دانشگاه شهید بهشتی، فصلنامهٔ اقتصاد و الگوسازی، دوره ۱۱، شماره ٤، زمستان ۱۳۹۹، ۱۳۲-۱۰۹، مقاله پژوهشی
Shahid Beheshti University, Quarterly Journal of Economics and Modelling Vol. 11, No. 4, Winter 2020, 109-132, Research Article

بررسی تجزیه ساختاری چند وجهی تغییرات شدت تجمیعی تجسم‌یافته انرژی و آلودگی: رهیافت داده-ستانده

زین‌العابدین صادقی*، حمیدرضا میرزایی، فرحناز داوری*****

تاریخ دریافت	تاریخ پذیرش
۱۳۹۹/۱۲/۲۸	۱۴۰۰/۰۲/۲۱

چکیده:

با وجود افزایش مصرف انرژی در سطح جهانی، بسیاری از کشورها به دنبال ایجاد یک موازنه بین مصرف انرژی و اثرات زیست محیطی ناشی از آن هستند. برای این منظور مطالعات زیادی جهت محاسبه و شناخت راه‌های کاهش انتشار کربن و عوامل موثر بر آن ارائه شده است. در این پژوهش با استفاده از یک تحلیل داده- ستانده، میزان انتشار کربن در بخش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته و با محاسبه شدت ساختاری و شدت مصرف داخلی، اثر آن بر شدت کل بررسی شده است. برای برآورد الگوی تحقیق از جدول داده- ستانده سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۴ اقتصاد ایران استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد، انتشار کربن در بخش‌های مختلف متفاوت و لذا شدت انتشار کربن آن‌ها نیز متفاوت است. به طور کلی شدت انتشار کربن در سال ۲۰۱۴ نسبت به سال ۲۰۱۱ افزایش یافته است، شدت انتشار کربن در بخش کشاورزی بیشترین افزایش را نشان می‌دهد. همچنین اثر ساختاری و تقاضای نهایی داخلی روی اثر شدت سبب افزایش در شدت جمع‌سازی شده تجسم‌یافته انرژی و آلودگی کل ملی شده است. به عبارت دیگر اثر ساختاری و تقاضای نهایی سبب تقویت شدت انتشار کربن می‌شود.

کلیدواژه‌ها: *تجزیه چند وجهی، تغییرات شدت کربن، تجسم‌یافته انرژی و آلودگی.*
طبقه‌بندی JEL: *C67، Q43، Q51، Q52.*

* دانشیار گروه اقتصاد دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران، z_sadeghi@uk.ac.ir
** دانشیار بخش مهندسی اقتصاد کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه باهنر ، کرمان ایران
mirzaei_h@uk.ac.ir
*** کارشناس ارشد اقتصاد انرژی دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران،
frahnazdavari1370@gmail.com

۱. مقدمه

توسعه و رشد پایدار مستلزم ایجاد یک توازن بین مصرف انرژی و اثرات زیست محیطی در فعالیت‌های اقتصادی است. طبق سالنامه آمار انرژی جهانی[1] در سال ۲۰۲۰، مصرف انرژی اولیه ایران معادل ۱۲/۳۴ اگزا ژول[2] بوده که نسبت به سال ۲۰۱۹ معادل ۴/۳ درصد رشد در مصرف انرژی داشته است. برای تناسب بین مصرف انرژی و فعالیت اقتصادی از شدت انرژی[3] و شدت انتشار[4] استفاده می‌شود. شدت کل انرژی مصرفی، تعریف شده به عنوان انرژی مصرفی در هر واحد تولید ناخالص داخلی (GDP) و میزان کل انتشار دی اکسید کربن (CO_2) در هر واحد تولید ناخالص داخلی به عنوان شدت انتشار کربن معرفی‌می‌شود (سو و انگ[5]، ۲۰۱۷). همچنین داده‌های شاخص عملکرد جهانی محیط زیست (EPI)[6] نشان می‌دهد که در سال ۲۰۲۰ از میان ۱۸۰ کشور و منطقه‌ای مورد ارزیابی، ایران در رتبه ۶۷ قرار دارد. این در حالی است که بسیاری از کشورها با استفاده از این شاخص‌های شدت کل اهدافی عملکردی در برنامه‌های توسعه‌ای خود تعیین می‌کنند؛ و برای رسیدن به این اهداف که بیشتر جنبه زیست محیطی دارد، در تلاش هستند.

به منظور مطالعه در مورد این شاخص‌های کل برای مصرف انرژی و انتشار CO_2، تجزیه و تحلیل تجزیه شاخص[7] (IDA) و تجزیه تحلیل ساختاری[8] (SDA) محبوب‌ترین رویکردها در میان بسیاری از محققان بوده که امروزه به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. هرچند استفاده از IDA ساده‌تر از SDA است، اما در SDA از داده‌های مربوط به جدول داده – ستانده[9] (I-O) یا جدول ماتریس اجتماعی[10] (SAM) استفاده می‌شود (سو و انگ،

1. The British Petroleum World Energy Statistical Yearbook
2. Exajoules
3. Energy intensity
4. Emission Intensities
5. Sou and Ang
6. Environmental Performance Index
7. The index decomposition analysis (IDA)
8. The structure decomposition analysis (SDA)
9. Input-output tables (I-O)
10. Social Accounting Matrices (SAM)

.(۲۰۱۷

پایه و اساس تجزیه تحلیل ساختاری (SDA) الگوهای جدول داده–ستانده (I-O) است. SDA بر اساس الگوی داده-ستانده توسط اقتصادانان کمیت گرا ساخته شده است. رز و کسلر (۱۹۹۶)[1] بررسی را در مورد ویژگی‌های تئوریک و کارکردهای اصلی این روش انجام داده‌اند. چندین روش ایده‌آل برای تجزیه SDA توسط محققان اتخاذ می‌شود و لذا لازم است که یک چارچوب تجزیه و جمع‌پذیر مطرح شود تا رابطه این روش‌ها مشخص شود. الگوهای I-O را می توان به عنوان الگوهای یک منطقه‌ای داده و ستانده[2] (SRIO) و الگوهای داده و ستانده چند منطقه‌ای [3](MRIO) طبقه بندی کرد که بر اساس آن SDA تک منطقه و SDA چند منطقه می‌تواند به ترتیب محاسبه شود. تفاوت بین الگوهای SRIO و MRIO این است که الگوهای چند منطقه‌ای پیوند اقتصادی میان مناطق مورد بررسی در رابطه با بازده تجاری و اثرات بازخوردی بین منطقه‌ای را نشان می‌دهد. با توجه به تفاوت بین مقدار و شاخص‌های شدت و بین الگوهای I-O در حالت تک و چند منطقه‌ای، الگوسازی SDA را می‌توان به چهار نوع طبقه بندی نمود که شامل رویکرد شدت SR (نوع ۱)، رویکرد ارزیابی SR (نوع۲)، رویکرد شدت MR (نوع۳) و رویکرد ارزیابی MR (نوع۴) هستند. بیشتر مطالعات موجود متعلق به نوع ۱ است، یعنی تعیین دقیق تغییرات مصرف انرژی یا انتشار گازهای گلخانه‌ای در یک کشور. این مطالعات و استفاده از نتایج آن باعث تغییرات در مصرف انرژی و یا تغییر در انتشار کربن که عموما در جهت کاهش آن است برای کل اقتصاد می‌شود. مسائل روش شناختی و کاربردی این مهم به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته اند. مطالعات نوع ۲ شایع نیست اما تعداد آنها در حال رشد است. مطالعات نوع ۳ تغییرات در مصرف انرژی یا انتشار انرژی منطقه ای یا جهانی را مورد بررسی قرار می‌دهد. مطالعات نوع ۴، با توجه به اطلاعات ما هیچ مطالعه SDA دراین مورد به دلیل پیچیدگی

1. Rose and Casler
2. Singel Regional Input-Output
3. Multi-Regional Input-Output (MRIO) Models

الگوسازی شاخص‌های شدت که با استفاده از الگوهای چند منطقه ای I-O است تا کنون گزارش نشده است. (چان و چان[1]،۲۰۱۰). در تحلیل تجزیه، معیار تجمیعی مطلوب به صورت جمع زیر مجموعه مقادیر مطرح شده و فرض می‌شود که سطح جمع سازی شده نشان دهنده کل اقتصاد است. موارد خاص در چارچوب SDA شامل سه روش تجزیه ایده‌آل LMDI II، LMDI I و MRCI است، که دو روش اول مربوط به خانواده دیویژیا و الگوی MRCI متعلق به خانواده لاسپیرز است (صادقی و همکاران، ۱۳۹۳).

دلیل استفاده گسترده از شاخص تجزیه این است که تغییرات آن را می‌توان به راحتی با استفاده از SDA جمع‌سازی شده مطالعه کرد که می‌تواند به آسانی مورد استفاده قرار گیرد. علاوه‌براین، نتایج تجزیه و تحلیل بیان می کند که در همان واحد به عنوان شاخص تجزیه چندوجهی[2] مورد مطالعه قرار گیرد و می‌تواند راحت‌تر از قبل ارائه، تفسیر و درک شود. در مقابل، با توجه به دلایل از پیش گفته شده، تجزیه شدت انتشار با استفاده از SDA به ندرت پیش از سال ۲۰۱۰ مورد استفاده قرار می‌گرفت. شدت تجسم‌یافته تجمیعی (AEI)[3] به عنوان نسبت انرژی تجسم‌یافته (یا انتشار) به ارزش افزوده مجسم[4] تعریف می‌شود. شدت کل یک جمع وزنی از AEIها در سطوح مختلف است. تغییر AEI در سطوح مختلف برای شناسایی نیروهای محرک با استفاده از SDA ضرب می‌تواند تجزیه شود (سو و آنگ، ۲۰۱۲)[5]. نوآوری این تحقیق استفاده از روش تحلیل ساختاری برای انرژی و آلودگی تجسم‌یافته به ارزش افزوده تجسم‌یافته بخش‌های اصلی اقتصاد ایران است.[6]

این تحقیق به دنبال پاسخگویی به سوال‌های زیر است:

---

1. Chen and Chen

۲. فرم چندوجهی برای تغییر نسبی یک شاخص شدت تجمیعی استفاده می‌شود

3. Aggregate Embodied Intensity

برابر است با نسبت انرژی (آلودگی) تجسم یافته به ارزش افزوده تجسم یافته

4. Embodied Value-added

5. Su and Ang

۶. قسمت جدول داده ستانده از ماتریس حسابداری اجتماعی از نسخه جدید Global Trade Analysis Project (GTAP) برای کشور ایران استخراج شده‌است.

۱- اثر شدت انتشار کربن در اقتصاد ایران چه مقدار هست؟
۲- اثر ساختار انتشار کربن، در اقتصاد ایران چه مقدار بوده و چه تأثیری روی شدت انتشارکل دارد؟
۳- مقدار شدت کربن تجسم‌یافته تجمیعی در اقتصاد ایران چه مقدار هست؟

در این مقاله ابتدا ادبیات موضوع، روش‌شناسی تحقیق، و سپس تجزیه و تحلیل نتایج ارایه شده است و در نهایت نتیجه‌گیری ارایه شده‌است.

۲. ادبیات موضوع

در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در مورد چگونگی تأثیر انواع مختلف تقاضای نهایی بر مصرف انرژی کشورها و انتشار کربن حاصل از آن با استفاده از چارچوب لئونتیف[1] جدول داده – ستانده انجام شده است. مطالعاتی در مورد تجسم مصرف انرژی بخش خانوار، بخش دولت، بخش سرمایه‌گذاری و بخش تجارت بین‌الملل به عنوان تقاضای نهایی در جدول داده –ستانده. برخی دیگر از مطالعات بیشتر ارزش افزوده تجسم‌یافته در تجارت بین الملل و روابط بین بخشی را تجزیه و تحلیل می‌کنند. به عنوان مثال، مقاله لطفعلی‌پور و آشنا (۱۳۸۹) به بررسی عوامل مؤثر بر تغییر انتشار دی اکسیدکربن طی دوره ۱۳۷۳-۱۳۸۶ در اقتصاد ایران پرداخته است. در این پژوهش تغییرات انتشار کربن از نظر چهار عامل اصلی شدت انرژی، ضریب آلودگی، تغییرات ساختاری و فعالیت اقتصادی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته که نتایج آن نشان می‌دهد مهم ترین عامل افزایش انتشار کربن، رشد اقتصادی (اثر مقیاس) است و ساختار اقتصادی به میزان کمتری در افزایش انتشار کربن مؤثر بوده و همچنین ضریب آلودگی و شدت انرژی به میزان کمی در کاهش انتشار کربن نقش دارد. این در حالی است که اثر فعالیت اقتصادی در تمام بخش‌ها مثبت بوده و بخش‌هایی که سهم آن‌ها در تولید کل کاهش یافته است، اثر ساختاری منفی و در نتیجه اثر کاهشی بر انتشار کربن دارند.

1. Leontief

فطرس و براتی (۱۳۹۰)، عوامل مؤثر بر تغییر در سطح و شدت انتشار کربن ناشی از مصرف انرژی کل اقتصاد ایران را طی دوره ۱۳۸۶-۱۳۷۶ مورد مطالعه قرار داده‌اند. آن‌ها برای این منظور، چهار عامل اثرگذار بر انتشار کربن یعنی، فعالیت اقتصادی، تغییرات ساختاری، ضریب انتشار کربن و شدت انرژی را با استفاده از تحلیل تجزیه شاخص بررسی کرده‌اند. با تفکیک اقتصاد به پنج بخش مجزا (خانگی-عمومی-تجاری، صنعت، حمل و نقل، کشاورزی و سایر) برآوردهای لازم انجام شده که بر اساس نتایج به دست آمده در این مطالعه، رشد اقتصادی بزرگترین اثر مثبت را بر تغییرات انتشار کربن در تمامی بخش‌های مورد بررسی، به جز صنعت و حمل و نقل، داشته است. در دو بخش صنعت و حمل و نقل، تغییرات ساختاری اثری بیشتر را بر افزایش انتشارکربن کشور داشته است. تجزیه شدت انتشار کربن نیز نشان داده که حدود ۸۲ درصد از تغییرات در شدت انتشار کربن در اثر تغییرات ساختاری بوده است.

خلیلی عراقی و همکاران (۱۳۹۱) به تحلیل تجزیه انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از مصرف انرژی در ایران با استفاده از روش تحلیل تجزیه ساختاری و روش میانگین لگاریتم شاخص دیویژیا[1] (LMDI) پراخته است. تغییرات انتشار دی اکسیدکربن در سطح کلان اقتصاد و در سطح بخش‌های اقتصادی با عوامل اثرگذار برای دوره ۱۳۸۵-۱۳۴۶ در قالب هشت دوره پنج ساله و دو دوره سه ساله برای سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۸۳ مورد بررسی قرار داده است. نتایج نشان می‌دهد در سطح کلان اقتصاد، تغییرات سرانه تولید ناخالص داخلی، جمعیت و شدت انرژی اثر مثبت بر انتشار دی اکسیدکربن داشته‌اند و تغییرات شدت کربن سوخت‌های فسیلی در بیشتر دوره‌ها نقش مؤثری در کاهش انتشار دی اکسیدکربن داشته است. نتایج تحلیل تجزیه شاخص در بخش صنعت نیز نشان می‌دهد، سهم سوخت‌های فسیلی در انرژی مصرفی و تولید این بخش از کل تولید ناخالص کشور نقش تعیین کننده در انتشار دی اکسید کربن طی دوره ۱۳۸۷-۱۳۸۳ داشته است. همچنین شدت کربن سوخت‌های فسیلی و شدت انرژی مصرفی در

1. Log Mean Divisia Index II(LMDI II)

بخش‌های خدمات و کشاورزی نقش مثبتی در انتشار دی اکسیدکربن داشته است و اثر سهم بخش کشاورزی از کل تولید ناخالص داخلی بر انتشار دی اکسیدکربن در این بخش برخلاف سایر بخش‌های اقتصادی منفی بوده است.

سعیدپور و همکاران (۱۳۹۴) تاثیر آستانه‌ای درآمد بر شدت انتشار دی اکسید کربن در کشورهای منتخب منطقه منا با استفاده از الگوی رگرسیون انتقال ملایم تابلویی[1] مورد بررسی قرار داده است. برای این منظور از متغیرهای توسعه مالی، درجه باز بودن اقتصاد، شدت انرژی، درآمد سرانه و شدت انتشار دی اکسید کربن طی دوره زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۱ استفاده شده نموده که نتایج نشان می‌دهد پارامتر شیب بسیار زیاد برآورد گردیده که بیانگر سرعت تعدیل از یک رژیم به رژیم دیگر می باشد. اگرچه متغیرهای درجه باز بودن اقتصاد و درآمد سرانه در هر دو رژیم مورد بررسی منجر به کاهش شدت انتشار دی اکسید کربن می‌شود، اما میزان تاثیرگذاری آن متفاوت است. تأثیر توسعه مالی در رژیم‌های مورد بررسی متفاوت بوده چرا که در یک رژیم باعث افزایش شدت انتشار دی اکسید کربن و در دیگر باعث کاهش آن شده است.

یان و همکاران[2] (۲۰۱۶)، کشش شدت انتشار دی اکسیدکربن برای صنایع انرژی بر چین را از دو رویکرد تقاضا محور لئونتیف و عرضه محور که به صورت همزمان برای جدول داده-ستانده سال ۲۰۱۰ تحلیل کرداند و نشان دادند که از رویکرد تقاضا محور لئونتیف تکنولوژی تولید صنعت ساختمان نقش مهمی در شدت انتشار صنایع انرژی‌بر دارد، درحالی که با بکارگیری رویکرد عرضه محور که باید به تخصیص و عرضه بخش استخراج نفت و گازطبیعی توجه بیشتری نمود. بین و همکاران (۲۰۱۹) از روش تحلیل مسیر ساختاری[3] (SPA) با شاخص شدت جمع‌سازی شده تجسم‌یافته[4] (AEI) و روش تجزیه تحلیل ساختاری در زمینه مطالعات انرژی و شدت انتشار استفاده نموده است. یک مطالعه تجربی با استفاده از مجموعه داده‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۲ چین برای نشان

1. Panel Smooth Transition Regression Model (PSTR)
2. Yan et al.
3. Structural Path Analysis (SPA)
4. The Aggregate Embodied Intensity (AEI)

دادن AEI در لایه‌های انتقال دقیق و نشان دادن روابط آن‌ها با شاخص‌های AEI در سطوح مختلف و بررسی بیشتر نیروهای محرکه برای تغییر این شاخص AEI ارائه شده است. چارچوب پیشنهادی چند سطح AEI همچنین می‌تواند برای سایر شاخص‌ها اعمال شود و برای تجزیه و تحلیل چند کشور تا چند منطقه گسترش یابد.

زو و همکاران[1] (۲۰۲۰) ارتقا محیط زیست را به عنوان کاهش شدت کربن تعریف نموده و اختلاف بین مناطق چین در عملکرد انتشار کربن را بررسی می‌نماید. برای این منظور از جداول داده-ستانده بین منطقه‌ای (برای سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۲) استفاده نموده که صادرات پردازش[2] را از صادرات معمولی[3] متمایز می‌کند. شدت انتشار منطقه‌ای[4] (EIs) نشان می‌دهد که سطح محیط زیست در دوره ۲۰۰۲-۲۰۰۷ کاهش یافته و در طی سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۱۲ افزایش پیدا کرده است. برای شناسایی عوامل موثر بر EI منطقه‌ای، از تجزیه و تحلیل تجزیه ساختاری ضربی استفاده نموده که نتایج آن نشان می‌دهد، تغییرات در ضرایب انتشار مستقیم و تغییر در فناوری تولید مهمترین عامل تعیین کننده در شدت انتشار هستند. همچنین در کنار این عوامل تعیین کننده، تغییر تجارت بین منطقه‌ای نشان می‌دهد که میزان EI در مناطق غربی و مرکزی به طور قابل توجهی افزایش یافته است. این نشان می‌دهد که تولید، بیشتر از مناطق ساحلی به مناطق داخلی این کشور منتقل شده است.

باتاچاریا و همکاران[5] (۲۰۲۰) همگرایی شدت انتشار کربن مبتنی بر مصرف و مبتنی بر قلمرو را در ۷۰ کشور بررسی می‌نماید. برای این منظور از بررسی دو انجمن همگرا[6] برای آلایندگی‌های مبتنی بر مصرف و سه انجمن همگرا برای آلایندگی‌های مبتنی بر منطقه استفاده نموده است. نتایج نشان می‌دهد افزایش در هر یک از فاکتورهای بهره‌وری کل، مصرف انرژی تجدیدپذیر و شهرنشینی احتمال تعلق به یک انجمن شدت

1. Zhu et al.
2. Processing Exports
3. Ordinary Exports
4. Regional Emission Intensities (EIs)
5. Bhattacharya et al.
6. Convergent Clubs

انتشار کربن کمتر را افزایش می‌دهد. و این در حالی است که افزایش ارزش افزوده صنعت احتمال تعلق به یک انجمن با شدت کربن کمتر را کاهش می‌دهد. افزایش فاکتور بهره‌وری کل را می‌توان از طریق سیاست اقتصاد کلان موثر بدست آورد، در حالی که افزایش مصرف انرژی تجدیدپذیر ممکن است نیاز به تغییرات ساختاری در اقتصاد متمرکز بر انتقال به اقتصاد با کربن کمتر داشته باشد. طبق یک سناریو پیش‌بینی معمول، تعداد انجمن‌های شدت انتشار کربن مبتنی بر مصرف بین سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۳۰ افزایش خواهد یافت.

۳. روش‌شناسی تحقیق

این مقاله همانند مطالعه سو و همکاران[1] (۲۰۱۷) با استفاده از چارچوب داده- ستانده، یک چارچوبی از شدت انتشار تجسم شده را پیشنهاد و بیشتر از SDA برای مطالعه عوامل محرکه تغییرات شدت انتشار تجمع یافته در طول زمان استفاده می‌شود. نوآوری آن عبارتند از: (الف) تعریف شدت انتشار تجسم شده کل، تقاضای نهایی و سطح بخشی؛ (ب) به دست آوردن رابطه بین شدت تجسم کل در سطوح مختلف؛ (ج) استفاده از تجزیه و تحلیل SDA برای تجزیه تغییرات شدید تجسم‌یافته در سطوح مختلف و (د) استخراج برابری تجزیه جایگزین با استفاده از نتایج تجزیه به دست آمده در سطوح دقیق بخشی. برای الگوسازی سازگار با محیط زیست، فرض واردات و انتخاب الگوی I-O حاصل از جدول SAM از اجزای مهم در تجزیه و تحلیل تجربی این پژوهش هستند. هرچند بیشتر مطالعات تجسم در ادبیات از الگوی لئونتیف داده- ستانده استفاده می‌کنند و فرض واردات غیر رقابتی برای مطالعات تجسم مناسب‌تر می‌دانند (سو و انگ، ۲۰۱۷)، اما به دلیل در دسترس نبودن جدول داده – ستانده بروز از جدول SAM استفاده شده‌است. برای محاسبه میزان انتشار کربن (E) می‌توان بردار تولید کربن (C) (میزان تولید کربن به ازای هر ریال ارزش افزوده) را در ماتریس مصرف سوخت، بر

1. Su at al.

حسب واحد اندازه گیری (FC_u) ضرب نمود:

$$E = C * FC_u \quad (۱)$$

از آنجا که جمع ستونی مصارف بخش‌ها، ارزش افزوده و واردات در یک جدول متقارن داده - ستانده میزان ستانده کل را محاسبه می‌کند، لذا می‌توان این رابطه را به صورت زیر نوشت (میلر و بلر[1]، ۲۰۰۹):

$$X_{total} = Z + V = Z + F \quad (۲)$$

در این رابطه Z بیانگر جمع روابط بین بخشی، V ارزش افزوده، F تقاضای نهایی کل است. از طرفی از آنجا که جمع کل ارزش افزوده در یک اقتصاد همان مقدار GDP تعریف می‌شود، این رابطه را سو و انگ (۲۰۱۷) به صورت زیر ارائه داده‌اند:

$$GDP = 1'V = 1'(\hat{k}.x) = 1'\hat{k} \times L_d y = 1'H_d y \quad (۳)$$

در این رابطه نیز، $\hat{k}$ یک ضریب که بیان‌گر سهم ارزش افزوده از ستانده کل و L_d ماتریس معکوس لئونتیف است. عبارت I' بیانگر یک ماتریس که تمام عناصر قطر اصلی آن یک است، به عبارت دیگر با این ضرب این ماتریس در بردار ارزش افزوده، باعث خواهد شد این بردار به صورت سطری جمع زده شود . از آنجا ارزش افزوده شامل دو بخش ارزش افزوده مصرف نهایی (f) و ارزش افزوده صادرات (ex) تقسیم نمود، رابطه (۳) را می‌توان به صورت زیر بازنویسی نمود (سو و انگ، ۲۰۱۷):

$$1'H_d(y_{df} + y_{ex}) = 1'H_d y_{df} + 1'H_d y_{ex} = GDP_{df} + GDP_{ex} \quad (۴)$$

برای محاسبه شدت کربن (C_i) کافی‌است مانند میزان انتشار کربن را بر GDP تقسیم نمود (وزرات نفت، ۱۳۹۷).

$$C_i = Ce / GDP \quad (۵)$$

از آنجا که مجموع شدت تجسم‌یافته (AEI) به عنوان نسبت انرژی تجسم‌یافته (یا انتشار) به ارزش افزوده تجسم‌یافته تعریف می‌شود و از طرفی در تجزیه و تحلیل I - O

1. Miller and Blair

انرژی (یا میزان انتشار)، AEI در مجموع برابر با شدت کل (AI)[1] انرژی (یا انتشار) است. لذا خواهیم داشت:

$$AI = \frac{E}{GDP} = AEI \tag{۶}$$

با توجه به رابطه شماره (۴)، رابطه شدت انتشار (رابطه ۶) را به صورت زیر بازنویسی نمود:

$$AEI_{df} = \frac{E_{df}}{GDP_{df}} = \frac{f_v' H_d y_{df}}{1' H_d y_{df}} \tag{۷}$$

$$AEI_{ex} = \frac{E_{ex}}{GDP_{ex}} = \frac{f_v' H_d y_{ex}}{1' H_d y_{ex}} \tag{۸}$$

در اینجا AEI_{df} شدت تجسم‌یافته مصرف نهایی داخلی و AEI_{ex} شدت تجسم‌یافته صادرات تعریف می‌شود. با جایگذاری رابطه‌های شماره (۷) و (۸) در رابطه شماره (۶) خواهیم داشت:

$$AI = \frac{f_v' H_d (y_{df} + y_{ex})}{1' H_d (y_{df} + y_{ex})} = \frac{GDP_{df}}{GDP} AEI_{ex} + \frac{GDP_{ex}}{GDP} AEI_{ex} = w_{tot,df} AEI + w_{tot,ex} AEI_{ex} \tag{۹}$$

در این رابطه $w_{tot,df}$ بیانگر سهم ارزش افزوده تجسم‌یافته در مصرف نهایی داخلی و $w_{tot,ex}$ سهم ارزش افزوده مجسم در صادرات داخلی است.

برای محاسبه ضریب SDA در شدت تجسم‌یافته تجمع شده، با استفاده از فرمول کلی ضریب SDA و با استفاده از فرمول استفاده شده توسط سو و انگ (۲۰۱۷) تغییرات شدت تسجم یافته تجمیع شده بر اساس تقاضای نهایی از AEI^0 در زمان صفر و AEI^1 در زمان ۱ به صورت زیر است (سو و انگ، ۲۰۱۷):

1. The Total Aggregate Intensity (AI)

$$D_{tot} = \frac{AEI^1}{AEI^0} = \frac{E^1 / GDP^1}{E^0 / GDP^0} = D_{tot,fv} \times D_{tot,Hd} \times D_{tot,yd}$$
$$\Rightarrow \frac{D_{tot,fv} D_{tot,Hd} D_{tot,yd}}{D_{GDP,Hd} D_{GDP,yd}} = D_{tot,E,fv} \left(\frac{D_{tot,E,Hd}}{D_{tot,GDP,Hd}} \right) \left(\frac{D_{tot,E,yd}}{D_{tot,GDP,yd}} \right) \quad (۱۰)$$

در این رابطه $D_{tot,fv}$ بیانگر ضریب اثر شدت[1]، $D_{tot,Hd}$ ضریب اثر ساختار ورودی[2] و $D_{tot,yd}$ ضریب اثر تقاضای نهایی داخلی[3] است.

۴. تجزیه و تحلیل نتایج

با استفاده از جدول ماتریس اجتماعی(SAM) سال ۲۰۱۱ و ۲۰۱۴ مقدار هزینه مصرف چهار حامل انرژی (برحسب میلیون دلار برای هر نوع سوخت) برای کل اقتصاد استخراج شده و سپس این هزینه مصرف با تقسیم بر قیمت هر نوع سوخت به مقدار سوخت آن سوخت و واحد اندازه گیری آن تبدیل شده که در جدول شماره (۱) ارائه شده است.

بررسی جدول ۱ نشان می‌دهد، بیشترین مصرف انرژی در بخش کشاورزی مربوط به فرآورده‌های نفتی است، هرچند طی سال‌های مورد بررسی مصرف فرآورده‌های نفتی کاهش و مصرف گاز طبیعی افزایش یافته است؛ اما همچنان در این بخش فرآورده‌های نفتی بیشترین مصرف را داراست. در بخش خدمات نیز بیشترین مقدار مصرف انرژی از نوع گاز است. از آنجا که بخش حمل و نقل را با بخش صنعت ادغام نموده‌ایم، میزان مصرف فرآوردهای نفتی و گاز این بخش به یک تعادل نسبی رسیده است، چرا که بخش حمل و نقل مصرف فرآورده نفتی بیشتر و در حالی که بخش صنعت به تنهایی مصرف گاز بیشتری داشته است.

جدول(۱). میزان مصرف انرژی در بخش‌های مختلف (برحسب میلیون بشکه معادل نفت خام)

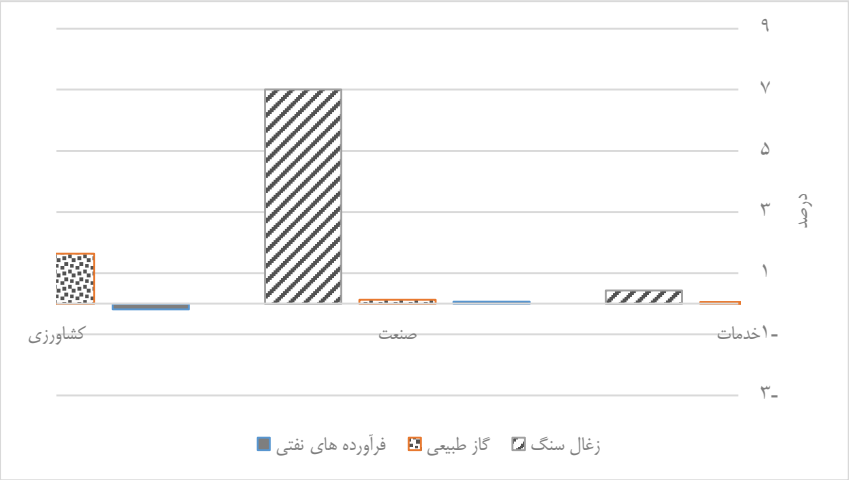
بخش	فرآورده‌های نفتی		گاز طبیعی		زغال سنگ	
	۲۰۱۱	۲۰۱۴	۲۰۱۱	۲۰۱۴	۲۰۱۱	۲۰۱۴

1. The Multiplicative Intensity Effect
2. The Multiplicative Input Structure Effect
3. The Multiplicative Domestic Final Demand Effect

کشاورزی	۲۴/۳	۱۹/۸	۳/۹	۱۰/۳	-	-
صنعت	۲۹۵/۶	۳۱۶	۲۵۳/۶	۲۸۵/۸	۰/۱	۰/۸
خدمات[1]	۵۵/۵	۴۳/۱	۳۱۸/۱	۳۳۷/۱	۰/۰۷	۰/۱

منبع: ترازنامه انرژی وزارت نیرو

نتایج تغییرات مصرف سوخت سال ۲۰۱۴ نسبت به سال ۲۰۱۱ در شکل شماره ۱ ارائه شده است. هدف از این شکل مقایسه تغییرات مصرف انرژی طی سال‌های مورد بررسی است.



شکل (۱). تغییرات مصرف انرژی در سال ۲۰۱۴ نسبت به ۲۰۱۱ برای هر بخش

منبع : یافته‌های پژوهش

همان طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، فرآورده‌های نفتی در بخش خدمات و کشاورزی به ترتیب ۲۲ و ۱۹ درصد کاهش داشته و این در حالی است که در بخش صنعت مصرف فرآورده‌های نفتی ۷ درصد بیشتر است است. مصرف گاز طبیعی در هر سه بخش افزایش پیدا کرده است، و این در حالی است که بیشترین افزایش مصرف گاز طبیعی مربوط به بخش کشاورزی است. مصرف زغال سنگ نیز در دو بخش صنعت و

۱. مصرف نیروگاه‌ها در این بخش قرار دارند.

خدمات افزایش پیدا کرده است، و این در حالی است که مصرف زغال سنگ در صنعت در حدود ۷ برابر افزایش پیدا کرده است.

۱-۴. انتشار کربن

با داشتن میزان مصرف انواع سوخت و از طرف دیگر میزان تولید کربن به ازای مصرف هر نوع سوخت ارائه شده در جدول (۲) می‌توان میزان انتشار کربن حاصل از مصرف انواع سوخت را طبق رابطه محاسبه (رابطه شماره ۱۰) انتشار کربن در هر بخش و برای کل اقتصاد محاسبه نمود، که نتایج مربوط به انتشار کربن محاسبه شده در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۲). میزان انتشار کربن به ازای مصرف انواع سوخت (تن کربن)

نوع سوخت	میزان انتشار کربن	واحد مصرف
ذغال سنگ	۲/۸۶	۱۰۰۰ کیلو
گاز	۱/۶۷۱	۱۰۰۰ متر مکعب
نفت	۲/۵۶۶	۱۰۰۰ لیتر

منبع : وزارت نفت (۱۳۹۷)

همانطور که انتظار می‌رود در یک واحد معین از انرژی بیشترین میزان انتشار کربن مربوط به ذغال سنگ است. لذا با توجه به جدول (۲) که توسط وزارت نفت در سال ۱۳۹۷ ارائه شده است، میزان انتشار کربن ناشی از مصرف انرژی محاسبه شده که نتایج آن برای هر بخش در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۳). میزان انتشار کربن در بخش‌های مختلف (میلیون تن کربن)

بخش	فرآورده‌های نفتی		گاز طبیعی		زغال سنگ	
	۲۰۱۱	۲۰۱۴	۲۰۱۱	۲۰۱۴	۲۰۱۱	۲۰۱۴
خدمات	۲۶/۲۹۴	۲۰/۴۱۹	۰/۱۲۱	۰/۱۲۸	۰/۰۲۰	۰/۰۲۸
صنعت	۱۴۰/۰۴۷	۱۴۹/۷۱۲	۰/۰۹۶	۰/۱۰۹	۰/۰۲۸	۰/۲۲۹
کشاورزی	۱۱/۵۱۲	۹/۳۸۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	-	-
جمع کل	۱۷۷/۸۵۴	۱۷۹/۵۱۲	۰/۲۱۹	۰/۲۴۱	۰/۰۴۸	۰/۲۵۷

منبع: یافته‌های پژوهش

همانطور که نتایج مصرف انرژی ارائه شده در جدول (۱) نشان داد، افزایش مصرف انرژی به خصوص انرژی‌های دارای ضریب انتشار کربن بیشتر، سبب شده تا در سال ۲۰۱۴ انتشار کربن افزایش پیدا کند. بیشترین انتشار کربن مربوط مصرف زغال سنگ در بخش صنعت بوه که نسبت به سال ۲۰۱۱، انتشار کربن در حدود ۷ برابر افزایش پیدا کرده و این در حالی است که تنها بخش صنعت انتشار کربن در آن افزایش داشته در حالی که در دو بخش خدمات و کشاورزی در مجموع انتشار کربن به ترتیب ۲۲ و ۱۸ درصد کاهش داشته است.

۲-۴. ارزش افزوده

از جدول SAM سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۴، ارزش افزوده کل، ارزش افزوده مصرف نهایی و ارزش افزوده صادرات اخذ شده است. همانطور که در جدول (۴) مشاهده می‌شود، در سال ۲۰۱۱ ارزش افزوده بخش صنعت بیشترین سهم را از ارزش افزوده کل اقتصاد در اختیار دارد، اما این در حالی است در سال ۲۰۱۴، سهم ارزش افزوده بخش خدمات بیشترین مقدار را دارد، با این تفاوت که ارزش افزوده صادرات در هر دو سال ۲۰۱۱ و ۲۰۱۴ منفی است.

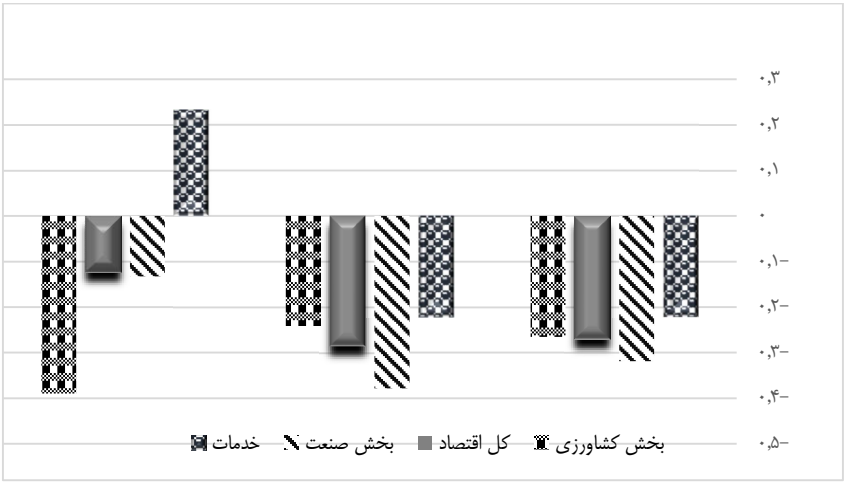
جدول (۴). ارزش افزوده بخش‌های اقتصادی به تفکیک هر بخش (میلیارد دلار)

بخش	سال ۲۰۱۱			سال ۲۰۱۴		
	ارزش افزوده کل	ارزش افزوده مصرف داخلی	ارزش افزوده صادرات	ارزش افزوده کل	ارزش افزوده مصرف داخلی	ارزش افزوده صادرات
کشاورزی	۴۴۶۲۹	۳۷۴۱۸	۷۲۱۰	۳۲۷۸۹	۲۸۳۸۸	۴۴۰۱
صنعت	۳۲۶۵۸۶	۲۴۷۶۳۳	۷۸۹۵۳	۲۲۲۵۰۰	۱۵۴۰۲۴	۶۸۴۷۵
خدمات	۳۲۴۶۴۶	۳۴۹۶۵۴	-۲۵۰۰۸	۲۵۲۶۱۷	۲۷۱۸۱۷	-۱۹۱۹۹
جمع کل	۶۹۵۸۶۱/۹	۶۳۴۷۰۶/۲	۶۱۱۵۵/۶۸	۵۰۷۹۰۷/۴	۴۵۴۲۳۰/۹	۵۳۶۷۶/۵۴

منبع: یافته‌های پژوهش

هرچند ارزش افزوده صادرات بخش خدمات در سال ۲۰۱۴ افزایش پیدا کرده است، لذا می‌توان گفت بیشترین حجم از ارزش افزوده در بخش خدمات در داخل کشور مصرف می‌شود و مقدار واردات بسیار بیشتر از صادرات بوده که ارزش افزوده صادرات این بخش منفی است. لذا می‌توان گفت که در سال ۲۰۱۱ بیشترین سهم از تولید ناخالص داخلی را بخش صنعت داشته است و این در حالی است که در سال ۲۰۱۴ بیشترین سهم از تولید ناخالص داخلی مربوط به بخش خدمات است. بیشترین سهم ارزش افزوده صادرات مربوط به بخش صنعت است، و این در حالی است که ارزش افزوده سال ۲۰۱۴ نسبت به سال ۲۰۱۱ در همه بخش‌ها کاهش پیدا کرده است.

در شکل (۲) تغییرات ارزش افزوده سال ۲۰۱۴ نسبت به سال ۲۰۱۱ ارائه شده است.



شکل (۲). تغییرات ارزش افزوده بخش‌های اقتصادی در سال ۲۰۱۴ نسبت به سال ۲۰۱۱

منبع: یافته‌های پژوهش

همانطور که مشاهده می‌شود ارزش افزوده کل، ارزش افزوده صادرات و ارزش افزوده مصرف داخلی هر سه کاهش پیدا کرده است، که بیشترین کاهش مربوط به ارزش

افزوده مصرف داخلی است. در بخش کشاورزی بیشترین، کاهش مربوط به ارزش افزوده صادرات است که نشان از کاهش صادرات بخش کشاورزی دارد. در بخش صنعت نیز ارزش افزوده مصرف داخلی بیشترین کاهش را داشته است. در بخش خدمات هرچند، ارزش افزوده صادرات ۲۳ درصد افزایش پیدا کرده است، که می‌توان علت آن کاهش واردات در این بخش باشد، اما به طور کلی ارزش افزوده این بخش همچنان در سال ۲۰۱۴ نسبت به سال ۲۰۱۱ منفی است.

۳-۴. شدت انتشار[۱]

برای محاسبه مجموع شدت تجسم‌یافته (AEI) از رابطه شماره ۷ و برای محاسبه شدت تجسم‌یافته مصرف نهایی داخلی (AEI_{df}) و شدت تجسم‌یافته صادرات (AEI_{ex}) از روابط شماره ۸ و ۹ استفاده می‌نمایم، لذا نتایج آن به صورت جدول (۵) ارائه شده است.

جدول (۵). شدت انتشار کربن به تفکیک هر بخش

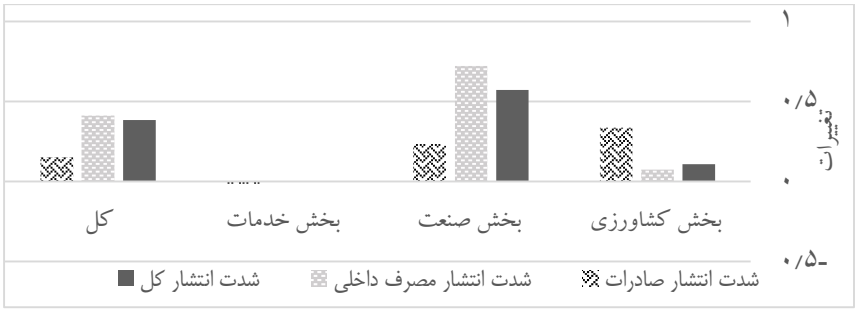
بخش	سال ۲۰۱۱			سال ۲۰۱۴		
	شدت انتشار کل	شدت انتشار مصرف داخلی	شدت انتشار صادرات	شدت انتشار کل	شدت انتشار مصرف داخلی	شدت انتشار صادرات
کشاورزی	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۰۰۳۰	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۲۸	۰/۰۰۰۳۳	۰/۰۰۲۱
صنعت	۰/۰۰۰۴۲	۰/۰۰۰۵۶	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۰۶۷	۰/۰۰۰۹۷	۰/۰۰۲۱
خدمات	۰/۰۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۰۷	-۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۰۷	-۰/۰۰۱۰
تجمیع شده	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۰۰۲۸	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۰۳۵	۰/۰۰۰۳۹	۰/۰۰۳۳

منبع: یافته‌های پژوهش

همانطور که مشاهده می‌شود، بیشترین شدت انتشار کربن مربوط به بخش صنعت است. به عبارت دیگر به ازای هر واحد ارزش افزوده در بخش صنعت، مقدار بیشتری کربن نسبت به سایر بخش‌ها تولید شده است. شدت انتشار صادرات در بخش خدمات

۱. برای محاسبات تحقیق از نرم‌افزار متلب (MATLAB) استفاده شده‌است.

منفی است و این امر نشان می‌دهد، منفی بودن خالص صادرات نشان می‌دهد که حجم واردات در ارزش افزوده بسیار بالا است. البته باید توجه داشت، که بخش بزرگی از مصرف کننده سوخت‌های فسیلی، یعنی خدمات تولید برق، توزیع گاز و آب تحت عنوان خدمات عمومی در این بخش قرار داشته و مصرف سوخت آن‌ها در این بخش محاسبه شده، لذا بزرگی شدت انتشار کربن این بخش، نسبت به سایر بخش‌ها توجیه پذیر است. به منظور مقایسه تغییرات، در شکل (۳)، تغییرات شدت کربن در سال ۲۰۱۴ نسبت به سال ۲۰۱۱ ارائه شده است.



شکل (۳). تغییرات شدت انتشار در بخش‌های مختلف

منبع: یافته‌های پژوهش

همانطور که نتایج شکل (۳) نشان می‌دهد، به طور کلی شدت انتشار کل ۳۸ درصد افزایش یافته است، که این امر اولاً ناشی از افزایش مصرف سوخت و دوماً ناشی از افزایش مصرف زغال سنگ به خصوص در بخش صنعت است. از طرفی نتایج نشان می‌دهد تنها در بخش خدمات شدت انتشار کل بدون تغییر مانده است.

۴-۴. اثر ساختار و اثر مصرف داخلی

برای محاسبه ضریب اثر ساختار ورودی ($D_{tot,Hd}$)ابتدا باید ضریب $\hat{k}$ و H_d را محاسبه

نمود. برای این منظور طبق رابطه [۱] می‌توان این ضرایب را محاسبه نمود:

$$1'V = 1'(\hat{k}.x) = 1'\hat{k} \times L_d y = 1'H_d.y \qquad ۱۰$$

$$\Rightarrow \hat{k} = V/x \qquad \text{و} \qquad \Rightarrow H_d = V/y$$

لذا با توجه به جداول SAM مربوط به سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۴ خواهیم داشت:

$$V_{2011} = \hat{k}_{2011} \times x_{2011} \Rightarrow \hat{k}_{2011} = V_{2011}/x_{2011} \Rightarrow \hat{k}_{2011} = 0.70 \qquad ۱۱$$

$$V_{2014} = \hat{k}_{2014} \times x_{2014} \Rightarrow \hat{k}_{2014} = V_{2014}/x_{2014} \Rightarrow \hat{k}_{2014} = 0.68 \qquad ۱۲$$

همچنین برای محاسبه H_d خواهیم داشت:

$$H_{d,2011} = V_{2011} \times y_{2011} \Rightarrow H_{d,2011} = V_{2011}/y_{2011} \Rightarrow H_{d,2011} = 0.80 \qquad ۱۳$$

$$H_{d,2014} = V_{2014} \times y_{2014} \Rightarrow H_{d,2014} = V_{2014}/y_{2014} \Rightarrow H_{d,2014} = 1.11 \qquad ۱۴$$

برای محاسبه ضریب SDA در شدت تجسم‌یافته تجمع شده، با استفاده از فرمول کلی ضریب SDA و با استفاده از فرمول استفاده شده توسط سو و انگ (۲۰۱۷) تغییرات شدت تسجم یافته تجمیع شده بر اساس تقاضای نهایی از AEI^0 در زمان صفر و AEI^1 در زمان ۱ به صورت زیر است (سو و انگ، ۲۰۱۷):

$$\boldsymbol{D_{tot} = \frac{AEI^1}{AEI^0} = \frac{E^1/GD^1}{E^0/GDP^0} = D_{tot,fv} \times D_{tot,Hd} \times D_{tot,yd}} \qquad ۱۵$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{\frac{D_{tot,fv}D_{tot,Hd}D_{tot,yd}}{D_{GDP,Hd}D_{GDP,yd}} = D_{tot,E,fv}\left(\frac{D_{tot,E,Hd}}{D_{tot,GDP,Hd}}\right)\left(\frac{D_{tot,E,yd}}{D_{tot,GDP,yd}}\right)}$$

در این رابطه $D_{tot,fv}$ بیانگر ضریب اثر شدت، $D_{tot,Hd}$ ضریب اثر ساختار ورودی و $D_{tot,yd}$ ضریب اثر تقاضای نهایی داخلی است:

$$D_{tot} = \frac{AEI^{2014}}{AEI^{2011}} = \frac{0.344}{0.269} \cong 1.278 \qquad ۱۶$$

همچنین با توجه به رابطه شماره ۱۵ ضریب اثر شدت ($D_{tot,fv}$)، ضریب اثر ساختار ورودی ($D_{tot,Hd}$) و ضریب اثر تقاضای نهایی داخلی ($D_{tot,yd}$) به صورت زیر محاسبه

---

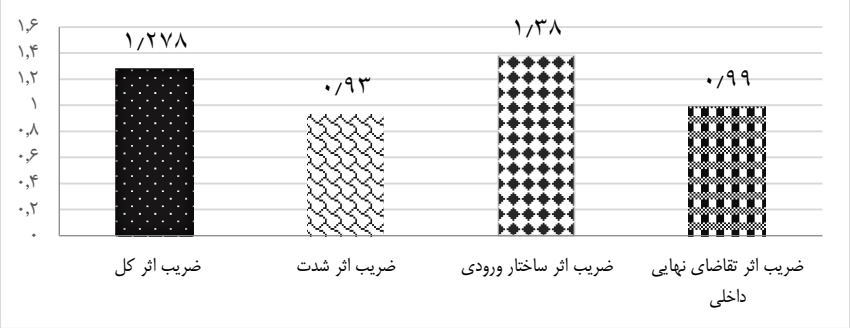
۱. که در آن D_{fx}^{M3} اثر شدت انتشار، D_{G}^{M3} اثر ساختاری قوش و D_{sv}^{M3} اثر ساختاری ارزش افزوده در الگو است.

$$D_{tot}^{M3} = \frac{r_{M3}^1}{r_{M3}^0} = D_{fx}^{M3}.D_{G}^{M3}.D_{sv}^{M3}$$

خواهد شد:

$$D_{tot} = D_{tot,fv} \times D_{tot,Hd} \times D_{tot,yd} \quad (۱۷)$$
$$\Rightarrow 1.278 \cong 0.93 \times 1.38 \times 0.99$$

نتایج حاصل از ضریب SDA در شدت کل ملی[1] در شکل شماره ۴-۷ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که اثر ساختاری و تقاضای نهایی داخلی روی اثر شدت سبب افزایش در AEI کل ملی شده است.



شکل (۴). ضریب SDA در شدت کل ملی

منبع: یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از ضریب SDA در شدت کل ملی در شکل شماره (۴) نیز نشان داد که بدلیل تأثیر اثر ساختاری و اثر تقاضای نهایی داخلی روی اثر شدت سبب افزایش در نسبت انرژی (آلودگی) تجسم‌یافته به ارزش افزوده تجسم‌یافته کل ملی شده است. به عبارت دیگر اثر ساختاری و تقاضای نهایی سبب افزایش AEI خواهد شد.

۵. نتیجه‌گیری

در این مطالعه با استفاده از داده‌های مربوط به جدول ماتریس اجتماعی سال ۲۰۱۱ و ۲۰۱۴ اقتصاد ایران، به بررسی تجزیه ساختاری چند وجهی تغییرات شدت جمع‌سازی

1. The National Total Aggregate Intensity

شده تجسم‌یافته انرژی و آلودگی پرداخته شد. برای این منظور ابتدا میزان مصرف انرژی سه بخش اقتصادی شامل خدمات، صنعت و کشاورزی از گزارش ترازنامه انرژی ایران استخراج گردید؛ سپس با استفاده از ضریب انتشار مصرف هر نوع سوخت میزان انتشار کربن ناشی از مصرف آن سوخت محاسبه گردید. نتایج تحلیل داده مصرف انرژی در بخش‌های مختلف نشان داد استفاده از فرآورده‌های نفتی در بخش‌های کشاورزی و خدمات کاهش اما در بخش صنعت افزایش پیدا کرده است. این در حالی است که استفاده از گاز طبیعی در هر سه بخش و مصرف زغال سنگ در دو بخش صنعت و خدمات افزایش داشته است. این در حالی است که تنها بخش صنعت انتشار کربن در آن افزایش داشته در حالی که در دو بخش خدمات و کشاورزی در مجموع انتشار کربن به ترتیب ۲۲ و ۱۸ درصد کاهش داشته است. از طرفی با توجه به مصرف انرژی و میزان انتشار کربن آن و از طرف دیگر با توجه به ارزش افزوده هر سال و برای هر بخش، شدت کربن محاسبه گردید، که نتایج آن نشان داد که شدت کربن در سال ۲۰۱۴ نسبت به سال ۲۰۱۱ به طور کلی ۱۵ درصد افزایش پیدا کرده است. در بخش صنعت شدت انتشار کل ۵۷ درصد، شد انتشار مصرف داخلی ۷۲ درصد و شدت انتشار صادرات نیز ۲۳درصد افزایش پیدا کرده، که در بین بخش‌های دیگر بیشترین مقدار افزایش را دارا است. در بخش خدمات نیز شدت انتشارکل و شدت انتشار مصرف داخلی هر دو بدون تغییر بوده‌اند، اما شدت انتشار صادرات ۱ درصد کاهش پیدا کرده است که علت این امر می‌تواند کاهش ارایه خدمات به خارجیان باشد، چرا که ارزش افزوده صادرات این بخش طبق نتایج جدول شماره (۵) منفی بوده است. نتایج حاصل از ضریب SDA در شدت کل ملی در شکل شماره (۴) نیز نشان داد که بدلیل تأثیر اثر ساختاری و اثر تقاضای نهایی داخلی روی اثر شدت سبب افزایش در AEI کل ملی شده است. به عبارت دیگر اثر ساختاری و تقاضای نهایی سبب افزایش AEI خواهد شد.

به طور کلی نتایج نشان می‌دهد، افزایش مصرف سوخت در هر سال وابسته به یک سری متغیرها مانند قیمت سوخت، فناوری مصرف کننده انرژی، محدودیت‌های قانونی و ... است. به عنوان مثال در بخش صنعت زیر بخش حمل و نقل بیشتر وابسته به نفت و

فرآورده‌های نفتی و زیر بخش خدمات عمومی مانند تولید برق در بخش خدمات نیز بیشتر وابسته به گاز است که سهم بسیار زیادی از انتشار کربن بخش خدمات را شامل می‌شود. لذا با تغییر در نوع حامل مصرفی می‌توان میزان انتشار کربن را کاهش داد، اگر چه در بسیاری از بخش‌ها این تغییر مصرف سوخت وابسته به تکنولوژی است. همانطور که اشاره شد در بخش حمل و نقل انتقال از سمت فرآورده‌های نفتی به گاز (بدلیل واقعی کردن قیمت حامل‌های بنزین و گازوییل) نیازمند تغییراتی در فناوری ناوگان حمل و نقل است. در حالی که در برخی از تغییرات مصرف انرژی به این سادگی امکان پذیر نیست، به عنوان مثال تغییر نوع سوخت از فرآورده‌های نفتی به گاز در بخش حمل و نقل با اندکی هزینه امکان پذیر است، اما تغییر نوع سوخت از فرآورده‌های نفتی به برق به راحتی امکان پذیر نیست، چرا که نیازمند سرمایه‌گذاری برای ارتقا فناوری و تغییرات ساختاری در وسایل حمل نقل است.

هرچند واردات سبب می‌شود انتشار کربن در یک کشور کاهش پیدا کند، چرا که تولید آن محصول در آن کشور کاهش پیدا کرده و مصرف سوخت نیز به سبب آن کاهش پیدا می‌کند. اما به لحاظ اقتصادی این کار فقط در زمانی توجیه پذیر است که کشور در تولید آن محصول مزیت اقتصادی نداشته باشد. از طرف دیگر واردات سبب کاهش اشتغال می‌شود.

با توجه به اینکه سه عامل تأثیرگذار برانتشار CO_2 عمدتاً در جهت افزایش انتشار مشارکت دارند؛ پیشنهاد می‌شود که مسئولان امر حداکثر تلاش خود را مبذول نمایند تا بنگاه‌های تأثیرگذار بر افزایش آلودگی را شناسایی و این افزایش انتشار ایجاد شده از طرف آنان را به عنوان هزینه برآنان اعمال نمایند (زیرا این روند دارای قدرت بازدارندگی بالایی برای افزایش آلودگی محسوب می‌شود).

با توجه به اینکه اثرات انتشار در دوره در طی سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴ نسبت به سال‌های گذشته مقدار اثر نهایی کاهش یافته است، اما باز هم به سیاست‌گذاران بخش انرژی کشور پیشنهاد می‌شود استفاده از انرژی‌های نو و فناوری‌های انرژی با کارایی

بالاتر را برای کاهش انتشار آلودگی مد نظر قرار دهند، چرا که کاهش انتشار در دوره بررسی بیشتر به علت افزایش قیمت‌ها و کاهش تولیدات بوده است.

منابع:

- Amiri, H., Saedpour, L., & Kalantary, A. (2016). Evaluation Threshold Effect of Income on Carbon Dioxide Emissions Intensity in Selected MENA Countries: Nonlinear Panel Data Approach. *Iranian Energy Economics*, 5, 39-66 (In Persian).
- Bhattacharya, M., Inekwe, J. N., & Sadorsky, P. (2020). Consumption-based and territory-based carbon emissions intensity: Determinants and forecasting using club convergence across countries. *Energy Economics*, 86, 104632.
- Chen, G. Q., & Chen, Z. M. (2010). Carbon emissions and resources use by Chinese economy 2007: a 135-sector inventory and input–output embodiment. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 15(11), 3647-3732.
- Fotros, M.H., Barati, J., Rasoulzadeh, M. (2014). Structural Decomposition Analysis of Carbon Dioxide (CO2) Emissions in Industry of IRAN: An Input-Output Approach. *Quarterly Energy Economics Review,* 10 (41) 131-152 (In Persian).
- IAEA, (2020). Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. International Atomic Energy Agency, United Nations Department of Economic and Social Affairs, International Energy Agency, EuroStat, and European Environment Agency.
- Khalili Araghi, A., Sharzei, G., & Barkhordari, S. (2012). A Decomposition Analysis of CO2 Emissions Related Energy Consumption in Iran. *Journal of Environmental Studies*, 38(1), 93-104 (In Persian).
- Lotfalipour, M., & Ashena, M. (2010). An Analysis of Factors That Influence Carbon Dioxide Emission In Iran's Economy. *Energy Economics Review*, 7(24), 121-145 (In Persian).
- Miller, R.E., & Blair, P.D. (2009). *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. Cambridge University Press.
- Ministry of Petroleum (2018). Guide to calculating and reporting greenhouse gas emissions. Department of Health, Safety, Environment and Passive Defense (In Persian).
- Rashidizadeh, M., & Jahangard, E. (2012). Analysis of energy intensity change in the activities of the Iranian economy with the SDA approach. *Applied Economics*, 2 (6), 67-91 (In Persian).
- Rasoolizadeh, M., & Ziaee, S. (2019). Investigating the Factors Affecting CO 2 Emissions in Selected OECD Countries Using Panel Data Model.

Journal of Natural Environment, 72(3), 339-352 (In Persian).
- Su, B. & Ang, B.W. (2017). Multiplicative structural decomposition analysis of aggregate embodied energy and emission intensities. *Energy Economics,* 65, 137-147.
- Su, B., & Ang, B.W. (2012). Structural decomposition analysis applied to energy and emissions: some methodological developments. *Energy Economics*, 34(1), 177-188.
- Su, B., Ang, B. W., & Li, Y. (2019). Structural path and decomposition analysis of aggregate embodied energy and emission intensities. *Energy Economics*, 83, 345-360.
- Tian, K., Dietzenbacher, E., Yan, B., & Duan, Y. (2020). Upgrading or downgrading: China's regional carbon emission intensity evolution and its determinants. *Energy Economics*, 91, 104891.
- URL: http://iiesj.ir/article-1-99-fa.html (In Persian).
- Wang, H., Ang, B. W., & Su, B. (2017). Assessing drivers of economy-wide energy use and emissions: IDA versus SDA. *Energy Policy, 107*, 585-599.
- Yan, J., Zhao, T., & Kang, J. (2016). Sensitivity analysis of technology and supply change for CO2 emission intensity of energy-intensive industries based on input–output model. *Applied energy*, 171, 456-467.
- Zhu, B., Su, B., Li, Y., & Ng, T.S. (2020). Embodied energy and intensity in China's (normal and processing) exports and their driving forces, 2005-2015. *Energy economics*, 91, 104911.

Investigation of Multiplicative Structural Decomposition Analysis of Aggregate Embodied Energy and Emission Intensities: The Input-Output Approach

Zeynolabedin Sadeghi (Ph.D.)*
Hamidreza Mirzaei (Ph.D.)**
Farahnaz Davari***

Received: 18/03/2021 Accepted: 11/05/2021

Abstract
Since the energy consumption has increased globally, many countries are searching to conduct a procedure for balancing between the energy consumption and its environmental impact. Therefore, there has been plenty of research to discover new strategies for decreasing carbon emission and highlighting the influential factors. This study has analyzed the carbon emission measures in several different sectors using the input-output approach. Also, the study has measured the effect of carbon emission on the total intensity by calculating the structural intensity and domestic energy consumption. The data is extracted from social matrix of Iran`s economy in 2011 and 2014. The findings indicate that the gas emission rate differs in different sectors and as a result the emission intensity is also different. In general, the emission intensity from 2014 has increased compared to 2011 though the emission intensity in agriculture sector has surged. Also, the total national AEI has increased as a result of structural effect and final demand for it. In other words, structural effect and final demand has influenced in the surge of carbon emission.

Keywords: *Multiplicative Structural Decomposition, Carbon Intensity Change, Aggregate Embodied Energy.*
JEL Classification: *C67, Q43, Q51, Q52.*

* Associate Professor of Economics, Faculty of Management and Economics, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran, (Corresponding Author), E-mail: z_sadeghi@uk.ac.ir
** Associate Professor of Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran, Email: mirzaei_h@uk.ac.ir
*** MA in Economics, Faculty of Management and Economics, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran, Email: frahnazdavari1370@gmail.com