhouse gases, drought, famine, an increase in ocean water levels is only part of the predictable consequences of this issue. The energy sector has a significant share in greenhouse gas emissions. According to the Climate Change Convention, Iran ranked the world's seventh largest carbon dioxide producer in 2017. According to the Paris Summit, to limit the increase in ground temperature to two degrees Celsius, emissions from the energy sector should be reduced to 40%. Given that fossil fuels are a major source of energy production, the use of renewable energies to reduce carbon dioxide emissions and measure emissions through carbon footprint can help reduce the effects of climate change. By calculating the carbon footprint stored when using renewable energies instead of fossil fuels and taking into account the environmental benefits and hence the lower costs that this type of energy imposes on the environment It is possible to understand the beneficial effects of using renewable energies in a more intelligible way. This paper reviews the history and methods of calculating the carbon footprint, as well as studies on the calculation of carbon dioxide emissions in the production of electricity from fossil fuels and renewable energy. Carbon footprint analysis can help person understand the effects of human activity and organizations on the environment and provide scientific resources to reduce carbon emissions and climate change in countries.

**Keywords:** Carbon Footprint, Power Generation, Renewable Energy, Fossil Fuel


www.SID.ir

Archive of SID

## ۱- مقدمه

انسان‌ها برای تامین نیاز خود ناگزیر از تقاضا برای کالا و خدمات هستند، همین تقاضای آن‌ها میتواند محرک فرایند تولیدی باشد که منابع طبیعی (منابع انرژی) را مصرف می‌کند و انتشار آلایندهایی از جمله CO را به همراه دارد [۱،۲]. براساس گزارش سال ۲۰۱۳ آژانس بین المللی انرژی، انتشار گاز دی اکسیدکربن به طور مستقیم با مصرف انرژی مرتبط است و همبستگی شدیدی بین مصرف انرژی‌های فسیلی و انتشار CO وجود دارد به گونه‌ای که طبق آمار مرکز تجزیه و تحلیل اطلاعات دی اکسیدکربن[۱](CDIAC) از سال ۱۸۷۰ تا ۲۰۱۰ میزان انتشار این گاز ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی به صورت نمایی در جهان افزایش یافته است. افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و لزوم اتخاذ سیاست‌های مناسب جهت کاهش آن در کشورهای در حال توسعه، توجه اکثر کشورها را به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر سوق داده است. با اهمیت یافتن مسائل زیست محیطی در سطح بین المللی، اکثر کشورها سعی در پیاده‌سازی سیاست‌هایی در مورد کاهش میزان انتشار گازدی‌اکسیدکربن کردند. انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای در ایران نیز شرایط زندگی را برای انسان‌ها و جانداران بیش از پیش با مشکل مواجهه می‌نماید و بیش از پیش نیازمند کنترل آنها و رعایت استانداردها در این زمینه می‌باشد. بدین منظور ابتدا باید جریان انتشار این آلاینده مشخص شود و سپس با اتخاذ سیاست‌های مناسب برای کنترل و کاهش آن‌ها تلاش نمود. یکی از راه‌های برآورد میزان CO منتشر شده در جهت تامین تقاضا در قالب ردپای کربن بیان می شود، که می‌تواند ابزاری مناسب برای سنجش کل فشار واردشده بر محیط زیست از طریق انتشار گازهای گاخانه‌ای باشد. تحلیل ردپای کربن میتواند به فهم و آگاهی افراد از آثار فعالیت انسان‌ها و سازمان‌ها بر محیط زیست کمک کند و برای کاهش انتشار کربن و تغییرات آب و هوایی کشورها منابع علمی ارائه دهد.

هدف از مقاله حاضر مروری بر تاریخچه و روش‌های محاسبه ردپای کربن و همچنین مرور و بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی انتشار دی‌اکسید کربن در تولید برق از سوخت‌های فسیلی و انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد.

## ۲- روش بررسی

تحقیق انجام شده، با تاکید بر مفاهیم نظری است که با روش کتابخانه‌ای از کتب، مقالات داخلی و خارجی و سایت‌ها جمع‌آوری شده است و به بررسی تاریخچه ردپای کربن و روش‌های محاسبه آن در ایران و جهان پرداخته و در ادامه به تشریح تحقیقات انجام شده در زمینه ردپای کربن در تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر و فسیلی پرداخته شده‌است.

## ۳- تاریخچه ردپای کربن

به منظور بررسی توسعه پایدار، صاحب نظران عرصه محیط زیست درصدد برآمدند تا با یافتن واحد سنجش معنادار و با اتخاذ یک رویکرد بیوفیزیکی به بررسی اصل پایداری بپردازند. از این رو شاخص‌های متعددی پیشنهاد شد تا جنبه‌های زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی ازتوسعه پایدار را به تصویر بکشند. یکی از شاخص‌های ارزیابی توسعه پایدار که با کمی کردن فشار محیط زیستی حاصل شده در راستای تامین تقاضای داخلی می‌تواند تا حدودی یک ابزار مناسب در زمینه سیاست‌گذاری کشورها باشد، شاخص "ردپا" است [۳, ۴]. منظور از ردپا، این است که برای تامین نیازهای درونی جامعه چه میزان (در واحد فیزیکی) از سرمایه طبیعی( محیط زیست) در مقیاس جهانی کاسته شده است[۵].

در اوایل دهه ۱۹۹۰ ویلیام ریس، رئیس دانشگاه بریتیش کلمبیا، مفهوم ردپای بوم شناختی (FF) را مطرح کرد. او و شاگردش ماتریس واکرناگل مقالات علمی فراوانی دراین زمینه نوشته‌اند. ریس و واکرناگل تصریح کردند که FF، اندازهگیری میزان فشاری است که انسان بر طبیعت تحمیل می‌کند[۶]. اصطلاح ردپای کربن که طی چند سال اخیر رایج شده و با افزایش نگرانی‌های عمومی در خصوص تغییرات آب و هوایی ، مفهوم آن توسعه یافته است، ریشه در واژه ردپای بوم‌شناختی مطرح شده توسط واکرناگل و ریس(۱۹۹۶) دارد. ردپای اکولوژیکی شامل ۶ ردپای: کشاورزی، ماهیگیری، ساختگاه، مرتع، جنگل و کربن می‌باشد. ردپای کربن به عنوان یکی از ۶ زیر مجموعه ردپای اکولوژیکی توسط واگرناگل به وجود آمد و هدف او در ارائه ردپای بوم شناختی توسعه و آزمایش ابزاری بود که با آن بتوان اهمیت بحران‌های پایداری را به یک اقدام عمومی بدل کند.

علی‌رغم جدید بودن، ردپای کربن برای حدود نیم قرن تحت عبارت انتشار ناشی از مصرف کربن جاسازی شده وجود داشته‌است. در زمینه محیط زیستی، مفهوم ردپای کربن از حدود سال ۱۹۷۰ مطالعه می‌شده‌است. هم اکنون نیز تحت عناوین کربن جاسازی شده[۲] انتشار گازهای گلخانه‌ای حین فرآیند تولید[۳] شدت کربن محصولات[۴] و حسابداری کربن[۵] استفاده می‌شود. پس از $COP_{21}$ در پاریس که ردپای کربن مورد توجه بیشتری در محیط آکادمیک قرار گرفته‌است و در مقیاس‌های متفاوتی استفاده می‌شود در نتیجه عبارت‌های متعددی در پژوهش‌ها با مفهوم یکسان در حیطه‌های مختلف به ردپای کربن اطلاق می‌شود و این ابهام نیز وجود دارد که واقعا ردپای کربن به چه معناست[۷]. برخی تعاریف مختلف که برای ردپای کربن در منابع علمی ارائه شده، در زیر با هدف یافتن نقطه مشترک به توجه به سیر تاریخی آن‌ها جمع آوری شده است:

Hammond(۲۰۰۷):

وزن کربن انتشار یافته بر اساس کیلوگرم یا تن به ازای هر فرد یا فعالیت[۸].

Petroleum(۲۰۰۷):مقدار دی اکسید کربن منتشره از فعالیت‌های روزانه. مانند شستن لباس یا استفاده از وسایل حمل و نقل[۹].

Eckel(۲۰۰۷):

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به صورت مستقیم و غیرمستقیم ناشی از فعالیت های کسب و کار[۱۰].

Ellis (۲۰۰۷):

اندازه‌گیری مقدار دی‌اکسید منتشر شده از طریق احتراق سوخت‌های فسیلی به طور مثال در مورد یک بنگاه تولیدی، ردپای کربن مقدار دی اکسیدکربن منتشره به صورت مستقیم و غیر مستقیم ناشی از فعالیت‌های روزانه می‌باشد، همچنین ممکن است بازتاب انرژی‌های فسیلی در تولید یک محصول یا محصولات یک بازار را نشان دهد[۱۱].

---

۱ Carbon Dioxide Information Analysis Center
Embeded carbon
۳ Manufacturing Process GHGs emission
۴ Product carbon intensity
۵ Carbon accounting
۶ بیست و یکمین کنفرانس اعضای متعاهدین به کنوانسیون تغییرات اقلیم سازمان ملل متحد


www.SID.ir

Archive of SID

Johnson (۲۰۰۹):

مجموعه ای از گازهای گلخانه‌ای و گاز انتشار یافته از یک کالا یا سرویس در سراسر طول عمر خود[۱۲].

Hertwich and Peters(۲۰۰۹):

مقیاسی برای اندازه‌گیری تاثیر فعالیت‌های انسانی بر محیط زیست است؛ از لحاظ مقدار گازهای گلخانه‌ای تولید شده از طریق مصرف سوخت‌های فسیلی به منظور تولید برق، گرمایش، حمل و نقل و غیره که به صورت وزن $CO_2$ تولیدی و با واحد تن بیان می‌شود[۲].

Mays et al(۲۰۰۹):

میزان انتشارات مستقیم و غیر مستقیم دی‌اکسید کربن را که توسط یک فعالیت ایجاد شده‌است در طی مراحل زندگی یک محصول مشخص می سازد[۱۳].

Williams et al. (۲۰۱۲):

مقیاسی از مقدار کل خروجی دی اکسید کربن (CO2) و متانول (CH4) مربوط به یک جمعیت، سیستم یا فعالیت معین با در نظر گرفتن همه منابع، فرونشین‌ها، ذخیره‌شدن‌ها در محدوده زمانی و مکانی آن جمعیت، آن سیستم یا فعالیت[۱۴].

Alsaffar et al.(۲۰۱۲):

اندازه‌گیری تاثیر فعالیت‌های انسانی در محیط زیست از نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای همچون اندازه‌گیری میزان دی اکسیدکربن است[۱۵].

Solís-Guzmán et al(۲۰۱۴)

یک روش برای برای شناسایی و اندازه‌گیری گازهای گلخانه‌ای منحصر به فرد، اندازه‌گیری میزان انتشار این گازها در هر فعالیتی و در همه مراحل (تهیه مواد اولیه، تخصیص مواد برای هر محصول) می‌باشد.[۱۶]

ولایت زاده و همکاران (۲۰۱۶):

میزان $CO_2$ است که توسط بخش‌های اقتصادی و در راستای تامین تقاضای نهایی داخلی، در سطح جهان (خواه تولید داخلی باشد، خواه وارداتی) منتشر می‌شود[۱۷].

در سال ۲۰۰۹ اندروز در تحقیقات دسته‌بندی از تعاریف ارایه شده و تفاوت آن‌ها ارایه کرد و اذعان داشت که ردپای کربن تنها یک اندازه‌گیری دی‌اکسید کربن خروجی نیست، بلکه بیشتر به عنوان پارامتری است که می‌توان با آن پایداری فرایندهای تولیدی را بررسی نمود[۱۸]. همچنین ادعا نمود محققان در این زمینه نگرانی‌های در خصوص لزوم و یا عدم لزوم تولید یک ابزار جدید، تعریف و نحوه محاسبه‌ی ردپای کربن شامل موارد زیر دارا می‌باشند:

۱. گستره انتشار
۲. مراحل چرخه عمر
۳. مرزهای سیستم
۴. پایان عمر
۵. ترسیب و ذخیره کربن
۶. تغییر کاربری زمین
۷. کالاها و فرایند واسطه
۸. واحد محاسبه ردپای کربن

تا سال ۲۰۱۸، ۷۶ محاسبه‌گر ردپای کربن وجود داشته که ۵۲ عدد از آن‌ها ردپای کربن شخص و خانه‌ها را تخمین میزدند، ۱۲ مورد از آنها ردپای صنایع فلزات و غذایی را محاسبه می‌کردند و ۱۰ عدد نیز ردپای شرکت‌ها را کمی می‌کردند.

از آنجایی که مسئله افزایش دمای کره زمین از اهمیت خاصی برخوردار شده است، برآورد ردپای کربن نیز به صورت مستقل ظاهر شده است[۱۹]، در نتیجه تعاریف متفاوت و شیوه‌های متعدد محاسبه ردپای کربن که استفاده از آن در ابعاد گسترده در رسانه و مجامع علمی رایج شده است که باعث به وجود آمدن مناقشات بسیاری در بین محققان شده است، چنین ابهامی را می توان به دلیل عدم وجود متدلوژی مناسبی برای محاسبه و تحلیل آن دانست. مطالعات زیادی نیز به وسیله شرکت‌ها و سازمان‌های خصوصی در این زمینه صورت گرفته است[۱۸, ۱۹]، که یکی از فراگیرترین تقسیم‌بندی‌ها، ردپای کربن بخش‌های تولیدی را به دو بخش مستقیم و غیرمستقیم به صورت زیر تقسیم کرده‌است:

انتشار "مستقیم" کربن ناشی از تولید کالاها و خدمات آن بخش تولیدی است در حالیکه ردپای" غیرمستقیم" مربوط به مصرف کالاها و خدمات واسطه‌ای است که خود کربن انتشار داده‌اند و بخش‌های تولیدی در فرایند تولید خود از آنها استفاده می‌نمایند. برای مثال در یک واحد صنعتی، انتشار گاز $CO_2$ در طول سوختن گازوئیل را می‌توان یک انتشار مستقیم دانست. از سوی دیگر، در صورتی که دستگاه‌های صنعتی انرژی خود را به صورت الکتریکی تامین کنند، هیچ انتشاری را مشاهده نخواهیم کرد ولی در طول تولید الکتریسته در یک کارخانه انرژی گرمایی، میزان خاصی از گازهای$CO_2$ را باید آزاد کرد. یک چنین انتشاراتی، انتشار غیرمستقیم یا انتشار ادغام یافته نام دارد. در بسیاری از موارد، بکارگیری تمامی انتشارات غیر مستقیم امری غیر ممکن یا بسیار سخت است؛ از این رو، بسیاری از مطالعات مرتبط با برآورد ردپای کربن، فقط انتشارات مستقیم را در مطالعات خود در نظر گرفته‌اند[۷].

### ۳-۱ محاسبه ردپای‌کربن

با بررسی پژوهش‌های انجام شده در زمینه محاسبه ردپای کربن، روش‌های متعددی برای برآورد ردپای کربن همچون استفاده از ماشین حساب‌های انلاین برای آنالیز چرخه عمر یا روش‌ها و ابزارهای داده- ستانده و ماتریس حسابداری اجتماعی پیشنهاد شده است.

ادبیات موجود نشان میدهد که پژوهشگران از دو روش در سنجش ردپای کربن که زیر مجموعه‌ی ردپای اکولوژیک است، استفاده می‌کنند. روش اول ماهیت کلان دارد و بر مبنای مصرف آشکار منابع مورد نظر بکار رفته در تولید کالاها و خدمات داخلی بعلاوه منابع بکار رفته در تولید کالاها و خدمات واردات منهای منابع بکار رفته در تولید کالاها و خدمات صادرات محاسبه می‌گردد که اولین بار توسط واکرناگل و ریس در سال ۱۹۹۶ مطرح شد[۵].

اما بکارگیری روش مذکور نمی‌تواند وضعیت ردپای اکولوژیک را در جهت مدیریت منابع در سطح بخش‌های مختلف اقتصادی آشکار نماید. برای برون رفت از این مسأله، طیف وسیعی از پژوهشگران مثل هابک[۲۱]، لنزن و


www.SID.ir

Archive of SID

موری[۲۲]، فرنگ[۲۳]، بیکنل و گیلجوم[۶]، روش دومی را در قالب نظام حسابداری بخشی به شکل جدول داده-ستانده مبنای محاسبه این شاخص قرار داده‌اند. میتوان گفت تجزیه و تحلیل داده-ستانده یا ماتریس حسابداری اجتماعی زیست محیطی برای محاسبه رد پای کربن در سیستم‌های کلان یا بخشی است. در این زمینه ردپای کربن از بخش‌های صنعتی، کسب و کارهای فردی، گروه‌های تولیدی بزرگتر، خانوارها، دولت، سرانه شهروندان یا سرانه اعضای یک گروه اقتصادی-اجتماعی خاص بوسیله تجزیه و تحلیل داده-ستانده و ماتریس حسابداری اجتماعی میتواند انجام شود، اما این روش نمی‌تواند همه محصولات موجود در اقتصاد را به صورت جزئی مورد تحلیل ردپای کربنی قرار دهد چرا که این مورد با وجود تعداد محصولات زیاد در اقتصاد، امکانپذیر نیست.[۲۰, ۲۳]

محققان بسیاری در زمینه محاسبه میزان انتشار دی اکسید کربن از نیروگاه‌ها مطالعه نموده‌اند. در ادامه به معرفی و بررسی روش‌های متداول محاسبه ردپای کربن در ایران و جهان می‌پردازیم.

تیموری و محمدی فر (۱۳۸۸) برای برآورد میزان انتشار کل گاز دی اکسید کربن از روش IPCC استفاده کردند که مراحل کار به صورت جدول ۱ می باشد[۲۵].

| | | |
|---|---|---|
| مرحله اول | میزان مصرف (F) | |
| مرحله دوم | (G) تبدیل به واحد تراژول (واحدTJ ) | |
| | میزان مصرف بر اساس تراژولH | $H = (F * G)$ |
| مرحله سوم | I ضریب انتشار کربن | $I = (TC/TJ)$ |
| | J محاسبه کربن ذخیره | $J = (H * I)$ |
| | Kحجم کربن (GgC) | $K = (J * 0/001)$ |
| مرحله چهارم | L کربن ذخیره شده (GgC) | |
| | Mضریب انتشار خالص کربن(GgC) | $M = (K - L)$ |
| مرحله پنجم | N کربن اکسید شده | |
| | O انتشار واقعی کربن(GgC) | $O = (M * N)$ |
| مرحله ششم | P میزان واقعی انتشار گاز CO (GgC) | $P = (O * [44.12])$ |

**جدول۱** مراحل برآورد میزان انتشار گاز $CO_2$ با روش IPCC . ماخذ داده ها International Energy Agency (IEA), ۲۰۰۸

بر اساس محاسبات بالا و به کمک جدول ۲ میزان دی اکسیدکربن تولید شده برآورد می‌شود. جدول۲ ضرایب انتشار گاز دی اکسید کربن و ضرایب تبدیل سوخت به تراژول را برای سوخت های فسیلی نشان می‌دهد.

| سوخت | ضریب انتشار کربن(TC/TJ) | کسری از کربن اکسید شده | نوع سوخت | چگالی Kg/m۳ | لیتر به ازای هر تن | ضریب تبدیل(TJ در هزار تن) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| نفت خام | ۲۰ | ۰/۹ | نفت گاز/دیزل | ۸۴۳/۹ | ۱۱۸۵ | ۴۳/۳۸ |
| گاز طبیعی مایع | ۱۷/۲ | ۰/۹۸ | بنزین | ۴۷۰/۷ | ۱۳۵۰ | ۴۴۸۰ |
| زغال سنگ | ۲۵۸ | ۰/۹ | اتان | ۳۶۶/۳ | ۲۷۳۰ | ۴۷/۴۹ |
| گازوئیل | ۱۸/۹ | ۰/۹۸ | روغن متور | - | - | ۴۴/۳۳ |

**جدول۲** ضریب انتشار کربن انواع سوخت به همراه کسری از دی‌اکسید کربن و ضرایب تبدیل

صادقی و همکاران(۱۳۹۴) در مطالعه‌ای تحت عنوان وضعیت ردپای کربن، متان و اکسید نیتروژن زیر بخش‌های کشاورزی در مقایسه با سایر بخش‌های اقتصادی ایران، از روش ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۹۰ استفاده کردند و نتایج حاکی از این است که ردپای کربن در زیربخش‌های گندم و پرورش دام و طیور بیشترین سهم را به خورد اختصاص می‌دهد[۲۶].

حاجی نژاد و همکاران (۱۳۹۷) جهت بررسی ردپای کربن در تأمین آب شرب شهر سپیدان از معادلات زیر استفاده کردند[۲۷]:

معادله(۱) $$V_{CO_{۲}-COOL} = ۲.۰۹ \times ۰.۴۵۴$$

معادله(۲) $$V_{CO_{۲}-oil} = ۱.۹۶۹ \times ۰.۴۵۴$$

معادله(۳) $$V_{CO_{۲}-gass} = ۱.۳۲۱ \times ۰.٤٥٤$$

که در این معادله‌ها $V_{CO_2-COOL}$، $V_{CO_2-oil}$ و $V_{CO_2-gass}$ به ترتیب حجم دی اکسید کربن منتشر شده ناشی از مصرف سوخت‌های زغال سنگ، نفت و گاز به واحد کیلوگرم و e انرژی مصرفی به واحد کیلووات بر ساعت است.

جوشنی و همکاران (۱۳۹۵) در مقاله‌ای به بررسی ردپای کربن و عوامل موثر بر آن در کارخانه سیمان آبیک پرداختند. در این پژوهش ردپای کربن توسط دستگاه Testo350XL و همچنین براساس معادلات IPCC میزان انتشار تئوریکی کارخانه محاسبه شد، که معادلات آن در زیر آورده شده است.

در این پژوهش ابتدا به کمک معادله(۴) غلظت دی اکسید کربن اندازه‌گیری شده توسط دستگاه که به صورت حجم به حجم می‌باشد، به مقدار انتشار بر حسب kg/hr تبدیل شد.

معادله(۴) $$MER = \frac{Q_N . MW . C10^{-۶}}{V_{.۱۰۰۰}}$$

در معادله(۴)، MER مقدار انتشار (بر حسب kg/hr)، MW وزن مولکولی آلاینده (gr/gr-mol)، C غلظت گاز آلاینده خروجی بر حسب (ppm) و


www.SID.ir

Archive of SID

v حجم مولی گاز ایده‌آل در شرایط نرمال (۰۲۲۴/$m^3$/g-mol) تعریف می گردد.

QN مقدار شدت جریان حجمی گازهای خروجی در شرایط نرمال بر حسب ($Nm^3$/hr) از معادله (۵) محاسبه میشود.

$$Q_N = \frac{Q(P_a ۲۷۳)}{[۷۶۰(T_s + ۲۷۳)]}$$ معادله(۵)

$P_a$ در معادله (۵) فشار محیط برحسب (mmhg) و Ts دمای گاز خروجی از دودکش را نشان می‌دهد.

دراین تحقیق علاه بر محاسبه میزان انتشار کربن به روش آنالیز دستگاهی که در بالا بیان شد. میزان انتشار به وسیله معادلات IPCC نیز مورد بررسی قرار گرفت. این معادله ردپای کربن را به صورت تئوریکی با در نظرگرفتن عواملی مانند سوخت، فرایند و دیگر پارامترهای موثر مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$(Eectricityproject_{project,\ i} \times Q_{cement}) \times EF_{grid} + (fuel_{project,\ i} \times EF_{fuel})$$ معادله(۶)

در معادله فوق، PE میزان انتشارات، Electricity project میزان برق مصرفی برای تولید سیمان تن سیمان (Qcement./MWh ) مقدار سیمان تولید شده (سال/تن سیمان)، EFgrid فاکتور انتشار کربن از شبکه برق ($tCO_2e$/MWh)، Fuel project میزان سوخت مصرفی برای سیمان (TJ/year) و EFfuel فاکتور انتشار کربن از سوخت مصرفی ($tCO_2e$/TJ)، را در یک کارخانه سیمان نشان می‌دهد. برای اینکه بتوانیم میان انتشارات را محاسبه کنیم؛ ابتدا معادله ۶ را کاملاً بسط داده و معادله ۷ را مطرح می کنیم:

$$PE = (Electricityproject \times Qcement) \times EFgrid + (Fuelproject, \times EFfuel \times Dfuel \times ECfuel)/ ۱۰۰۰۰۰۰$$ معادله(۷)

در معادله فوق، Dfue معرف دانسیته سوخت (Kg/m3) و ECfuel معرف ارزش حرارتی سوخت (TJ/ton) مصرفی در کارخانه سیمان است.

مومنی و همکاران(۱۳۹۵) به بررسی وضعیت توسعه پایدار در ایران با استفاده از شاخص ردپای کربن پرداختند. در این مقاله از نظام حسابداری بخشی به شکل جدول داده – ستانده استفاده شده است. به منظورسنجش ردپای کربن در این پژوهش از دو نوع داده استفاده شده است؛

۱- جدول داده- ستاند ارزشی سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰.

۲- آمار فزیکی انتشار $CO_2$ که به طور مستقیم از گزارش ترازنامه هیدروکربوری و انرژی سال های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ گرفته شده است.

از نتایج این پژوهش می‌توان به افزایش انتشار کربن‌دی‌اکسید ناشی از تولیدات داخلی در دو بخش برق و حمل و نقل در جهت تامین نیاز داخلی در سال ۱۳۹۰ نسبت به سال ۱۳۸۵ اشاره کرد.

دلیر و همکاران(۱۳۹۶) در مقاله‌ای تحت عنوان "ارایه تعریف جامع ردپای کربن و روش محاسبه فراگیر منطبق بر تعریف پیشنهاد شده"[۲۸]. پس از مشخص کردن تعریفی واحد برای ردپای کربن روش محاسبه منطبق بر تعریف پیشنهادی را به صورت زیر شرح داد:

ردپای کربن براساس ۹ آیتم شامل گستره انتشار، مراحل چرخه‌ی عمر، مرزهای سیستم، خنثی سازی‌انتشار، پایان عمر، ترسیب و ذخیره، تغییر کاربری زمین، کالاهای واسطه و بر اساس روش زیر که دارای مزایای تمامی روش‌ها و پوشاننده معایب آن‌ها می‌باشد، محاسبه می‌شود:

$$CF = \sum_{K=۰}^{L} \sum_{j=۱}^{m} \sum_{i=۱}^{n} \frac{e_{ijk}}{x_{ijk}}$$ معادله(۸)

که در آن e انتشار ناشی از محصولات x می‌باشد. i نوع محصول، j نوع گاز گلخانه ای و k فازهای مختلف عمر در چرخه تولید می‌باشد. موارد زیر مثال‌هایی از بسط معادله (۸) می‌باشد. به عنوان مثال اگر تنها یک محصول تولید شده وجود داشته باشد و فقط دی اکسید کربن در سه فاز تولید، انتقال و مصرف نهایی در نظر گرفته شود، فرمول زیر بسط تک محصول در فازهای تولید و مصرف نهایی معادله (۹) می‌باشد.

$$CF_{Total} = CF_{Production} + CF_{Transmission} + CF_{Consumption}$$ معادله(۹)

معادله(۱۰) ساده شده معادله(۹) برای تولید یک محصول در عمر مفید کارخانه تولیدی مانند نیروگاه می‌باشد که در n عمر بنگاه اقتصادی می‌باشد و می‌تواند از صفر تا زمان مرگ واحد تغییر کند و صفر نیز فاز ساخت را در بر می‌گیرد.

$$CF = CF\ Construction(۰) + \sum_{i=۱}^{i=n} CF\ Operation + \sum_{i=۱}^{i=n} CF\ Maintenance + CF\ Termination(n)$$ معادله(۱۰)

با تغییر اندیس‌های مختلف در معادله(۱۰) می توان ردپای کربن محصولات مختلف را محاصبه نمود. می‌توان از فرمول بالا جهت مقیاس ملی و جهانی استفاده نمود و به جای x که محصول می‌باشد از میزان تولید ناخالص ملی و جهانی استفاده کرد.

دلیری پارامترهای موثر در ردپای کربن نیروگاه‌های حرارتی را به صورت شرح زیر استخراج کرد:

۱. نوع نیروگاه
۲. نوع سوخت
۳. حجم سوخت مصرفی
۴. فرسودگی اقلیم
۵. افست کربن
۶. فاصله محل نصب تا مصرف
۷. تغییر کاربری زمین
۸. حاصلخیزی منطقه رویشی
۹. ترسیب کربن
۱۰. فاصله انتقال سوخت


www.SID.ir

Archive of SID

وازکوئزرو و همکاران(۲۰۱۴) در مطالعه‌ای با استفاده از روش ارزیابی چرخه عمر و آنالیز داده‌های محیطی[۱] میزان انتشار گازهای گالخانه‌ای در زمینه ماهیگیری را بررسی کردند. نتایج نشان داد در سراسر جهان حدود ۱/۲ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از صنعت شیلات است[۲۹].

روس و همکاران(۲۰۱۴) در مطالعه‌ای میزان ردپای کربن محصولات غذایی را بررسی کردند. در این مطالعه ردپای کربن با روش تغییرات استفاده از زمین صورت گرفت. نتایج نشان داد ردپای کربن ناشی از محصولات دامی، بسیار بزرگتر از محصولات گیاهی می‌باشد[۳۰].

بورمیسترز و همکاران (۲۰۱۶) به کمک روش ارزیابی چرخه زیستی در تحقیقی تحت عنوان بررسی ردپای کربن از فرایند تولید هیدروژن با استفاده از زغال سنگ به این نتیجه رسیدند که در جداسازی دی اکسید کربن میزان انتشار کربن از هیدروژن کمتر است[۳۱].

لازاریویس و مارتین (۲۰۱۶) با استفاده از چرخه زیستی طیف وسیعی از آب و هوا، میزان کربن ناشی از سوخت‌های زیستی حمل و نقل در سوئد را تجزیه و تحلیل نمودند و به این نتیجه رسیدند که تسلط کربن بیش از حد بر روی اثرات آب و هوا تاثیرگذار است[۳۲].

### ۳-۲ ردپای کربن در تولد برق از انرژی‌های تجدیدپذیر

افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و لزوم اتخاذ سیاست‌های مناسب جهت کاهش آن و همچنین ضرورت دستیابی به رشد اقتصادی بالاتر در کشورهای درحال توسعه، توجه اکثر کشورها را به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر سوق داده‌است. در واقع انرژی‌های تجدیدپذیر یک راه‌حل مناسب برای دست یابی به توسعه پایدار تلقی می‌شود. سوخت‌های فسیلی منبع مهم انتشار گازهای گلخانه‌ای و عامل اصلی گرمایش جهانی هستند. ۹۲ درصد انرژی الکتریسیته ایران از سوخت فسیلی تولید می‌شود، درنتیجه منجر به تولید ۳۵ درصد دی‌اکسیدکربن (مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای) می‌شود. در مقابل، سهم تولید برق از انرژی تجدیدپذیر در ایران تنها ۲ درصد است که سهم ناچیزی در سبد انرژی کشور است، درصورتی که با تولید برق از منابع تجدیدپذیر علاوه بر افزایش امنیت انرژی و ایجاد فرصت‌های شغلی منجر به کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن می‌شود؛ مطابق نتایج برآورد مدل تجربی پژوهش نیک اندیش، وهمکاران (۱۳۹۵) یک درصد افزایش در تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر موجب کاهش ۲ درصدی انتشار کربن‌دی‌اکسید می‌شود. به این ترتیب، توسعه انرژی تجدیدپذیر در بخش تولید برق نقش قابل توجهی دارد[۳۳].

انرژی الکتریسیته از جمله حامل‌های انرژی بسیار پرکاربرد و سطح بالایی بوده که در فرایند توسعه نیز نقش قابل توجه‌ای در پیشبرد رشد اقتصادی دارد. اما تولید برق به منابع انرژی دیگر بخصوص سوخت‌های فسیلی وابسته است به طوری که در سال ۲۰۱۱ حدود ۶۷ درصد انرژی برق جهان از این منابع، ۱۵ درصد از انرژی آبی و تنها ۴ درصد از منابع دیگر انرژی‌های تجدیدپذیر تولید شده‌است. از طرفی، مصرف انرژی‌های سنتی و سوختن سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌های برق آلایندگی‌های بسیاری از قبیل اکسیدهای سولفور، اکسیدهای نیتروژن، دی اکسیدکربن، مونو اکسیدکربن و مواد ریز ذره‌ای را ایجاد کرده و تأثیراتی همچون باران اسیدی، فرسایش لایه ازون و پدیده گرمایش جهانی را به همراه دارد که این موارد جدا از تولید جیوه، آرسنیک، نیکل و سایر ضایعات ناشی از نیروگاه‌های برق با منابع فسیلی است.[۳۴] آژانس بین المللی انرژی گزارش می دهد که در سال ۲۰۱۱ حدود ۴۸ درصد از دی‌اکسیدکربن (از اصلی ترین عوامل افزایش دمای زمین و اثر گلخانه ای) منتشره جهان ناشی از سوزاندن سوخت‌ها جهت تولید الکتریسیته وگرمایش بوده است. مطابق آمارهای آژانس بین المللی انرژی در سال۲۰۱۱، کشور ایران معادل با ۵۲۰ میلیون تن دی‌اکسیدکربن تولید نموده که در این عملکرد جزء ۱۰ کشور اول دنیا قرار دارد. سرانه تولیددی‌اکسیدکربن به ازای هر نفر ۷ تن بوده و شدت انتشار کربن نیز معادل۲/۱ کیلوگرم به ازای هر دلار تولید (به قیمت سال ۲۰۰۵) بوده است، که رقم بسیار قابل توجهی است. از سمت دیگر، همانطور که در نمودار ۱ نشان داده شده است، یک سوم سهم انتشار گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن را بخش نیروگاهی ایران در اختیار داشته و تولیدکننده اول دی‌اکسیدکربن در سال ۱۳۹۰ بوده است. در نمودار۲ نیز میزان انتشار دی-اکسیدکربن حاصل از تولید هر کیلووات ساعت برق به تفکیک نوع نیروگاه‌ها مشاهده می‌شود. بیشترین میزان انتشار دی‌اکسیدکربن از نیروگاه گازی و بخار است که به ترتیب ۲۴/۵ و ۳۹/۹ درصد از تولیدبرق کشور از این نیروگاه‌ها بوده است. نیروگاه‌های سیکل ترکیبی نیز ۳۰/۳ درصد در تولید برق سهم داشته‌اند.

**نمودار۱** سهم هر یک از بخش‌های مصرف کننده انرژی در انتشار کربن دی اکسید.

**نمودار۲** میزان انتشار دی‌اکسید کربن در ائتاع نیروگاه‌ها به ازای تولید هر کیلووات ساعت برق

توجه به مخاطرات زیست محیطی انرژی‌های سنتی بویژه پدیده گرمایش زمین ناشی از انتشار و متمرکز شدن گازهای گلخانه‌ای از اصلی‌ترین دلایل توجه به انرژی‌های نو است و دولت‌ها را بر آن داشته تا بهره‌مندی از منابع جدید انرژی را با جدیت در دستور کار قرار داده و برای آن برنامه‌ریزی کنند. در سال‌های اخیر نیز توجه به بحران‌های انرژی و اهمیت روز افزون تنوع بخشی در عرضه انرژی جهت دستیابی به توسعه پایدار، سهم انرژی‌های جایگزین که تجدیدپذیر، پاک، با دسترسی آسان و مقرون به صرفه هستند در سبد انرژی جهانی افزایش یافته و زمینه سرمایه‌گذاری کشورها در انرژی‌های تجدیدپذیر را سبب شده است. گسترش انرژی‌های نو از منظر امنیت انرژی و کاهش وابستگی به سوخت-های فسیلی نیز برای کشورها بسیار حائز اهمیت است تا به این وسیله وابستگی

[۱] DEA

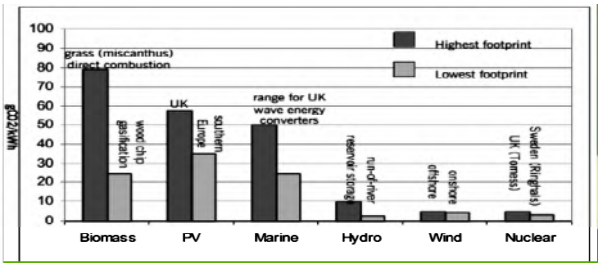

www.SID.ir

Archive of SID

خود را به کشورهای صادرکننده انرژی‌های تجدیدناپذیر کاهش داده و ثبات اقتصادی بیشتری را مهیا کنند[۳۴].

انرژی باد در بین انرژی‌های تجدیدپذیر یکی از بهترین و اقتصادی‌ترین روش های تولید برق می‌باشد که آلودگی زیست محیطی در پی نداشته و پایان‌ناپذیر نیز می‌باشد. توربین‌های بادی برای راه‌اندازی و بهره‌برداری نیاز به هیچ گونه سوختی ندارند و بنابراین در قبال تولید انرژی الکتریکی آلودگی مستقیمی ایجاد نمی‌کنند. بهره‌برداری از این توربین‌ها دی‌اکسید کربن، دی‌اکسید گوگرد، جیوه، ذرات معلق یا هیچ گونه عامل آلوده کننده هوا تولید نمی‌کند. اما توربین-های بادی در مراحل ساخت از منابع مختلفی استفاده می‌کنند. در طول ساخت نیروگاه‌های بادی باید از موادی مانند فولاد، بتن، آلمینیوم و ... استفاده کرد که تولید انتقال آن‌ها نیازمند مصرف انواع سوخت‌ها است. دی‌اکسیدکربن تولید شده در این مراحل پس از حدود ۹ ماه کار کردن نیروگاه جبران خواهد شد. نیروگاه‌های سوخت فسیلی که برای تنظیم برق تولیدی در نیروگاه‌های بادی مورد استفاده قرار می‌گیرند موجب ایجاد آلودگی خواهند شد. بعضی از اوقات به این نکته اشاره می‌شود که نیروگاه‌های بادی نمی‌توانند میزان دی‌اکسید کربن تولیدی را کاهش دهند چراکه برق تولیدی از طریق نیروگاه بادی به دلیل نامنظم بودن همیشه باید به وسیله یک نیروگاه سوخت فسیلی پشتیبانی شود. نیروگاه‌های بادی نمی‌توانند به طور کامل جایگزین نیروگاه‌های سوخت فسیلی شوند اما با تولید انرژی الکتریکی مبنای تولیدی نیروگاه‌های حرارتی را کاهش داده و از تولید آن‌ها می‌کاهند که به این ترتیب میزان انتشار دی‌اکسید کربن کاهش می‌یابد.

بزرگترین پتانسیل کاهش ردپای کربن در تولید برق استفاده از فناوری‌های نوین تولید برق، و در نتیجه ذخیره کربن می‌باشد، بخشی ازاین فناوری‌ها که دارای پتانسیل برای کاهش راندمان کربن هستند در نمودار۳ به همراه میزان کربن تولیدی به ازای تولید یک کیلووات ساعت برق تولیدی آورده شده است.




**نمودار۳** دامنه ردپای کربن برای تکنولوژی های کم کربن در انگلستان و اروپا (گرم $CO_2$در هر کیلووات ساعت برق تولیدی)

طبق آمار موجود تولید یک کیلووات ساعت انرژی برق بادی از انتشار آلاینده-های زیست‌محیطی به شرح زیر جلوگیری می‌نماد:

| | |
|---|---|
| دی‌اکسید کربن | ۸۵۰ گرم |
| دراکسید گوگرد | ۲/۹ گرم |
| اکسیدنیتروژن | ۲/۶ گرم |
| خاک | ۰/۱ گرم |
| خاکستر | ۵۵ گرم |

به طور کلی با جایگزینی انرژی برق تولیدی از نیروگاه‌های سوخت فسیلی می‌توان از انتشار گازهای گلخانه‌ای کاست[۳۵]. در سال‌های اخیر، در ایران اقدامات جدی‌تری در راستای افزایش تولید برق از انرژی‌های نو انجام شده است. تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر یک فرایند سرمایه‌بر است و غیر از هزینه‌های نصب ظرفیت پشتیبان مورد نیاز برای این نوع انرژی‌ها، هزینه‌هایی که تولید برق از انرژی‌های نو با آن مواجه است عمدتا هزینه‌های نصب ظرفیت و هزینه‌های ثابت عملیاتی هستند و چیزی حدود ۵۰ تا ۸۰ درصد کل هزینه-های عرضه انرژی را در بر می‌گیرد که علت اصلی بالا بودن سطح قیمت برق تولیدی این منابع نسبت به منابع فسیلی است. اما بخشی از این هزینه‌ها را با محاسبه کردن ردپای کربن ذخیره شده در صورت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی و منظورکردن منافع زیست محیطی و هزینه‌های کمتری که این نوع انرژی به محیط زیست تحمیل می‌کند و همینطور صرفه‌جویی‌های ناشی از کاهش هزینه‌های سوخت فسیلی میتوان پوشش داد[۳۶].

صادقی و همکاران(۱۳۹۳) در مقاله تحت عنوان "نقش تولید برق از منابع تجدیدپذیر در کاهش گازهای گلخانه‌ای" به ارزیابی تاثیر برق تولیدی از انرژی-های تجدیدپذیر در کاهش انتشار $co_2$ ایران با بهره‌گیری از روش خودرگرسیونی با وقفه‌های گسترده پرداخته است. بر اساس نتایج این بررسی یک درصد افزایش تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر با کاهش ۰/۳۱ درصدی در بلند مدت و در کوتاه مدت۰/۰۷ درصد از انتشار دی اکسید کربن به عنوان اصلی ترین گاز گلخانه‌ای خواهد بود. به این ترتیب، توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و بهبود کارایی انرژی نقشی قابل توجه در کاهش گازهای گلخانه‌ای دارند. با توجه به علامت مثبت ضریب مصرف انرژی و کشش۱/۱درصدی انتشار کربن دی اکسید نسبت به مصرف انرژی و کشش۰/۳۱درصدی و منفی انتشار کربن دی ا کسید نسبت به تولید برق به وسیله انرژی‌های نو، از موثرترین سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه ای در ایران می تواند توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و مهم‌تر از آن افزایش کارایی انرژی باشد. نکته قابل توجه این است که سیاست‌های اتخاذی می‌بایست به صورت مداوم و پیوسته اجرا شوند تا تاثیر دائمی داشته باشند.

صادقی (۲۰۱۷) در پژوهشی با استفاده از داده‌های سری زمانی ایران (۲۰۱۲-۱۹۸۰) و با روش الگوی خود رگرسیون ساختاری (SVAR ) به تحلیل رابطه پویا میان سه متغیر انرژی تجدیدپذیر، رشد اقتصادی و انتشار دی‌اکسیدکربن پرداخت. این روش به روابط متقابل همه متغیرها توجه داشته و نیز قادر به پیش‌بینی اثرات عملکرد سیاست‌ها و تغییرات مهم اقتصادی است. نتایج حاصل از براورد الگوی ساختاری خودهمبسته برداری نشان می‌دهد که شوک مثبت در مصرف انرژی تجدیدپذیر با ضریب مثبت بر تغییرات رشد اقتصادی اثر می گذارد. از آن جایی که انرژی به عنوان نیروی محرکه‌ای در جریان رشد و توسعه اقتصادی است، بنابراین انتظار می‌رود که چنین رابطه‌مثبتی برقرار باشد. اما برخلاف انتظار ملاحظه شد که شوک مثبت در مصرف انرژی تجدیدپذیر با ضریب مثبت بر انتشار دی‌اکسیدکربن اثر گذاشته و شاهد آن هستیم که در اقتصاد ایران استفاده از انرژی تجدیدپذیر موجب کاهش در انتشار کربن دی


www.SID.ir

Archive of SID

اکسید نشده است، می‌توان دلیل این امر را در سهم پایین این نوع از انرژی در سبد کل انرژی کشور جستجو کرد که با وجود ظرفیت بالای منابع تجدیدپذیر در ایران، استفاده بسیار محدودی از این منبع انرژی صورت گرفته و نیز از طرفی تکنولوژی ضعیف و قدیمی در روند تولید داخل منجر به انتشار بیشتر دی اکسید کربن در استفاده بیشتر انرژی شده است و همین امر می‌تواند عامل مهمی در خنثی شدن اثر مثبت استفاده از منابع تجدیدپذیر شود[۳۷].

قفاری و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی تحت عنوان " تاثیر انرژی باد بر رشد اقتصادی و انتشار $CO_2$" در ۱۴ کشور منتخب آسیا پرداختند. یافته‌ها حاکی از این است که رابطه علی کوتاه مدت دو طرفه بین انتشار$CO_2$ و رشدGDP وجود دارد که می‌توان به فرضیه زیست محیطی کوزنتیس اشاره کرد. این فرضیه بیان میکند که مراحل اولیه رشد آلودگی‌های زیست محیطی بیشتر می‌شود تا به یک نقطه حداکثر می رسد و از آن مرحله به بعد با افزایش رشد اقتصادی آلودگی‌های زیست محیطی کاهش می‌یابد. با توجه به این فرضیه، می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که کشور های مورد مطالعه در مرحله اول منحنی U شکل معکوس کوزنتیس قرار دارند و همچنین هیچ ارتباطی بین انرژی باد و انتشار $CO_2$ وجود ندارد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود دولت و بخش-خصوصی در زمینه توسعه سرمایه گذاری‌ها در انرژی بادی که از یک سو موجب افزایش رشد اقتصادی شده و از سوی دیگر آلودگی محیط زیست را به دنبال ندارد، اقدام و اهتمام نمایند[۳۸].

موفوتا و همکاران(۲۰۱۸) در مالزی به بررسی اثرات منفرد مصرف برق هیدروالکتریکی با روش ردپای کربن و انتشار دی‌اکسیدکربن به عنوان متغیرهای هدف استفاده کردند. نتایج نشان داد مصرف برق هیدروالکتریک به طور قابل توجهی از انتشار کربن جلوگیری می‌کند و همچنین به طورچشم گیری کاهش تخریب محیط زیست را دربر دارد[۳۹].

آمان و همکاران(۲۰۱۵) به بررسی تاثیر ایمنی، بهداشت، محیط زیست در سیستم های تولید برق از سلول‌های خورشیدی پرداختند، آنها بیان کردند تولید سیستم‌های انرژی خورشیدی در جهان به علت همیشگی بودن این انرژی ، ویژگی های سازگار با محیط زیست و غلبه بر کمبود سوخت انرژی احتمالی در آینده نزدیک به طور عمده افزایش یافته است. انرژی خورشیدی در مقایسه با منابع انرژی متعارف، مزایای زیست محیطی فراوانی دارد. علاوه بر حفظ منابع طبیعی، مزیت اصلی آنها عدم تقریبا هر نوع انتشار هوا یا مواد زائد در طول عملیات است. رشد روزافزون صنعت خورشیدی قابل توجه است، با این حال، در فرایند تولید نیروگاه‌های خورشیدی و انهدام آن‌ها کربن قابل ملاحظه‌ای منتشر میشود که آمان و همکاران راه‌حل‌هایی نظیر بهبود تکنولوژی و افزایش کارایی و ... برای کاهش انتشار کربن ارائه دادند[۴۰].

محققان بسیاری به بررسی و مقایسه انتشار دی‌اکسیدکربن بر پایه تکنولوژی های مختلف انرژی از انواع مختلف نیروگاه‌ها از جمله خورشیدی، بادی، سیکل ترکیبی، گازی، اتمی، آبی پرداخته‌اند. از میان مطالعات دسته آخر می‌توان به پژوهش های تاکونگا و کنان(۲۰۱۴)[۴۱]، ولده میشاییل آسفا(۲۰۱۶) برروی سوخت های زیستی[۴۲]، دوس سانتز(۲۰۱۶) بر روی تصفیه فاضلاب اشاره نمود[۴۳].

## نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی مفاهیمی چون ردپای کربن، روش‌های محاسبه آن و لزوم جایگزینی استفاده از منابع انرژی‌های نو و تجدیدپذیر به جای منابع سوخت‌های فسیلی پرداخته شده است. بر اساس مطالعات انجام شده در زمینه ردپای کربن در تولید برق، نیروگاه‌هایی که از سوخت‌های فسیلی جهت تولید برق استفاده می‌کنند متصاعد کننده آلاینده‌های مضری به محیط اطراف هستند. این آلاینده‌ها اثرات جبران‌ناپذیری بر محیط و سلامت انسان بر جای می‌گذارد. از طرفی به‌دلیل افزایش جمعیت نیاز به مصرف برق روز به روز در حال افزایش است. بنابراین جهت رفع این نیازها لازم است تمهیداتی صورت بگیرد. هم‌چنین باتوجه به وجود پتانسیل‌های انرژی خورشیدی، زمین گرمایی، زیست توده و بادی در کشور ایران سهم این انرژی‌ها در بخش‌های مختلف در طی سال‌های آتی افزایش می‌یابد. انتشار پایین کربن‌دی‌اکسید در طول روند تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر یکی دیگر از دلایل لزوم افزایش سهم این نوع منبع انرژی در سبد انرژی کشور می‌باشد. با محاسبه کردن ردپای کربن ذخیره شده در صورت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی و منظورکردن منافع زیست محیطی میتوان اثرات مفید استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را به صورت ملموس‌تری نمایش دهد. تحلیل ردپای کربن میتواند به فهم و آگاهی افراد از آثار فعالیت انسان‌ها و سازمان‌ها بر محیط زیست کمک کند و برای کاهش انتشار کربن و تغییرات آب و هوایی کشورها منابع علمی ارائه دهد.

منابع


[1] A. Druckman and T. Jackson, “The carbon footprint of UK households 1990–2004: a socio-economically disaggregated, quasi-multi-regional input–output model,” *Ecol. Econ.*, vol. 68, no. 7, pp. 2066–2077, 2009.

[2] E. G. Hertwich and G. P. Peters, “Carbon footprint of nations: A global, trade-linked analysis,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 43, no. 16, pp. 6414–6420, 2009.

[3] I. Moffatt, “Ecological footprints and sustainable development,” *Ecol. Econ.*, vol. 32, no. 3, pp. 359–362, 2000.

[4] K.-H. Erb, “Actual land demand of Austria 1926–2000: a variation on ecological footprint assessments,” *Land use policy*, vol. 21, no. 3, pp. 247–259, 2004.

[5] M. Wackernagel and W. Rees, *Our ecological footprint: reducing human impact on the earth*, vol. 9. New Society Publishers, 1998.

[6] K. B. Bicknell, R. J. Ball, R. Cullen, and H. R. Bigsby, “New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy,” *Ecol. Econ.*, vol. 27, no. 2, pp. 149–160, 1998.

[7] T. Wiedmann and J. Minx, “A definition of ‘carbon footprint,’” *Ecol. Econ. Res. trends*, vol. 1, pp. 1–11, 2008.

[8] G. Hammond, “Time to give due weight to the’carbon footprint’issue,” *Nature*, vol. 445, no. 7125, p. 256, 2007.

[9] B. Petroleum, “What is a carbon footprint?,” *2009-07-30]. http://www, bp. com/liveassets/bp_ inter-net/global 6p Energeties*. 2007.



www.SID.ir

Archive of SID


[10] A. Eckel, "The Reality of Carbon Neutrality," *Energetics*, vol. 21, no. 2, pp. 35–36, 2007.

[11] G. Ellis, "Meeting the carbon challenge: the role of commercial real estate owners, users & managers," *Grubb Ellis Company, Chicago Google Sch.*, 2007.

[12] E. Johnson, "Charcoal versus LPG grilling: a carbon-footprint comparison," *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 29, no. 6, pp. 370–378, 2009.

[13] K. L. Mays, P. B. Shepson, B. H. Stirm, A. Karion, C. Sweeney, and K. R. Gurney, "Aircraft-based measurements of the carbon footprint of Indianapolis," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 43, no. 20, pp. 7816–7823, 2009.

[14] I. Williams, S. Kemp, J. Coello, D. A. Turner, and L. A. Wright, "A beginner's guide to carbon footprinting," *Carbon Manag.*, vol. 3, no. 1, pp. 55–67, 2012.

[15] A. J. Alsaffar, K. R. Haapala, K.-Y. Kim, and G. E. O. Kremer, "A process-based approach for cradle-to-gate energy and carbon footprint reduction in product design," in *ASME 2012 International Manufacturing Science and Engineering Conference collocated with the 40th North American Manufacturing Research Conference and in participation with the International Conference on Tribology Materials and Processing*, 2012, pp. 1141–1150.

[16] J. Solís-Guzmán, A. Martínez-Rocamora, and M. Marrero, "Methodology for determining the carbon footprint of the construction of residential buildings," in *Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Volume 1*, Springer, 2014, pp. 49–83.

[۱۷] محمد، ولایت زاده، س. د. امامی ,ز. ،ناصرزاده، "بررسی وضعیت توسعه پایدار در ایران با استفاده از شاخص ردپای کربن،" *فصلنامه اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی*, vol. 1, no. 1, pp. 65–93, Sep. 2016.

[18] S. L. D. Andrews, "A classification of carbon footprint methods used by companies." Massachusetts Institute of Technology, Engineering Systems Division, 2009.

[19] A. J. East, "What is a Carbon Footprint? An overview of definitions and methodologies," in *Vegetable industry carbon footprint scoping study—Discussion papers and workshop, 26 September 2008*, 2008.

[20] K. Kleiner, "The corporate race to cut carbon," *Nat. Reports Clim. Chang.*, pp. 40–43, 2007.

[21] K. Hubacek, D. Guan, J. Barrett, and T. Wiedmann, "Environmental implications of urbanization and lifestyle change in China: Ecological and water footprints," *J. Clean. Prod.*, vol. 17, no. 14, pp. 1241–1248, 2009.

[22] M. Lenzen and S. A. Murray, "A modified ecological footprint method and its application to Australia," *Ecol. Econ.*, vol. 37, no. 2, pp. 229–255, 2001.

[23] J.-J. Ferng, "Using composition of land multiplier to estimate ecological footprints associated with production activity," *Ecol. Econ.*, vol. 37, no. 2, pp. 159–172, 2001.

[24] B. Foran, M. Lenzen, and C. Dey, "Balancing act: a triple bottom line analysis of the Australian economy," 2005.

[25] ا. تیموری ا. محمدی فر" ,بررسی روند تغییرات رد پای اکولوژیکی سوخت‌های فسیلی استان‌های کشور ۱۳۷۸-۱۳۸۸ ,*srtc-amar*", vol. 3, no. 4, pp. 40–45, Nov. 2015.

[۲۶] س. ک. صادقی, ز. کریمی تکانلو, م. ع. متفکر آزاد, ح. اصغرپور قورچی , ی. اندایش, "مطالعه وضعیت رد پای کربن، متان و اکسید نیتروژن زیربخش‌های کشاورزی در مقایسه با سایر بخش‌های اقتصادی در ایران با رهیافت ماتریس حسابداری اجتماعی ",(SAM) *فصلنامه علمی - پژوهشی، پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی* .vol. 5, no, مکرر اول شماره ۲۰ .pp. 13–30, Dec. 2015 ,

[۲۷] ا. حاجی نژاد, ح. یوسفی ,ا. بهمه, "بررسی ردپای کربن در تامین آب شرب شهر سپیدان," *اکوهیدرولوژی ، دوره۵، شماره یک* ,pp. 241–249 , 1397.

[۲۸] ف. دلیر, م. ش. پورمطلق ,خ. اشرفی, "ارایه تعریف جامع ردپای کربن و روش محاسبه فراگیر منطبق بر تعریف پیشنهادی ",pdf.بیست و پنجمین همایش سالانه مهندسی مکانیک .vol ,تهران، دان ,no , ISME25_774, 1396.

[29] I. Vázquez-Rowe, P. Villanueva-Rey, M. T. Moreira, and G. Feijoo, "A review of energy use and greenhouse gas emissions from worldwide hake fishing," in *Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Volume 2*, Springer, 2014, pp. 1–29.

[30] E. Röös, C. Sundberg, and P.-A. Hansson, "Carbon footprint of food products," in *Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Volume 1*, Springer, 2014, pp. 85–112.

[31] P. Burmistrz, T. Chmielniak, L. Czepirski, and M. Gazda-Grzywacz, "Carbon footprint of the hydrogen production process utilizing subbituminous coal and lignite gasification," *J. Clean. Prod.*, vol. 139, pp. 858–865, 2016.

[32] D. Lazarevic and M. Martin, "Life cycle assessments, carbon footprints and carbon visions: Analysing environmental systems analyses of transportation biofuels in Sweden," *J. Clean. Prod.*, vol. 137, pp. 249–257, 2016.

[33] س. نیک اندیش, ز. نصراللهی ,ح. انصاری سامانی, "تولید برق از انرژی های تجدیدپذیر و انتشار کربن دی اکسید ایران و گروهی از کشور های منتخب," *دهمین کنگره پیشگامان پیشرفت، تهران، مرکز الگوی اسلامی ایرانی پیشرفت*.1395 ,pp. 43–56 ,

[34] S. C. Bhattacharyya, *Energy economics: concepts, issues, markets and governance*. Springer Science & Business Media, 2011.

[35] B. Torgler and M. A. Garcia-Valiñas, "The determinants of individuals' attitudes towards preventing environmental damage," *Ecol. Econ.*, vol. 63, no. 2–3, pp. 536–552, 2007.

[36] ح. صادقی, م. نوری ,ک. بیابیانی, "نقش تولید برق از منابع تجدیدپذیر در کاهش گازهای گلخانه¬ای," *نشریه انرژی ایران، دوره۱۷، شماره۳* .pp , 23–37, 1393.

[37] س. صادقی س. ابراهیمی, "تاثیر توسعه مالی، تولید ناخالص داخلی و مصرف انرژی بر آلودگی محیط زیست در ایران رهیافت ",(ARDL) *فصلنامه اقتصاد محیط زیست و انرژی، سال دوم، شماره۷* ,pp. 73–43 , 1392.

[38] ه. غفاری م. مولایی, "تأثیر مصرف انرژی بادی بر رشد اقتصادی و انتشار ۲CO ",*فصلنامه پژوهش های سیاست گذاری وبرنامه ریزی انرژی* .p ,۲ ۱۳۹۵.۲۲۹-۲۵۳) :۳( ,



www.SID.ir

Archive of SID

[39] M. O. Bello, S. A. Solarin, and Y. Y. Yen, "The impact of electricity consumption on CO 2 emission, carbon footprint, water footprint and ecological footprint: The role of hydropower in an emerging economy," *J. Environ. Manage.*, vol. 219, pp. 218–230, 2018.

[40] M. M. Aman *et al.*, "A review of Safety, Health and Environmental (SHE) issues of solar energy system," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 41, pp. 1190–1204, 2015.

[41] K. Tokunaga and D. E. Konan, "Home grown or imported? Biofuels life cycle GHG emissions in electricity generation and transportation," *Appl. Energy*, vol. 125, pp. 123–131, 2014.

[42] Y. Weldemichael and G. Assefa, "Assessing the energy production and GHG (greenhouse gas) emissions mitigation potential of biomass resources for Alberta," *J. Clean. Prod.*, vol. 112, pp. 4257–4264, 2016.

[43] I. F. S. dos Santos, R. M. Barros, and G. L. Tiago Filho, "Electricity generation from biogas of anaerobic wastewater treatment plants in Brazil: an assessment of feasibility and potential," *J. Clean. Prod.*, vol. 126, pp. 504–514, 2016.


www.SID.ir