سال چهارم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۶، ص ص ۱-۸
فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو
www.jrenew.ir
مقاله
تاریخ دریافت: ۹۶/۰۵/۳۰
تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۲۵

مقایسه تولید دی‌اکسیدکربن در ایران و کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی با رویکرد استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر

کاوه بخرد[۱]، حسین یوسفی [۱*]، یونس نوراللهی[۱]، صدف کرکودی[۲] و سهیل رومی[۱]

۱- گروه انرژی‌های نو و محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس
* صندوق پستی تهران، ۱۴۳۹۹۵۷۱۳۱، Hosseinyousefi@ut.ac.ir

چکیده

افزایش تولید دی‌اکسیدکربن به عنوان یکی از بحران‌های قرن ۲۱م مطرح گردیده است. کشور ایران طبق آخرین آمارهای جهانی رتبه‌ی هفتم تولید کنندگان دی‌اکسیدکربن در جهان را داراست. در سال‌های اخیر به واسطه‌ی تعهدات و پیمان‌های محیط‌زیستی بین‌المللی، بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر جهت کنترل میزان تولید دی‌اکسیدکربن و افزایش دمای کره‌ی زمین مطرح شده است. در این مقاله با بررسی تولید ناخالص داخلی، مجموع عرضه‌ی انرژی اولیه و تولید انرژی‌های تجدیدپذیر میان کشور ایران و ۲۱ کشور عضو سازمان همکاری و توسعه‌ی اقتصادی به انجام تحلیل رگرسیون پیرامون میزان تاثیرگذاری مجموع عرضه‌ی انرژی اولیه و تولید انرژی‌های تجدیدپذیر بر میزان انتشار دی‌اکسیدکربن پرداخته می‌شود. در ادامه با در نظر گرفتن سه سناریو برای آینده‌ی انرژی ایران به محاسبه‌ی میزان دی‌اکسیدکربن تولیدی ایران در سال ۱۴۰۴ پرداخته می‌شود. این سه سناریو شامل ادامه‌ی روند فعلی به عنوان سناریوی اول، تثبیت میزان عرضه‌ی انرژی اولیه درکنار افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سناریوی دوم و کاهش میزان دی‌اکسیدکربن تولیدی ایران مطابق با پیمان تغییر اقلیمی پاریس به میزان ۴ تا ۱۲ درصد به عنوان سناریوی سوم. در نهایت پیشنهاداتی جهت حرکت ایران در مسیر توسعه‌ی پایدار مطرح خواهد شد.

کلیدواژگان: دی‌اکسیدکربن، انرژی‌های تجدیدپذیر، چشم‌انداز ۱۴۰۴، پیمان‌تغییرات اقلیمی پاریس

Comparison of CO_2 Generation Between Iran and OECD Countries with Approach of Renewable Energies Utilization

Kaveh Bekhrad[1], Hossein Yousefi[1*]Younes Noorollahi[1], Sadaf Karkoodi[2], Soheil Roumi[1]

1- Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran.
2- Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
* P.O.B. 1439957131, Tehran, Iran, Hosseinyousefi@ut.ac.ir

Abstract

Increase of CO_2 generation is widely regarded as one of the 21st-century catastrophes. According to recent global reports, Iran is known as the seventh country in the world with regards to CO_2 emission. Utilizing renewable energies, have been suggested in recent years due to international environmental regulations, in order to control the CO_2 emission level and global temperature increase. In this research, GDP, Total Primary Energy Supply and Renewable Energy Supplyof OECD countries and Iran are studied and a regression analysis is conducted to assess the influence of TPES and RES on the CO_2 emission level. Furthermore, three scenarios are assumed for the future of energy in Iran to estimate the CO_2 emission in 2025. The first scenario is assuming that all businesses are working as usual until 2025. In the second scenario it is suggested that with improvements and increase of renewable energies utilization to meet development programs of Iran, the level of TPES would be constant until 2025. Finally, in the third scenario in order to meet goals of climate change Paris agreement, Iran should decrease the level of CO_2 emission by 4, 8 or 12 percent in 2025. In the end, some suggestions for moving in the sustainable development pathway are presented for Iran.

Keywords: CO_2, Renewable energies, vision of Iran in 1404, Climate change Paris agreement

۱- مقدمه

امروزه یکی از معضلات بین المللی، پدیده گرمایش زمین است و علت آن عموما فعالیت‌های بشری و گازهای گلخانه‌ای عنوان شده است. گرمایش زمین که در دهه‌ی اخیر سرعت بیشتری پیدا کرده است اثرات مضر بسیاری بر حیات کره زمین از جمله ذوب شدن یخچال‌های قطبی و به خطر افتادن گونه‌های جانوری ساکن در این نواحی، تغییرات آب و هوایی همانند خشکسالی‌ها، سیلاب‌ها و طوفان‌های شدید و کم سابقه و بالا آمدن سطح آب و به زیر آب رفتن بسیاری از مناطق دارد[۱].

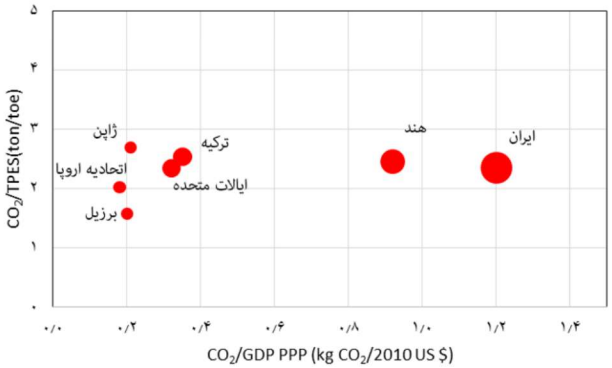
بر اساس آمار منتشر شده جهانی، دی‌اکسیدکربن حدود ۷۰ درصد کل انتشار گازهای گلخانه‌ای را تشکیل می‌دهد و به عنوان اصلی ترین عامل گرمایش زمین شناخته می‌شود[۲]. انتشار دی‌اکسیدکربن عوامل متعدد انسانی و طبیعی داراست اما مهمترین عامل آن استفاده از سوخت‌های فسیلی عنوان شده است. از دیگر عوامل انتشار دی‌اکسیدکربن می‌توان به تخریب جنگل‌ها به واسطه‌ی آتش‌سوزی‌های طبیعی و جنگل‌زدایی جهت فعالیت‌های کشاورزی اشاره کرد[۳]. طبق اطلاعات منتشر شده در سال ۲۰۱۵، بخش‌های تولید الکتریسیته، حمل و نقل، صنعت، مصارف خانگی و تجاری و کشاورزی به ترتیب عامل انتشار ۲۹، ۲۷، ۲۱، ۱۲ و ۹ درصد از گازهای گلخانه‌ای بوده‌اند[۴].

میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در کشورهای مختلف متاثر از عوامل متعددی همانند میزان توسعه‌یافتگی، دسترسی به منابع انرژی فسیلی، تولید ناخالص داخلی ، جمعیت و سهم انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد[۵]. چین، آمریکا و هند به ترتیب بیشترین میزان انتشار دی‌اکسیدکربن را در سال ۲۰۱۵ داشته اند. طبق آمار موجود چین عامل انتشار ۲۹/۵ و آمریکا ۱۴/۳۴ درصد از کل دی-اکسیدکربن بوده‌اند[۶]. میزان بالای انتشار دی‌اکسیدکربن می‌تواند دارای دو عامل اصلی باشد. عامل اول استفاده از ذغال‌سنگ، که نسبت به دیگر سوخت-های فسیلی انتشار دی‌اکسیدکربن بسیار بیشتری دارد، و عامل دیگر حجم بالای صنعت در این کشورها است؛ البته لازم به ذکر است که در مورد کشور چین جمعیت بسیار بالای آن نیز بی‌تاثیر نیست[۶].

در اکثر کشورهای در حال توسعه، مشکلات مربوط به انرژی به دلیل سبد تک‌محصولی انرژی و وابستگی فراوان به منابع سنتی، که بیش از ۹۰ درصد از کل انرژی مصرفی را تشکیل می‌دهند، ایجاد گردیده است[۷]. این مصائب موجب کاهش حاصلخیزی خاک، سرعت یافتن کاهش پوشش‌های گیاهی و وابستگی کشورها به دولت‌های صادرکننده‌ی انرژی می‌گردد[۱, ۸]. به همین دلیل حجم عظیمی از اطلاعات جهت توصیف رابطه بین انرژی مصرفی و مشکلات به وجود آمده نیاز است. از سوی دیگر احتیاج به ابزارهای متعددی جهت تجزیه و تحلیل مسایل مطرح‌شده و بدست آوردن نتایج کافی برای برنامه‌ریزی وجود دارد.

بطور مثال برخی کشورهای حوزه‌ی خلیج فارس به دلیل دارا بودن منابع فسیلی فراوان به برداشت بیش از حد از ذخایر خود بدون مدیریت مصرف می‌پردازد. کشور ایران به عنوان چهارمین دارنده‌ی ذخایر نفت و دومین ذخایر گاز طبیعی در جهان شناخته می‌شود. استفاده‌ی بی‌رویه از این منابع فسیلی آلاینده موجب گشته که کشور ایران طبق آخرین آمارهای جهانی رتبه هفتم را در میان تولید کنندگان دی‌اکسیدکربن داشته باشد[۶, ۹, ۱۰].

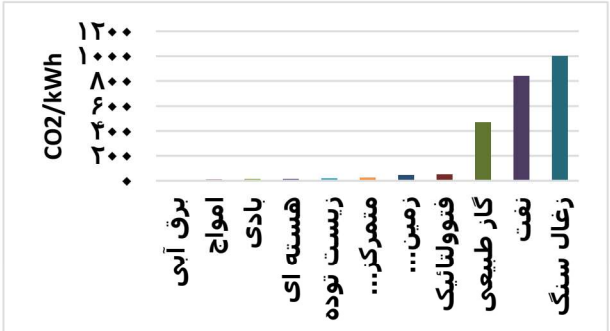
در شکل ۱ دو فاکتور مهم از لحاظ زیست‌محیطی در بهره‌برداری از انرژی در تعدادی از کشورهای جهان مورد بررسی قرار گرفته است. محور عمودی میزان دی‌اکسیدکربن تولیدشده به‌ازای کل انرژی اولیه‌ی مورد استفاده در این کشورها و محور افقی میزان دی‌اکسیدکربن تولیدشده به تولید ناخالص داخلی هریک از این کشورها است. به هر میزان که شاخص مربوطه به مبدا مختصات نزدیک‌تر باشد، نشان از کارآمدی وضعیت صنعت در آن کشور است. اگرچه با در نظر گرفتن محور عمودی تمامی کشورها رقابت نزدیکی دارا هستند، بهترین کشور از نظر بهره‌وری انرژی برزیل با تولید تنها ۱/۵۷ تن CO_2 به ازای هر تن نفت خام انرژی اولیه است. اگرچه ایران از لحاظ نسبت حجم تولید آلاینده به انرژی اولیه مصرفی نرخی تقریبا برابر با سایر کشورها دارد، با بررسی محور افقی نکته قابل تاملی مشخص می‌گردد. علت اصلی جایگاه ایران در محور عمودی نه تنها بهینه بودن سیستم-های مصرف کننده‌ی انرژی نیست بلکه حجم بالای انرژی مصرفی است که مقدار این نسبت را کاهش می‌دهد. از این رو وضعیت ایران در محور افقی نشان‌دهنده ناکارآمدی سیستم‌های کنترل و مدیریت انرژی کشور و همچنین عدم بازدارندگی قوانین وضع شده برای جلوگیری از تولید آلاینده‌ها در ایران دارد.



شکل ۱ نمودار نشان دهنده میزان کارآمدی صنعت

با توجه به اثرات مخرب اشاره شده درباره‌ی گازهای گلخانه‌ای و همچنین نقش پررنگ‌تر دی‌اکسیدکربن بین این گازها معاهدات و پیمان‌های بین‌المللی فراوانی جهت کنترل میزان افزایش دمای کره‌ی زمین از طریق اعمال محدودیت بر حجم انتشار این گاز توسط کشورها منعقد شده است که می‌توان به پیمان کیوتو و کنفرانس و پیمان تغییرات اقلیمی پاریس اشاره کرد[۱۱-۱۴].

بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان یکی از راه‌حل‌های کاهش میزان دی‌اکسیدکربن در معاهدات جهانی مطرح گردیده است. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، میزان تولید دی‌اکسیدکربن به ازای یک کیلووات ساعت الکتریسیته با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به مراتب کمتر از منابع فسیلی می‌باشد.



شکل ۲ میزان آلایندگی تولید الکتریسیته با استفاده از منابع مختلف[۱۵]

این پژوهش با در نظر گرفتن میزان جمعیت، مجموع عرضه‌ی انرژی اولیه، تولید ناخالص داخلی و میزان تولید انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای عضو

سازمان همکاری و توسعه‌ی اقتصادی به بررسی میزان تاثیرگذاری پارامترهای یاد شده بر تولید دی‌اکسیدکربن پرداخته می‌شود. در مسیر انجام این پژوهش از تحلیل رگرسیون بهره برده می‌شود تا شدت تاثیر و درجه اهمیت پارامترها مشخص گردد. در ادامه با مقایسه‌ی شرایط ایران و کشورهای عضو OECD راهکارهای برای بهبود وضعیت مدیریت و مصرف انرژی و به دست آوردن حداکثر مجموع عرضه‌ی انرژی اولیه در ایران برای امکان پذیر بودن دستیابی به تعهدات مطرح شده در کنفرانس تغییرات اقلیمی پاریس ارائه می‌گردد.

۲- مواد و روش‌ها

همانطور که در بخش پیشین اشاره شد، تا کنون پیمان‌ها و معاهدات بین‌المللی فراوانی پیرامون متعهد نمودن کشورها به کاهش و یا کنترل تولید میزان آلاینده‌های هوا به خصوص دی‌اکسیدکربن منعقد شده است. برخی کشورهای صنعتی دنیا همچون ایالات متحده و چین جهت ادامه‌ی روند توسعه و با توجه به چشم‌اندازهای پیشرفت صنعت و اقتصاد خود، از پیوستن به این معاهدات و کاهش آلاینده‌های تولیدی سر باز زدند.

سازمان همکاری و توسعه‌ی اقتصادی شامل برخی کشورها از سراسر دنیا با تعهد به اصول دموکراسی و اقتصاد آزاد به عنوان عمده‌ترین سازمان بین‌المللی تصمیم‌گیرنده‌ی اقتصادی در جهان مطرح شده است. سازمان همکاری و توسعه‌ی اقتصادی از سال ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۳ پیرامون مسائلی همانند رشد اقتصادی در سطح جهانی، اشتغال کامل، کاهش تورم و نوسانات بازار ارز فعالیت نمود. پس از مواجهه‌ی کشورهای عضو این سازمان با بحران انرژی و پیامد¬های ناشی از آن، از سال ۱۹۷۴ وظایف این سازمان حول بررسی و حل مشکلات مربوط به اقتصاد داخلی کشورهای عضو معطوف شده است. اکثر کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه‌ی اقتصادی در قاره‌ی اروپا قرار گرفته‌اند و جزو کشورهای توسعه‌یافته و یا در حال توسعه محسوب می‌شوند. از این رو این کشورها می‌توانند به عنوان الگوی مناسبی برای پیمودن مسیر توسعه برای کشور ایران قرار گیرند.

در جدول ۱ مجموع عرضه‌ی انرژی اولیه، تولید ناخالص داخلی، جمعیت، انتشار دی‌اکسیدکربن و بهره‌مندی از انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای OECD نمایش داده شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود معیار ترتیب کشورها نسبت تولید انرژی‌های تجدیدپذیر به مجموع عرضه‌ی انرژی اولیه می‌باشد. بیشترین و کمترین مقدار این نسبت در کشور ایسلند برابر با۸۸/۹۶ و کره‌ی جنوبی ۲/۳۹ درصد می‌باشد.

در ادامه آنالیز رگرسیون در کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه‌ی اقتصادی انجام شد. در این تحلیل دی‌اکسیدکربن به عنوان تابعی از دو متغیر TPES و استفاده از منابع تجدیدپذیر در نظر گرفته شد.

$$CO_2 \text{ production} = f(TPES, RES)$$

علی‌رغم بررسی ۳۳ کشور عضو OECD در این تحلیل، نتایج آنالیز رگرسیون نشان از ارتباط بالای میان متغیرهای مطرح شده با دی‌اکسیدکربن تولیدی داشت. رابطه‌ی ۱ حاصل از تحلیل رگرسیون است.

$$CO_2 \text{ Production(Mt)} = 2.54 \times TPES(Mtoe) - 2.84 \times RES(Mtoe) - 2.79 \quad (1)$$

میزان قابلیت اطمینان حاصل از تحلیل رگرسیون با معیار ضریب تعیین (R^2) مشخص می‌گردد. این مقدار برابر با مجذور ضریب همبستگی (R) می باشد. این مقادیر مابین ۰ و ۱ متغیر است و به هر میزان که به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد نشان از دقت بالاتر رابطه‌ی برازش‌شده می‌باشد.

میزان ضریب تعیین رابطه‌ی ۱ برابر با ۰/۹۹۵۴ محاسبه گردید که مبین رابطه‌ی بسیار مناسب بین دی‌اکسیدکربن تولیدی در کشورهای OECD و معیارهای TPES و RES است.

همانطور که پیشتر اشاره شد، کشور ایران با قرار گرفتن در ناحیه‌ی خاورمیانه دارای ذخایر فراوان سوخت‌های فسیلی می‌باشد. این کشور با دارا بودن بیش از ۸۰ میلیون نفر جمعیت، از لحاظ اقتصادی در حال توسعه محسوب می‌شود و تولید ناخالص داخلی با در نظر گرفتن شاخص برابری قدرت خرید در سال ۲۰۱۴ برابر با ۱۲۶۳/۸۳ است. در این سال میزان مجموع عرضه ی انرژی اولیه و تجدیدپذیر در ایران به ترتیب برابر با ۲۳۷/۰۸ و ۱/۷۳۵ میلیون تن معادل نفت خام بوده است.

با فرض حضور ایران میان کشورهای OECD، رتبه‌ی این کشور از منظر نسبت میزان انتشار دی‌اکسیدکربن به مقدار مجموع عرضه‌ی انرژی اولیه ، مشخص می‌گردد. (جدول ۲)

طبق مطالعات صورت گرفته، ایران دارای پتانسیل بسیار بالای بهره¬گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک است. پس از عضویت ایران در پیمان کیوتو و تغییرات اقلیمی پاریس توجه به قوانین و برنامه‌های توسعه‌ی ملی در این کشور افزایش یافت. در کنفرانس تغییرات اقلیمی پاریس ایران متعهد شده است که تا سال ۲۰۳۰ میزان دی‌اکسیدکربن تولیدی خود را مطابق با اقدامات بین المللی در ۳ سطح نسبت به روند فعلی کاهش دهد[۱۶].

۱. در صورت باقی ماندن تحریم‌های بین المللی علیه ایران، این کشور تا ۴ درصد از میزان انتشار دی‌اکسیدکربن خواهد کاست.

۲. با برداشته شدن تحریم‌های بین المللی ایران تا ۸ درصد از تولید این گاز گلخانه‌ای کم خواهد کرد.

۳. در صورت برداشته شدن تحریم‌ها همراه با همکاری کشورهای توسعه یافته جهت انتقال تکنولوژی‌های پاک به ایران، این کشور تا میزان ۱۲ درصد از میزان تولید دی‌اکسیدکربن را خواهد کاست.

از سوی دیگر طبق ماده ۵۰ برنامه ششم توسعه کشور ایران که چشم اندازی برای سال ۱۴۰۴ ارائه می‌کند، می‌بایست سهم انرژهای تجدیدپذیر تا حداقل ۵ درصد از ظرفیت برق کشور افزایش یابد. دستیابی به تعهدات پیمان پاریس نیازمند محاسبه‌ی حداکثر مجموع عرضه‌ی انرژی اولیه در کشور است.

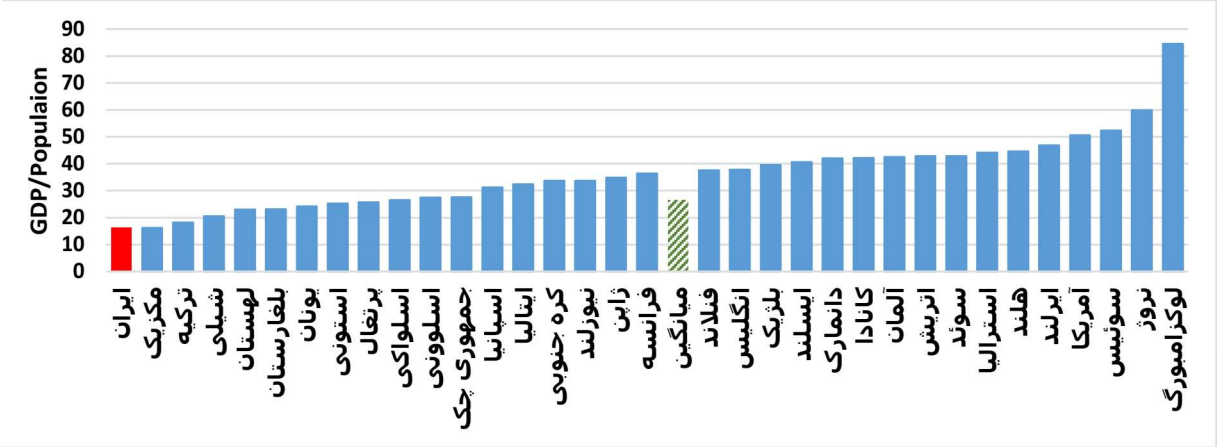
با توجه به شرایط فعلی کشور سه سناریو برای برآورد مجموع عرضه‌ی انرژی اولیه و دی‌اکسیدکربن تولید در کشور ایران قابل تصور است. در سناریو اول با در نظر گرفتن روند مجموع عرضه‌ی انرژی اولیه در کشور ایران بین سال های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳، میزان آن در سال ۱۴۰۴ به ۳۲۳ میلیون تن معادل نفت خام خواهد رسید و در سناریو دوم با در نظر گرفتن افزایش بازدهی و کاهش تلفات انرژی تا سال ۱۴۰۴ میزان مجموع عرضه‌ی انرژی اولیه ثابت فرض می گردد. سناریوی سوم به دنبال بدست آوردن حداکثر میزان مجموع عرضه‌ی انرژی اولیه با فرض عمل به تعهدات ایران در قبال سه سطح کاهش دی‌اکسید-کربن مطالق با پیمان پاریس است.

جدول ۱ وضعیت پارامتر های مختلف در کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی

	CO2 (Mt)	TPES (Mtoe)	RES (ktoe)	Population (million)	GDP PPP billion ($)	GDP/POP (1000 $/ per capita)	RES/TPES (%)
ایسلند	۲/۰۴	۵/۸۷	۵۲۲۲	۰/۳۳	۱۳/۴۱	۴۰/۶۴	۸۸/۹۶
نروژ	۳۵/۳۱	۲۸/۷۵	۱۳۱۹۱	۵/۱۴	۳۰۷/۹۷	۵۹/۹۲	۴۵/۸۸
نیوزیلند	۳۱/۲۴	۲۰/۵۶	۸۲۴۶	۴/۴۶	۱۵۰/۴۳	۳۳/۷۳	۴۰/۱۱
سوئد	۳۷/۴۲	۴۸/۱۶	۱۷۲۶۳	۹/۷	۴۱۵/۰۵	۴۲/۷۹	۳۵/۸۵
اتریش	۶۰/۷۸	۳۲/۱۶	۱۰۰۷۱	۸/۵۴	۳۶۵/۳۹	۴۲/۷۹	۳۱/۳۲
فنلاند	۴۵/۲۵	۳۳/۹۳	۱۰۳۰۱	۵/۴۶	۲۰۴/۸	۳۷/۵۱	۳۰/۳۶
پرتغال	۴۲/۸۱	۲۱/۱۶	۵۹۹۴	۱۰/۴	۲۶۷/۷۷	۲۵/۷۵	۲۸/۳۳
شیلی	۷۵/۸۱	۳۶/۱	۹۵۵۲	۱۷/۸۴	۳۶۷/۱۳	۲۰/۵۸	۲۶/۴۶
سوییس	۳۷/۷۴	۲۵/۰۶	۶۰۵۶	۸/۱۹	۴۲۸/۹۹	۵۲/۳۸	۲۴/۱۷
دانمارک	۳۴/۵۱	۱۶/۲۱	۳۵۵۹	۵/۶۴	۲۳۶/۹۸	۴۲/۰۲	۲۱/۹۶
استونی	۱۷/۵۲	۶/۰۴	۱۲۵۴	۱/۳۲	۳۳/۲۵	۲۵/۱۹	۲۰/۷۶
اسلوونی	۱۲/۷۶	۶/۶۷	۱۲۲۳	۲/۰۶	۵۶/۴۶	۲۷/۴۱	۱۸/۳۴
کانادا	۵۵۴/۸	۲۷۹/۸۸	۵۰۲۸۴	۳۵/۵۴	۱۴۹۷/۷۷	۴۲/۱۴	۱۷/۹۷
ایتالیا	۳۱۹/۷۱	۱۴۶/۷۷	۲۴۸۰۱	۶۰/۸	۱۹۶۹/۳۷	۳۲/۳۹	۱۶/۹۰
اسپانیا	۲۳۱/۹۹	۱۱۴/۵۶	۱۸۲۰۸	۴۶/۴۶	۱۴۴۸/۷۸	۳۱/۱۸	۱۵/۸۹
آلمان	۷۲۳/۲۷	۳۰۶/۰۷	۴۰۳۱۶	۸۰/۹۸	۳۴۳۸/۰۴	۴۲/۴۶	۱۳/۱۷
یونان	۶۵/۸۸	۲۳/۱۳	۲۳۵۰	۱۰/۹۳	۲۶۴/۵۳	۲۴/۲۰	۱۰/۱۶
ترکیه	۳۰۷/۱۱	۱۲۱/۵۴	۱۲۱۴۱	۷۶/۶۲	۱۳۹۲/۴۳	۱۸/۱۷	۹/۹۹
اسلواکی	۲۹/۳۳	۱۵/۹۵	۱۵۹۲	۵/۴۲	۱۴۳/۵	۲۶/۴۸	۹/۹۸
مجارستان	۴۰/۲۸	۲۲/۸۴	۲۱۸۶	۹/۸۷	۲۲۸/۰۱	۲۳/۱۰	۹/۵۷
جمهوری چک	۹۶/۵۵	۴۱/۲۱	۳۹۰۵	۱۰/۵۳	۲۹۰/۶۴	۲۷/۶۰	۹/۴۸
فرانسه	۲۸۵/۶۸	۲۴۲/۶۴	۲۲۲۴۱	۶۶/۱۷	۲۴۰۶/۷۹	۳۶/۳۷	۹/۱۷
لهستان	۲۷۹/۰۴	۹۴/۰۲	۸۵۶۸	۳۸/۴۸	۸۸۶/۱۵	۲۳/۰۳	۹/۱۱
مکزیک	۴۳۰/۹۲	۱۸۷/۹۸	۱۵۹۴۹	۱۱۹/۷۱	۱۹۳۹/۰۵	۱۶/۲۰	۸/۴۸
هلند	۱۴۸/۳۴	۷۲/۹۵	۵۲۴۴	۱۶/۸۶	۷۵۲/۱۴	۴۴/۶۱	۷/۱۹
ایرلند	۳۳/۸۶	۱۲/۷۷	۹۱۶	۴/۶۲	۲۱۶/۲۳	۴۶/۸۰	۷/۱۷
آمریکا	۵۱۷۶/۲۱	۲۲۱۶/۱۹	۱۵۸۲۵۴	۳۱۹/۱۷	۱۶۱۵۶/۶۲	۶۲/۵۰	۷/۱۴
بلژیک	۸۷/۳۶	۵۲/۷۷	۳۵۲۱	۱۱/۱۶	۴۴۱/۷۸	۳۹/۵۹	۶/۶۷
استرالیا	۳۷۳/۷۸	۱۲۵/۲۴	۸۲۸۲	۲۳/۶۴	۱۰۴۳/۸۹	۴۴/۱۶	۶/۶۱
انگلیس	۴۰۷/۸۴	۱۷۹/۴۲	۱۰۳۶۹	۶۴/۶	۲۴۴۱/۴۵	۳۷/۷۹	۵/۷۸
ژاپن	۱۱۸۸/۶۳	۴۴۱/۷۴	۲۳۴۸۶	۱۲۷/۱۲	۴۴۳۷/۱۳	۳۴/۹۱	۵/۳۲
لوکزامبورگ	۹/۲۵	۳/۸۲	۱۵۲	۰/۵۶	۴۷/۳۶	۸۴/۵۷	۳/۹۸
کره جنوبی	۵۶۷/۸۱	۲۶۸/۴۱	۶۴۰۹	۵۰/۴۲	۱۶۹۷/۱۱	۳۳/۶۶	۲/۳۹
میانگین	۳۵۷/۳۰	۱۵۹/۱۱	۱۵۴۸۸	۳۸/۱۴	۱۳۹۳/۵۳	۳۶/۹۶۰	۳۲/۱۸

جدول ۲ وضعیت ایران بین کشورهای عضو سازمان سازمان همکاری و توسعه اقتصادی

رتبه	کشور	CO2/TPES	رتبه	کشور	CO2/TPES	رتبه	کشور	CO2/TPES
۱	ایسلند	۰/۳۵	۱۳	کانادا	۱/۹۸	۲۵	ایران	۲/۳۴
۲	سوئد	۰/۷۸	۱۴	پرتغال	۲/۰۲	۲۶	آلمان	۲/۳۶
۳	فرانسه	۱/۱۸	۱۵	اسپانیا	۲/۰۳	۲۷	لوکزامبورگ	۲/۴۲
۴	نروژ	۱/۲۳	۱۶	هلند	۲/۰۳	۲۸	ترکیه	۲/۵۳
۵	فنلاند	۱/۳۳	۱۷	شیلی	۲/۱۰	۲۹	ایرلند	۲/۶۵
۶	سوئیس	۱/۵۱	۱۸	کره جنوبی	۲/۱۲	۳۰	ژاپن	۲/۶۹
۷	نیوزلند	۱/۵۲	۱۹	دانمارک	۲/۱۳	۳۱	یونان	۲/۸۵
۸	بلژیک	۱/۶۶	۲۰	ایتالیا	۲/۱۸	۳۲	استونی	۲/۹۰
۹	مجارستان	۱/۷۶	۲۱	انگلستان	۲/۲۷	۳۳	لهستان	۲/۹۷
۱۰	اسلواکی	۱/۸۴	۲۲	مکزیک	۲/۲۹	۳۴	استرالیا	۲/۹۸
۱۱	اتریش	۱/۸۹	۲۳	ایالات متحده	۲/۳۴			
۱۲	اسلوونی	۱/۹۱	۲۴	جمهوری چک	۲/۳۴			



شکل ۳ وضعیت پارامتر های مختلف در کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی

برای مقایسه‌ی وضعیت اقتصادی کشور ایران در مقایسه با کشورهای OECD، معیار تولیدناخالص داخلی به ازای هر نفر درنظر گرفته شد. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود این معیار در رابطه با ایران با مقدار ۱۶/۱۷ دلار به ازای هر نفر، کمتر از همه‌ی کشورهای OECD می‌باشد. حال آنکه میانگین این معیار برابر با ۴۵/۲۶ دلار به ازای هر نفر است. بالاترین میزان در بررسی این معیار به ترتیب به لوکزامبورگ، نروژ و سوئیس اختصاص دارد(شکل ۳).

همانطور که اشاره شد در سناریوی اول، با در نظر گرفتن روند افزایش مجموع عرضه‌ی انرژی اولیه در ایران تا سال ۱۴۰۴ تغییرات تولید دی‌اکسید-کربن در کشور ایران قابل تخمین می‌باشد. برای نیل به این هدف نیاز است میزان تولید انرژی تجدیدپذیر در کشور ایران تا سال ۱۴۰۴ محاسبه گردد.

با توجه به روند تولید الکتریسیته در ایران بین سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۳ میزان الکتریسیته‌ی تولیدی در سال ۱۴۰۴ به ۳۸۲/۵ هزار گیگاوات ساعت خواهد رسید. در نتیجه میزان انرژی‌های تجدیدپذیر با در نظر گرفتن چشم انداز ۱۴۰۴ برابر با ۳/۳۷۹ میلیون تن معادل نفت خام خواهد بود. بدین ترتیب و با استفاده از رابطه‌ی ۱، میزان دی‌اکسیدکربن تولیدی در کشور ایران در سناریوی اول برابر با ۸۲۶ میلیون تن تخمین زده می‌شود.

در سناریوی دوم، با فرض ثابت ماندن میزان مجموع عرضه‌ی انرژی اولیه در ایران و چشم انداز دسترسی به ۵ درصد ظرفیت برق کشور در سال ۱۴۰۴ از منابع تجدیدپذیر (۳/۳۷۹ میلیون تن معادل نفت خام) و استفاده از رابطه‌ی ۱ دی‌اکسیدکربن تولیدی برابر با ۵۸۹/۵۹ میلیون تن خواهد شد. سرعت افزایش مجموع عرضه‌ی انرژی اولیه ایران که در سناریوی اول بررسی شد، نشان از افزایش ۴۰ درصدی آلاینده‌ی مذکور نسبت به سناریوی دوم دارد.

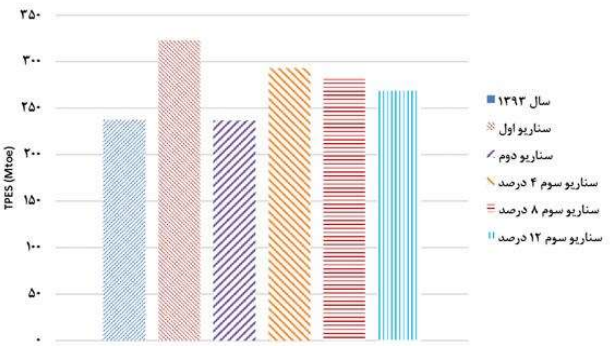
درارتباط با سناریوی سوم، چنانچه ایران خواهان دستیابی به اهداف پیمان پاریس باشد و میزان ۴، ۸ و ۱۲ درصد بسته به اقدامات بین‌المللی از تولید دی‌اکسیدکربن خود نسبت به روند فعلی بکاهد، می‌بایست تولید این گاز گلخانه ای را در سال ۱۴۰۴ به ۷۳۲/۴۸، ۷۰۱/۹۶ و ۶۷۱/۴۴ میلیون تن برساند. در سناریوی سوم با فرض میزان دی‌اکسیدکربن و سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و با استفاده از رابطه‌ی ۱ میزان مجموع عرضه‌ی انرژی اولیه‌ی ایران در سال ۱۴۰۴

قابل تخمین است. نتایج مربوط به سه سطح اجرایی سناریوی سوم در جدول ۳ قابل مشاهده است.

جدول ۳ نتایج اجرایی شدن سناریوی سوم در سه سطح

درصد کاهش CO_2 نسبت به BAU	CO2 (Mt)	RES (Mtoe)	TPES (Mtoe)	کاهش TPES نسبت به BAU (Mtoe)
۴	۷۳۲/۴۸	۳/۳۷۹	۲۹۳/۲۵	۹/۲۱
۸	۷۰۱/۹۶	۳/۳۷۹	۲۸۱/۲۳	۱۲/۹۳
۱۲	۶۷۱/۴۴	۳/۳۷۹	۲۶۹/۲۲	۱۶/۶۵

با مقایسه‌ی مقادیر مجموع عرضه‌ی انرژی اولیه در سال ۱۳۹۳ و سناریو-های مطرح شده در بخش قبل، می‌توان به لزوم کاهش مجموع عرضه‌ی انرژی اولیه برای دستیابی به تعهدات بین‌المللی پی برد. شکل ۴ میزان مجموع عرضه-ی انرژی اولیه ایران برای سناریوهای فوق را نمایش داده است. با توجه به این شکل درمی‌یابیم، اگرچه ایران در مسیر توسعه نیازمند افزایش بهره‌گیری از منابع انرژی است، عملکرد به تعهدات بین‌المللی به ویژه پیمان پاریس لزوم بهبود تکنولوژی‌های مورد استفاده جهت مصرف بهینه‌ی انرژی را ضروری می-سازد.



شکل ۴ میزان کل عرضه انرژی اولیه برای سناریوهای مختلف

کاهش ۲۹/۷۵ تا ۵۳/۷۸ میلیون تن معادل نفت خام، از مجموع عرضه‌ی انرژی اولیه در سال ۱۴۰۴ نیازمند مدیریت یکپارچه‌ی انرژی در بخش‌های تولید، توزیع و مصرف می‌باشد. جهت اجتناب از کاهش مجموع عرضه‌ی انـرژی اولیه در کشور، با بررسی پتانسیل‌های داخلی تـأمین انـرژی باید امکـان جـایگزینی ایـن منـابع با تکنولوژی‌های پاک و تجدیدپذیر و کاهش اتکا به منابع فسیلی فعلی فراهم آید. به دلیل آنکه این فراینـد امری زمـان‌بر و نیازمند تحلیل‌های کارشناسانه دقیق خواهـد بـود، لازم است به سرعت برای اجرای چنین طرحی، گام برداشته شود.

۳- روش‌های کاهش دی‌اکسیدکربن

علاوه بر استفاده‌ی بیشتر از منابع تجدیدپذیر، کشور ایران می‌تواند از تکنولوژی‌ها و راهکارهای جدیدی در راستای کاهش میزان انرژی مصرفی از منابع فسیلی و همچنین جذب دی‌اکسیدکربن و در نتیجه کاهش میزان انتشار آن استفاده کند. در بحث کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن عموما به سه منبع اصلی انتشار آن (صنعت، نیروگاهی و حمل و نقل) پرداخته می‌شود. در رابطه با بخش صنعت و نیروگاهی کشور، جهت کاهش دی‌اکسیدکربن بایستی از تکنولوژی‌های جدید جاذب شیمیایی و فیزیکی مانند کاتالیست‌ها استفاده کرد. همچنین تغییر سوخت‌های مصرفی در این بخش و استفاده از سوخت با کیفیت می‌تواند حجم دی‌اکسیدکربن تولیدی را بصورت چشمگیری کاهش دهد[۱۷, ۱۸]. در بخش حمل و نقل راهکارهای متفاوتی ارائه شده است از جمله وضع قوانین سخت گیرانه‌تر در ارتباط با عمر مفید خودروها، میزان انتشار آلاینده‌ها همچنین بهبود حمل و نقل عمومی که منجر به کاهش تعداد خودروهای تک سرنشین شده و مصرف سوخت را به شدت کاهش می‌دهد[۱۹].

۴- نتایج و بحث

روند رو به رشد تولید دی‌اکسیدکربن در جهان موجب ایجاد معاهدات بین‌المللی مانند پیمان کیوتو و کنفرانس تغییرات اقلیمی پاریس گردیده است. کشور ایران با به موجب این عهدنامه‌های بین‌المللی و سند چشم انداز سال ۱۴۰۴ به دنبال کنترل و کاهش کربن دی اکسید تا پایان این سال است. در این مقاله با در نظر داشتن شرایط فوق، آنالیز رگرسیون جهت استخراج رابطه میان دی‌اکسیدکربن سالانه با میزان انرژی اولیه تولیدی و انرژی تجدیدپذیر تولیدی در ۳۳ کشور OECD انجام گرفت. رابطه حاصل قابل اطمینان بسیار مناسبی (R^2=99.54%) نشان داد. در نهایت با تعریف سه سناریو (ادامه روند فعلی تولید انرژی اولیه، تثبیت میزان فعلی تولید انرژی اولیه و یا مدیریت تولید دی‌اکسیدکربن طبق پیمان تغییرات اقلیمی پاریس)، شرایط ایران از لحاظ تولید دی‌اکسیدکربن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در صورت عدم کنترل مصرف انرژی و سهل‌انگاری در بهینه‌سازی انرژی، ایران با بحران-های محیط‌زیستی از لحاظ تولید کربن مواجه خواهد شد. در نهایت به اختصار راهکارهایی برای جلوگیری از افزایش دی‌اکسیدکربن در بخش صنعت، نیروگاه و حمل و نقل ارائه گردید.

۵- مراجع

[۱] G. T. Miller and S. Spoolman, *Living in the Environment: Principles, Connections, and Solutions*: Cengage Learning, 2008.

[۲] EPA. (2015, Climate Change Indicators: Global Greenhouse Gas Emissions.

[۳] IPCC. (2014, Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change.

[۴] EPA. (2016, Sources of Greenhouse Gas Emissions.

[۵] J. Chow, R. J. Kopp, and P. R. Portney, Energy Resources and Global Development, *Science,* Vol. 302, pp. 1528-1531, 2003.

[۶] EDGAR. (2017, CO2 time series 1990-2015 per region/country.

[۷] V. Ş. Ediger, S. Akar, B. Uğurlu, Forecasting production of fossil fuel sources in Turkey using a comparative regression and ARIMA model, *Energy Policy,* Vol. 34, pp. 3836-3846, 2006.

[۸] J. F. F. P. Bos, J. d. Haan, W. Sukkel, R. L. M. Schils, Energy use and greenhouse gas emissions in organic and conventional farming systems in the Netherlands, *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences,* Vol. 68, pp. 61-70, 2014.

[۹] A. Yousefi-Sahzabi, K. Sasaki, H. Yousefi ,Y. Sugai, CO2 emission and economic growth of Iran," *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change,* Vol. 16, pp. 63-82, 2011.

[۱۰] M. Mirzaei, M. Bekri, Energy consumption and CO2 emissions in Iran, 2025, *Environmental Research,* Vol. 154, pp. 345-351, 2017.

[۱۱] E. Erdogdu, Turkish support to Kyoto Protocol: A reality or just an illusion, *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* Vol. 14, pp. 1111-1117, 2010.

[۱۲] A. Alivernini, A. Barbati, P. Merlini, F. Carbone, P. Corona, New forests and Kyoto Protocol carbon accounting: A case study in central Italy, *Agriculture, Ecosystems & Environment,* Vol. 218, pp. 58-65, 2016.

[۱۳] T. Diez, F. von Lucke, Z. Wellmann, The Securitisation of Climate Change, *Actors, Processes and Consequences*, Taylor & Francis, 2016.

[۱۴] L. A. Davis, Climate Agreement, *Engineering,* Vol. 2, pp. 387-388, 2016.

[۱۵] IPCC. (2015). *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation* .

[۱۶] Department-of-Environment-Islamic-Republic-of-Iran, *Intended Nationally Determined Contribution*; http://yon.ir/RbkXL2015.

[۱۷] J. C. M. Farla, C. A. Hendriks, K. Blok, Carbon dioxide recovery from industrial processes, *Energy Conversion and Management,* Vol. 36, pp. 827-830, 1995.

[۱۸] T. C. Merkel, H. Lin, X. Wei, R. Baker, Power plant post-combustion carbon dioxide capture: An opportunity for membranes, *Journal of Membrane Science,* Vol. 359, pp. 126-139, 2010.

[۱۹] T.-P. Lin, Carbon dioxide emissions from transport in Taiwan's national parks, *Tourism Management,* Vol. 31, pp. 285-290, 2010.