تحلیل عوامل مؤثر بر تغییر انتشار دی‌اکسیدکربن بخش نیروگاهی ایران (۱۳۸۶-۱۳۷۸)

محمدحسن فطرس[۱] جواد براتی[۲]

تاریخ دریافت۱۳۸۹/۰۶/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۱/۱۹

چکیده

بخش نیروگاهی با سهم ۲۸/۲ درصدی از کل انتشار دی‌اکسیدکربن، بزرگ‌ترین بخش منتشرکننده‌ی گاز گلخانه‌ای در کشور است. این مطالعه از تکنیک تجزیه‌ی شاخص دیویژیا میانگین لگاریتمی (LMDI)[۳] استفاده می‌کند تا تأثیر پنج عاملِ رشداقتصادی، شدتِ سوخت، شدتِ انرژی برق، ساختار تولید و کیفیت سوخت را در اثرگذاری بر تغییر انتشار دی‌اکسیدکربنِ بخش نیروگاهی برای دوره‌ی ۱۳۸۶-۱۳۷۸ تبیین کند. اثرِ بازده حرارتی و اثرِ ساختار (ترکیب) سوختی نیز برای تعیین عوامل مؤثر بر تغییر شاخص انتشار دی‌اکسیدکربن تحلیل می‌شود. یافته‌ها نشان می‌دهد در کل دوره، رشد اقتصادی بیشترین اثر را بر افزایش انتشارِ بخش نیروگاهی داشته است. پس ازآن، به ترتیب اثرِ کیفیت سوخت، اثرِ شدت سوخت و اثرِ ساختار تولید عوامل مؤثر بر رشد انتشار دی‌اکسیدکربن است. تغییر در ساختار (ترکیب) سوختی بیشترین اثر را بر افزایش شاخص انتشار دی‌اکسیدکربن ، به‌طورخاص برای دوره‌ی ۸۷-۱۳۸۳، داشته است. بررسی شاخص انتشار نشان می‌دهد که نیروگاه سیکل ترکیبی کم‌ترین شاخص انتشار را در میان انواع نیروگاه‌های حرارتی دارد و از نظر زیست‌محیطی مناسب‌ترین نیروگاه حرارتی برای تولید برق است.

JEL: Q43, Q58, C43, L94.

واژه‌گان کلیدی: تجزیه شاخص دیویژیا میانگین لگاریتمی (LMDI)، نیروگاه حرارتی، شاخص انتشار، مصرف سوخت.

۱- دانشیار گروه اقتصاد دانشگاه همدان (fotros@basu.ac.ir)

۲- کارشناس ارشد برنامه ریزی و توسعه اقتصادی دانشگاه بوعلی سینا، (j_baraty@yahoo.com)

3 - Logaritmic Mean Divisia Index

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1389.1.1.6.0]

۱.مقدمه

شواهد علمی در حال گسترشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای اتمسفر وجود دارد که آن را مرتبط با افزایش دمای جهانی و تغییرات در الگوهای اقلیمی می‌داند. منابع اولیه‌ی افزایش در غلظت گازهای گلخانه‌ای اتمسفر، افزایش در مصرف سوخت سنگواره‌ای لازم برای فعالیت‌های تولیدی انسان است (فطرس، ۱۳۸۸). براورد کرده‌اند که از سال ۱۷۵۰ تاکنون، حدود دوسوم بخش CO_2، ناشی از مصرف سوخت‌های سنگواره‌ای بوده و در سال‌های اخیر این انتشار افزایش داشته‌است (مالا، ۲۰۰۹)

برق مهم‌ترین منبع تأمین انرژی در زندگی امروزی است که تولید از محمل‌های مهم مصرف سوخت‌های سنگواره‌ای است. سادگی تبدیل برق به دیگر انرژی‌ها و سهولت انتقال سریع آن به‌نقاط مختلف بر اهمیت استفاده ازآن می‌افزاید. در سال ۱۳۸۷، بخش نیروگاهی ایران با سهمی حدود ۲۸/۲ درصد از انتشار دی‌اکسیدکربن، بیشترین سهم انتشار دی‌اکسیدکربن کشور را داشته است. پس‌ازآن، بخش خانگی، تجاری و عمومی با ۲۵/۸ درصد و بخش صنعت با ۲۳/۲۶ درصد قرار دارد. انتشار CO_2 از بخش نیروگاهی ایران در دهه‌ی گذشته میانگین رشدی برابربا ۹/۳ درصد داشته‌است. این رشد برای سال ۱۳۸۷، ۲۰/۷۹ درصد بوده است. پس، لازم است به اقدامات و سیاست‌ها برای کاهش انتشار CO_2ی بخش نیروگاهی توجه کرد.

نیروگاه‌های حرارتی از سوخت سنگواره‌ای استفاده می‌کنند. در دهه‌ی گذشته، نیروگاه‌های سیکل ترکیبی و گازی به ترتیب با ۲۳/۴۰ و ۱۴/۳۲ درصد بیشترین رشد را در انتشار CO_2 داشته‌اند. این دو نوع نیروگاه از سوخت‌های نفت‌گاز و گازطبیعی استفاده می‌کنند؛ رشد انتشار CO_2 ی ناشی از مصرف نفت گاز در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی به تنهایی ۶۲/۲ درصد بوده‌است.

ایران، در سال ۲۰۱۰، از نظر شاخص عملکرد محیط‌زیست[1] با امتیاز ۶۰، در رتبه‌ی ۷۸ جهان قرار داشت (استی و همکاران، ۲۰۱۰)؛ درحالی‌که در سال ۲۰۰۸، با امتیاز ۷۶/۹ در رتبه‌ی ۶۷ (استی و همکاران، ۲۰۰۸) و در سال ۲۰۰۶، با امتیاز ۷۰ رتبه‌ی ۵۳ (استی و همکاران، ۲۰۰۶) را داشته‌است. نزول رتبه‌ی ایران در شاخص عملکرد محیط‌زیست، اهمیت توجه به این مقوله را بیشتر می‌کند. امروزه، مطالعات زیست‌محیطی بستر تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در امور عمده‌ای مانند سیاست، فرهنگ، اقتصاد و طبیعت شده‌است (سهراب و همکاران، ۱۳۸۴).

با توجه به فزونی انتشار CO_2 ی ناشی از سوخت‌های سنگواره‌ای در بخش نیروگاهی و روند فزاینده استفاده از این سوخت‌ها در تولید برق کشور، این مقاله به تحلیل عوامل مؤثر بر تغییرات انتشار CO_2ی ناشی از سوخت‌های سنگواره‌ای استفاده شده در بخش نیروگاهی کشور می‌پردازد. عوامل بالقوه‌ی تغییر در انتشار

1 - Environmental Performance Index

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1389.1.1.6.0]

CO_2ی بخش نیروگاهی، عبارت‌است از: تغییر در نیاز به تولید برق، تغییر در ساختار تولید نیرو (تغییر در سهم انواع منابع سوخت برای تولید نیرو)، شدت‌سوخت تولید نیرو (سهم سوخت مصرفی نسبت به برق تولیدی) و کیفیت سوخت (مقدار کربن منتشر شده از هر نوع سوخت). افزایش در نیاز به تولید برق همبسته‌ی مستقیم رشد تقاضای برق است؛ خود این تقاضا متأثر از رشد اقتصادی و شدت‌انرژی برق (برق مصرف شده در واحد GDP) است.

سازمان‌دهی مقاله چنین است که پس‌از مقدمه، در بخش دوم پیشینه‌ی تحقیق، در بخش سوم مبانی نظری الگو بیان می‌شود؛ سپس، در بخش چهارم روش تحقیق و در بخش پنجم تجزیه و تحلیل اطلاعات می‌آید. در پایان، نتیجه‌گیری تحقیق گفته می‌شود.

۲. پیشینه‌ی تحقیق

بخش نیروگاهی با حدود ۴۶ درصد بیشترین سهم در انتشار دی‌اکسیدکربن جهان را دارد. با این‌حال، مطالعات معدودی در زمینه‌ی تجزیه عوامل تأثیرگذار بر تغییر در شدت انتشار CO_2ی بخش نیروگاهی برای کشورهای مختلف انجام شده‌است. شرستا و همکاران (۲۰۰۹) با تکنیک تجزیه‌ی شاخص دیویژیا میانگین لگاریتمی (LMDI)[1]، عوامل کلیدی مؤثر بر رشد انتشار CO_2ی بخش نیروگاهی را برای ۱۵ کشور منتخب آسیایی و اقیانوس آرام مطالعه کردند. این عوامل شامل تغییرات در محصول اقتصادی، شدت انرژی برق، شدت سوخت و ساختار تولید نیرو بوده‌است. مطالعه‌ی ایشان نشان داد که رشد اقتصادی تأثیر غالبی در افزایش انتشار CO_2 در ده کشور منتخب (استرالیا، چین، هند، ژاپن، مالزی، پاکستان، کره جنوبی، سنگاپور، تایلند و ویتنام) داشته‌است. در حالی‌که اثرِ شدت انرژی برق[2] تولیدی، عامل اصلی افزایش CO_2 برای سه کشور بنگلادش، اندونزی و فیلیپین بوده‌است. در سریلانکا و نیوزیلند، تغییرات ساختاری تولید نیرو سهمی مهم در رشد انتشار CO_2 داشته‌است.

استینهاف (۲۰۰۷) انتشار CO_2 از بخش برق چین را تجزیه و تغییرات در انتشار را با توجه به سناریوهای مختلف تا افق سال ۲۰۲۰، تحلیل کرده‌است. وی با توجه به تأکید مقاله بر مصرف برق، عوامل مؤثر بر تقاضای برق، برق تولیدی، منابع انرژی استفاده شده برای تولید و عوامل مؤثر بر انتقال و توزیع برق را بررسی کرد. نتایج وی نشان داد که کارایی تولید مهم‌ترین عامل مؤثر بر تغییرات شدت انتشار از تولید برق بوده‌است. این درحالی است که انتظار می‌رود در سال‌های آینده انتقالی به سمت افزایش استفاده از گاز طبیعی و تولید هسته‌ای بیشتر در چین شتاب بیش‌تری به خود گیرد.

1- Logarithmic Mean Divisia Index
2 - The Effects Of Changes In Electricity Intensity

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1389.1.1.6.0]

مالا(۲۰۰۹) با استفاده از روش شاخص دیویژیا میانگین لگاریتمی (LMDI) تأثیر سه عاملِ تولید برق، ساختار تولید برق و شدت انرژی برق تولیدی را در تأثیرگذاری بر انشار CO_2 از تولید برق در هفت کشور عمده‌ی منتشرکننده‌ی CO_2 ارزیابی کرد. نتایج مقاله‌ی وی نشان داد که رشد اقتصادی عامل اصلی در افزایش انتشار CO_2 در دوره‌ی ۱۹۹۰-۲۰۰۵ بوده‌است. اثرِ ساختار تولید با نسبتی کم‌تر بر رشد انتشار CO_2 مؤثر بوده‌است. اثرِ شدت انرژی تأثیری کاهشی بر انتشار CO_2 در این دوره داشته‌است. پیش‌بینی‌های گفته شده در آن مقاله حاکی است که در دوره‌ی ۲۰۳۰-۲۰۰۵، رشد اقتصادی مهم‌ترین عامل درافزایش انتشار CO_2 در بخش نیروگاهی باقی می‌ماند در حالی‌که از اثرِ ساختار تولید کاسته می‌شود.

شرستا و تیمیلسینا (۱۹۹۸) تغییردر ترکیب فناوری، ترکیب سوختی و شدت انرژی را برای تحلیل شدت انتشار NO_x[1] از بخش نیروگاهی تایلند و کره جنوبی تحلیل کردند. آن‌ها با استفاده از تکنیک تجزیه دیویژیا به این نتیجه رسیدند که اثرِ شدت انرژی، عامل اصلی کاهش شدت انتشار NO_x در دوره‌ی ۱۹۸۵-۱۹۹۵ در تایلند بوده‌است. افزون بر این، اثرِ ترکیب سوختی و اثرِ ترکیب فناوری تأثیری معنی‌دار در کاهش انتشار NO_x داشته‌اند. تغییر در اثرِ ترکیب سوخت به علت جانشینی گاز با سوخت‌های نفتی و کاهش شدت انتشار NO_x در کره جنوبی نیز به طور عمده به‌علت اثرِ ترکیب سوخت بوده که از جانشینی ذغال‌سنگ و LNG با سوخت‌های نفتی در دوره‌ی ۱۹۸۷-۱۹۹۲ نامیده می‌شود.

صادقی و همکاران (۱۳۸۶) با هدف بررسی راهکارهای افزایش بازده نیروگاه و آثار زیست‌محیطی و اقتصادی آن، به بررسی بازده نیروگاه‌های گازی، سیکل ترکیبی و بخاری پرداختند. همچنین، هزینه‌های اجتماعی آلاینده‌ها و اثرات آن‌ها بر سلامت انسان و محیط زیست را مطالعه کردند. محاسبات آن‌ها نشان داد که در نتیجه‌ی افزایش بازده، میزان آلاینده‌های تولیدی و هزینه‌های اجتماعی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و این کاهش نیز بیشتر در نیروگاه‌های بخاری رخ خواهد می‌دهد؛ بنابراین، ارجحیت افزایش بازده را در نیروگاه‌های بخاری دانسته‌اند.

مرزبان و همکاران (۱۳۸۴) در مقاله‌ای به تحلیل تقاضا برای انواع سوخت (گازوئیل، نفت کوره و گاز طبیعی) و جایگزینی بین آن‌ها در نیروگاه‌های حرارتی پرداختند. آن‌ها با استفاده از یک تابع هزینه‌ی کوتاه‌مدت غیرهموتتیک ترانسلوگ به این نتیجه رسیدند که "ضریب بار" متغیری اثرگذار بر تقاضای سوخت است و سهم سوخت‌ها نسبت به تغییرات ضریب بار باکشش است. رابطه‌ی میان سوخت‌ها به‌صورت جانشینی است؛ اما، این جانشینی بسیار ضعیف است و تقاضای انواع سوخت نسبت به تغییرات قیمت آن‌ها بی‌کشش است. تغییرات فنی برای استفاده از گاز طبیعی و کاهش مصرف گازوئیل و نفت کوره بوده در حالی‌که شدت مصرف گازوئیل و

1 - Nitrogen Oxide (No_x)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1389.1.1.6.0]

نفت کوره افزایش و شدت مصرف گاز طبیعی کاهش یافته است. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که با افزایش سطح محصول، بهره‌وری جزئی متوسط گازوئیل و نفت کوره کاهش یافته؛ اما، بهره‌وری جزئی متوسط گاز طبیعی افزایش می‌یابد.

حیدری (۱۳۸۴) در مطالعه‌ای با استفاده از روش تجزیه، به پیش‌بینی تقاضای انرژی در اقتصاد ایران پرداخته‌است. برای این منظور، تنها از سه حامل انرژی (برق، گاز طبیعی و فراورده‌های نفتی) استفاده کرد تا تأثیر عوامل مؤثر (اثرِ ساختاری، اثرِ ارزش افزوده و اثرِ شدت انرژی) بر مصرف انرژی را برای بخش‌های صنعت، کشاورزی، خدمات و حمل‌ونقل بررسی کند. نتایج مطالعه وی حاکی از صرفه‌جویی قابل‌ملاحظه در مصرف فراورده‌های نفتی ناشی از کاهش شدت انرژی در میزان‌های رشداقتصادی بالا و پایین بود.

شریفی و همکاران (۱۳۸۷) نیز با استفاده از تکنیک تجزیه‌ی فیشر و ضرب‌پذیری، شدت انرژی در صنایع نه گانه‌ی ایران را تجزیه کردند. نتایج تجزیه آن‌ها نشان می‌دهد که در بیشتر صنایع نه گانه، اثرِ ساختاری سهم اندکی در تغییرات اثرِ کل شدت انرژی داشته و اثرِ شدتی (شدت انرژی) سهمی بیشتر در تغییرات اثر کل داشته است. در بیشتر صنایع در سال‌های مختلف اثر شدتی در جهت کاهش شدت انرژی حرکت کرده و اثر ساختاری سهم ضعیفی در کاهش شدت انرژی داشته است. آن‌ها بر اساس نتایج مطالعه‌ی خود پیشنهاد دادند که عوامل مؤثر بر اثرِ شدتی مانند پیشرفت فناوری، قیمت حامل‌های انرژی، جانشینی حامل‌های انرژی، تغییر در کارایی انرژی و مدیریت تقاضای انرژی در نظر گرفته شود تا با کاهش اثرِ شدتی (اثرِ شدت انرژی) بتوان شدت مصرف انرژی در این صنایع را کاهش داد و در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد.

در این مطالعه، عواملی که به تدریج انتشار CO_2 ی بخش نیروگاهی را افزایش می‌دهد، تحلیل می‌شود. از ویژگی‌های این تحقیق، تمرکز آن بر انواع نیروگاه‌های حرارتی و تحلیل شاخص انتشار CO_2 است. مطالعاتی که در کشورهای دیگر انجام شده‌است، بر انواع سوخت مصرفی نیروگاه‌ها تمرکز دارد و شاخص انتشار را به عنوان معیاری مهم در تشخیص و کنترل تغییرات انتشار CO_2 بررسی نکرده‌است. تمرکز این مطالعه بر انواع نیروگاه‌های حرارتی بوده و شاخص انتشار CO_2ی نیروگاه‌ها را بر اساس سوخت مصرفی آن‌ها که مهم‌ترین عامل در انتشار این بخش است، تجزیه‌وتحلیل می‌کند. به‌طور خاص، عواملی مانند مشارکت (سهم) نسبی رشد اقتصادی، تغییر در شدت انرژی برق، تغییر در ترکیب سوخت برای تولید نیرو، تغییر در کارایی فناوری تولید نیرو و تغییر در کیفیت سوخت سنگواره‌ای استفاده شده در بخش نیروگاهی در دوره ۱۳۷۸-۱۳۸۷ تحلیل می‌شود.

۳. مبانی نظری الگو

در ادبیات موضوع، روش‌هایی متعدد بر پایه‌ی تجزیه‌ی شاخص از قبیل لاسپیرز، دیویژیا میانگین حسابی، دیویژیا میانگین لگاریتمی، پاشه و مانند آن در دسترس است (ن.ک.ب. انگ و ژنگ (۲۰۰۰)).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1389.1.1.6.0]

لیو، انگ و آنگ (۱۹۹۲) برای تحلیل تقاضای انرژی، از روش‌شناسی تجزیه[1] با رویکرد شاخص دیویژیا استفاده کردند. همچنین، روشی جدید به نام شاخص وزنی دیویژیا معرفی کردند. انگ (۱۹۹۴) و انگ و لی (۱۹۹۴) کارهای لیو، انگ و آنگ (۱۹۹۲) را بسط دادند و به‌ترتیب، چارچوبی برای تجزیه‌ی ضرب‌پذیر[2] و تجزیه‌ی جمع‌پذیر[3]، ارائه کردند. در دهه‌ی ۱۹۹۰، به علت اهمیت تغییرات اقلیمی، تحلیل‌های تجزیه به سمت انتشار گاز گلخانه‌ای مرتبط با انرژی معطوف شد. مطالعات تجزیه‌ی انرژی و تجزیه‌ی انتشار گازهای گلخانه‌ای روند آینده و تجزیه‌ی رشد اقتصادی مصرف انرژی و فرو افت[4] زیست‌محیطی را بررسی می‌کند (دیاکولاکی و دیگران، ۲۰۰۶).

روش‌شناسی شاخص دیویژیای میانگین لگاریتمی (LMDI) از تابع وزنی میانگین لگاریتمی که تجزیه‌ی کامل تغییر در عوامل را بی‌هیچ پسماندی نشان می‌دهد، استفاده می‌کند (انگ و ژنگ، ۲۰۰۰ و انگ و لیو، ۲۰۰۱).

در این پژوهش، برای تحلیل عوامل مؤثر بر تغییرانتشار CO_2ی بخش نیروگاهی، از روش‌شناسی شاخص دیویژیای میانگین لگاریتمی جمع‌پذیر استفاده می‌شود. انگ (۲۰۰۴) از میان انواع تکنیک‌های تجزیه‌ی شاخص، استفاده از روش شاخص دیویژیای میانگین لگاریتمی را توصیه می‌کند؛ زیرا، این روش دارای چند مزیت است؛ از جمله می‌توان به استقلال زمانی، توانایی به‌کارگیری ارقام صفر در محاسبات و سازگاری کلی آن در مطالعات اشاره کرد.

٤. روش تحقیق

داده‌های آماری مربوط به کل بخش نیروگاهی شامل نیروگاه‌های وزارت نیرو، صنایع بزرگ و بخش خصوصی است. با توجه به در دسترس نبودن داده‌های انتشار CO_2 برای بخش خصوصی و صنایع بزرگ به تفکیک نیروگاه برای سال‌های پیش از ۱۳۷۸ و همچنین، مجزا نبودن داده‌های مصرف انرژی و انتشار CO_2 برای نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی برای آن دوره، سال ۱۳۷۸ برای شروع مطالعه انتخاب شد. چون ارزش افزوده‌ی صنعت برق برای سال ۱۳۸۷ منتشر نشده بود، محاسبات مربوط به تجزیه‌ی انتشار CO_2 و اثرِ رشد اقتصادی برای دوره‌ی ۸۶-۱۳۷۸ انجام شد. اما، چون در تجزیه‌ی شاخص انتشار CO_2 از متغیر ارزش افزوده استفاده نمی‌شود؛ بنابراین، محاسبات مربوط به آن تا سال ۱۳۸۷ انجام شده‌است. داده‌های ارزش افزوده‌ی صنعت برق از اداره‌ی حساب‌های اقتصادی بانک مرکزی تهیه شده‌اند. مجموعه‌ی داده‌های مصرف انرژی، ارزش حرارتی و تولید ناویژه‌ی برق از شرکت مادر تخصصی توانیر (وزارت نیرو) گردآوری شد.

1 - Decomposition Methodology
2 - Multiplicative
3 - Additive
4 - Degradation

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1389.1.1.6.0]

داده‌های انتشار CO_2 ناشی از انواع سوخت و انواع نیروگاه‌ها از ترازنامه‌ی انرژی است. برای تحلیل و مقایسه‌ی دقیق‌تر، محاسبات به‌صورت تغییرات سالانه و تغییرات در کل دوره صورت پذیرفت. همان‌طور که اشاره شد، در این تحقیق از تکنیک LMDI جمع‌پذیر استفاده می‌شود که در بخش بعد (۱.۴ و ۲.۴) تشریح می‌شود.

یکی از شاخص‌های مهم استفاده شده در کشورهای اروپایی درباره‌ی ملاحظات زیست‌محیطی بخش نیروگاهی، میزان مصرف حامل‌های انرژی به ازای هر کیلووات ساعت برق تولیدی در نیروگاه‌های حرارتی است. در ایران نیز این شاخص با عنوان شاخص انتشار برای هر یک از آلاینده‌ها محاسبه و منتشر می‌شود (ترازنامه انرژی، ۱۳۸۶).

با توجه به تغییر در میزان و سهم استفاده از هر یک از انواع سوخت در این نوع نیروگاه‌ها و نیز نظر به تفاوت‌های موجود در کارایی این سوخت‌ها در تولید برق، این شاخص تغییراتی قابل توجه می‌تواند داشته باشد. بنابراین، در کنارِ بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات انتشار CO_2 (تجزیه‌ی انتشار CO_2)، عوامل مؤثر بر تغییرات در شاخص انتشار این گاز نیز بررسی می‌شود و نتایج آن با نتایج به‌دست آمده از تجزیه‌ی انتشار CO_2 مقایسه خواهد شد.

تجزیه‌ی انتشار CO_2 از بخش نیروگاهی

انتشار CO_2ی کل بخش نیروگاهی برابر با مجموع انتشارهای CO_2ی نیروگاه‌های مختلف تولید برق است:

$$C_t = \sum_i C_{it} \qquad (۴-۱-۱)$$

که در آن:

C_t انتشار کل دی‌اکسیدکربن صنعت برق در سال t،

C_{it} انتشار دی‌اکسیدکربن نیروگاه I در سال t، است.

رابطه‌ی (۴-۱-۱) را می‌توان به‌صورت (۴-۱-۲) نوشت:

$$C_t = \sum_j \frac{C_{it}}{G_{it}} \frac{G_{it}}{G_t} \frac{G_t}{Y_t} Y_t \qquad (۴-۱-۲)$$

G_{it} برق تولیدی نیروگاه i در سال t،

Y_t ارزش افزوده صنعت برق در سال t،

C_{it}/G_{it} شدت انتشار CO_2ی تولید نیرو (که به‌عنوان انتشار CO_2 در واحد برق تولیدی تعریف می‌شود)،

G_{it}/G_t سهم تولید برق نیروگاه i از کل تولید،

G_t/Y_t شدت انرژی برق (تولید برق مورد نیاز در واحد GDP) در سال t است.

با توجه به این‌که سوخت‌های سنگواره‌ای (از این دیدگاه که تکنولوژی استفاده شده و منابع انتشار در کوتاه‌مدت کمابیش بدون تغییر می‌ماند) دارای ضرایب انتشار مشخص و ثابتی است و نیز، برای تولید برق در

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1389.1.1.6.0]

هر نیروگاه (اندیس I) از چندین سوخت مختلف استفاده می‌شود؛ بنابراین، میزان انتشار را می‌توان به دو عاملِ میزان مصرف سوخت سنگواره‌ای و ضریبِ انتشارِ مربوط به آن سوخت تفکیک کرد. با این اقدام، رابطه‌ی (۴-۱-۲) را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$C_t = \sum_i \alpha_{it} \frac{E_{it}}{G_{it}} \frac{G_{it}}{G_t} \frac{G_t}{Y_t} Y_t \qquad (۴-۱-۳)$$

که با ساده نویسی، داریم:

$$C_t = \sum_i \alpha_{it} f_{it} g_{it} \epsilon_t Y_t \qquad (۴-۱-۴)$$

و

$$C_t = \epsilon_t Y_t \sum_i \alpha_{it} f_{it} g_{it} \qquad (۴-۱-۵)$$

E_{it} سوخت مصرفی نیروگاه i در سال t،

TV_{jt} ارزش حرارتی ناشی از سوخت j در سال t،

G_t برق تولیدی کل بخش نیروگاهی در سال t،

TV_t ارزش حرارتی کل سوخت مصرفی نیروگاه‌ها در سال t،

α_{it} سهم دی‌اکسیدکربن منتشر شده از انواع سوخت نیروگاه i در سال t است.

طبق مطالعه‌ی شرستا و همکاران (۲۰۰۹)، هر تغییری در انتشار CO_2ی تولید برق بین سال t و سال t-1، به‌صورت لگاریتمی زیر تجزیه می‌شود:

$$\ln \frac{C_t}{C_{t-1}} = \ln \frac{\epsilon_t}{\epsilon_{t-1}} + \ln \frac{Y_t}{Y_{t-1}} + \sum_i \widetilde{W}_{it} \ln \frac{\alpha_{it}}{\alpha_{it-1}} + \sum_i \widetilde{W}_{it} \ln \frac{f_{it}}{f_{it-1}} + \sum_i \widetilde{W}_{it} \ln \frac{g_{it}}{g_{it-1}} \qquad (۴-۱-۶)$$

که در آن، $\widetilde{W}_{it}$ تابع وزنی نیروگاه i در سال t است و سهم نسبی نیروگاه را که در اثرِ تغییرکیفیت سوخت، شدت سوخت و اثر ساختار تولید به‌وجود می‌آورد، نشان می‌دهد. در رویکرد شاخص دیویژیای میانگین لگاریتمی، $\widetilde{W}_{it}$ به‌صورت زیر تعریف می‌شود (انگ و لیو،۲۰۰۱):

$$\widetilde{W}_{it} = \frac{L(W_{it}, W_{it-1})}{\sum_i L(W_{it}, W_{it-1})}, \qquad (۴-۱-۷)$$

که در آن ، $L(W_{it}, W_{it-1}) = \frac{(W_{it-1} - W_{it})}{\log(\frac{(W_{it-1})}{(W_{it})})}$ و ، $W_{it} = \frac{\alpha_{it} f_{it} g_{it}}{\sum_i^n \alpha_{it} f_{it} g_{it}}$ است.

رابطه‌ی (۴-۱-۶)، تجزیه‌ی دیویژیای تغییرکل انتشار CO_2 را در سال t به‌صورت کلی نشان می‌دهد. نخستین عبارت سمت راست رابطه‌ی (۴-۱-۶) اثرِ تغییر در شدت انرژی برق را نشان می‌دهد (از این به‌بعد اثرِ

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1389.1.1.6.0]

شدت انرژی برق[1] (EIE) نامیده می‌شود). عبارت دوم، اثرِ تغییر در رشد اقتصادی را بیان می‌کند (از این به‌بعد اثرِ رشد اقتصادی[2] (EGE) نامیده می‌شود). عبارت سوم، اثرِ تغییرات در کیفیت سوختی را نشان می‌دهد و اثرِ کیفیت سوخت[3] (FQE) نامیده می‌شود. عبارات چهارم و پنجم به ترتیب، اثرات تغییر در کارایی تولید نیروگاه‌های حرارتی (اثرِ شدت سوخت (FIE)) و تغییرات سهم انواع نیروگاه‌ها در تولید کل برق (اثرِ ساختار تولید[4] (GSE)) را نشان می‌دهند. با تغییر در منبع عرضه‌ی سوخت، نوع و کیفیت سوخت‌ها ممکن است در طی زمان تغییر کند. چون این مطالعه‌ی (برخلاف مطالعه شرستا و تیمیلسینا (۱۹۹۶) و شرستا و همکاران (۲۰۰۹)) به انواع نیروگاه‌ها توجه دارد، فرض می‌شود که کیفیت سوخت در دوره‌ی بررسی شده متغیر است.

تجزیه‌ی شاخص انتشار CO_2

شاخص انتشار بخش نیروگاهی از نسبتِ میزان انتشار به برق تولیدی به‌دست می‌آید. تجزیه‌ی شاخص انتشارِ انواع سوختِ بخش نیروگاهی براساس رابطه‌ی زیر انجام می‌پذیرد:

$$\frac{C_t}{G_t} = \sum_j \frac{C_{jt}}{TV_{jt}} \frac{TV_{jt}}{TV_t} \frac{TV_t}{G_t} \qquad (۱-۲-۴)$$

که در آن، TV_{jt} ارزش حرارتی[5] به‌وجود آمده از سوخت j در سال t، TV_t ارزش حرارتی کل به‌وجود آمده از انواع سوخت در سال t و C_{jt} دی‌اکسیدکربن پخش شده از سوخت j در سال t است. با ثابت فرض کردنِ ضریب انتشار و ارزش حرارتی خالص برای هر سوخت (مالا، ۲۰۰۹)، رابطه‌ی (۴-۲-۱) را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$\frac{C_t}{G_t} = \sum_j \frac{TV_{jt}}{TV_t} \frac{TV_t}{G_t} = TEE_t \sum_j FME_{jt} \qquad (۲-۲-۴)$$

که در آن، FME_{jt} اثرِ ساختار سوختی (ترکیب سوختی[6]) یا سهم ارزش حرارتی هر سوخت به ارزش حرارتی کل سوخت‌های مصرفی برای سال t و TEE_t اثرِ بازده حرارتی[7] در سال T است. ارزش حرارتی با واحد کیلوکالری و بازده حرارتی با واحد کیلوکالری بر کیلووات ساعت محاسبه می‌شود.

در این مطالعه، مقادیر انواع سوخت مصرفی هر نیروگاه مجزا نیست بلکه از مقادیر کل سوخت مصرفی هر نیروگاه استفاده شده است. بنابراین، مشکل اعداد صفر پیش نمی‌آید. با توجه به لگاریتمی بودن روابط در

1 - the electricity intensity effect
2 - the economic growth effect
3 - the fuel quality effect
4 - generation-structure effect
5 - Thermal Value
6 - The Fuel Mix Effect
7 - The Thermal Efficiency Effect

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1389.1.1.6.0]

روش LMDI، وجود رقم صفر یا منفی در مجموعه‌ی اعداد مشکلاتی در تحقیق به‌وجود خواهد آورد. مطالعاتی در زمینه‌ی بیان راهکارهای رفع این مشکل انجام شده‌است که از آن جمله می‌توان چانگ و ری (۲۰۰۱)، لنزن (۲۰۰۶)، ری و چانگ (۲۰۰۶)، وود و لنزن (۲۰۰۶)، انگ و لیو (۲۰۰۷ آ) و انگ و لیو (۲۰۰۷ ب) را نام برد. با توجه به این‌که در این تحقیق مشکلِ وجودِ ارقام صفر وجود ندارد، از بیان روش‌های حل این مشکل پرهیز می‌شود.

۵. تجزیه و تحلیل اطلاعات

شاخص انتشار CO2 ی بخش نیروگاهی

شاخص انتشار گازهای آلاینده بخش نیروگاهی، معیاری مهم در مقایسه‌ی کارایی تولید برق از دید انتشار گازهای گلخانه‌ای است. این شاخص در سال ۱۳۸۷، برای گاز CO_2 به‌طور متوسط برابر با ۶۷۷/۸۳ گرم بر کیلووات ساعت بوده، درحالی‌که برای دیگر گازها کم‌تر از ۳ گرم بر کیلووات ساعت بوده‌است. جدول(۱) روند تغییرات این شاخص را برای گاز CO_2 در انواع نیروگاه‌ها در دوره‌ی ۸۷-۱۳۷۸ نشان می‌دهد.

جدول ۱- شاخص انتشار CO_2 از نیروگاه‌های کشور (گرم بر کیلووات ساعت)

سال	برق آبی	دیزلی	سیکل ترکیبی	گازی	بخاری
۱۳۷۸	۶/۵۹۵	۸۶۷/۷۲۸	۲۱۳/۵۷۱	۸۹۳/۴۶۳	۶۲۳/۱۴۹
۱۳۷۹	۶/۵۹۵	۷۸۸/۳۸۵	۲۸۰/۰۱۴	۸۰۵/۴۸۲	۶۱۹/۸۷۰
۱۳۸۰	۶/۵۵۵	۸۰۴/۳۲۳	۳۴۳/۹۴۱	۷۹۳/۰۷۸	۶۰۷/۱۴۳
۱۳۸۱	۶/۵۹۵	۸۰۸/۶۵۱	۵۱۵/۷۳۸	۸۱۵/۹۳۰	۶۰۶/۰۳۰
۱۳۸۲	۶/۵۹۸	۷۸۴/۵۰۶	۴۷۲/۷۹۲	۷۹۳/۵۷۶	۵۸۶/۷۹۷
۱۳۸۳	۶/۵۹۵	۸۱۹/۷۳۹	۴۶۷/۰۷۶	۷۶۷/۰۱۷	۵۹۹/۴۰۶
۱۳۸۴	۶/۶۰۱	۷۷۸/۱۶۰	۴۷۲/۸۳۴	۷۱۰/۹۸۶	۵۹۶/۱۷۲
۱۳۸۵	۶/۶۳۰	۷۸۲/۳۶۴	۴۸۷/۷۶۶	۷۸۲/۰۹۴	۶۲۸/۳۴۶
۱۳۸۶	۷/۶۰۰	۸۲۴/۶۷۷	۵۲۶/۵۳۲	۷۹۳/۳۸۲	۶۵۴/۷۳۳
۱۳۸۷	۷۹/۹۵۲	۷۷۰/۷۰۱	۴۶۶/۹۰۶	۸۵۲/۱۳۱	۷۵۵/۷۸۴

مأخذ ارقام: ترازنامه‌ی انرژی و گزارش تفصیلی صنعت برق، سال‌های مختلف

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1389.1.1.6.0]

به‌طورکلی، نیروگاه‌های سیکل ترکیبی نسبت به دیگر نیروگاه‌ها شاخص انتشار کم‌تری دارند. درحالی‌که نیروگاه‌های دیزلی و گازی بیشترین شاخص انتشار را به خود اختصاص داده‌اند. نیروگاه‌های بخاری نیز در مجموع نسبت به دو نیروگاه گازی و دیزلی شاخص انتشار کم‌تری داشته؛ اما، در مقایسه با نیروگاه سیکل ترکیبی، شاخص انتشار بالاتری داشته‌اند. این مقایسه نشان می‌دهد که ایجاد نیروگاه‌های سیکل ترکیبی به‌جای توسعه‌ی دیگر نیروگاه‌ها، از روند افزایشی انتشار CO_2 می‌کاهد. با تولید هر کیلووات ساعت برق از نیروگاه سیکل ترکیبی، در مقایسه با برق تولیدی از دیگر نیروگاه‌های حرارتی، به‌طور متوسط بین ۲۰ تا ۴۵ درصد در انتشار CO_2 صرفه‌جویی می‌شود.

علت افزایش تدریجی شاخص انتشار در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، افزایش استفاده از گازوئیل نسبت به گاز طبیعی بوده‌است. نیروگاه‌های بخاری از سه سوخت سنگواره‌ای نفت کوره، گازوئیل و گاز طبیعی استفاده می‌کنند؛ با توجه به ضریب انتشار بالای نفت کوره و گازوئیل، شاخص انتشار این نیروگاه‌ها نیز بالا است. تغییر در ترکیب سوختی برای نیروگاه سیکل ترکیبی در دوره‌ی بررسی شده، به زیان انتشار CO_2 بوده‌است. به‌طوری‌که شاخص انتشار CO_2 از این نیروگاه‌ها روندی صعودی داشته‌است. نیروگاه دیزلی تنها از سوخت نفت گاز استفاده می‌کند. به‌این علت، شاخص انتشار برای این نیروگاه نوسان‌های به نسبت ناچیزی داشته که مربوط به تغییر در کیفیت سوختی (ضریب انتشار) است. تغییرات در شاخص انتشار مربوط به دو نیروگاه حرارتی دیگر نیز به علتِ تغییر در ترکیب سوخت یا کیفیت سوختی است که در بخشِ (۵.۳) بررسی می‌شود.

شاخص انتشار نیروگاه‌های برق‌آبی نشان می‌دهد که به‌ازای هر کیلووات ساعت برق تولیدی از این نوع نیروگاه‌ها، تنها ۶/۶ گرم CO_2 منتشر می‌شود. (به‌استثنای سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷) افزون بر شاخص انتشار بسیار پایین، این نیروگاه‌ها دارای مزیت‌هایی هستند؛ مانند: عمر طولانی (۱۰۰ سال و بالاتر؛ عمر نیروگاه‌های حرارتی حدود ۳۰ سال است)، راندمان نسبی بالاتر از نیروگاه‌های حرارتی، پایین بودن هزینه‌ی نگه‌داری، تجدیدپذیری منابع مصرفی آن، کنترل و مهار سیلاب‌های مخرب، کنترل فرکانس شبکه، بهره‌برداری چندمنظوره از منابع آبی، در دسترس بودن تکنولوژی‌های مربوط به آن و وجود پتانسیل‌های بسیار انرژی برق آبی در کشور. برق تولید این نیروگاه‌ها از ۴۹۴۳ میلیون کیلووات ساعت در سال ۱۳۷۸ به ۱۷۹۸۷ میلیون کیلووات ساعت در سال ۱۳۸۶ رسیده‌است. اما، به‌علت کاهش بارش باران در سال ۱۳۸۷، تنها ۴۷۵۳/۱۶ میلیون کیلووات ساعت برق به‌وسیله‌ی نیروگاه‌های آبی تولید شده‌است.

انتشار CO_2ی ناشی از سوخت مصرفی نیروگاه‌ها

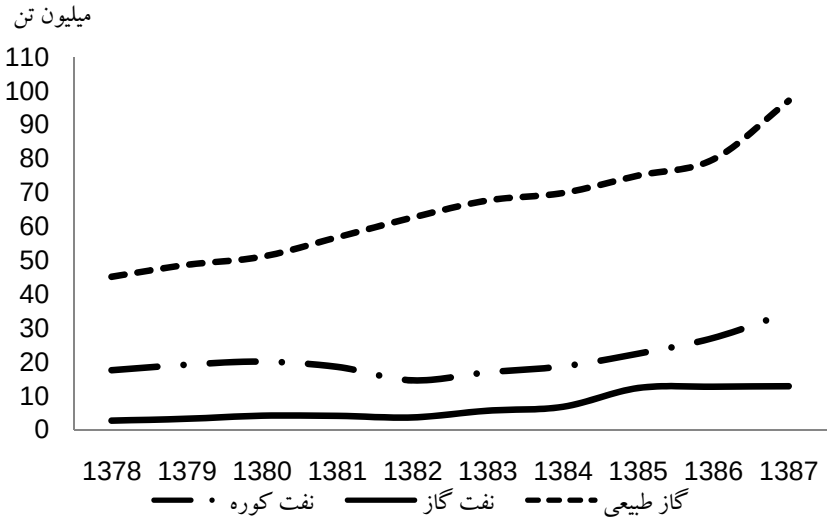
نمودار (۱) روند تغییر انتشار CO_2 از سوخت مصرفی در بخش نیروگاهی را در دوره‌ی ۸۷-۱۳۷۸ نشان می‌دهد. انتشار CO_2 از گاز طبیعی، نفت کوره و نفت گاز رشد متوسطی به ترتیب برابر با ۸/۹۷، ۸/۸۲ و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1389.1.1.6.0]

۲۱/۱۶ درصد در دوره‌ی بررسی شده داشته‌است. همان‌طور که از نمودار۱ مشخص است، انتشار ناشی از گاز طبیعی همواره رو به رشد بوده، درحالی‌که انتشار مربوط به نفت گاز و نفت کوره در برخی سال‌ها روندی کاهشی داشته و دلیل آن مصرف کم‌تر این سوخت‌ها در بخش نیروگاهی است.

با توجه به تغییر در ضرایب انتشار تأیید شده‌ی سازمان حفاظت محیط‌زیست بر اساس دستورالعمل هیأت بین دول تغییر آب و هوا در سال ۲۰۰۶ (IPCC)[1]، بخشی از تغییرات در انتشار در دو سال ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ مربوط به‌این تغییر است. هریک از انواع نیروگاه‌های حرارتی می‌توانند با هر ترکیبی از سوخت‌های مصرفی خود، برق تولید کنند. برای نمونه، نیروگاه‌های بخاری که از هر سه نوع سوخت استفاده می‌کنند، می‌توانند برای تولید برق تنها از دو یا حتی یک نوع سوخت نیز استفاده کرده، به‌طوری‌که اگر از سه نوع سوخت استفاده کنند، به ازای هر مگاوات ساعت برق تولیدی این نیروگاه ۰/۴ لیتر گازوئیل، ۲۰۱ مترمکعب گاز طبیعی و ۵۸ لیتر نفت کوره مصرف خواهد شد. اگر از دو نوع سوخت استفاده کنند، به ازای هر مگاوات ساعت برق تولیدی ۲۰۲ مترمکعب گاز طبیعی و ۵۹ لیتر نفت کوره و در صورتی که تنها از گاز طبیعی استفاده کنند، حدود ۳۰۰ مترمکعب گاز طبیعی مصرف خواهند کرد. (صمدی، سهراب؛ ۱۳۸۶)

نمودار ۱- روند انتشار CO_2 از سوخت‌های مصرفی بخش نیروگاهی



مأخذ: براساس داده‌های ترازنامه‌ی انرژی، سال‌های مختلف

1 - Intergovernmental Panel On Climate Change

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1389.1.1.6.0]

تجزیه‌ی انتشار و شاخص انتشار CO_2

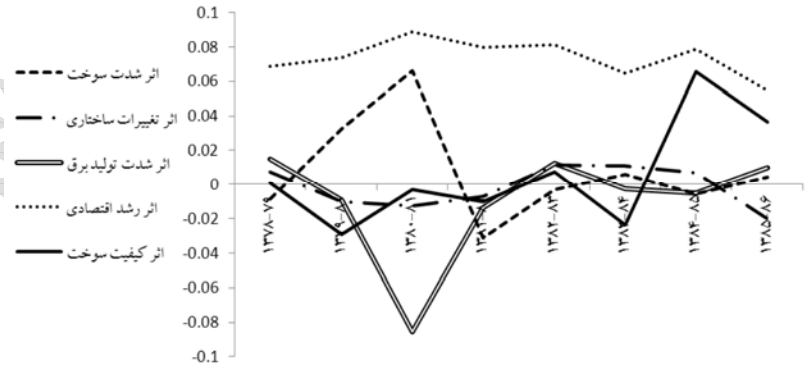
مقدار انتشار CO_2 ی بخش نیروگاهی از ۶۵/۸۴۹ میلیون تن در سال ۱۳۷۸ به ۱۴۷/۰۳۲ میلیون تن در سال ۱۳۸۷ افزایش یافته‌است. یعنی، رشد متوسطی معادل با ۹/۴۹ درصد در سال داشته‌است. جدول (۲) میزان تأثیر عوامل مختلف را بر تغییرانتشار CO_2 در سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۶ به‌صورت سالانه نشان می‌دهد. نتایج به‌دست آمده برای کل دوره نیز در جدول آمده‌است.

جدول ۲- تجزیه‌ی عوامل مؤثر بر رشد انتشار CO_2 از بخش نیروگاهی (واحد: تن CO_2)

دوره	اثرِ FQE	اثرِ EGE	اثرِ EIE	اثرِ GSE	اثرِ FIE
۱۳۷۸-۷۹	۱	۱	۱	۱	۱
۱۳۷۹-۸۰	۰/۹۷۰	۱/۰۰۵	۰/۹۷۶	۰/۹۸۲	۱/۰۴۲
۱۳۸۰-۸۱	۰/۹۹۶	۱/۰۲۰	۰/۸۹۹	۰/۹۸۰	۱/۰۷۵
۱۳۸۱-۸۲	۰/۹۸۹	۱/۰۱۱	۰/۹۷۱	۰/۹۸۶	۰/۹۷۸
۱۳۸۲-۸۳	۱/۰۰۷	۱/۰۱۳	۰/۹۹۸	۱/۰۰۴	۱/۰۰۶
۱۳۸۳-۸۴	۰/۹۷۵	۰/۹۹۶	۰/۹۸۲	۱/۰۰۴	۱/۰۱۵
۱۳۸۴-۸۵	۱/۰۶۵	۱/۰۱۰	۰/۹۸۰	۰/۹۹۹	۱/۰۰۳
۱۳۸۵-۸۶	۱/۰۳۶	۰/۹۸۶	۰/۹۹۵	۰/۹۷۳	۱/۰۱۳
۱۳۷۸-۸۶	۱/۰۴۶	۱/۵۲۱	۰/۹۰۵	۱/۰۰۱	۱/۰۰۵

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نمودار (۲) میزان تأثیرگذاری عوامل مختلف در رشد انتشار CO_2 ی بخش نیروگاهی



مأخذ: یافته‌های تحقیق

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1389.1.1.6.0]

محور عمودی میزان تغییرات در انتشار CO_2 ی بخش نیروگاهی را نشان می‌دهد ($Ln(C_t/C_{t-1})$) که بدون واحد است، به‌طوری‌که تغییرات در انتشار به پنج اثرِ مختلف تفکیک شده است. محور افقی نیز دوره‌های سالانه را نشان می‌دهد.

برای مقایسه و تحلیل دقیق‌تر تغییرات انتشار، نتایج داده شده در جدول (۲) به شکل شاخص (سال ۱۳۷۸=۱/۰) بیان شده‌اند؛ در نمودار (۲) از ارقام واقعی استفاده شده‌است. همان‌طورکه جدول (۲) نشان می‌دهد، رشداقتصادی (EGE)، به‌جز دوره‌های ۸۴-۱۳۸۳ و ۸۶-۱۳۸۵، همواره تأثیری مثبت بر افزایش انتشار CO_2 ی بخش نیروگاهی داشته‌است (EGE بزرگ‌تر از واحد است). این موضوع گواه آن است که رشد تولید برق با رشد GDP همبستگی مثبت دارد. با این‌که اثرِ رشد اقتصادی (EGE) برای هر سال به‌تنهایی چندان نیست؛ اما، برای کل دوره‌ی بررسی شده تأثیری به‌سزا در رشد انتشار CO_2 ی بخش نیروگاهی دارد.

شدت سوخت (FIE)، به‌جز دوره‌ی ۸۲-۱۳۸۱، در دیگر سال‌ها اثری مثبت بر انتشار CO_2 داشته‌است؛ اما، میزان این اثر چه برای دوره‌های یک‌ساله و چه برای کل دوره‌ی بررسی، در خور توجه نبوده‌است. مقادیر کوچک‌تر از واحد اثرِ FIE نشان‌دهنده‌ی افزایش در کارایی تولید برق است. همان‌طورکه از جدول مشخص است، به‌جز دوره‌ی ۸۲-۱۳۸۱، کارایی سوخت در تولید برق کاهش یافته‌است.

بررسی داده‌های این مطالعه بیان‌گر این است که تغییر در ترکیب سوخت نیروگاه‌ها تولید برق به‌ازای هر واحد سوخت مصرفی را کاهش می‌دهد. اثرِ شدت انرژی برق (EIE) برای کل سال‌های بعد از ۱۳۷۸ و همچنین، برای کل دوره‌ی بررسی شده، همواره اثری کاهشی بر رشد انتشار CO_2 داشته‌است. مقادیر کوچک‌تر از واحدِ اثرِ EIE نشان‌دهنده‌ی بهبود کارایی تولید برق از سوخت‌های سنگواره‌ای است. به‌طوری‌که به ازای هر واحد برق تولیدی، ارزش افزوده‌ی بیشتری به‌وجود آمده‌است. این اثر در دوره ۸۱-۱۳۸۰ در خور توجه‌است.

اثرِ ساختار تولید (GSE)، همراه با نوسان‌هایی بوده، به‌طوری‌که برای دوره‌های ۸۴-۱۳۸۲ بزرگ‌تر از واحد و تأثیری فزاینده در رشد انتشار CO_2 ی بخش نیروگاهی داشته‌است. اما، برای دوره‌های دیگر، تأثیری کاهشی بر انتشار CO_2 گذاشته است. مقادیر نزدیک به واحد این اثر، نمایان‌گر تأثیر نه‌چندان زیاد آن بر تغییرات به‌وجود آمده در انتشار CO_2 است. تغییر در ترکیب انواع سوخت، به‌خصوص به علت افزایش استفاده از نفت گاز و گاز طبیعی در نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی، به‌طورکلی نتوانسته از رشد انتشار CO_2 به‌کاهد. بلکه، برای کل دوره‌ی مطالعه شده، تأثیری مثبت بر افزایش انتشار CO_2 داشته‌است.

در دوره‌ی بررسی، مصرف نفت‌گاز و گازطبیعی در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی به‌ترتیب رشدی برابر با ۶۲/۲ و ۲۲/۶ درصد و برای نیروگاه‌های گازی به‌ترتیب رشدی معادل با ۱۹/۸ و ۱۱ درصد داشته‌است. همان‌طورکه بیان شد، این تغییر در ترکیب سوخت، افزایش کارایی تولید را سبب نشده‌است بلکه انتشار CO_2 ی کل دوره را افزایش داده است. یکی از دلایل افزایش انتشار CO_2 در سال‌های اخیر، تغییردر کیفیت

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1389.1.1.6.0]

سوخت (FQE) بوده‌است. با توجه به تغییرات در ضرایب انتشار تأیید شده از سوی سازمان حفاظت محیط‌زیست که بر اساس دستورالعمل هیأت بین دول تغییر آب‌وهوایی (IPCC) سال ۲۰۰۶ تدوین شده‌است، بخش اعظم افزایش در اثرِ FQE، از سال ۱۳۸۵ به‌بعد، مربوط به تغییرات در ضرایب انتشار است.

برای کل دوره‌ی مورد بررسی شده، اثرِ رشد اقتصادی (EGE) بیشترین تأثیر را بر افزایش انتشار CO_2ی بخش نیروگاهی داشته (۱/۵۲۱)است. سپس، اثرِ کیفیت سوخت (FQE)، اثرِ شدت سوختی (FIE) و اثرِ ساختاری (GSE) تأثیری مثبت بر رشد انتشار CO_2 از این بخش داشته‌است.

افزایش در رشداقتصادی که یکی از اهداف سیاستگذاران اقتصادی است، همواره بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش انتشار در اقتصاد داشته‌است؛ اما، بااین‌وجود اقداماتی برای کاهش این اثر در بسیاری از کشورها انجام گرفته‌است. مالیات کربن و مالیات انرژی از این قبیل اقدامات‌است. تغییر در ترکیب سوختی، به‌نحوی که بر کارایی تولید برق بیفزاید، باعث کاهش اثرِ FIE را کاهش داد.

نفت‌کوره و نفت‌گاز با این‌که ارزش حرارتی خالص بیشتری نسبت به گازطبیعی دارند (ارزش حرارتی نفت کوره ۹۷۹۰ و ارزش حرارتی نفت گاز ۹۲۳۲ کالری در لیتر و ارزش حرارتی گاز طبیعی بین ۸۵۵۰ تا ۸۷۶۳ کالری در متر مکعب است)؛ اما، به علت ضریب بالای انتشار CO_2، بیش‌ترین تأثیر را در رشد انتشار CO_2ی بخش نیروگاهی داشته‌است. بهترین اقدام برای کاهش انتشار از بخش نیروگاهی، توسعه‌ی نیروگاه‌های باسوخت تجدیدپذیر و برق آبی است که با وجود کارایی بالای تولید برق، شاخص انتشارCO_2ی بسیار پایینی دارند. همان‌طورکه (بخش ۱.۵) بیان شد، از میان نیروگاه‌های حرارتی، نیروگاه سیکل ترکیبی کم‌ترین شاخص انتشار CO_2را دارد. پس، برای کاهش اثرِ GSE، راه‌اندازی نیروگاه‌های سیکل ترکیبی (به‌جای دیگر نیروگاه‌های حرارتی) مفیدتر خواهد بود. با افزایش احداث نیروگاه‌های سیکل ترکیبی به نفع کاهش اثرِ ساختاری (GSE) در انتشار CO_2، می‌توان اقدامی مثبت برای کاهش انتشار CO_2 از بخش نیروگاهی انجام داد. برق تولیدی از سوخت هسته‌ای نیز به‌عنوان سوخت پاک و بدون انتشار گاز گلخانه‌ای، می‌تواند از انتشار سهم بزرگی از CO_2ی نیروگاهی به‌کاهد.

جدول (۳) نتایج به‌دست آمده از تجزیه‌ی شاخص انتشار دی‌اکسیدکربن برای دو دوره‌ی پنج ساله (۸۲-۱۳۷۸ و ۸۷-۱۳۸۳) و برای کل دوره‌ی بررسی شده‌ی (۸۷-۱۳۷۸) را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که اثرِ ساختار (ترکیب) سوختی (FME) در دوره‌ی ۸۲-۱۳۷۸ بسیار کوچک بوده است که دلیلی بر کاهش شاخص انتشار در این دوره به شمار می‌آید و در دوره‌ی پنج ساله‌ی دوم و در کل دوره‌ی بررسی شده اثر غالبی بر افزایش شاخص انتشار CO_2 در بخش نیروگاهی داشته‌است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1389.1.1.6.0]

جدول ۳- تجزیه‌ی شاخص انتشار CO_2 از بخش نیروگاهی (تن بر کیلووات ساعت)

دوره	FME	TEE
۱۳۷۸-۸۲	۰/۵۹۸	۰/۹۵۶
۱۳۸۳-۸۷	۱/۴۹	۱/۲۸
۱۳۷۸-۸۷	۱/۵۳۴	۰/۹۸۶

مقادیر سال ۱۳۷۸ به عنوان شاخص برابر با واحد در نظر گرفته شده است.

اثرِ بازده حرارتی نیز در دوره‌ی ۸۲-۱۳۷۸ و در کل دوره‌ی بررسی شده کوچک‌تر از واحد بوده که نشان‌گر اثرِ کاهشی آن بر شاخص انتشار CO_2 نسبت به سال پایه‌ی (۱۳۷۸) است. اثرِ بازده حرارتی (TEE) طی دوره‌ی پنج ساله‌ی دوم، شاخص انتشار را افزایش داده است. افزایش در بازده حرارتی به معنی افزایش حرارت (کیلوکالری) به‌وجود آمده به‌ازای یک واحد تولید برق است. فرمول استفاده شده برای بررسی راندمان هر نیروگاه به‌صورت زیر است:

$$\text{راندمان (درصد)} = \frac{860}{\text{بازده حرارتی}} \times 100 \qquad (۱-۳-۵)$$

بنابراین، افزایش در بازده حرارتی به معنی کاهش در راندمان هر نیروگاه است. (آمار تفصیلی صنعت برق ایران)

٦. نتیجه‌گیری

نظربه اهمیت انتشار ناشی از سوخت‌های سنگواره‌ای در بخش نیروگاهی و روند فزاینده‌ی استفاده از این سوخت‌ها برای تأمین نیروی برق مورد نیاز کشور، این مطالعه به تحلیل عوامل مؤثر بر رشد انتشار CO_2ی ناشی از سوخت‌های سنگواره‌ای استفاده شده در بخش نیروگاهی پرداخته‌است. عوامل بالقوه‌ای که انتشار CO_2ی بخش نیروگاهی را تغییر می‌دهد؛ شامل تغییرات در تقاضای برق، ساختار تولید نیرو (تغییردر سهم انواع منابع سوخت برای تولید نیرو)، شدت سوختِ تولید نیرو (تغییردر کارایی تولید برق) و کیفیت سوخت (مقدار کربن منتشر شده از هر نوع سوخت) است. افزایش در نیاز به تولید برق به‌طور مستقیم با رشد تقاضای برق همبسته بوده که در اصل متأثر از رشد اقتصادی و شدت انرژی برق است. (شرستا و همکاران، ۲۰۰۹)

در این مطالعه برای تجزیه‌ی تغییرات در انتشار CO_2 و همچنین، تجزیه‌ی شاخص انتشار CO_2 برای بخش نیروگاهی از تکنیک تجزیه‌ی شاخص دیویژیا میانگین لگاریتمی (LMDI) استفاده شد. نتایج تجزیه‌ی انتشار بخش نیروگاهی نشان داد که به‌جز اثرِ شدت انرژی برق، دیگر عوامل بررسی شده، در اکثر دوره‌ها، انتشار CO_2ی این بخش را افزایش داده است. برای کل دوره‌ی بررسی شده، رشد اقتصادی بیش‌ترین تأثیر را در انتشار CO_2 دارد. اثرِ کیفیت سوخت، اثرِ شدت سوخت و اثرِ تغییرات ساختاری نیز تأثیری مثبت بر انتشار

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1389.1.1.6.0]

CO_2 ی بخش نیروگاهی در کل دوره‌ی بررسی شده داشته‌است. نتایج تجزیه‌ی شاخص انتشار CO_2 نشان می‌دهد که اثرِ ساختار (ترکیب) سوختی به‌خصوص از سال ۱۳۸۳ به بعد، بیشترین تأثیر را در افزایش این شاخص دارد. با این‌که اثرِ بازده حرارتی نیز در این دوره بر رشد شاخص انتشار CO_2 ی بخش نیروگاهی مؤثر بوده؛ اما، در مجموع و در کل دوره‌ی بررسی تأثیری قابل توجه‌ای بر افزایش این شاخص نداشته‌است.

راه‌کارهایی برای کاهش عوامل مؤثر بر افزایش انتشار CO_2 پیشنهاد شده‌است. مالیات کربن و مالیات انرژی از این قبیل اقدامات است. هرچند، در ایران تاکنون از این گونه اقدامات صورت نگرفته‌است؛ اما، به‌تازگی در ماده ۳۸ قانون مالیات بر ارزش افزوده برای واحدهای آلاینده محیط‌زیست یک درصد مالیات اضافی در نظر گرفته شده که شاید تأثیری مثبت در کاهش اثرِ EGE داشته باشد. ترویج و توسعه‌ی فناوری‌های بزرگ مقیاسِ تولید نیرو (با سوخت پاک) از جمله کارهایی است که دولت می‌تواند برای کاهش انتشار بخش نیروگاهی انجام دهد. برای اقدامات برای کاهش انتشار، توجه به اثرات FIE و GSE ضروری است. ترویج و توسعه‌ی فناوری‌های بزرگ مقیاس تولید نیرو (با سوخت پاک)، برقراری مالیات کربن و مالیات انرژی، توسعه‌ی نیروگاه‌های تجدیدپذیر و برق‌آبی و احداث نیروگاه‌های سیکل ترکیبی بجای دیگر نیروگاه‌های حرارتی از آن جمله است.

منابع

بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران (سال‌های مختلف) حساب‌های ملی ایران، اداره حساب‌های اقتصادی.

سهراب، تیکا؛ کرباسی، عبدالرضا و صمدی، رضا (۱۳۸۴)، بررسی وضعیت استقرار نیروگاه‌های حرارتی کشور با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، پنجمین همایش ملی انرژی، کمیته‌ی ملی انرژی جمهوری اسلامی ایران، معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو، تهران.

حیدری، ابراهیم (۱۳۸۴)، پیش‌بینی تقاضای انرژی در اقتصاد ایران بر اساس روش تجزیه، مجله‌ی تحقیقات اقتصادی، شماره‌ی ۶۹، صفحات ۲۷-۵۶.

شریفی، علی‌مراد؛ صادقی، مهدی؛ نفر، مهدی و دهقان شبانی، زهرا (۱۳۸۷)، تجزیه شدت انرژی در صنایع ایران، فصلنامه‌ی پژوهش‌های اقتصادی ایران، سال دهم، شماره‌ی ۳۵، صفحات ۷۹-۱۱۰.

صادقی، مهدی؛ گل‌آور، لیلا و عابدی، زهرا (۱۳۸۶)، بررسی پیامدهای اقتصادی-زیست‌محیطی افزایش بازده نیروگاه‌های برق فسیلی، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره‌ی نهم، شماره‌ی چهارم، صفحات ۱۵-۳۰.

صمدی، رضاو سهراب، تیکا (۱۳۸۶)، تهیه مدل محیط زیستی جهت استقرار نیروگاه‌های حرارتی در کشور، محیط شناسی، سال ۳۳، شماره‌ی ۴۴، صفحات ۷۳-۸۲.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1389.1.1.6.0]

فطرس، محمد حسن (۱۳۸۸)، مباحثی از اقتصاد محیط‌زیست: مجموعه مقالات، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، همدان، چ. ۲.

مرزبان، حسین اکبریان و محمدرضا قاسمی، علی (۱۳۸۴)، بررسی تقاضا برای انواع سوخت و جایگزینی بین آنها در نیروگاه‌های حرارتی تولید برق کشور(تابعه وزارت نیرو) (۱۳۵۳-۱۳۸۰)، فصلنامه‌ی پژوهشنامه‌ی اقتصادی، شماره‌ی ۱۶، صفحات ۵۱-۷۳.

وزارت نیرو(سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۷)، آمار تفصیلی صنعت برق ایران، شرکت مادر تخصصی توانیر، تهران.

وزارت نیرو(سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۷)، ترازنامه انرژی، دفتر برنامه‌ریزی معاونت امور انرژی، تهران.

Ang B.W. (1994); Decomposition of Industrial Energy Consumption: the Energy Intensity Approach, Energy Economics; 16(3), pp 163–74.

Ang, B.W. (2004); Decomposition Analysis for Policy Making in Energy: Which is the Preferred Method? Energy Policy 32, pp 1131–1139.

Ang BW; Lee SY (1994); Decomposition of Industrial Energy Consumption: Some Methodological and Application Issues, Energy Economics; 16(2), pp 83–92.

Ang, B.W.; Liu, F.L. (2001); A new Energy Decomposition Method: Perfect in Decomposition and Consistent in Aggregation, Energy 26, pp 537–54.

Ang, B.W.; Liu, N. (2007a); Handling Zero Values in the Logarithmic Mean Divisia Index Decomposition Approach, Energy Policy35, pp 238–246.

Ang, B.W.; Liu, N. (2007b); Negative-Value Problems of the Logarithmic Mean Divisia Index Decomposition Approach Energy Policy 35, pp 739–742.

Ang, B.W.; Zhang, F.Q. (2000); A Survey of Decomposition Analysis in Energy and Environmental Studies, Energy 25, pp 1149–1179.

Ang, B.W.; Zhang, F.Q.; Choi, K.H. (1998); Factorizing Changes in Energy and Environmental Indicators through Decomposition, Energy 23 (6), 489–495.

Chung, H.-S.; Rhee, H.C. (2001); A Residual-free Decomposition of the Sources of Carbon Dioxide Emissions: a Case of the Korean Industries, Energy 26, pp 15–30.

Diakoulaki, D.; Mavrotas, G.; & Orkopoulos, D. & Papayannakis, L. (2006); A Bottom-up Decomposition Analysis of Energy-related CO2 Emissions in Greece, Energy 31, pp 2638–2651.

Esty, D. C. Srebotnjak, T. Kim, H. Cheristine & Mara, V. & Sherbinin, A. D. & Levy, M. A. & Jaiteh, M. & Anderson, B. , Pilot (2006, 2008, 2010) Environmental Performance Index, New Haven. , Yale Center for Environmental Law & Policy; Yale University; http://epi.yale.edu and Center for International Earth Science Information Network, Columbia University http://ciesin.columbia.edu.

Lenzen, M. (2006); Decomposition Analysis and the Mean-rate-of-change Index, Applied Energy 83, pp 185–198.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1389.1.1.6.0]

Liu XQ; Ang BW; Ong HL (1992); The Application of the Divisia Index to the Decomposition of Changes in Industrial Energy Consumption, The Energy Journal; 13(4), pp 161–77.

Malla, S. (2009); CO2 Emissions from Electricity Generation in Seven Asia-Pacific and North American Countries: A Decomposition Analysis, Energy Policy, 37, pp 1–9.

Rhee, H.-C.; Chung, H.-S., (2006); Change in CO2 Emission and its Transmissions between Korea and Japan Using International Input–Output Analysis, Ecological Economics 58, pp 788–800.

Shrestha, R.M.; Anandarajah, G.; Liyanage, M.H. (2009); Factors Affecting CO2 Emissions from the Power Sector of Selected Countries in Asia and the Pacific, Energy Policy 37, pp 2375–2384.

Shrestha, R.M.; Timilsina, G.R., (1996); Factors Affecting CO2 Intensities of Power Sector in Asia: A Divisia Decomposition Analysis, Energy Economics 18, pp 283–293.

Shrestha, R.M.; Timilsina, G.R., (1998); A Divisia Decomposition Analysis of NOx Emission Intensities for the Power Sector in Thailand and South Korea, Energy Vol 23, No 6, pp 433–438.

Steenhof, P.A. (2007); Decomposition for Emission Baseline Setting in China's Electricity Sector, Energy Policy, 35, pp 280–294.

Wood, R.; Lenzen, M. (2006); Zero-value Problems of the Logarithmic Mean Divisia Index Decomposition Method, Energy Policy 34, pp 1326–1331.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1389.1.1.6.0]