

تجزیه‌ی انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از مصرف انرژی به بخش‌های اقتصادی ایران؛ یک تحلیل تجزیه‌ی شاخص

محمد حسن فطرس*

دانشیار دانشکده‌ی اقتصاد و علوم اجتماعی دانشگاه بوعلی‌سینا همدان fotros@basu.ac.ir

جواد براتی

کارشناس ارشد اقتصاد توسعه و برنامه ریزی دانشکده‌ی اقتصاد و علوم اجتماعی دانشگاه بوعلی‌سینا

همدان j_baraty@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۸۹/۵/۲ تاریخ پذیرش: ۸۹/۹/۱۸

چکیده

هدف این مطالعه، تحلیل عواملی است که تغییر در سطح و شدت انتشار CO_2 ناشی از مصرف انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. برای بررسی چهار عامل اثرگذار بر انتشار CO_2 یعنی، فعالیت اقتصادی، تغییرات ساختاری، ضریب انتشار CO_2 و شدت انرژی، از تحلیل تجزیه‌ی شاخص (IDA) استفاده شده است. با توجه به تفاوت میزان این اثرگذاری‌ها در هر یک از بخش‌ها، اقتصاد به پنج بخش مجزا (خانگی-عمومی-تجاری، صنعت، حمل و نقل، کشاورزی و دیگر بخش‌ها)، تفکیک شده است. دوره‌ی زمانی مورد مطالعه ۱۳۷۶-۱۳۸۶ می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند که رشد اقتصادی بزرگ‌ترین اثر مثبت را بر تغییرات انتشار CO_2 در تمام بخش‌های مورد بررسی، به‌جز بخش صنعت و حمل و نقل و در کل اقتصاد داشته است. تغییرات ساختاری در دو بخش صنعت و حمل و نقل، اثر غالب را بر افزایش انتشار CO_2 داشته است. شدت انرژی اثری نسبتاً بزرگ بر تغییر انتشار CO_2 در بخش خانگی-عمومی داشته است. درحالی‌که اثر آن در چهار بخش دیگر کوچک و گاه حتی منفی بوده است. اثر تغییر در ضریب انتشار CO_2 نیز به‌جز در دیگر بخش‌ها (نیروگاهی، پالایشگاهی و ...) در چهار بخش دیگر اقتصادی، کوچک بوده است. تجزیه‌ی شدت انتشار CO_2 نشان داده که حدود ۸۲ درصد از تغییر در شدت انتشار CO_2 در اثر تغییرات ساختاری بوده است.

طبقه‌بندی JEL: Q41, Q43, O13, O33, C43, Q56

کلید واژه: تکنیک تجزیه‌ی شاخص، انتشار CO_2 ، مصرف انرژی، شدت انرژی.

* نویسنده‌ی مسئول

۱- مقدمه

روند کنونی افزایش مصرف انرژی در جهان، بشر را با دو بحران بزرگ روبرو کرده است. نخست، آلودگی محیط زیست در اثر سوزاندن سوخت‌های سنگواره‌ای و دوم، شتاب در جهت به پایان بردن این منابع است. تأمین انرژی، از پیش‌نیازهای اساسی رشد اقتصادی و بهبود کیفیت زندگی بشر است. روند صعودی مصرف انرژی در جهان، که با وقوع انقلاب صنعتی در اواسط قرن هجدهم میلادی آغاز شد، همچنان ادامه دارد (فطرس، ۱۳۸۵). در مقابل، آلاینده‌های ناشی از احتراق و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در اتمسفر و پیامدهای آن، جهان را با تغییرات برگشت ناپذیر و تهدیدآمیزی مواجه ساخته است. افزایش دمای کره‌ی زمین، تغییرات آب و هوایی و بالا آمدن سطح دریاها، از جمله‌ی این پیامدها محسوب می‌شوند. از سوی دیگر، اتمام قریب الوقوع منابع فسیلی و پیش‌بینی افزایش قیمت آن، سیاست‌گذاران را به تدوین موازین و سیاست‌هایی برای کنترل محیط زیست و پژوهش‌گران را به توسعه‌ی منابع با آلودگی کم‌تر و تجدیدپذیر که توان بالقوه‌ای برای جانشینی با سیستم انرژی کنونی دارند، تشویق می‌کند. طی دو دهه‌ی گذشته، یافته‌های جامعه‌ی علمی درباره‌ی افزایش انتشار CO₂ مرتبط با انرژی، آگاهی بین‌المللی را افزایش داده است. بسیاری از دانشمندان و گروه‌های زیست محیطی تلاش می‌کنند تا اهدافی را برای کاهش انتشار CO₂ و ارائه‌ی اطلاعات پایه‌ای در جهت اعمال سیاست‌های بین‌المللی به سوی تغییر اقلیم جهانی، شناسایی کنند.

از اواخر دهه‌ی ۱۹۸۰، گرم شدن کلی زمین جزء موضوعات جدی و مورد بحث جهانی شده است. کشورهای در حال توسعه سهمی افزایشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای را دارا هستند. در سال ۲۰۰۴، حدود ۴۲ درصد انتشار CO₂ وابسته به انرژی، به این کشورها مربوط بوده است. این سهم در سال ۱۹۹۰ حدود ۲۰ درصد بوده است. بنابر پیش‌بینی‌ها، تا سال ۲۰۳۰ بیش از نیمی از کل انتشار دی‌اکسیدکربن در کشورهای در حال توسعه ایجاد خواهد شد. جمهوری اسلامی ایران جزء ۳۰ کشور بزرگ منتشرکننده‌ی دی‌اکسیدکربن در دنیا است. در سال ۲۰۰۴ حدود ۱/۵ درصد انتشار CO₂ جهان به ایران اختصاص داشت. ایران در این سال بین ۳۰ کشور بعد از مالزی،

تایلند، امارات متحده‌ی عربی، الجزایر، مصر و چین بیش‌ترین میزان رشد را در انتشار گاز CO₂ داشته است (HDI, 2008).^۱

عوامل بسیاری انتشار CO₂ را تحت تأثیر قرار می‌دهند که از میان آن‌ها می‌توان رشد اقتصادی و جمعیتی^۲، تغییرات فنی، چارچوب‌های نهادی، سبک زندگی و تجارت بین‌المللی را نام برد. برای سیاست‌گذاران زیست محیطی و انرژی، بسیار لازم است تا نقش عوامل محرک در هدایت سطوح انتشار CO₂ را شناسایی کنند. با توجه به تفاوت این عوامل در میان بخش‌های مختلف اقتصادی، بررسی اثرات آن‌ها بر تغییرات بخشی انتشار CO₂ ضروری است. برای شناسایی و تحلیل عواملی که در تغییر انتشار CO₂ در ایران مشارکت دارند، در این مطالعه از تکنیک تجزیه استفاده می‌شود.

در این مطالعه، اقتصاد به پنج بخش مجزای (الف) خانگی، عمومی و تجاری، (ب) صنعت، (پ) حمل و نقل، (ت) کشاورزی و (ث) دیگر بخش‌ها تقسیم شده است. همچنین، چهار اثر مختلف (۱) فعالیت اقتصادی، (۲) تغییرات ساختاری، (۳) شدت انرژی و (۴) ضریب انتشار CO₂ بر روی انتشار CO₂ مرتبط با هر بخش، بررسی می‌شود.

سازمان دهی مقاله به این ترتیب است که در بخش دوم، مبانی نظری تحقیق و مروری بر مطالعات انجام شده در داخل و خارج از کشور بیان شده است. بخش سوم، روش شناسی تحقیق را ارائه می‌دهد. بخش چهارم، به بیان داده‌ها و تحلیل نتایج و یافته‌های مطالعه می‌پردازد. در پایان، نتیجه‌گیری آورده شده است.

۲- مبانی نظری و پیشینه‌ی تحقیق

"تحلیل تجزیه‌ی"^۳ یکی از رویکردهایی است که در تحلیل‌های مرتبط با مصرف انرژی و انتشار CO₂ به‌طور گسترده‌ای به‌کار برده می‌شود. در بررسی تجزیه و برای تحلیل عوامل محرک در انتشار CO₂، دو رویکرد متفاوت به‌کار گرفته شده است که یکی، تحلیل تجزیه‌ی ساختاری (جدول داده-ستانده) (SDA)^۴ و دیگری تحلیل تجزیه‌ی شاخص (IDA)^۵ می‌باشد.

1- Human Development Indexes.
2- Demographic.
3- Decomposition.
4- Structural Decomposition Analysis.
5- Index Decomposition Analysis.

این دو تکنیک تجزیه، متفاوتند و هر کدام محاسن و معایبی دارند. تکنیک SDA پیچیده‌تر است و نیاز به داده‌های زیادی دارد. از سوی دیگر، جدول داده-ستانده هر چند سال یک بار تهیه می‌شود و داده‌های سالانه در دسترس نیست. در عوض، با استفاده از تکنیک SDA، اطلاعات و یافته‌های بیش‌تری به دست می‌آید. تکنیک IDA ساده است و نیازمند داده‌های زیادی نیست. با داده‌های کلان قابل استفاده است و نیاز به داده‌های هر بخش یا محصول خاصی ندارد. به این دلیل، تکنیک SDA بیش‌تر مورد استفاده قرار گرفته است. مقایسه‌ی بین تحلیل‌های تجزیه‌ی ساختاری و شاخص در مطالعه‌ی هوکسترا و واندربرگ^۱ (۲۰۰۳) ارائه شده است.

تکنیک IDA، خود به دو روش تقسیم می‌شود. روش IDA برپایه‌ی شاخص لاسپیرز^۲ و روش IDA برپایه شاخص دیویژیا^۳. شاخص IDA لاسپیرز، شامل شاخص لاسپیرز پایه، شاخص پاشه، شاخص فیشر و شاخص مارشال-اچورث^۴ است که همگی بر پایه‌ی شاخص‌های لاسپیرز پایه و پاشه هستند. شاخص IDA دیویژیا نیز شامل شاخص دیویژای میانگین حسابی (AMDI)^۵ و شاخص دیویژای میانگین لگاریتمی (LMDI)^۶ است که توسط انگ و چویی^۷ (۱۹۹۷)، بیان شده و به‌وسیله‌ی انگ^۸ (۲۰۰۵) بسط یافته است. هر کدام از شاخص‌های IDA کاربرد معینی دارند و برای استفاده‌ی خاص به کار می‌روند. از بین این شاخص‌ها تنها دو شاخص IDA لاسپیرز و IDA دیویژای میانگین لگاریتمی هستند که در تمام موارد قابل استفاده‌اند و نتایج مشابهی نیز به دست می‌دهند. این دو روش (از IDA) نیز مزایا و معایبی دارند. استفاده از این دو روش به تعداد عوامل مورد بررسی و هم‌چنین به شکل و نوع داده‌ها بستگی دارد. در مقایسه‌ی بین دو روش IDA لاسپیرز و IDA دیویژای میانگین لگاریتمی، اگر عدد صفر در بین داده‌های مورد استفاده نباشد، استفاده از روش IDA دیویژای میانگین لگاریتمی ممکن است. هر چند که روش IDA لاسپیرز نیز همواره قابل استفاده است، اما پیچیده‌تر از روش IDA دیویژای میانگین لگاریتمی می‌باشد. (انگ و ژنگ^۹، ۲۰۰۰).

1- Hoekstra & Van Den Bergh.

2- Laspeyres IDA.

3- Divisia IDA.

4- basic Laspeyres index, Paasche index, Fisher ideal index and Marshall-Edgeworth index.

5-Arithmetic Mean Divisia Index.

6-Logarithmic Mean Divisia Index.

7- Ang & Choi.

8- Ang, B.W.

9- Ang, B.W. & Zhang.

رویکرد تجزیه‌ی لاسپیرز همواره دارای پسماندهایی است که می‌تواند مقادیر قابل توجهی داشته باشد. رویکرد تجزیه‌ی لاسپیرز با توجه به همین پسماندها، نتایجی را ارائه می‌دهد. تکنیک IDA لاسپیرز توسط سان^۱ (۱۹۹۸) بسط داده شد و پس از آن به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفت.

طی دو دهه‌ی گذشته مطالعات بسیاری با استفاده از تحلیل تجزیه به بررسی تغییر در انتشار CO₂ می‌مرتبط با انرژی پرداخته‌اند که از آن جمله می‌توان انگ و ژنگ (۱۹۹۹)، پائول و باتاچاریا^۲ (۲۰۰۴)، ونگ، چن و زو^۳ (۲۰۰۵)، ژنگ و همکاران^۴ (۲۰۰۹)، ژنگ (۲۰۰۹)، تانک و همکاران^۵ (۲۰۰۹) را نام برد.

ژنگ و همکاران (۲۰۰۹)، با استفاده از تحلیل تجزیه، به بررسی انتشار CO₂ می‌مرتبط با انرژی در کشور چین پرداختند. آن‌ها از رویکرد تجزیه‌ی لاسپیرز و بازه‌ی زمانی ۱۹۹۱-۲۰۰۶ استفاده کردند تا ماهیت چهار عامل مؤثر در انتشار CO₂ را برای بخش‌های مختلف اقتصاد چین، بررسی کنند. نتایج مطالعه‌ی آن‌ها نشان داد که فعالیت اقتصادی بزرگ‌ترین اثر مثبت را در تغییرات انتشار CO₂ برای تمام بخش‌های عمده‌ی اقتصادی و کل اقتصاد چین داشته است. اثر ضریب انتشار CO₂ و تغییرات ساختاری نسبتاً کوچک بودند. تغییرات ساختاری فقط در بخش کشاورزی اثر مثبت روی کاهش انتشار CO₂ داشت و اثر ضریب انتشار CO₂ نیز تنها در بخش حمل و نقل روی کاهش انتشار CO₂ مؤثر بود.

تانک و همکاران (۲۰۰۹)، با استفاده از رویکرد تجزیه و با به‌کارگیری شاخص دیویزیبای میانگین لگاریتمی، انتشار CO₂ ناشی از مصرف انرژی را برای کشور ترکیه تحلیل کردند. آن‌ها اقتصاد را به سه بخش عمده (کشاورزی، صنعت، خدمات) و منابع انرژی را در چهار گروه (سوخت‌های جامد، مواد نفتی، گاز طبیعی، الکتریسیته) تقسیم کردند و با استفاده از داده‌های ۱۹۷۰-۲۰۰۶ نشان دادند که ترکیب اصلی تعیین‌کننده‌ی تغییرات در انتشار CO₂، فعالیت اقتصادی است. با این‌که تغییرات مهمی در ساختار اقتصادی ترکیه طی دوره‌ی مورد بررسی رخ داده، اما اثر ساختاری، نقش مهمی

1- Sun, J.W

2- Paul & Bhattacharya.

3- Wang et al.

4- Zhang et al.

5- Tunc et al.

در تغییرات انتشار CO₂ نداشته است، هرچند که اثر شدت انرژی نسبتاً با اهمیت بوده است.

پائول و باتاچاریا (۲۰۰۴)، در مطالعه‌ی خود به شناسایی عوامل مختلفی که تغییر در سطح انتشار CO₂ مرتبط با انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، پرداختند. آن‌ها با استفاده از داده‌های ۱۹۸۰-۱۹۹۶ هند و با به‌کارگیری روش تجزیه‌ی شاخص لاسپیرز، چهار عامل مؤثر بر انتشار CO₂ (ضریب آلودگی، شدت انرژی، تغییرات ساختاری، فعالیت اقتصادی) را تحلیل کردند. نتایج نشان داد که رشد اقتصادی بزرگ‌ترین اثر مثبت را بر تغییرات انتشار CO₂ در تمام بخش‌های بزرگ اقتصاد هند داشته است. روند انتشار CO₂ در بخش‌های صنعت و حمل و نقل نشان داد که کارایی انرژی در این بخش‌ها افزایش داشته است؛ بطوری‌که انتشار CO₂ روندی کاهشی داشته است. اثر ضریب آلودگی و شدت انرژی بر انتشار CO₂ در بخش کشاورزی طی دوره‌ی مورد بررسی افزایش داشته است. شدت انرژی در گستره‌ی عظیمی تغییر کرده و اثر بزرگ‌تری بر انتشار CO₂ مرتبط با انرژی نسبت به اثر ضریب آلودگی داشته است.

هاتزیجورجیو و همکاران^۱ (۲۰۰۸)، با استفاده از دو تکنیک متفاوت تجزیه، شاخص دیویزیای میانگین حسابی (AMDI) و شاخص دیویزیای میانگین لگاریتمی (LMDI)، به بررسی و تحلیل انتشار CO₂ مرتبط با انرژی برای کشور یونان پرداختند. با استفاده از داده‌های ۱۹۹۰-۲۰۰۲، تغییرات در انتشار CO₂ را به چهار عامل اثر درآمد، اثر شدت انرژی، اثر سهم سوخت و اثر آلودگی تجزیه کردند. تحلیل آن‌ها نشان داد که بزرگ‌ترین عامل در افزایش انتشار CO₂ یونان، اثر درآمد بوده است. در مقابل، اثر شدت انرژی مهم‌ترین عامل برای کاهش در انتشار CO₂ است.

شرزه‌ای و حقانی (۱۳۸۸)، به بررسی رابطه‌ی علیت بین مصرف انرژی، درآمد ملی و انتشار کربن به همراه عواملی مانند نیروی کار و سرمایه پرداختند. با به‌کارگیری آزمون علیت گرانجر و استفاده از داده‌های سالانه ۱۳۵۳-۱۳۸۴، به این نتیجه رسیدند که رابطه‌ی علیت یک طرفه‌ای از درآمد ملی به مصرف انرژی وجود دارد؛ اما رابطه‌ی علیت میان درآمد و انتشار کربن مورد تأیید قرار نمی‌گیرد. لذا، نتیجه گرفتند که افزایش درآمد ملی طی دوره‌ی مورد مطالعه‌شان تأثیری بر میزان انتشار کربن در ایران نداشته است. علاوه بر این، مصرف انرژی علت افزایش انتشار کربن شناخته شده، در حالی‌که

1- Hatzigeorgiou et al.

انتشار کربن علت افزایش درآمد نبوده است. آن‌ها اظهار کرده‌اند که کارا تر کردن مصرف انرژی و جای‌گزینی سوخت‌های پاک می‌تواند بهترین سیاست برای کاهش تخریب محیط زیست باشد.

صالح و همکاران (۱۳۸۸)، با به‌کارگیری آزمون علیت گرانجر، علیت هیسائو^۱ و روش حداقل مربعات معمولی (OLS)، به بررسی و برآورد رابطه‌ی بین انتشار گاز دی‌اکسید کربن و میزان تولید ناخالص داخلی واقعی ایران طی سال‌های ۱۳۳۹ تا ۱۳۷۸ پرداختند و با استفاده از نتایج به دست آمده، منحنی زیست محیطی کوزنتس در شرایط ایران را تحلیل کردند. نتایج به دست آمده وجود یک رابطه‌ی یک طرفه از حجم گاز دی‌اکسید کربن بر تولید ناخالص داخلی را نشان داده است. از سوی دیگر با توجه به این‌که میزان رشد حجم گاز دی‌اکسید کربن بیش‌تر از میزان رشد تولید ناخالص داخلی است، آن‌ها چنین نتیجه گرفتند که منحنی زیست محیطی کوزنتس در شرایط ایران، فرم مورد انتظار مطرح شده در تحلیل‌های نظری را ندارد. به عبارتی، موقعیت اقتصادی کشور هنوز در شرایطی نیست که بتواند سبب کاهش آلاینده‌های زیست محیطی شود.

رحیمی (۱۳۸۱)، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای متان، اکسید دی‌نیتروژن، NMVOC^۳ (CO₂, CO, ...) در بخش خانگی - تجاری، کشاورزی و حمل و نقل از سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۸ را بر اساس سوخت فسیلی مصرفی برای ایران محاسبه کرده است. هم‌چنین، روند تغییر انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش‌های مطرح شده را بررسی کرد و به این نتیجه رسید که در برخی موارد، کاهش انتشار این گازها نشان‌دهنده‌ی تأثیرگذاری سیاست‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در کشور بوده است.

۳- روش شناسی تحقیق

این مطالعه از تحلیل تجزیه‌ی شاخص، برای محاسبه‌ی (الف) اثر شدت انرژی، (ب) اثر ضریب انتشار CO₂، (پ) اثر تغییرات ساختاری و (ت) اثر فعالیت اقتصادی و تحلیل پنج بخش اقتصادی (۱) خانگی - عمومی - تجاری، (۲) صنعت، (۳) حمل و نقل، (۴) کشاورزی، و (۵) دیگر بخش‌های اقتصادی، استفاده می‌کند. تکنیک مورد استفاده برای

1- Hsiao's Granger Causality.

2 - Ordinary Least Squares.

۳ - ترکیبات آلی فرار به‌جز متان هستند. این عبارت، اصطلاح عمومی برای انواع گوناگون از ترکیبات شیمیایی مختلفی است که مخفف عبارت non-methane volatile organic compounds می‌باشد.

تجزیه، براساس شاخص لاسپیرز می‌باشد که توسط سان (۱۹۹۸) بسط یافته است. برای محاسبه‌ی انتشار CO_2 ، کل بخش اقتصادی مورد نظر، از روش هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم، IPCC^۱ (۱۹۹۵) استفاده می‌شود. میزان انتشار CO_2 بخش‌های اقتصادی به تفکیک خانگی - عمومی - تجاری، صنعت، حمل و نقل، کشاورزی و دیگر بخش‌های اقتصادی (نیروگاهی، پالایشگاهی و ...) توسط وزارت نیرو محاسبه شده و در ترازنامه‌ی انرژی آمده است. در این مطالعه، از این داده‌ها برای انتشار بخش‌های مختلف اقتصادی استفاده می‌شود.

الف) تجزیه‌ی CO_2 ی سرتاسری

انتشار CO_2 به صورت یک اتحاد بسط یافته ی کایا^۲ بیان می‌شود که ابزاری مفید برای تجزیه‌ی کل انتشار کربن ملی است و در رابطه‌ی (۱) نشان داده شده است:

$$CE^t = \sum_i \frac{CE_i^t}{E_i^t} \times \frac{E_i^t}{GDP_i^t} \times \frac{GDP_i^t}{GDP^t} \times GDP^t = \sum_i CI_i^t \times EI_i^t \times ES_i^t \times G^t$$

در آن:

CE^t ، انتشار کل CO_2 از تمام بخش‌های اقتصاد در زمان t است؛

CE_i^t ، انتشار کل CO_2 بخش i ام در سال t است؛

E_i^t ، مصرف کل انرژی توسط بخش i ام در سال t است؛

GDP_i^t ، ارزش افزوده‌ی بخش i ام در سال t است؛

GDP^t ، ارزش افزوده در سال t می‌باشد؛ و همچنین

$CI_i^t = \frac{CE_i^t}{E_i^t}$ ، ضریب انتشار CO_2 ی بخش i ام در سال t است؛

$EI_i^t = \frac{E_i^t}{GDP_i^t}$ ، شدت انرژی بخش i ام در سال t است؛

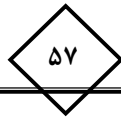
$ES_i^t = \frac{GDP_i^t}{GDP^t}$ سهم اقتصادی بخش i ام در سال t است؛

و $G^t = GDP^t$ می‌باشد.

تغییر انتشار CO_2 بین سال پایه 0 و سال هدف t به‌وسیله‌ی ΔCE نشان داده می‌شود که می‌تواند به چهار اثر تجزیه شود: (۱) تغییرات در اثر ضریب انتشار CO_2 (که به‌صورت CI_{effect} نشان داده می‌شود)، (۲) تغییرات در اثر شدت انرژی (که به‌صورت EI_{effect} نشان داده می‌شود)، (۳) اثر تغییرات ساختاری (که به‌صورت

1 - Intergovernmental Panel On Climate Change.

2- Extended Kaya Identity.



G_{effect} نشان داده می‌شود) و (۴) رشد در اثر فعالیت اقتصادی (که به صورت $E_{S_{effect}}$ نشان داده می‌شود). این اثرات به شکل جمع بوده و در رابطه‌ی (۲) نشان داده شده‌اند:

$$\Delta CE = CE^t - CE^0 = C_{I_{effect}} + E_{I_{effect}} + E_{S_{effect}} + G_{effect} \quad (2)$$

و اندیس 0 و t به ترتیب سال پایه و سال هدف را نشان می‌دهند. بر طبق مدل تجزیه‌ی کامل که توسط سان (۱۹۹۸) ارائه شده است، هر اثر در طرف راست رابطه‌ی (۲) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C_{I_{effect}} = \sum_i \Delta C I_i \times E I_i^0 \times E S_i^0 \times G^0 + \frac{1}{2} \sum_i \Delta C I_i (\Delta E I_i \times E S_i^0 \times G^0 + E I_i^0 \times \Delta E S_i \times G^0 + E I_i^0 \times E S_i^0 \times \Delta G + 13 i \Delta C I_i \Delta E I_i \times \Delta E S_i \times G^0 + \Delta E I_i \times E S_i^0 \times \Delta G + E I_i^0 \times \Delta E S_i \times \Delta G + 14 i \Delta C I_i \times \Delta E I_i \times \Delta E S_i \times \Delta G) \quad (3)$$

$$E_{I_{effect}} = \sum_i C I_i^0 \times \Delta E I_i \times E S_i^0 \times G^0 + \frac{1}{2} \sum_i \Delta E I_i (\Delta C I_i \times E S_i^0 \times G^0 + C I_i^0 \times \Delta E S_i \times G^0 + C I_i^0 \times E S_i^0 \times \Delta G + \frac{1}{3} \sum_i \Delta E I_i (\Delta C I_i \times \Delta E S_i \times G^0 + \Delta C I_i \times E S_i^0 \times \Delta G + C I_i^0 \times \Delta E S_i \times \Delta G) + \frac{1}{4} \sum_i \Delta C I_i \times \Delta E I_i \times \Delta E S_i \times \Delta G) \quad (4)$$

$$E_{S_{effect}} = \sum_i C I_i^0 \times E I_i \times \Delta E S_i \times G^0 + \frac{1}{2} \sum_i \Delta E S_i (\Delta C I_i \times E I_i^0 \times G^0 + C I_i^0 \times \Delta E I_i \times G^0 + C I_i^0 \times E I_i^0 \times \Delta G + \frac{1}{3} \sum_i \Delta E S_i (\Delta C I_i \times \Delta E I_i \times G^0 + \Delta C I_i \times E I_i^0 \times \Delta G + C I_i^0 \times \Delta E I_i \times \Delta G) + \frac{1}{4} \sum_i \Delta C I_i \times \Delta E I_i \times \Delta E S_i \times \Delta G) \quad (5)$$

$$G_{effect} = \sum_i C I_i^0 \times E I_i \times E S_i^0 \times \Delta G^0 + \frac{1}{2} \sum_i \Delta G (\Delta C I_i \times E I_i^0 \times E S_i^0 + C I_i^0 \times \Delta E I_i \times E S_i^0 + C I_i^0 \times E I_i^0 \times \Delta E S_i + \frac{1}{3} \sum_i \Delta G (\Delta C I_i \times \Delta E S_i \times E I_i^0 + \Delta C I_i \times E S_i^0 \times \Delta E I_i + C I_i^0 \times \Delta E S_i \times \Delta E I_i) + \frac{1}{4} \sum_i \Delta C I_i \times \Delta E I_i \times \Delta E S_i \times \Delta G) \quad (6)$$

ضروری است تا عوامل مختلفی که سبب تغییرات در انتشار CO_2 می‌شوند را مشخص کنیم. اثر ضریب انتشار CO_2 برای ارزیابی کیفیت سوخت‌ها، جانشینی سوخت‌ها و به‌کارگیری فن‌آوری‌های کاهش آلودگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مصرف انرژی اساساً با متغیرهایی از قبیل ساختار اقتصادی، کارایی سیستم‌های انرژی، فن‌آوری‌های به‌کارگیری انرژی، قیمت‌های انرژی، سرمایه‌گذاری‌هایی برای ذخیره و حفاظت از انرژی، که مشتق از اثر شدت انرژی است، ارتباط دارد. سهم ارزش افزوده

ایجاد شده از هر بخش نسبت به کل ارزش افزوده کشور، نشان دهنده‌ی میزان مشارکت آن بخش در اقتصاد ملی است. تغییر در این سهم به علت تغییرات ساختاری ایجاد شده در اقتصاد می‌باشد. افزایش در سهم بخش صنعت و کاهش در سهم بخش کشاورزی نمونه‌ای از تغییرات ساختاری، ایجاد شده هستند. در این مطالعه همانند مطالعات پیشین، تغییرات در این سهم در طی دوره‌ی مورد بررسی، به عنوان اثر تغییرات ساختاری تلقی می‌شود. اثر تغییرات ساختاری برای تحلیل انتقالات از ساختارهای سنتی به صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هم‌چنین، اثر فعالیت اقتصادی منعکس کننده‌ی رشد اقتصادی است.

برای به‌دست آوردن درصد تغییر در هر اثر، می‌توان به‌صورت زیر عمل کرد:

$$\frac{CI_{effect}}{\Delta CE} \times 100\% + \frac{EI_{effect}}{\Delta CE} \times 100\% + \frac{ES_{effect}}{\Delta CE} \times 100\% + \frac{G_{effect}}{\Delta CE} \times 100\% = 100\% \quad (7)$$

ب) الگوی کاهش انتشار CO_2

برای برآورد کاهش انتشار CO_2 ، در این بخش، از مدلی استفاده می‌شود که توسط ژنگ و دیگران (۲۰۰۹) ارائه شده است. هر عبارتی در طرف راست رابطه‌ی (۲)، به ترتیب اثر ضریب انتشار CO_2 ، شدت انرژی، تغییرات ساختاری و فعالیت اقتصادی را بیان می‌کند. CI_{effect} ، EI_{effect} و ES_{effect} ، تغییرات انتشار CO_2 را نشان می‌دهند. G_{effect} ، مشارکت اصلی در انتشار CO_2 را دارد و تغییری در انتشار CO_2 که توسط G_{effect} ایجاد می‌شود، تغییرات تئوریک انتشار CO_2 نامیده می‌شود. برای کاهش تئوریک (ΔEM)، ژنگ و همکاران (۲۰۰۹)، تعریفی به‌صورت زیر ارائه داده‌اند:

$$\Delta EM = G_{effect} - \Delta CE = -(CI_{effect} + EI_{effect} + ES_{effect}) \quad (8)$$

بنابراین، بر طبق رابطه‌ی (۲)، فرمول محاسبه شده‌ی ΔEM می‌تواند به‌صورت رابطه‌ی (۹) به‌دست آید:

$$\Delta EM = G_{effect} - \Delta CE = -(CI_{effect} + EI_{effect} + ES_{effect}) \quad (9)$$

که در آن Δ تفاضل بین فاصله‌ی زمانی $[0, t]$ می‌باشد. میزان کاهش تئوریک انتشار CO_2 (ER) در سال t ام به‌صورت رابطه (۱۰) است:

$$ER = \frac{-(CI_{effect} + EI_{effect} + ES_{effect})}{CE^0 + G_{effect}} \times 100\% \quad (10)$$



بر پایه‌ی رابطه‌ی (۹)، اگر شرط $G_{effect} - \Delta CE > 0$ برقرار باشد، آن‌گاه انتشار CO_2 کاهش می‌یابد و تغییر واقعی در انتشار CO_2 کوچک‌تر از تغییر تئوریک‌اش می‌باشد، که توسط فعالیت اقتصادی مبتنی بر سطح اقتصادی و فنی در سال قبل، ایجاد می‌شود.

ج) تجزیه‌ی شدت انتشار CO_2

ژنگ، مو و نینگ (۲۰۰۹)، شدت انتشار CO_2 (A) را با استفاده از اتحاد کایای بسط یافته به صورت زیر بیان کردند:

$$A = \frac{CE^t}{GDP^t} = \sum_i \frac{CE_i^t}{E_i^t} \times \frac{E_i^t}{GDP_i^t} \times \frac{GDP_i^t}{GDP^t} = \sum_i CI_i^t \times EI_i^t \times ES_i^t \quad (11)$$

تغییر در شدت انتشار CO_2 بین سال پایه 0 و سال هدف t به‌وسیله‌ی ΔA بیان می‌شود که به سه اثر به‌صورت زیر تجزیه می‌شود: (۱) تغییرات در اثر ضریب انتشار CO_2 (که به‌وسیله‌ی CI_{effect} نشان داده می‌شود)، (۲) تغییرات در اثر شدت انرژی (که به‌وسیله‌ی EI_{effect} نشان داده می‌شود)، و (۳) تغییرات در اثر ساختار اقتصادی (که به‌وسیله‌ی ES_{effect} نشان داده می‌شود). این اثرات در زیر به شکل جمع آورده شده است:

$$\Delta A = A^t - A^0 = CI_{effect} + EI_{effect} + ES_{effect} \quad (12)$$

که در آن، هر اثر به‌صورت زیر می‌باشد:

$$CI_{effect} = \sum_i \Delta CI_i \times EI_i^0 \times ES_i^0 + \frac{1}{2} \sum_i \Delta CI_i (\Delta EI_i \times ES_i^0 + EI_i^0 \times \Delta ES_i + 13i \Delta CI_i \times \Delta EI_i \times \Delta ES_i) \quad (13)$$

$$EI_{effect} = \sum_i CI_i^0 \times \Delta EI_i \times ES_i^0 + \frac{1}{2} \sum_i \Delta EI_i (\Delta CI_i \times ES_i^0 + CI_i^0 \times \Delta ES_i + 13i \Delta CI_i \times \Delta EI_i \times \Delta ES_i) \quad (14)$$

$$ES_{effect} = \sum_i CI_i^0 \times EI_i^0 \times \Delta ES_i + \frac{1}{2} \sum_i \Delta ES_i (\Delta CI_i \times EI_i^0 + CI_i^0 \times \Delta EI_i + 13i \Delta CI_i \times \Delta EI_i \times \Delta ES_i) \quad (15)$$

برای نمایش آن به صورت شاخص، لازم است به صورت زیر عمل شود:

$$\frac{CI_{effect}}{\Delta A} \times 100\% + \frac{EI_{effect}}{\Delta A} \times 100\% + \frac{ES_{effect}}{\Delta A} \times 100\% = 100\% \quad (16)$$

عواملی که سبب تغییر در انتشار CO_2 و شدت انتشار CO_2 می‌شوند، باید مشخص شوند. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، اثر ضریب انتشار CO_2 برای ارزیابی کیفیت سوخت، جانمایی سوخت و نصب تکنولوژی‌هایی که آلودگی را کاهش می‌دهند، مورد استفاده

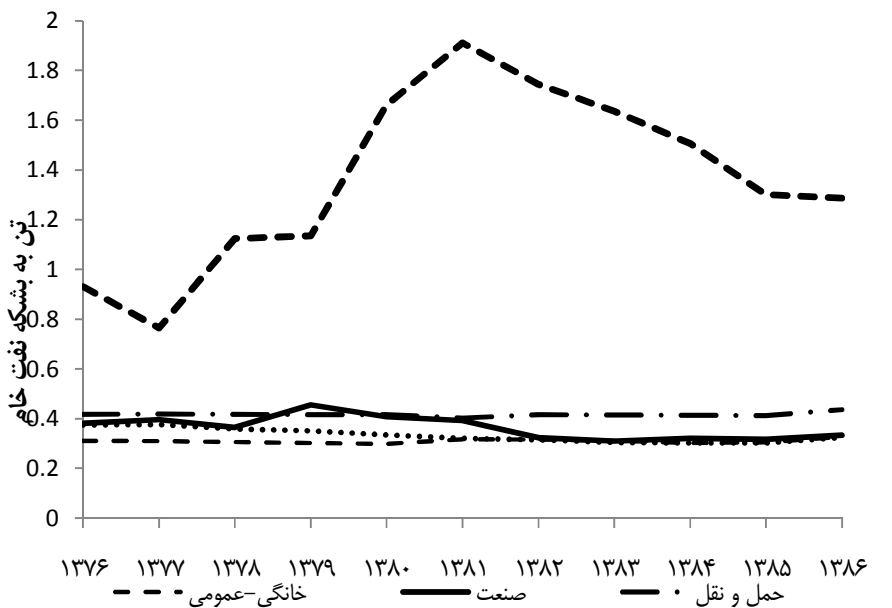
قرار می‌گیرد. اصولاً مصارف انرژی با متغیرهایی مانند ساختارهای اقتصادی، کارایی سیستم‌های انرژی، انتخاب‌های فنی (تکنیکی)، قیمت‌های انرژی، نگاه داری و ماندگاری انرژی و همچنین سرمایه‌گذاری در ذخیره‌ی انرژی مرتبط هستند. این متغیرها، اثرات شدت انرژی را موجب می‌شوند. موقعیت نسبی یک بخش در اقتصاد، به اثر ساختار اقتصادی وابسته است. اثر فعالیت اقتصادی توسط تولید ناخالص داخلی اندازه‌گیری می‌شود که تحت عنوان انتشارهای فنی CO₂ مورد توجه قرار می‌گیرد.

۴- داده‌ها و تحلیل نتایج

تکنیک مقداری مورد استفاده در این تحقیق نیازمند داده‌های با دوره‌ی زمانی طولانی نیست؛ هر چند که افزایش دوره‌ی مورد مطالعه بر غنای کار می‌افزاید. داده‌های انتشار CO₂ به تفکیک بخش‌های مورد استفاده در این تحقیق، از سال ۱۳۷۶ موجود است. لذا، دوره‌ی مطالعه تحقیق از ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۶ انتخاب شده است. داده‌های GDP و ارزش افزوده‌ی بخشی (صنعت، حمل و نقل، کشاورزی، خانگی - عمومی)، از حساب‌های ملی بانک مرکزی ایران و به قیمت ثابت ۱۳۷۶ تهیه شده است؛ ارزش افزوده‌ی دیگر بخش‌های اقتصادی نیز با کم کردن GDP از مجموع ارزش افزوده‌ی بخشی چهار بخش اشاره شده، به دست آمده است. داده‌های مصرف انرژی بخشی و میزان انتشار CO₂ بخشی، از ترازنامه‌ی انرژی وزارت نیرو گرفته شده است. برای محاسبه و تحلیل تجزیه، دوره‌ی ۱۱ ساله‌ی مورد مطالعه به سه زیر دوره‌ی به‌گونه‌ای تقسیم شده که بیش‌ترین هم‌پوشی ممکن را با برنامه‌های توسعه‌ی اقتصادی کشور داشته باشند. زیر دوره‌های مورد بررسی به صورت زیرند: زیر دوره‌ی اول ۱۳۷۶-۱۳۷۸ که سه سال آخر از برنامه‌ی پنج ساله‌ی دوم توسعه را در برمی‌گیرد؛ زیر دوره‌ی دوم ۱۳۷۹-۱۳۸۳ که منطبق بر برنامه‌ی سوم توسعه است و زیر دوره‌ی سوم ۱۳۸۴-۱۳۸۶ که سه سال ابتدایی از برنامه‌ی چهارم توسعه را شامل می‌شود. تجزیه‌ی انتشار CO₂ برای کل دوره‌ی ۱۱ ساله‌ی مورد مطالعه نیز به‌طور مجزا محاسبه می‌شود.

سهم انتشار CO₂ هر بخش از انرژی مورد استفاده‌ی آن بخش (ضریب انتشار CO₂ هر بخش) در نمودار (۱) آمده است. همان‌طور که نمودار نشان می‌دهد، ضریب انتشار CO₂ در بخش‌های حمل و نقل و خانگی - عمومی - تجاری طی دوره‌ی مورد مطالعه تقریباً ثابت بوده است. ضریب انتشار CO₂ برای بخش کشاورزی، به‌جز در سال آخر،

۱۳۸۶، کاهش یافته است. این متغیر برای بخش صنعت تا سال ۱۳۷۹ روند افزایشی داشته است، اما بعد از آن، به‌جز در سال آخر، ۱۳۸۶، کاهش داشته است. تغییرات در ضریب انتشار دیگر بخش‌های اقتصادی قابل توجه است، به‌طوری‌که در سال ۱۳۸۱ به حداکثر مقدار خود، که بیش از دو برابر مقدار ۱۳۷۷ می‌باشد، رسیده است و پس از آن



نمودار ۱ - ضریب انتشار CO₂ از بخش‌های مختلف اقتصادی

روند شدید کاهشی داشته است. روند تغییرات در شدت انرژی بخشی از روند تغییرات در ضریب انتشار CO₂ بخشی، متفاوت است. نمودار (۲)، شدت انرژی بخش‌های مختلف اقتصادی را طی دوره‌ی مورد بررسی نشان می‌دهد. شدت انرژی بخش کشاورزی و دیگر بخش‌های اقتصادی طی این دوره تقریباً ثابت بوده است. شدت انرژی بخش صنعت به‌جز در سال ۱۳۸۶ به‌طور آهسته روندی کاهشی داشته است. بخش حمل نقل نیز با این‌که شدت انرژی بالایی دارد (بین ۶ تا ۷ بشکه‌ی نفت خام به میلیون ریال) و تا سال ۱۳۸۵، شدت انرژی آن تقریباً ثابت بوده، اما از سال ۱۳۸۵ به بعد کاهش یافته است. در میان بخش‌های مورد بررسی، بخش خانگی-عمومی-تجاری، با افزایش در شدت انرژی همراه بوده است. افزایش در شهرنشینی، تغییر در سبک زندگی

و دسترسی آسان‌تر به انرژی از دلایل اصلی افزایش در شدت انرژی بخش خانگی است. حذف یارانه‌ی پرداختی بالایی که به بخش انرژی داده می‌شود، می‌تواند در مصرف بهینه‌ی انرژی و به تبع آن، کاهش در انتشار CO_2 نقش مؤثری ایفا کند. در ادامه، محاسبات و تحلیل نتایج به‌دست آمده برای تک تک بخش‌های مورد بررسی، ارائه می‌شود.

مأخذ ارقام: ترازنامه‌ی انرژی سال‌های مختلف (۱۳۷۶-۱۳۸۶)
نمودار ۲ - روند زمانی شدت انرژی بخش‌های مختلف اقتصادی

۴-۱- تجزیه‌ی انتشار CO_2 از بخش خانگی-عمومی-تجاری

جدول ۱ - تجزیه‌ی انتشار CO_2 منتشر شده توسط بخش خانگی، عمومی و تجاری (واحد: تن)

دوره	CI-effect	EL-effect	ES-effect	G-effect	تغییرات واقعی
۱۳۷۶-۷۸	۲/۴ (/۳/۱)	۱۸/۴ (/۲۹)	۱۸/۸ (/۲۹/۸)	۲۳/۵ (/۳۷/۱)	۶۳/۲ (/۱۰۰)
۱۳۷۹-۸۳	-۱/۱ (/۱۰/۴)	۵/۳ (/۵۰/۱)	۳/۱ (/۲۹)	۳/۳ (/۳۱/۲)	۱۰/۷ (/۱۰۰)
۱۳۸۴-۸۶	۱۰/۴ (/۱۸/۵)	۱۶/۱ (/۲۸/۶)	۱۳/۱ (/۲۳/۷)	۱۶/۲ (/۲۹)	۵۶/۱ (/۱۰۰)
۱۳۷۶-۸۶	۶ (/۴)	۵۸ (/۳۸/۹)	۲۶/۵ (/۱۷/۷)	۵۸/۴ (/۳۹/۲)	۱۴۹ (/۱۰۰)

ارقام داخل پرانتز، درصد تغییر در انتشار CO_2 برای عامل مؤثر را طی دوره‌ی مورد نظر نشان می‌دهد.
مأخذ: محاسبات تحقیق

بنابر جدول (۱)، فعالیت اقتصادی بزرگ‌ترین عامل اثرگذار بر تغییر در انتشار CO_2 در بخش خانگی می‌باشد. شدت انرژی طی دوره‌ی مورد بررسی رو به رشد بوده است. برق‌رسانی بالا به روستاها و مصرف بالای انرژی مسکونی، دلیل اصلی افزایش شدت انرژی در بخش خانگی - عمومی - تجاری است. از سال ۱۳۷۹ سهم این بخش در GDP کاهش داشته است. این مسئله موجب کاهش در انتشار CO_2 در زیر دوره‌ی دوم شده است، که در اثر ساختاری قابل مشاهده می‌باشد. (از ۱۸/۸ به ۳/۱ رسیده است). ضریب انتشار CO_2 در زیر دوره‌ی دوم، کاهش داشته و منفی شده، اما در زیر دوره‌ی سوم دوباره افزایش قابل توجهی یافته است. افزایش در اثر ضریب انتشار CO_2 سبب افزایش در انتشار CO_2 شده است. این مورد، گواه آن است که پیشرفتی در کیفیت سوخت مورد استفاده‌ی بخش خانگی وجود نداشته است. لذا، این بخش نیازمند بهبودی در کیفیت سوخت می‌باشد. شدت انرژی در زیر دوره‌ی دوم کاهش داشته است، که بهبود کارایی انرژی در این دوره‌ی (۸۳-۱۳۷۹) را نشان می‌دهد، اما در زیر دوره‌ی سوم، دوباره افزایش در اثر شدت انرژی و به تبع آن افزایش در انتشار CO_2 دیده می‌شود. در مجموع، تمام اثرات مورد بررسی در بخش خانوار، در کل دوره‌ی مورد بررسی، مثبت هستند. پس، توجه جدی به کاهش این اثرات در جهت کاهش انتشار CO_2 لازم است.

۴-۲- تجزیه‌ی انتشار CO_2 از بخش صنعت

جدول (۲)، تجزیه‌ی انتشار CO_2 در بخش صنعت را نشان می‌دهد. تغییرات ساختاری و فعالیت اقتصادی، بیش‌ترین سهم را در اثرگذاری بر انتشار CO_2 دارد. سهم ارزش افزوده‌ی بخش صنعت از کل GDP طی دوره‌ی مورد بررسی افزایش داشته است، به این دلیل نیز اثر تغییر ساختاری (ES-effect) نیز بیش‌تر شده است. با این‌که در زیر دوره‌ی سوم، اثر تغییرات ساختاری کاهش داشته اما در مجموع و در کل دوره‌ی مورد بررسی، تغییرات ساختاری مؤثرترین عامل در افزایش انتشار CO_2 است. اثر ضریب انتشار CO_2 در دوره‌ی دوم نسبت به دوره‌ی اول کاهش چشم‌گیری دارد که نشان‌دهنده‌ی پیشرفت در کیفیت سوخت در بخش صنعت طی سال‌های ۷۹ تا ۸۳ می‌باشد. در زیر دوره‌ی دوم ضریب انتشار CO_2 منفی است، که نشان از کاهش انتشار CO_2 طی این دوره دارد، اما در زیر دوره‌ی سوم دوباره اثر ضریب انتشار CO_2 افزایش

یافته است. برای مقابله با این افزایش، لازم است تعدیلاتی در ساختار عرضه‌ی انرژی صورت گیرد و اقداماتی در جهت گسترش انرژی‌های پاک در بخش صنعت انجام شود.

جدول ۲- تجزیه‌ی انتشار CO₂ منتشر شده توسط بخش صنعت (واحد: تن)

دوره	CI-effect	EI-effect	ES-effect	G-effect	تغییرات واقعی
۱۳۷۶-۷۸	-۲/۱ (%-۱۳۴/۴)	-۰/۶ (%-۴۲/۵)	۲/۲ (%۱۴۰/۷)	۲/۱ (%۱۳۶/۱)	۱/۵ (%۱۰۰)
۱۳۷۹-۸۳	-۲۲/۳ (%۳۳۲/۳)	-۱۴/۳ (%۲۱۴/۱)	۱۵/۴ (%-۲۳۰)	۱۴/۵ (%-۲۱۶/۴)	-۶/۷ (%۱۰۰)
۱۳۸۴-۸۶	۲/۴ (%۹/۷)	۵/۶ (%۲۲)	۸/۵ (%۳۳/۴)	۸/۸ (%۳۴/۶)	۲۵/۴ (%۱۰۰)
۱۳۷۶-۸۶	-۸/۸ (%-۲۰/۵)	-۲۰ (%-۴۶/۲)	۳۷/۲ (%۸۶/۲)	۳۴/۸ (%۸۰/۵)	۴۳/۲ (%۱۰۰)

ارقام داخل پرانتز، درصد تغییر در انتشار CO₂ برای عامل مؤثر را طی دوره‌ی مورد نظر نشان می‌دهد. مأخذ: محاسبات تحقیق

شدت انرژی نیز در دوره‌ی دوم نسبت به دوره‌ی اول کاهش زیادی دارد. به‌طوری‌که اثر شدت انرژی در دوره‌ی دوم منفی شده است. اما، در زیر دوره‌ی سوم و بعد از سال ۱۳۸۳ این روند معکوس شده است و اثر شدت انرژی افزایش یافته است. افزایش در شدت انرژی می‌تواند از انتقال به سمت مکانیزه شدن بخش صنعت به‌وجود آمده باشد. اثر شدت انرژی در کل دوره‌ی مورد بررسی منفی است. شدت انرژی منفی به علت تغییر در ساختار صنعتی می‌باشد.

۴-۳- تجزیه‌ی انتشار CO₂ از بخش حمل و نقل

طبق جدول (۳)، تغییرات ساختاری و فعالیت اقتصادی مهم‌ترین اثر در افزایش انتشار CO₂ را داراست. سهم ارزش افزوده‌ی بخش حمل و نقل از کل GDP رو به افزایش بوده است. این افزایش در سهم حمل و نقل، دلیلی بر افزایش اثر تغییرات ساختاری طی دوره‌ی دوم و بعد از سال ۱۳۷۹ می‌باشد. اثر ضریب انتشار CO₂ در دوره‌ی دوم کاهش داشته است که می‌تواند تا حدودی به علت پیشرفت در کیفیت سوخت مورد استفاده در بخش حمل و نقل باشد.

افزایش اثر ضریب انتشار CO₂ در زیر دوره‌ی سوم به دلیل استفاده بیش‌تر از گاز به‌جای بنزین می‌باشد. همان‌طور که در ترازنامه‌ی انرژی آمده است، سهم بنزین در انتشار گاز دی‌اکسیدکربن ۱۱/۱ درصد است درحالی‌که سهم گاز طبیعی در انتشار دی‌اکسید کربن ۴۹/۸ درصد می‌باشد. بنزین، هرچند که سهم کم تری در انتشار CO₂



تجزیه‌ی انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی به بخش‌های اقتصادی ...

جدول ۳- تجزیه‌ی انتشار CO₂ منتشر شده توسط بخش حمل و نقل (واحد: تن)

تغییرات واقعی	G-effect	ES-effect	EL-effect	CI-effect	دوره
۳ (٪۱۰۰)	۲/۹ (٪۹۶/۱)	۲/۸ (٪۹۳/۴)	-۲/۸ (٪-۹۳)	۰/۱ (٪۳/۴)	۱۳۷۶-۷۸
۳۹/۵ (٪۱۰۰)	۲۱/۴ (٪۵۴/۲)	۲۱/۸ (٪۵۵/۲)	-۳/۵ (٪-۸/۹)	-۰/۲ (٪-۰/۵)	۱۳۷۹-۸۳
۱۷/۴ (٪۱۰۰)	۱۴/۲ (٪۸۱/۵)	۱۴/۵ (٪۸۳/۴)	-۱۷ (٪-۹۷/۵)	۵/۶ (٪۳۲/۵)	۱۳۸۴-۸۶
۸۲/۴ (٪۱۰۰)	۴۶/۹ (٪۵۶/۹)	۴۹ (٪۵۹/۴)	-۱۷/۵ (٪-۲۱/۲)	۳/۹ (٪۴/۷)	۱۳۷۶-۸۶

ارقام داخل پرانتز، درصد تغییر در انتشار CO₂ برای عامل مؤثر را طی دوره‌ی مورد نظر نشان می‌دهد. مأخذ: محاسبات تحقیق

دارد، اما سهم آن در انتشار دیگر گازهای گلخانه‌ای از جمله منواکسید کربن، بالاست، به همین دلیل انتظار می‌رود که در بررسی کل گازهای گلخانه‌ای، اثر ضریب انتشار CO₂ در زیر دوره‌ی سوم کاهش داشته باشد. اثر شدت انرژی در زیر دوره‌ی دوم و سوم کاهش داشته که نشان‌دهنده‌ی افزایش کارایی انرژی در بخش حمل و نقل می‌باشد. در کل دوره‌ی مورد بررسی، اثر شدت انرژی منفی است و نشان می‌دهد که در کل دوره‌ی مورد مطالعه، بیش از ۱۷ درصد از کل تغییرات در انتشار CO₂، توسط اثر شدت انرژی بوده است.

۴-۴ تجزیه‌ی انتشار CO₂ از بخش کشاورزی

جدول ۴- تجزیه‌ی انتشار CO₂ منتشر شده توسط بخش کشاورزی (واحد: تن)

تغییرات واقعی	G-effect	ES-effect	EL-effect	CI-effect	دوره
۰/۴ (٪۱۰۰)	۰/۴ (٪۱۰۳/۳)	۰/۵ (٪۱۰۶/۸)	۰ (٪-۱۰/۸)	-۰/۴ (٪-۹۹/۳)	۱۳۷۶-۷۸
۳ (٪۱۰۰)	۲/۵ (٪۸۵/۷)	۳ (٪۱۰۰/۸)	-۱/۱ (٪-۳۸/۲)	-۱/۴ (٪-۴۸/۳)	۱۳۷۹-۸۳
۳/۷ (٪۱۰۰)	۱/۴ (٪۳۸/۴)	۱/۳ (٪۳۶/۶)	۰/۱ (٪۳)	۰/۸ (٪۲۱/۷)	۱۳۸۴-۸۶
۱۰/۳ (٪۱۰۰)	۶/۴ (٪۶۲/۲)	۷/۷ (٪۷۴/۷)	-۲ (٪-۲۰/۳)	-۱/۷ (٪-۱۶/۶)	۱۳۷۶-۸۶

ارقام داخل پرانتز، درصد تغییر در انتشار CO₂ برای عامل مؤثر را طی دوره‌ی مورد نظر نشان می‌دهد. مأخذ: محاسبات تحقیق

جدول (۴)، تجزیه‌ی انتشار CO₂ در بخش کشاورزی را نشان می‌دهد. تغییرات ساختاری و فعالیت، اقتصادی بیش‌ترین اثرگذاری را بر انتشار CO₂ در این بخش داشته‌اند. در مقایسه با دیگر بخش‌های اقتصادی، اثرات مختلف بر انتشار CO₂ بسیار

کم تر است و در تمام زیر دوره‌های مورد بررسی تغییرات نسبتا کمی داشته است. اثر ساختار اقتصادی در زیر دوره‌ی دوم نسبت به زیر دوره‌ی اول، افزایش داشته اما، دوباره در زیر دوره‌ی سوم کاهش یافته است. تغییر در اثر تغییرات ساختاری به علت تغییر در سهم ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۰ افزایش داشته و پس از آن رو به کاهش گذاشته است. اثر ضریب انتشار CO_2 در زیر دوره‌ی دوم نسبت به زیر دوره‌ی اول کاهش داشته و در این دوره و در کل دوره‌ی مورد بررسی منفی بوده است که نشان از بهبود کیفیت سوخت در بخش کشاورزی دارد. اثر شدت انرژی نیز در دوره‌ی دوم نسبت به دوره‌ی اول کاهش داشته و منفی شده است؛ اما در زیر دوره‌ی سوم افزایش یافته است. اثر شدت انرژی منفی در زیر دوره‌ی دوم و در کل دوره‌ی مورد بررسی نشان از افزایش کارایی انرژی در بخش کشاورزی دارد. هر انتقالی در مکانیزه شدن بخش کشاورزی موجب افزایش در اثر شدت انرژی می‌شود، در نتیجه، افزایش در اثر شدت انرژی طی دوره‌ی دوم می‌تواند به علت مکانیزه شدن بخش کشاورزی در این دوره باشد. همان‌طور که از جدول (۴) پیداست، دو اثر ضریب انتشار CO_2 و شدت انرژی در کل دوره‌ی مورد مطالعه، سبب کاهش در انتشار CO_2 شده‌اند، در صورتی که دو اثر دیگر (تغییرات ساختاری و فعالیت اقتصادی) افزایش نسبتا شدیدی در انتشار CO پدید آورده‌اند.

۴-۵- تجزیه‌ی انتشار CO_2 از دیگر بخش‌های اقتصادی

جدول ۵ - تجزیه‌ی انتشار CO_2 منتشر شده توسط دیگر بخش‌های اقتصادی (واحد: تن)

تغییرات واقعی	G-effect	ES-effect	EL-effect	CI-effect	دوره
۱۰/۴ (%۱۰۰)	۲/۷ (%۲۶/۱)	۲/۶ (%۲۵/۲)	-۶/۵ (%-۶۲/۷)	۱۱/۶ (%۱۱۱/۳)	۱۳۷۶-۷۸
۳۹/۱ (%۱۰۰)	۲۰/۵ (%۵۲/۵)	۲۰/۲ (%۵۱/۶)	-۳۱/۷ (%-۸۱/۱)	۳۰/۱ (%۷۷)	۱۳۷۹-۸۳
۶۰/۹ (%۱۰۰)	۱۵/۳ (%۲۵/۱)	۱۲/۹ (%۲۱/۲)	۵۱/۶ (%۸۴/۷)	-۱۹ (%-۳۱/۱)	۱۳۸۴-۸۶
۱۲۶/۵ (%۱۰۰)	۴۹/۸ (%۳۹/۴)	۴۰/۲ (%۳۱/۹)	۵/۶ (%۴/۴)	۳۰/۶ (%۲۴/۱)	۱۳۷۶-۸۶

ارقام داخل پرانتز، درصد تغییر در انتشار CO_2 برای عامل مؤثر را طی دوره‌ی مورد نظر نشان می‌دهد.

مأخذ: محاسبات تحقیق

همان‌طور که از جدول (۵) پیداست، فعالیت اقتصادی بزرگ‌ترین عامل مؤثر در انتشار CO_2 ی دیگر بخش‌های اقتصادی است. سهم ارزش افزوده‌ی این بخش از

GDP، به‌جز در سال ۱۳۸۱، در زیر دوره‌ی دوم نسبت به زیر دوره‌ی اول افزایش داشته و بعد از سال ۱۳۸۳ کاهش یافته است. روند تغییر در سهم بخش خانگی - عمومی - تجاری کاملاً در تغییرات ساختاری قابل مشاهده است. اثر تغییرات ساختاری در زیر دوره‌ی دوم نسبت به زیر دوره‌ی اول افزایش داشته است. اما، در زیر دوره‌ی سوم کاهش یافته است. اثر ضریب انتشار CO_2 در دوره‌ی دوم افزایش چشم‌گیری داشته است. این مطلب نشان می‌دهد که نه تنها پیشرفتی در کیفیت سوخت دیگر بخش‌های اقتصاد در زیر دوره‌ی دوم نسبت به زیر دوره‌ی اول رخ نداده، بلکه کیفیت سوخت مورد استفاده در این بخش بدتر نیز شده است، اما در دوره‌ی سوم اثر ضریب انتشار CO_2 به قدری کاهش یافته که منفی شده است. با توجه به مقدار مثبت اثر ضریب انتشار CO_2 در کل دوره‌ی مورد بررسی، نیاز است تا اقداماتی در جهت بهبود کیفیت سوخت در بخش‌های نیروگاهی، پالایشگاهی صورت گیرد. اثر شدت انرژی در دوره‌ی دوم کاهش یافته اما در زیر دوره‌ی سوم افزایش قابل توجهی داشته است. شدت انرژی دیگر بخش‌های اقتصادی از سال ۱۳۸۲ با سرعت بالایی افزایش یافته است. به طوری که طی پنج سال تقریباً به دو برابر رسیده است. این افزایش زیاد در سهم انرژی این بخش از کل GDP، دلیل افزایش EL_{effect} در زیر دوره‌ی سوم می‌باشد. با توجه به روند افزایش استفاده از انرژی در بخش‌های نیروگاهی و پالایشگاهی طی سال‌های اخیر، این بخش نیازمند اقداماتی در جهت کاهش شدت انرژی می‌باشد.

۴-۶- تجزیه‌ی انتشار CO_2 کل اقتصاد

تغییرات انتشار CO_2 کل اقتصاد در اثر چهار عامل مورد بررسی، در جدول (۶) آمده است. همان‌طور که از این جدول می‌توان مشاهده کرد، فعالیت اقتصادی (و بعد از آن تغییرات ساختاری) مهم‌ترین عامل در کاهش انتشار CO_2 می‌باشد. اثر فعالیت اقتصادی در کل دوره‌ی مورد بررسی $47/7+$ درصد از تغییر در انتشار CO_2 و بعد از آن، اثر تغییرات ساختاری $39/1+$ درصد از تغییر در انتشار CO_2 را در برمی‌گیرد. به‌جز اثر شدت انرژی، بقیه‌ی اثرات مورد بررسی در دوره‌ی سوم نسبت به دوره‌ی دوم کاهش داشته‌اند. افزایش در اثر شدت انرژی در دوره‌ی سوم نسبت به دوره‌ی دوم به قدری است که از $23/4-$ درصد به $34/5+$ درصد افزایش یافته است. این افزایش به دلیل نبود کارایی لازم در مصرف انرژی می‌باشد. برای بهبود آن لازم است

اقداماتی در جهت افزایش کارایی انرژی در کل اقتصاد انجام گیرد. مکانیسه‌تر شدن بخش‌های مختلف (از جمله کشاورزی) و سرمایه‌گذاری بیش‌تر در بخش‌هایی مانند نیروگاه‌ها و صنعت، بدون آن‌که بهبودی در کارایی انرژی ایجاد نکند، افزایش چشم‌گیر اثر شدت انرژی بعد از سال ۱۳۸۲ را سبب شده است. مثبت بودن تمام اثرات در کل دوره‌ی مورد بررسی نشان دهنده‌ی آن است که نه تنها بایستی کاهش‌ی در شدت انرژی انجام گیرد، بلکه سهم انتشار CO₂ از انرژی نیز باید (با افزایش در کیفیت سوخت) کاهش یابد و بهبودهایی در کارایی انرژی پدید آید، یعنی، برای تولید کالایی معین، از انرژی کم‌تری استفاده شود.

جدول ۶ - تجزیه‌ی انتشار CO₂ منتشر شده از کل بخش‌های اقتصادی (واحد: تن و درصد)

دوره	CI-effect	EL-effect	ES-effect	G-effect	تغییرات واقعی
۱۳۷۶-۷۸	۷/۹ (%۳۰/۳)	-۴/۷ (%-۱۸/۲)	۱۱/۳ (%۴۳/۳)	۱۱/۷ (%۴۴/۵)	۲۶/۲ (%۱۰۰)
۱۳۷۹-۸۳	۸/۶ (%۶/۲)	-۳۲/۴ (%-۲۳/۴)	۷۹/۴ (%۵۸/۴)	۸۲/۶ (%۵۹/۷)	۱۳۸/۲ (%۱۰۰)
۱۳۸۴-۸۶	۳/۰ (%۰/۲)	۵۶/۴ (%۳۴/۵)	۵۰/۶ (%۳۰/۹)	۵۶ (%۳۴/۲)	۱۶۳/۶ (%۱۰۰)
۱۳۷۶-۸۶	۲۹/۹ (%۷/۲)	۲۴ (%۵/۸)	۱۶۱ (%۳۹/۱)	۱۹۶/۵ (%۴۷/۷)	۴۱۱/۶ (%۱۰۰)

ارقام داخل پرانتز، درصد تغییر در انتشار CO₂ برای عامل مؤثر را طی دوره‌ی مورد نظر نشان می‌دهد. مأخذ: محاسبات تحقیق

۴-۷ - کاهش انتشار CO₂

جدول ۷ کاهش انتشار CO₂ در زیر دوره‌ها و کل دوره‌ی مورد بررسی (واحد: میلیون تن)

دوره	میزان کاهش تئوریک (درصد)	کاهش تئوریک	تغییر واقعی
۱۳۷۶-۷۸	-۵/۴۸۱۹	-۱۴/۵۸۷۵	۱۶/۴۷۱۹
۱۳۷۹-۸۳	-۱۴/۸۰۹۶	-۵۵/۶۱۱۳	۴۰/۶۲۷۰
۱۳۸۴-۸۶	-۲۶/۰۸۹۵	-۱۰۷/۵۳۶۱	۶۴/۹۴۷۷
۱۳۷۶-۸۶	-۴۷/۷۰۲۸	-۲۱۵/۱۱۹۵	۱۶۶/۶۵۳۹

مأخذ: محاسبات تحقیق

نتایج مربوط به کاهش انتشار CO₂ و میزان کاهش تئوریک CO₂ برای سه زیر دوره و کل دوره‌ی مورد مطالعه در جدول (۷) ارائه شده است. میزان کاهش تئوریک انتشار

CO₂ در تمام زیر دوره‌ها و کل دوره، منفی است، که نشان‌دهنده‌ی افزایش در انتشار CO₂ طی تمامی دوره‌ها می‌باشد. علامت منفی مربوط به کاهش تئوریک نشان می‌دهد که انتشار CO₂ بالا رفته است، مقادیر واقعی افزایش در انتشار CO₂ نیز در جدول (۷) آورده شده است. با توجه به این که انتشار CO₂ افزایش داشته، لذا برای مقایسه‌ی بین ارقام تئوریک و واقعی بایستی قدرمطلق کاهش در انتشار CO₂ را، با مقادیر واقعی افزایش در انتشار مقایسه کرد. افزایش تئوریک انتشار CO₂ در کل دوره‌ی ۱۳۷۶-۱۳۸۶ بیش از ۲۱۵ میلیون تن و میزان کاهش تئوریک آن در کل دوره نیز ۴۷/۷- درصد می‌باشد.

۴-۱- تجزیه‌ی شدت انتشار CO₂

جدول ۸ - تجزیه‌ی تغییر در شدت انتشار CO₂ برای کل اقتصاد

دوره	CI-effect	EI-effect	ES-effect	ΔA
۱۳۷۶-۷۸	۰/۰۲ (% ۳/۱)	-۰/۰۱ (% -۱/۸)	۰/۸۷ (% ۹۸/۶)	۰/۸۹ (% ۱۰۰)
۱۳۷۹-۸۳	۰/۰۲ (% ۳/۲)	-۰/۰۸ (% -۱۰/۳)	۰/۹۲ (% ۱۰۷)	۰/۸۶ (% ۱۰۰)
۱۳۸۴-۸۶	۰/۰۰۶ (% ۰/۰۶)	۰/۱۲ (% ۱۲/۱)	۰/۸۶ (% ۸۷/۲)	۰/۹۹ (% ۱۰۰)
۱۳۷۶-۸۶	۰/۱۱ (% ۱۱/۶)	۰/۰۶ (% ۶/۱)	۰/۸۲ (% ۸۲/۲)	۱/۰۰۳ (% ۱۰۰)

ارقام داخل پرانتز، درصد تغییر در انتشار CO₂ برای عامل مؤثر را طی دوره‌ی مورد نظر نشان می‌دهد. مأخذ: محاسبات تحقیق

نتایج تجزیه‌ی شدت انتشار CO₂ برای دوره‌ی ۱۳۷۶-۱۳۸۶ اقتصاد ایران در جدول (۸) آورده شده است. تغییر در اثر ساختار اقتصاد (ES-effect) در تمام دوره‌های مورد بررسی، سبب افزایش در شدت انتشار CO₂ شده است. در دوره‌ی ۱۳۷۶-۱۳۸۶، افزایش در اثر تغییرات ساختاری، ۸۲/۲ درصد از کل تغییرات در شدت انتشار CO₂ (ΔA) را به خود اختصاص داده است. اثر تغییر در ضریب انتشار CO₂ (CI-effect) نیز همانند تغییرات ساختاری در تمام زیر دوره‌ها و کل دوره‌ی مورد مطالعه مثبت است، که نشان‌دهنده‌ی اثر افزایشی آن بر انتشار CO₂ می‌باشد. این اثر در تمام زیر دوره‌ها بسیار کوچک است. می‌توان چنین نتیجه گرفت که بهبود در کیفیت سوخت، نقش چندانی در کاهش انتشار CO₂ نداشته است. به‌طور کلی و در کل دوره‌ها، اثر ضریب انتشار حدود ۱۱ درصد از تغییر در شدت انتشار CO₂ را توضیح می‌دهد. اثر شدت

انرژی (تغییرات فنی) در دو زیر دوره‌ی اول (۱۳۷۶-۷۸ و ۱۳۷۹-۸۳) منفی است، که نشان‌دهنده‌ی اثر کاهشی آن در شدت انتشار CO₂ می‌باشد. اما این اثر، در زیر دوره‌ی سوم و در کل دوره‌ی مورد مطالعه مثبت بوده است. مقدار مثبت اثر شدت انرژی، بیان‌کننده‌ی نقش مثبت آن در افزایش شدت انتشار CO₂ است. داده‌های شدت انتشار CO₂ روند افزایشی آن را از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۶ نشان می‌دهند، درحالی‌که در سال‌های ماقبل، بیش‌تر روند کاهشی داشته است. روند کاهشی شدت انتشار CO₂ در سال‌های ۱۳۷۶-۱۳۸۳، تنها در اثر تغییرات ساختاری اقتصاد بوده است (مقادیر منفی این اثر در دو دوره‌ی اول). در صورتی که دیگر اثرات، فقط سبب افزایش شدت انتشار CO₂ شده‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

این مقاله با استفاده از تکنیک تجزیه‌ی لاسپیرز، انتشار CO₂ی منتشر شده از مصرف انرژی را در بخش‌های مختلف اقتصادی تحلیل می‌کند. دوره‌ی مطالعه به سه زیر دوره: ۱۳۷۶-۷۸، ۱۳۷۹-۸۳، ۱۳۸۴-۸۶؛ تقسیم شده و محاسبات برای این سه زیر دوره و کل دوره‌ی مورد بررسی (۱۳۷۶-۸۶) انجام شده است. عواملی که انتشار CO₂ را تحت تأثیر قرار می‌دهند، در چهار نوع عوامل ساختاری اقتصاد، فعالیت اقتصادی، تغییر در شدت انرژی و ضریب انتشار CO₂ دسته‌بندی شده‌اند. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که در تمامی بخش‌های اقتصاد، فعالیت اقتصادی مهم‌ترین عامل اثرگذار بر انتشار CO₂ بوده است. البته تغییرات ساختاری نیز نسبت به دو عامل دیگر، نقش بزرگ‌تری در انتشار CO₂ ایفا می‌کند. در مجموع و در کل اقتصاد، توسعه‌ی اقتصادی در حدود ۴۸ درصد و تغییرات ساختاری (سهم انرژی مصرفی از ارزش افزوده ایجاد شده) حدود ۳۹ درصد از افزایش در انتشار CO₂ را به خود اختصاص داده‌اند. اثر شدت انرژی در سه بخش صنعت، حمل و نقل و کشاورزی در کل دوره‌ی مورد بررسی منفی بوده، که نشانگر نقش کاهشی آن بر انتشار CO₂ است. دو عاملی که می‌تواند سبب کاهش شدت انرژی و به تبع آن کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شود، افزایش در کارایی و قیمت‌های انرژی است. انتظار می‌رود بعد از حذف یارانه‌های حامل‌های انرژی، اثر شدت انرژی طی سال‌های آینده با سرعت بیش‌تری کاهش یابد. ضریب انتشار CO₂، روند نامنظمی طی دوره‌ی مورد مطالعه داشته است، به‌طوری‌که در بخش حمل و نقل و

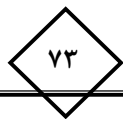
کشاورزی، طی دوره‌ی دوم، کاهش و در دوره‌ی سوم افزایش داشته‌است. درحالی‌که ضریب انتشار CO₂ در بخش‌های صنعت و دیگر بخش‌های اقتصادی طی دوره‌ی سوم کاهش یافته‌است. بهبود در کیفیت سوخت، جانشینی سوخت‌هایی با آلاینده‌ی کم‌تر و نصب تجهیزات کاهش آلاینده‌ی، سبب کاهش انتشار CO₂ می‌شوند و خود را در اثر ضریب انتشار CO₂ نشان خواهند داد.

این مطالعه بر خلاف مطالعات قبلی، از جمله مطالعات ژنگ و همکاران (۲۰۰۹)، پائول و باتاچاریا (۲۰۰۴)، تانک و همکاران (۲۰۰۹)، هاتزیجوریو و همکاران (۲۰۰۸)، بخش خانگی، تجاری و عمومی را نیز به‌طور مجزا و با توجه خاصی وارد تحلیل‌ها کرده‌است. هم‌چنین، شدت انتشار CO₂ را نیز تجزیه کرده‌است که مطالعات پیشین به آن نپرداخته‌اند. براساس نتیجه‌ی به‌دست آمده از این مطالعه، که هماهنگ با مطالعات پیشین است، فعالیت اقتصادی مهم‌ترین عامل در افزایش انتشار CO₂ محسوب می‌شود، درحالی‌که تغییرات ساختاری در ایران، برخلاف مطالعات انجام شده در دیگر کشورها از قبیل چین، هند، یونان و ترکیه، نقش مهمی در افزایش انتشار CO₂ در بخش‌های صنعت و حمل و نقل داشته‌است. بیش‌تر مطالعات انجام شده در این زمینه از روش تجزیه‌ی شاخص دی‌ویژنای میانگین لگاریتمی استفاده کرده‌اند؛ درحالی‌که در این مطالعه از تکنیک تجزیه‌ی کامل ارائه شده توسط سان (۱۹۹۸)، استفاده شده‌است.

تجزیه‌ی کاهش انتشار CO₂ نشان می‌دهد که نشر دی‌اکسید کربن طی دوره‌ی مورد بررسی با میزان فزاینده‌ای رو به رشد بوده‌است. پس سیاست‌گذاران زیست محیطی و انرژی می‌بایستی گام‌هایی در جهت کاهش انتشار CO₂ بردارند تا میزان رشد نشر گازهای گلخانه‌ای روندی نزولی پیدا کند. تجزیه‌ی شدت انتشار CO₂ نشان می‌دهد که تغییرات ساختاری نقش غالب را در افزایش شدت انتشار CO₂ داشته‌است، هر اقدامی در جهت کاهش شدت انتشار دی‌اکسیدکربن، نیازمند توجه به نقش تغییرات ساختاری است. رشد شهرنشینی، حرکت به‌سوی صنعتی شدن و کاهش سهم بخش کشاورزی، از جمله تغییرات ساختاری است که در طی دو دهه‌ی گذشته در کشور رخ داده‌است.

فهرست منابع

- بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، حساب‌های ملی ایران، اداره‌ی حساب‌های اقتصادی، سال‌های مختلف.
- رحیمی، نسترن (۱۳۸۱)، بررسی روند نشر گازهای گلخانه‌ای در بخش‌های خانگی-تجاری، کشاورزی و حمل و نقل ایران، فصل‌نامه‌ی علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره‌ی ۱۵، صفحات ۶۳-۷۸.
- شرزهای، غلامعلی، حقانی، مجید (۱۳۸۸)، بررسی رابطه‌ی علی میان انتشار کربن و درآمد ملی، با تأکید بر نقش مصرف انرژی، مجله‌ی تحقیقات اقتصادی، شماره‌ی ۸۷، صفحات ۷۵-۹۰.
- صالح، ایرج، شعبانی، زهره، باریکانی، سید حامد، یزدانی، سعید (۱۳۸۸)، بررسی رابطه‌ی علیت بین تولید ناخالص داخلی و حجم گازهای گلخانه‌ای در ایران (مطالعه‌ی موردی گاز دی اکسید کربن)، اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۷، شماره‌ی ۶۶، صفحات ۱۹-۴۱.
- فطرس، محمدحسن (۱۳۸۵)، مباحثی از اقتصاد محیط زیست (مجموعه‌ی مقالات)، همدان، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا.
- وزارت نیرو- معاونت امور انرژی، ترازنامه‌ی انرژی، سال‌های مختلف، (۱۳۷۶ - ۱۳۸۶).
- Ang, B.W., (2005) "The LMDI Approach to Decomposition Analysis: A Practical Guide" Energy Policy 33, 867-871
- Ang, B.W. & Choi, K.H., (1997) "Decomposition of Aggregate Energy and Gas Emission Intensities for Industry: a Refined Divisia Index Method" The Energy Journal 18 (3), 59-73.
- Ang, B.W. & Zhang, F.Q., (2000) "A Survey of Index Decomposition Analysis in Energy and Environmental Analysis" Energy 25, 1149-1176
- Ang, B.W., Zhang, F.Q. (1999) "Inter-Regional Comparisons of Energy-Related CO₂ Emissions Using the Decomposition Technique" Energy 24, 297-305
- Hatzigeorgiou, E. & Polatidis, H. & Haralambopoulos, D. (2008) "CO₂ Emissions in Greece for 1990-2002: A Decomposition Analysis and



Comparison of Results Using the Arithmetic Mean Divisia Index and Logarithmic Mean Divisia Index Techniques" Energy 33, 492–499

HDI (2008) "*Human Development Report 2007/2008*" Published for the United Nations Development Programme, pp 50-70

Hoekstra, R. & Van Den Bergh, J.C.J.M. (2003) "*Comparing Structural and Index Decomposition Analysis*" Energy Economics 25, 39–64

IPCC, (1995) "*Greenhouse Gas Inventory: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*" United Kingdom Meteorological Office, Bracknell, England

Paul, S. & Bhattacharya, R.N. (2004) "*CO₂ Emission from Energy Use in India: A Decomposition Analysis*" Energy Policy 32, 585–593

Sun, J.W. (1998) "*Accounting for Energy Use in China, 1980–94*" Energy Vol. 23, No. 10, pp. 835–849

Tunc, G.I. & Turut-Asik, S. & Akbostanci, E. (2009) "*A Decomposition Analysis of CO₂ Emissions from Energy Use: Turkish Case*" Energy Policy 37, 4689–4699

Wang, C. & Chen, J.N. & Zou, J., (2005) "*Decomposition of Energy-Related CO₂ Emission in China: 1957–2000*" Energy 30, 73–83

Zhang, M. & Mu, H. & Ning, Y. (2009) "*Accounting for Energy-Related CO₂ Emission in China, 1991–2006*" Energy Policy 37, 767–773

Zhang, M. & Mu, H. & Ning, Y. & Song, Y. (2009) "*Decomposition of Energy-Related CO₂ Emission over 1991–2006 in China*" Ecological Economics 68, 2122–2128.