

تجزیه عوامل مؤثر بر انتشار آلودگی دی اکسید کربن در صنایع محصولات کانی غیرفلزی ایران

محسن پورعبادالهیان کویج^{۱*}

محمد مهدی برقی اسگویی^۲

حسین پناهی^۳

خدیدجه صالحی ابر^۴

ایرج قاسمی^۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۷/۲۳

چکیده

دی اکسید کربن ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی با داشتن بیشترین سهم از گازهای گلخانه‌ای، مهمترین عامل آلودگی هواست. صنایع محصولات کانی غیرفلزی با داشتن سهم ۲۵/۸ درصدی در سال ۱۳۹۰، بیشترین نقش را در انتشار آلودگی دی اکسید کربن صنایع ده نفر کارکن و بیشتر ایران داشته است. داشتن آگاهی از چگونگی تغییرات این نوع آلودگی‌ها مستلزم توجه به عوامل مختلف مؤثر در انتشار آن‌ها است. بر همین اساس در مطالعه حاضر، انتشار دی اکسید کربن در صنایع محصولات کانی غیرفلزی ایران طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۰، به شش عامل اثر فعالیت، اثر ساختار بین‌بخشی، اثر ساختار درون‌بخشی، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار تجزیه می‌شود و با استفاده از روش LMDI، اثر تغییر در هر یک از این عوامل بر تغییرات انتشار دی اکسید کربن مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که تغییرات در اثر فعالیت، اثر ساختار بین‌بخشی و اثر ضریب انتشار به ترتیب بیشترین تأثیر را بر رشد انتشار دی اکسید کربن صنایع محصولات کانی غیرفلزی داشته‌اند و در نقطه مقابل، تغییرات اثر شدت انرژی، اثر ساختار درون‌بخشی و اثر ترکیب سوخت عوامل اصلی کاهش انتشار دی اکسید کربن بوده‌اند.

کلیدواژه‌ها: تحلیل تجزیه شاخص، انتشار آلودگی دی اکسید کربن، صنایع محصولات کانی غیرفلزی، روش LMDI، ایران

طبقه‌بندی JEL: Q40, Q41, Q43

Email: Mohsen_p51@hotmail.com

Email: Mahdi_oskooee@yahoo.com

Email: Panahi@tabrizu.ac.ir

Email: Salehi_kh90@yahoo.com

Email: Iraj.ghasemy@gmail.com

۱. دانشیار گروه اقتصاد، دانشگاه تبریز (*نویسنده مسئول)

۲. دانشیار گروه اقتصاد، دانشگاه تبریز

۳. دانشیار گروه اقتصاد، دانشگاه تبریز

۴. کارشناس ارشد اقتصاد، دانشگاه تبریز

۵. کارشناس ارشد اقتصاد، دانشگاه تبریز

۱. مقدمه

محیط‌زیست و منابع طبیعی تأمین‌کننده بسیاری از نهاده‌های تولید هستند، فلذا حفاظت از آن‌ها لازمه توسعه پایدار است. توسعه پایدار بخش انرژی در بهبود شرایط اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی نقش بسزایی دارد به‌گونه‌ای که توجه به این امر، موجب کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای خواهد شد (ترازنامه انرژی، ۱۳۸۳). اهمیت این مسئله به‌اندازه‌ای است که بسیاری از سمینارها و پروتکل‌های بین‌المللی نظیر کنفرانس استکهلم، کنفرانس ریو، پروتکل کیوتو و... در راستای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بخش انرژی در سطح جهانی برگزار گردیده است.

در سال ۲۰۱۱، ده کشور با بالاترین انتشار در گازهای گلخانه‌ای که سهم ۴۹/۵ درصدی از جمعیت جهان را در برمی‌گیرند، حدود دوسوم انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص داده‌اند، فلذا سرانه انتشار گازهای گلخانه‌ای در این کشورها، بسیار بالاتر از سایر کشورها بوده است. ایران نیز در رتبه نهم این رده‌بندی قرار دارد (آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۱۳). دی‌اکسید کربن (CO₂) ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی بیشترین سهم را از انتشار گازهای گلخانه‌ای به خود اختصاص می‌دهد. آمار موجود در ایران نشان می‌دهد که سرانه انتشار CO₂ کل بخش انرژی کشور در طول دوره ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۹ بیش از ۱۱ برابر شده است و میزان آن در سال ۱۳۹۰ به بیش از ۶/۹۷ تن رسیده است (ترازنامه انرژی، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۰).

طی دوره ۱۳۹۰ - ۱۳۷۹، بخش صنعت ایران با داشتن سهمی در حدود ۱۶/۴ درصد، سهم بسزایی در انتشار کل CO₂ در میان بخش‌های مصرف‌کننده انرژی کشور دارد. در سال ۱۳۹۰ کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر^۱ به عنوان صنایع متوسط و بزرگ، بیش از ۷۶ درصد مصرف انرژی بخش صنعت را به خود اختصاص داده‌اند. این کارگاه‌ها در ۲۳ زیربخش صنعتی (کدهای دورقمی ISIC^۲) طبقه‌بندی شده‌اند. بر اساس آمار منتشره از مصرف انرژی و ضرایب انتشار معرفی شده برای بخش صنعت، صنایع محصولات کانی غیرفلزی (با کد دو رقمی ۲۶) بیشترین نقش را در انتشار CO₂ زیربخش‌های صنعتی داشته است^۳. با توجه به اهمیت انتشار گازهای گلخانه‌ای همچون CO₂ در ایجاد آلودگی هر کشور، شناخت عوامل مؤثر بر انتشار آن ضروری است که این امر مستلزم تجزیه انتشار گاز

۱. کارگاه صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر کارگاهی است که متوسط تعداد کارکنانش در سال‌های مورد بررسی، ده نفر و بیشتر بوده است. علت انتخاب کارگاه‌های ده نفر کارکن و بیشتر آن است که این کارگاه‌ها بخش اعظم کارگاه‌های صنعتی در ایران را تشکیل می‌دهند و همچنین دارای آمار و اطلاعات منسجم سری زمانی می‌باشند.

2. International Standard Industrial Classification

ISIC نوعی طبقه‌بندی استاندارد برای فعالیت‌های تولیدی است. مطالعه حاضر بر اساس سومین ویرایش این طبقه‌بندی صورت گرفته است.
۳. صنایع محصولات کانی غیرفلزی با مصرف ۷۰ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۳۹۰، سهم ۲۵/۸ درصد از انتشار CO₂ زیربخش‌های صنعتی را داشته است (محاسبات تحقیق).

مزبور به عوامل مختلف مؤثر است. بر همین اساس مطالعه حاضر با استفاده از آمار و اطلاعات کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر ایران، به تجزیه عوامل مؤثر بر انتشار آلودگی CO₂ در صنایع محصولات کانی غیرفلزی ایران در سطح کدهای چهاررقمی ISIC طی دوره زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۰ به شش عامل اثر فعالیت، اثر ساختار بین‌بخشی، اثر ساختار درون‌بخشی، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار می‌پردازد و با به‌کارگیری روش LMDI، اثر تغییر در هر یک از عوامل مذکور را بر روی تغییرات انتشار CO₂ صنایع مزبور مورد بررسی قرار می‌دهد.

در این مطالعه سعی می‌شود تا ضمن تحلیل روند عوامل مذکور به این سؤال که تأثیر تغییرات هر یک از عوامل مؤثر مورد مطالعه در این تحقیق، در تغییرات انتشار CO₂ صنایع محصولات کانی غیرفلزی چقدر بوده است، پاسخ داده شود.

سازمان‌دهی مقاله به این ترتیب است که در ادامه و در بخش دوم، مبانی نظری و در بخش سوم مروری بر تعدادی از مطالعات تجربی انجام‌شده در داخل و خارج از کشور آورده شده است. در بخش چهارم روش‌شناسی تحقیق و در بخش پنجم تجزیه و تحلیل یافته‌ها ارائه می‌شود. در نهایت در بخش ششم به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات سیاستی پرداخته می‌شود.

۲. مبانی نظری

در سال‌های اخیر روش تحلیل تجزیه‌ای (IDA)^۲ به عنوان ابزاری کارا برای مطالعه عوامل اثرگذار بر تغییرات انتشار آلودگی‌های ناشی از مصرف انرژی مورد استفاده قرار گرفته است. به‌طور عمومی دو روش رایج در تحلیل تجزیه وجود دارد: تحلیل تجزیه شاخص (IDA)^۳ و تحلیل تجزیه ساختاری (SDA)^۴.

IDA یک روش ساده است که از داده‌های تجمیع شده در سطح بخشی و در سطح کلان استفاده می‌کند، درحالی‌که SDA با استفاده از جدول داده - ستانده، امکان تجزیه و تحلیل دقیق‌تر از اثرات تکنولوژیکی و تقاضای نهایی را فراهم می‌کند. با این وجود، با توجه به محدودیت‌های بسیار زیاد اطلاعاتی و آماری، امکان ساخت چنین جدولی بسیار دشوار و برآوردی است، از همین روی تکنیک IDA بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (هکسترا و وان در برگ^۵، ۲۰۰۳).

در تکنیک IDA از روش‌های مختلفی برای شاخص‌سازی استفاده می‌شود. به‌طور کلی IDA به دو

۱. با توجه به این که ضرایب انتشار برای سوخت‌های مختلف در تمامی زیربخش‌های صنعتی ثابت است، فلذا برای ضریب انتشار سوالی قابل طرح نمی‌باشد.

2. Decomposition Analysis
3. Index Decomposition Analysis
4. Structural Decomposition Analysis
5. Hoekstra and Van der Bergh

روش IDA بر پایه شاخص لاسپیرز^۱ شامل شاخص لاسپیرز پایه، شاخص پاشه، شاخص فیشر و شاخص مارشال - اجورث و نیز IDA بر پایه شاخص دیویژیا^۲ شامل شاخص دیویژیای میانگین حسابی (AMDI)^۳ و شاخص دیویژیای میانگین لگاریتمی (LMDI)^۴ تقسیم می‌شود.

در طول زمان، کاربرد تکنیک IDA از تجزیه و تحلیل انرژی در دهه ۱۹۷۰ به تجزیه و تحلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای در دهه ۱۹۹۰ گسترش یافت و بدین ترتیب علاوه بر تغییرات ساختاری و شدت انرژی، عوامل دیگری از جمله ضریب انتشار و ترکیب سوخت نیز در تابع تحلیل تجزیه شاخص پدیدار شدند. در چنین وضعیتی مشکل تکنیک‌های شاخص لاسپیرز این بود که با افزایش تعداد عوامل مؤثر به بیش از سه مورد، فرمول‌های محاسباتی آن‌ها پیچیده‌تر می‌شد و از همین روی تکنیک‌های شاخص دیویژیا بهتر می‌توانستند مورد استفاده قرار گیرند. روش‌های مختلف تکنیک IDA بر پایه شاخص دیویژیا دارای ویژگی‌های مشترک زیادی هستند و در بسیاری از شرایط نتایج تجزیه حاصل از آن‌ها یکسان خواهد بود و از فرمول مشابهی در مواجهه با تعداد عوامل متفاوت استفاده می‌کنند، با این وجود، روش AMDI دارای دو کاستی زیر می‌باشد:

۱. عدم برقراری آزمون برگشت عامل منجر به ایجاد پسماند در برخی شرایط می‌گردد.
 ۲. در صورت وجود مقادیر صفر در مجموعه داده‌ها مشکل محاسباتی ایجاد می‌شود.
- مزیت اساسی روش تجزیه‌ای کامل LMDI آن است که جمله اخلاص را مطابق اصل توزیع برابر تقسیم می‌کند و مشکل وجود مقادیر صفر در داده‌ها را نیز می‌توان با جایگزین کردن مقادیر صفر با یک عدد مثبت بسیار کوچک حل نمود (لطفعلی‌پور و آشنا، ۱۳۸۹).
- به‌طور کلی روش LMDI در مقایسه با دیگر تکنیک‌های موجود از مشخصه‌هایی نظیر استقلال زمانی، انعطاف‌پذیری محاسباتی، سازگاری در تجمیع و امکان محاسبه مقادیر منفی و صفر برخوردار است (انگ^۵، ۲۰۰۴). از همین روی در این مطالعه نیز از روش LMDI استفاده می‌شود.

۳. پیشینه تجربی تحقیق

طی سال‌های اخیر مطالعات خارجی و داخلی متعددی با استفاده از تحلیل تجزیه، به بررسی تغییرات انتشار آلودگی CO₂ مرتبط با مصرف انرژی پرداخته‌اند که در ذیل به برخی از جدیدترین آن‌ها اشاره می‌شود.

1. Laspeyres IDA
2. Divisia IAD
3. Arithmetic Mean Divisia Index
4. Logarithmic Mean Divisia Index
5. Ang

جونگ و کیم (۲۰۱۳)^۱ در مقاله‌ای با به‌کارگیری روش تجزیه LMDI به بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات انتشار CO₂ در صنایع کره جنوبی، طی دوره زمانی ۲۰۰۹-۱۹۹۱ پرداختند. برای این منظور آنها انتشار CO₂ را به پنج عامل اثر فعالیت، اثر ساختاری، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار تجزیه نمودند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات اثر ساختاری، اثر شدت انرژی و اثر ضریب انتشار نقش کاهنده در انتشار CO₂ داشته‌اند که در این میان اثر ساختاری بیشترین نقش را در این کاهش داشته است. تغییرات اثر فعالیت و اثر ترکیب سوخت منجر به افزایش انتشار CO₂ شده‌اند. لین و مبارک (۲۰۱۳)^۲ تغییرات انتشار CO₂ مربوط به مصرف انرژی در صنعت نساجی چین را طی دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۶ مورد بررسی قرار دادند. آنها با به‌کارگیری روش LMDI به این نتیجه رسیدند که تغییرات فعالیت‌های صنعتی عامل اصلی افزایش در انتشار گاز گلخانه‌ای CO₂ بوده و تأثیر تغییرات شدت انرژی در طول دوره مطالعه نوسانی بوده است. علاوه بر این، تغییرات ترکیب سوخت و ضریب انتشار موجب کاهش انتشار CO₂ گشته و تغییرات اثر ساختاری، با وجود اثر محدود، به افزایش انتشار CO₂ کمک کرده است.

ژانگ و همکاران (۲۰۰۹)^۳ در مقاله‌ای به تجزیه عوامل مؤثر بر انتشار CO₂ حاصل از مصرف انرژی در چین طی دوره زمانی ۲۰۰۶-۱۹۹۱ پرداختند. آنها در این مطالعه با استفاده از روش تجزیه کامل، عوامل انتشار CO₂ را به چهار عامل فعالیت اقتصادی، اثر ساختاری، شدت انرژی و ضریب انتشار تقسیم کردند. نتایج این مطالعه نشان می‌داد که در همه بخش‌های عمده اقتصادی، فعالیت اقتصادی دارای بیشترین اثر مثبت در تغییرات انتشار CO₂ بوده و کاهش قابل توجه در انتشار CO₂ به‌طور عمده به دلیل بهبود شدت انرژی است. با این حال تأثیر ضریب انتشار و اثر ساختاری نسبتاً کوچک است. تغییرات اثر ساختاری به کاهش انتشار CO₂ در بخش کشاورزی و تغییرات ضریب انتشار نیز به کاهش انتشار CO₂ در بخش حمل‌ونقل کمک می‌کند.

پورعبادالهیان و همکاران (۱۳۹۳) با به‌کارگیری روش LMDI در دو فرم جمعی و ضریبی، به بررسی عوامل اصلی تغییرات انتشار CO₂ در زیر بخش‌های صنعتی ایران طی سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۷۹ پرداخته‌اند. برای این منظور انتشار CO₂ به پنج عامل اثر فعالیت، اثر ساختاری، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار تجزیه شده است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که عامل اصلی افزایش انتشار CO₂ در زیر بخش‌های صنعتی ایران تغییرات اثر فعالیت بوده است و در نقطه مقابل، تغییرات اثر شدت انرژی تأثیر قابل توجهی در کاهش انتشار CO₂ داشته است. تغییرات اثر ساختاری نتوانسته تأثیر قابل توجهی در کاهش انتشار CO₂ داشته باشد. تغییرات اثر ترکیب سوخت نشان می‌دهد که در دوره موردبررسی با افزایش نسبی سهم نفت کوره و برق، میزان انتشار CO₂ افزایش یافته است. نتایج

1. Jeong and Kim
2. Lin and Moubarak
3. Zhang and *et al.*

اثر ضریب انتشار نیز حاکی از آن بوده است که با تغییر ضریب انتشار در سال ۱۳۸۶، از کیفیت سوخت‌ها کاسته شده و این امر منجر به افزایش انتشار CO_2 گردیده است.

فطرس و براتی (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای با به‌کارگیری دو روش LMDI و AMDI به تحلیل عواملی می‌پردازند که انتشار CO_2 ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی را در بخش حمل‌ونقل تحت تأثیر قرار می‌دهند. عوامل اثرگذار موردبررسی شامل فعالیت اقتصادی، ضریب انتشار، شدت انرژی، ترکیب سوخت، شیوه حمل‌ونقل، اثر ساختاری و رشد جمعیت بوده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات فعالیت اقتصادی، اثر ساختاری و رشد جمعیت به ترتیب بیشترین اثر را بر رشد انتشار CO_2 در بخش حمل‌ونقل داشته‌اند. تغییرات شدت انرژی نقش کاهشی در انتشار CO_2 برای کل بخش حمل‌ونقل داشته است. در نهایت، مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از دو روش مختلف تجزیه، صحت یافته‌های مطالعه را تأیید می‌کند.

بهبودی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای به تجزیه انتشار CO_2 در بخش حمل‌ونقل ایران با استفاده از روش LMDI برای سال‌های ۱۳۸۶ - ۱۳۷۳ می‌پردازند. برای این منظور انتشار CO_2 به پنج عامل مالکیت وسایل نقلیه، رشد اقتصادی، شدت جمعیت، شدت آلودگی و شدت سوخت (انرژی) وسایل نقلیه تجزیه شده است. نتایج حاکی از آن است که رشد سریع مالکیت وسیله نقلیه و رشد اقتصادی مهمترین عوامل در افزایش CO_2 بخش حمل‌ونقل کشور بوده است. در مقابل، تغییرات شدت جمعیت، شدت سوخت وسایل نقلیه و ضریب آلودگی از عوامل اصلی کاهش انتشار CO_2 بخش حمل‌ونقل طی سال‌های مورد مطالعه بوده‌اند.

۴. روش‌شناسی تحقیق

همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، این مطالعه به تجزیه عوامل مؤثر بر انتشار دی‌اکسید کربن در صنایع محصولات کانی غیرفلزی ایران در سطح کدهای چهار رقمی ISIC طی دوره زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۰ می‌پردازد.

کلیه مطالعات تحلیل تجزیه شاخص از جمله روش LMDI، با تعریف یک تابع تعیین‌کننده شروع می‌شوند. برای درک بهتر موضوع فرض کنید که در حالت کلی تابع تعیین‌کننده V ، مجموع V_i عامل مختلف باشد به طوری که هر یک از V_i ها تابعی از n متغیر باشد؛ به عبارت دیگر

$$V = \sum_i V_i = \sum_i x_{1,i} x_{2,i} \dots x_{n,i} \quad V_i = x_{1,i} x_{2,i} \dots x_{n,i} \quad (1)$$

که زیرنویس i می‌تواند علامت یک ویژگی کلی مانند شماره زیر بخش‌های مصرف‌کننده انرژی و یا نوع سوخت و غیره باشد. به علاوه فرض کنید در طی دوره صفر تا دوره T مجموع تغییرات از

کلی تجزیه جمعی به شکل زیر فرمول بندی می شود:

$$V^T = \sum_i x_{1,i}^T x_{2,i}^T \dots x_{n,i}^T \quad \text{به} \quad V^0 = \sum_i x_{1,i}^0 x_{2,i}^0 \dots x_{n,i}^0$$

$$\Delta V_{tot} = V^T - V^0 = \Delta V_{x_1} + \Delta V_{x_2} + \dots + \Delta V_{x_n} + \Delta V_{rsd} \quad (2)$$

به طوری که ΔV_{tot} بیانگر کل تغییرات و ΔV_{rsd} بیانگر قسمت پسماند است که برای روش های همچون روش LMDI که تجزیه به صورت کامل انجام می گیرد، این بخش حذف می شود. انگ^۱ (۲۰۰۵) بر اساس تعریف شاخص میانگین لگاریتمی دیویژیا در قالب فرم جمعی، تأثیر k امین عامل در تغییرات کل را به صورت زیر تعریف می کند:

$$\Delta V_{x_k} = \sum_i L(V_i^T, V_i^0) \ln \left(\frac{x_{k,i}^T}{x_{k,i}^0} \right) \quad (3)$$

که در آن تابع $L(V_i^T, V_i^0)$ متوسط لگاریتمی دو عدد مثبت a و b می باشد که به صورت زیر محاسبه می شود:

$$L(a, b) = \begin{cases} \frac{a-b}{\ln a - \ln b} & \text{for } a \neq b \\ a & \text{for } a = b \end{cases} \quad (4)$$

در مطالعه حاضر، تابع تعیین کننده V میزان انتشار آلودگی CO_2 در صنایع محصولات کانی غیرفلزی ایران است که می توان آن را به پنج عامل اثر فعالیت، اثر ساختاری، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار تجزیه نمود. بر اساس سومین ویرایش طبقه بندی استاندارد بین المللی فعالیت های اقتصادی، صنایع محصولات کانی غیرفلزی در دو گروه و ده فعالیت^۳ طبقه بندی می گردد. تغییرات ساختاری صورت گرفته در بین فعالیت ها و در بین گروه ها می توانند اثرات متفاوتی در تغییرات انتشار CO_2 داشته باشند. از این روی، اثر ساختاری خود به دو اثر ساختاری بین بخشی (بین گروه ها) و اثر ساختاری درون بخشی (بین فعالیت های هر گروه) تقسیم می شود. بدین ترتیب، میزان کل انتشار CO_2 صنایع محصولات کانی غیرفلزی را، با در نظر گرفتن دو گروه موجود برای این صنایع و نیز فعالیت های موجود برای هر یک از این گروه ها، می توان به شش عامل اثر فعالیت، اثر ساختاری بین بخشی، اثر ساختاری درون بخشی، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار تجزیه

1. Ang

۲. به منظور مشاهده اثبات رابطه فوق به (Wood and Lenzen, 2006, pp. 1326-1327) مراجعه کنید.

۳. عناوین این گروه ها و فعالیت ها به همراه کدهای ISIC آن ها در پیوست آمده است.

کرد. با در نظر گرفتن هفت نوع سوخت مختلف مصرفی در این صنایع، تجزیه مذکور را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$C = \sum_{h=1}^2 \sum_{i=1}^{n_h} \sum_{j=1}^7 C_{hij} = \sum_{h=1}^2 \sum_{i=1}^{n_h} \sum_{j=1}^7 y \times \frac{y_h}{y} \times \frac{y_{hi}}{y_h} \times \frac{E_{hi}}{y_{hi}} \times \frac{E_{hij}}{E_{hi}} \times \frac{C_{hij}}{E_{hij}} \quad (5)$$

$$n_h = \begin{cases} 2 & \text{if } h = 1 \\ 8 & \text{if } h = 2 \end{cases}$$

که در آن اندیس h بیانگر گروه، اندیس i نشان‌دهنده فعالیت (مربوط به هر گروه) و اندیس j نشانگر نوع سوخت بوده و هر یک از متغیرهای مورد استفاده به صورت زیر تعریف می‌شوند:

C : کل انتشار CO_2 در صنایع محصولات کانی غیرفلزی.

y : کل ارزش تولیدات صنایع محصولات کانی غیرفلزی.

Y_h : ارزش تولیدات گروه h ام.

y_{hi} : ارزش تولیدات فعالیت i ام گروه h ام.

E_{hi} : کل معادل انرژی مصرفی فعالیت i ام گروه h ام.

E_{hij} : معادل انرژی مصرفی حاصل از سوخت j ام در فعالیت i ام گروه h ام.

C_{hij} : انتشار CO_2 حاصل از سوخت j ام در فعالیت i ام گروه h ام.

هر یک از اثرات شش‌گانه فعالیت، ساختار بین‌بخشی، ساختار درون‌بخشی، شدت انرژی، ترکیب سوخت و ضریب انتشار نیز به صورت زیر به دست می‌آیند:

y : کل ارزش تولیدات صنایع محصولات کانی غیرفلزی (اثر فعالیت).

y_h / y : سهم گروه h ام از کل ارزش تولیدات صنایع محصولات کانی غیرفلزی (اثر ساختاری بین‌بخشی).

y_{hi} / y_h : سهم فعالیت i ام گروه h ام از تولیدات گروه h ام (اثر ساختاری درون‌بخشی).

E_{hi} / y_{hi} : شدت انرژی فعالیت i ام گروه h ام (اثر شدت انرژی).

E_{hij} / E_{hi} : سهم سوخت j ام از معادل کل انرژی مصرفی فعالیت i ام گروه h ام (اثر ترکیب سوخت).

C_{hij} / E_{hij} : میزان انتشار آلودگی CO_2 ناشی از مصرف هر واحد انرژی مصرفی سوخت j ام در فعالیت i ام گروه h ام (اثر ضریب انتشار).

در روش تجزیه شاخص جمع‌پذیر، کل تغییرات انتشار CO_2 بین زمان صفر و زمان T به صورت زیر تجزیه می‌شود:

$$\Delta C_{tot} = C^T - C^0 = \Delta C_{act} + \Delta C_{sb} + \Delta C_{sw} + \Delta C_{int} + \Delta C_{mix} + \Delta C_{emf} \quad (۶)$$

که در آن زیرنویس tot به کل تغییرات اشاره می کند و زیرنویس های act, sb, sw, int, mix و emf به ترتیب به اثر فعالیت، اثر ساختاری بین بخشی، اثر ساختاری درون بخشی، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار اشاره می کنند. بر اساس روش LMDI، تغییر آلودگی ناشی از تغییر هر یک از عوامل شش گانه مذکور به صورت زیر محاسبه می شود^۱:

$$\Delta C_{act} = \sum_{h=1}^2 \sum_{i=1}^{n_h} \sum_{j=1}^7 \frac{C_{hij}^T - C_{hij}^0}{\ln C_{hij}^T - \ln C_{hij}^0} \ln \left[\frac{y^T}{y^0} \right] \quad (۷)$$

$$\Delta C_{sb} = \sum_{h=1}^2 \sum_{i=1}^{n_h} \sum_{j=1}^7 \frac{C_{hij}^T - C_{hij}^0}{\ln C_{hij}^T - \ln C_{hij}^0} \ln \left[\frac{y_h^T}{y_h^0} \right] \quad (۸)$$

$$\Delta C_{sw} = \sum_{h=1}^2 \sum_{i=1}^{n_h} \sum_{j=1}^7 \frac{C_{hij}^T - C_{hij}^0}{\ln C_{hij}^T - \ln C_{hij}^0} \ln \left[\frac{y_{hi}^T}{y_{hi}^0} \right] \quad (۹)$$

$$\Delta C_{int} = \sum_{h=1}^2 \sum_{i=1}^{n_h} \sum_{j=1}^7 \frac{C_{hij}^T - C_{hij}^0}{\ln C_{hij}^T - \ln C_{hij}^0} \ln \left[\frac{E_{hi}^T}{E_{hi}^0} \right] \quad (۱۰)$$

$$\Delta C_{mix} = \sum_{h=1}^2 \sum_{i=1}^{n_h} \sum_{j=1}^7 \frac{C_{hij}^T - C_{hij}^0}{\ln C_{hij}^T - \ln C_{hij}^0} \ln \left[\frac{E_{hij}^T}{E_{hi}^0} \right] \quad (۱۱)$$

$$\Delta C_{emf} = \sum_{h=1}^2 \sum_{i=1}^{n_h} \sum_{j=1}^7 \frac{C_{hij}^T - C_{hij}^0}{\ln C_{hij}^T - \ln C_{hij}^0} \ln \left[\frac{C_{hij}^T}{E_{hij}^0} \right] \quad (۱۲)$$

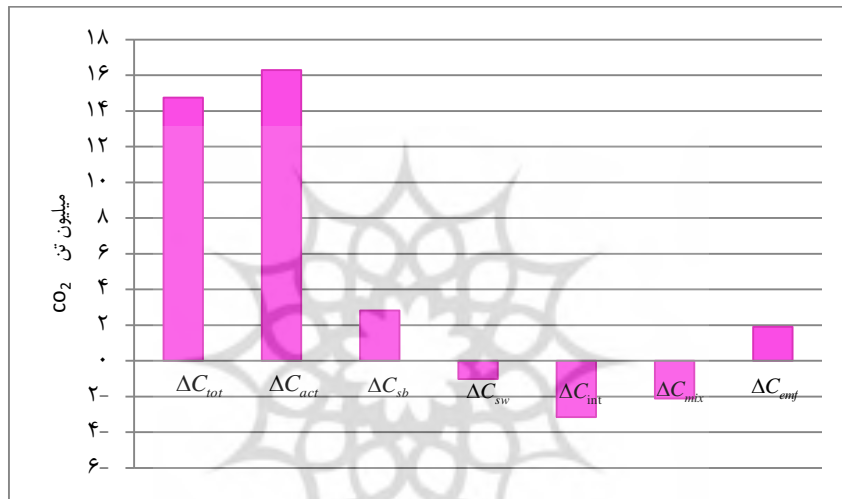
داده های مربوط به ارزش تولیدات برای سال های مورد مطالعه و نیز انواع سوخت های مصرفی و برق مصرفی از سایت پایگاه نشریات مرکز آمار ایران اخذ شده اند. از آنجایی که امکان محاسبه آمار ضریب انتشار CO₂ به تفکیک زیربخش های صنعتی وجود ندارد، از این روی از ضریب انتشار کلی صنعت استفاده می شود که برای محاسبه آن نیز از آمار میزان انتشار CO₂ در بخش صنعت به تفکیک هر سوخت و برق و نیز مقدار مصرف هر یک از سوخت های فسیلی و میزان برق تولیدی در کل صنعت

۱. مهمترین مشکل پیش روی روش های لگاریتمی همچون LMDI، وجود مقادیر صفر در داده ها است. برای برطرف کردن چنین مشکلی دو راهکار مقدار کوچک و محدودیت تحلیلی پیشنهاد شده است. از آنجا که در مطالعه حاضر فقط دو داده صفر وجود دارد، فلذا این مشکل با استفاده از راهکار اول یعنی جایگزینی عددی بسیار کوچک (که مقدار آن نزدیک صفر است) به جای عدد صفر برطرف شده است که با مقایسه نتایج حاصل از آن با مقادیر واقعی انتشار CO₂، اختلافی مشاهده نگردید. از همین روی به این مسئله اشاره ای نمی شود.

استفاده می‌شود. اطلاعات مربوط به مصرف سوخت‌ها و برق و میزان انتشار CO₂ در بخش صنعت نیز از ترازنامه انرژی سال‌های مختلف استخراج شده‌اند.

۵. تجزیه و تحلیل یافته‌ها

نتایج تجزیه تغییرات انتشار CO₂ صنایع محصولات کانی غیرفلزی ایران به تغییرات ناشی از اثرات فعالیت، ساختاری بین‌بخشی، ساختاری درون‌بخشی، شدت انرژی، ترکیب سوخت و ضریب انتشار طی کل دوره^۱ در نمودار (۱) آمده است.



نمودار ۱: سهم عوامل مختلف در تغییرات انتشار آلودگی CO₂ طی کل دوره (۱۳۷۹-۱۳۹۰)

مطابق نمودار فوق، انتشار CO₂ در صنایع محصولات کانی غیرفلزی طی کل دوره مورد بررسی رشد یافته است. در این میان، تغییرات اثر فعالیت، اثر ساختاری بین‌بخشی و اثر ضریب انتشار موجب افزایش انتشار CO₂ طی دوره مورد بررسی گردیده است، اما تأثیر تغییرات اثر ساختاری درون‌بخشی، اثر شدت انرژی و اثر ترکیب سوخت کاهش یافته است. برای بررسی بهتر موضوع، در جدول (۱) تأثیر تغییرات هر یک از این عوامل بر تغییرات انتشار CO₂ به تفکیک سال آمده است.

۱. تغییرات انتشار کل دوره از جمع تغییرات انتشار سالانه به‌دست‌آمده است.

جدول ۱: تجزیه عوامل مؤثر بر تغییرات انتشار آلودگی CO₂ به تفکیک سال
(واحد: میلیون تن CO₂)

سال	ΔC_{emf}	ΔC_{mix}	ΔC_{int}	ΔC_{sw}	ΔC_{sb}	ΔC_{act}	ΔC_{tot}
۸۰-۷۹	۰/۲۴۵	-۰/۱۰۵	-۱/۳۸۷	۰/۰۰۸	۰/۱۱۸	-۰/۹۱۹	-۰/۲۰۲
۸۰-۸۱	-۰/۳۷۲	-۰/۰۲۸	-۱/۶۵۸	-۰/۹۹۵	۰/۰۱۹	۳/۷۳۳	-۰/۸۵۵
۸۱-۸۲	-۰/۱۷۷	-۰/۰۴۰	-۰/۸۹۷	۰/۵۸۰	۰/۰۰۷	-۰/۹۸۸	۲/۲۵۵
۸۲-۸۳	-۰/۰۷۰	-۰/۱۱۳	-۰/۸۰۲	۰/۰۶۷	۰/۰۱۴	-۰/۶۱۷	-۰/۰۷۹
۸۳-۸۴	-۰/۰۳۴	-۰/۲۲۱	-۰/۵۶۰	-۰/۳۴۰	۰/۱۸۲	۱/۱۸۰	-۰/۲۰۷
۸۴-۸۵	-۰/۰۴۸	-۰/۳۹۳	۱/۴۹۳	۰/۴۴۴	-۰/۱۲۴	-۰/۹۰۰	۲/۳۶۹
۸۵-۸۶	۱/۴۲۰	-۰/۰۲۵	-۰/۶۹۱	-۰/۴۴۳	۰/۱۱۳	۱/۵۷۵	۱/۹۴۹
۸۶-۸۷	-۰/۱۴۰	-۰/۳۱۱	-۰/۳۱۸	۰/۶۰۲	-۰/۰۷۶	-۰/۵۰۶	-۰/۷۹۹
۸۷-۸۸	۰/۴۱۶	-۰/۲۰۳	۰/۹۴۷	-۰/۰۵۲	-۰/۰۰۳	-۰/۹۹۴	۲/۰۷۰
۸۸-۸۹	-۰/۵۶۳	-۰/۵۳۹	-۲/۰۲۶	-۲/۱۵۳	۲/۴۵۰	۲/۸۱۱	-۰/۰۲۲
۸۹-۹۰	۰/۸۹۶	-۰/۴۲۳	-۰/۴۲۳	۱/۲۶۴	۰/۱۵۱	۲/۰۷۹	۴/۳۹۰
کل دوره ۷۹-۹۰	۱/۹۰۹	-۲/۱۱۹	-۳/۱۴۶	-۱/۰۱۸	۲/۸۵۱	۱۶/۳۰۲	۱۴/۷۴۹

مطابق این جدول، تأثیر تغییرات اثر فعالیت در تغییرات انتشار CO₂ صنایع محصولات کانی غیرفلزی برای همه سال‌ها مثبت بوده است که این امر حاکی از افزایش حجم تولیدات صنایع مذکور طی همه سال‌های مورد بررسی می‌باشد. با عنایت به این امر که تغییرات اثر فعالیت (رشد تولیدات صنایع مورد بررسی) در مجموع به میزان ۱۶/۳۰۲ میلیون تن انتشار CO₂ را افزایش داده است، فلذا می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که در کوتاه‌مدت و با تکنولوژی موجود باید تولیدات صنایع مذکور در حد نیاز خود کشور بوده و از تولید به منظور صادرات این محصولات جلوگیری گردد و در بلندمدت نیز باید نسبت به ارتقای تکنولوژی تولید این محصولات اقدام گردد.

طی دوره مورد بررسی، تغییرات اثر ساختار بین‌بخشی انتشار CO₂ صنایع محصولات کانی غیرفلزی را در مجموع به میزان ۲/۸۵۱ میلیون تن افزایش داده است، هر چند در برخی سال‌ها تأثیر آن منفی بوده است. دلیل این امر را می‌توان در افزایش سهم گروه تولید محصولات کانی غیرفلزی طبقه‌بندی نشده (با کد ۲۶۹) که دارای انرژی‌بری بیشتری نسبت به گروه تولید شیشه و محصولات شیشه‌ای (با کد ۲۶۱) می‌باشد، پیدا کرد. بدین ترتیب، یکی از راه‌حل‌های پیشنهادی برای کاهش آلودگی CO₂ صنایع مورد بررسی را باید در کاهش گروه تولید محصولات کانی غیرفلزی طبقه‌بندی نشده در مقایسه با گروه تولید شیشه و محصولات شیشه‌ای جستجو کرد.

۱. به‌عنوان مثال در سال ۱۳۷۹، سهم گروه تولید محصولات کانی غیرفلزی طبقه‌بندی نشده از کل تولیدات صنایع محصولات کانی غیرفلزی ۸۸ درصد بوده درحالی‌که سهم گروه مزبور از کل انرژی مصرفی صنایع مذکور برابر ۹۳/۹ درصد بوده است که حاکی از انرژی‌بری بالای گروه مزبور است. هر چند این مسئله در طول زمان اندکی بهبودیافته است، به نحوی که سهم از تولید و سهم از انرژی مصرفی گروه تولید مزبور در سال ۱۳۸۹ به ترتیب برابر ۹۱/۲ و ۹۳/۲ بوده است (محاسبات تحقیق).

تغییرات اثر ساختار درون‌بخشی از انتشار CO_2 به میزان $1/0.18$ میلیون تن کاسته است، هر چند در برخی سال‌ها تأثیر آن مثبت بوده است. علت این مسئله را نیز باید در این دانست که سهم تولید فعالیت‌هایی که انرژی کمتری مصرف می‌کنند (همچون صنایع سایر محصولات کانی غیرفلزی طبقه‌بندی نشده (با کد ۲۶۹۹)) افزایش یافته و در مقابل سهم تولید فعالیت‌هایی که انرژی بیشتری مصرف می‌کنند (همچون صنایع تولید آجر (با کد ۲۶۹۷)) کاهش یافته است. فلذا به منظور کاهش آلودگی CO_2 صنایع مورد بررسی، بایستی سهم تولید فعالیت‌هایی که انرژی‌بری کمتری دارند افزایش یابد.

در مورد تأثیر تغییرات اثر شدت انرژی می‌توان مشاهده کرد که با وجود مثبت بودن آن در برخی سال‌ها، برآیند کلی آن در مجموع، کاهش انتشار CO_2 به میزان $3/146$ میلیون تن بوده است که این امر حاکی از افزایش کارایی انرژی در طول دوره مورد بررسی است. با این وجود، هنوز پتانسیل بیشتری در جهت کاهش انتشار آلودگی CO_2 از طریق افزایش بیشتر کارایی انرژی وجود دارد، چراکه کشور ایران به دلیل برخورداری از سوخت‌های فسیلی ارزان، دارای مصرف بیش‌ازاندازه این نوع سوخت‌ها است که با اصلاح قیمت حامل‌های انرژی، صنایع مختلف بالاجبار به دنبال استفاده از تکنولوژی‌های بهتر که دارای مصرف انرژی کمتری می‌باشند، خواهند بود و در نتیجه آن، شدت انرژی کاهش پیدا خواهد کرد که این خود کاهش آلودگی CO_2 را به دنبال خواهد داشت.

عامل دیگری که تغییرات آن در انتشار آلودگی مورد بررسی قرار گرفته است اثر ترکیب سوخت می‌باشد. تغییرات صورت گرفته در ترکیب سوخت‌های مصرفی، در مجموع منجر به کاهش انتشار CO_2 به میزان $2/119$ میلیون تن شده است، چرا که طی دوره مورد بررسی سهم سوخت‌های کمتر آلاینده همچون گاز طبیعی افزایش یافته است. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که باید برنامه‌ریزی‌های بیشتر در جهت جایگزینی سوخت‌های کمتر آلاینده به جای سوخت‌های با آلاینده‌گی بالاتر صورت پذیرد. در مورد تأثیر تغییرات اثر ضریب انتشار نیز باید گفت که با وجود منفی بودن آن در برخی سال‌ها، برآیند کلی آن، افزایش انتشار CO_2 به میزان $1/909$ میلیون تن بوده است که نشان‌دهنده آن است که طی دوره مورد بررسی از کیفیت سوخت‌ها کاسته شده است. این مسئله، ضرورت ارتقای سوخت‌های مختلف را بیش از پیش نمایان می‌سازد.

۶. نتیجه‌گیری

بررسی روند انتشار CO_2 در صنایع محصولات کانی غیرفلزی نشان می‌دهد که انتشار این آلودگی طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۰ افزایش یافته است، فلذا باید به دنبال سیاست‌هایی در جهت کاهش انتشار CO_2 صنایع مذکور بود. داشتن آگاهی از چگونگی تغییرات این آلودگی مستلزم توجه به عوامل مختلف مؤثر در انتشار آن است. بر همین اساس در مطالعه حاضر، انتشار CO_2 در صنایع محصولات کانی غیرفلزی

ایران طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۰، به شش عامل اثر فعالیت، اثر ساختار بین بخشی، اثر ساختار درون بخشی، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار تجزیه شده و با استفاده از روش LMDI، اثر تغییر در هر یک از این عوامل بر تغییرات انتشار CO_2 مورد بررسی قرار گرفت. مطابق نتایج حاصله، تغییرات اثر فعالیت، اثر ساختار بین بخشی و اثر ضریب انتشار (طی سال‌های مورد مطالعه)، به ترتیب بیشترین نقش را در افزایش انتشار CO_2 صنایع مذکور داشته‌اند، درحالی که تغییرات اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ساختار درون بخشی دارای نقش کاهش در انتشار آلودگی مزبور بوده‌اند. عدم بهره‌گیری از تکنولوژی‌های جدید با آلاینده‌گی کمتر، افزایش سهم تولید گروه‌های تولیدی با آلاینده‌گی بالاتر و کاهش کیفیت سوخت‌ها از عمده‌ترین دلایل افزایش انتشار CO_2 صنایع مورد بررسی بوده است. این در حالی است که افزایش کارایی انرژی، افزایش سهم سوخت گاز طبیعی به عنوان سوخت کمتر آلاینده و افزایش سهم تولید فعالیت‌های تولیدی کمتر آلاینده به کاهش انتشار آلودگی CO_2 صنایع مورد بررسی کمک کرده‌اند. فلذا به منظور جلوگیری از افزایش انتشار آلودگی CO_2 در صنایع محصولات کانی غیرفلزی، توصیه‌های سیاستی را باید به ترتیب در بهره‌گیری از تکنولوژی‌های جدید با آلاینده‌گی کمتر، کاهش سهم تولید گروه‌ها و فعالیت‌های تولیدی انرژی‌بر، استفاده بیشتر از انرژی‌های پاک همچون گاز طبیعی و در نهایت ارتقاء کیفیت سوخت‌ها جستجو کرد.

منابع

- بهبودی، داوود؛ پهلوانی، مصیب؛ رفیقی مرند، الهام و غلامی حیدریانی، لیلا (۱۳۹۱)؛ تحلیل علل تغییرات انتشار گاز دی‌اکسید کربن در بخش حمل‌ونقل ایران بر اساس روش تجزیه طی سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۷۳، یازدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک، ۱۴.
- پورعبدالهمان کویچ، محسن؛ برقی‌اسگویی، محمدمهدی؛ صادقی، سیدکمال و قاسمی، ایرج (۱۳۹۳)؛ تجزیه عوامل مؤثر بر تغییرات انتشار آلودگی دی‌اکسید کربن در زیربخش‌های صنعتی ایران، فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، سال سوم، شماره ۹: ۱۳۱-۱۱۵.
- دفتر برنامه‌ریزی انرژی وزارت نیرو، ترازنامه انرژی، سال‌های ۱۳۹۰ - ۱۳۸۱.
- فطرس، محمدحسن و براتی، جواد (۱۳۹۲)؛ تجزیه دی‌اکسید کربن منتشره بخش حمل‌ونقل به زیربخش‌ها و انواع سوخت‌های مصرفی، فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی در ایران، سال دوم، شماره ۶: ۸۳-۶۴.
- لطفعلی‌پور، محمدرضا؛ آشنا، ملیحه (۱۳۸۹)؛ بررسی عوامل مؤثر بر تغییر انتشار دی‌اکسید کربن در اقتصاد ایران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال هفتم، شماره ۲۴: ۱۴۵-۱۲۱.
- مرکز آمار ایران، نتایج آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر، سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۷۹.
- موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، ترازنامه هیدروکربوری کشور، سال ۱۳۸۸.
- Ang, B. W. (2004); Decomposition Analysis for Policymaking in Energy: Which Is the Preferred Method?, *Energy Policy* 32 (9): 1131-1139.
- Ang, B. W. (2005); The LMDI Approach to Decomposition Analysis: a Practical Guide, *Energy Policy* 33 (7): 867-871.
- Hoekstra, R. and van der Bergh, J. C. J. M. (2003); Comparing Structural Decomposition Analysis and Index, *Energy Economics* 25 (1): 39-64.
- International Energy Agency (2013), 12.
- Jeong, K. and Kim, S. (2013); LMDI Decomposition Analysis of Greenhouse Gas Emissions in the Korean Manufacturing Sector, *Energy Policy* 62: 1245-1253.
- Lin, B. and Moubarak, M. (2013); Decomposition Analysis: Change of Carbon Dioxide Emissions in the Chinese Textile Industry, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26: 389-396.
- Zhang, M.; Mu, H.; Ning, Y. and Song, Y. (2009); Decomposition of Energy-Related CO₂ Emission Over 1991-2006 in China, *Ecological Economics* 68(7): 2122-2128.
- Wood, R. and Lenzen, M. (2006); Zero-Value Problems of the Logarithmic Mean Divisia Index Decomposition Method, *Energy Policy* 34: 1326-1331.

پیوست

جدول پ-۱: کدهای ISIC صنایع محصولات کانی غیرفلزی

شرح	کدها
صنایع تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی	۲۶
تولید شیشه و محصولات شیشه‌ای	۲۶۱
تولید شیشه جام	۲۶۱۱
تولید محصولات شیشه‌ای به جز شیشه جام	۲۶۱۲
تولید محصولات کانی غیرفلزی طبقه‌بندی نشده	۲۶۹
تولید کالاهای سرامیکی غیر نسوز غیر ساختمانی	۲۶۹۱
تولید محصولات سرامیکی نسوز-عایق حرارت	۲۶۹۲
تولید سیمان، آهک، گچ	۲۶۹۴
تولید محصولات ساخته‌شده از بتن	۲۶۹۵
بریدن و شکل دادن و تکمیل سنگ	۲۶۹۶
تولید آجر	۲۶۹۷
تولید سایر محصولات گلی و سرامیکی غیر نسوز	۲۶۹۸
تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی طبقه‌بندی نشده	۲۶۹۹

منبع: مرکز آمار ایران