فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی/ سال بیست و دوم / شماره ۸۹/ تابستان ۱۴۰۵/ صفحات ۲۴-۱

# سهم عوامل موثر بر آلودگی هوا توسط صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی رویکرد ارزش شیپلی- اون[1]

**سمانه طالعی اردکانی[2]**
**دانشجوی دکتری اقتصاد پولی، دانشگاه یزد، (samaneh.talei@stu.yazd.ac.ir)**
**سید نظام‌الدین مکیان**
**استاد اقتصاد، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد. (nmakiyan@yazd.ac.ir)**
**زهرا نصراللهی**
**استاد اقتصاد، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد. (nasr@yazd.ac.ir)**

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۱**

## چکیده

بخش صنعت یکی از مهم‌ترین بخش‌های آلاینده محسوب می‌شود که از چندین زیر بخش تولیدی تشکیل شده است. اولین قدم برای کنترل آلودگی بخش صنعت، شناسایی صنایع آلاینده، تعیین عوامل موثر بر آلودگی و تجزیه سهم عوامل موثر بر آلایندگی آن‌ها، می‌باشد. در مقاله حاضر، ابتدا میزان دی‌اکسید کربن منتشر شده توسط هر یک از صنایع کد آیسیک دو رقمی طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۸۳ محاسبه و سپس سهم هر صنعت از انتشار دی‌اکسید کربن در هر سال اندازه‌گیری گردیده است. طبق محاسبات مقاله حاضر، بخش تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی به طور متوسط ۲۶/۰۲ درصد از کل دی‌اکسید کربن منتشر شده توسط بخش صنعت را به خود اختصاص داده و به عنوان آلاینده‌ترین صنعت کد آیسیک دو رقمی شناخته شده است. به منظور تعیین سهم عوامل موثر بر آلودگی هوای ایجاد شده توسط این صنعت، ابتدا عوامل موثر بر آلودگی ایجاد شده از طریق رگرسیون شناسانی شده است. لازم به ذکر است دوره زمانی مورد استفاده در این مطالعه محدود بوده و داده‌های مربوط به سال‌های قبل از ۱۳۸۳ نیز موجود نیست، اما به منظور کاهش اثر این محدودیت بر اعتبار نتایج، از روش بوت‌استرپ مبتنی بر پسماندها و سپس از رویکرد ارزش شیپلی- اون در بازه زمانی مورد مطالعه استفاده شده است. نتایج ارزش شیپلی- اون بیان می‌کند که مصرف حامل‌های انرژی با سهم تقریبا ۵۷ درصدی بیشترین سهم می‌باشد و بعد از آن، متغیرهای شدت سرمایه فیزیکی و مخارج سرمایه‌ای به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. نتایج ارزش شیپلی- اون همچنین بیان می‌کند که از بین حامل‌های انرژی مصرف شده در صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی، مصرف گاز طبیعی با داشتن سهم تقریبا ۳۰ درصدی دارای بیشترین سهم در انتشار دی‌اکسید کربن بوده و حامل‌های انرژی برق و نفت کوره به ترتیب با داشتن سهم تقریبی ۱۱ و ۸ درصد در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

**طبقه‌بندی JEL:** L61, Q53, Q40, Q30 .

**کلیدواژه‌ها:** انتشار آلودگی، صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی، سهم عوامل موثر بر آلودگی هوا، رویکرد ارزش شیپلی- اون

---

۱. این مقاله برگرفته از رساله دکتری سمانه طالعی اردکانی می‌باشد که نوسینده مسئول مقاله هم می‌باشند.
۲. نویسنده مسئول

## ۱- مقدمه

بخش صنعت، یکی از مهم‌ترین بخش‌های کشور در انتشار آلودگی هوا می‌باشد. میانگین سهم بخش صنعت در انتشار دی‌اکسید کربن از مصرف حامل‌های انرژی طی دوره زمانی[۱] ۱۴۰۰-۱۳۸۳ برابر با ۱۶/۶۳ درصد بوده است (ترازنامه انرژی، سال‌های ۱۳۸۳-۱۴۰۰). اولین قدم به منظور کنترل آلودگی بخش صنعت، شناسایی صنایع آلاینده، تعیین عوامل موثر بر آلودگی هوای ایجاد شده و تجزیه سهم عوامل موثر بر آلودگی آن‌ها می‌باشد. در مقاله حاضر، ابتدا میزان دی‌اکسید کربن منتشر شده توسط هر یک از صنایع کد آیسیک[۲] دو رقمی طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۸۳ محاسبه و سپس سهم هر صنعت از انتشار دی‌اکسید کربن در هر سال تعیین می‌شود. برای برآورد رابطه میان انتشار آلودگی و فعالیت‌های صنعتی، از مدل کول، الیوت و شیماموتو[۳] (۲۰۰۴) با تعدیلاتی استفاده شده است. سپس با استفاده از رویکرد ارزش شیپلی- اون به تجزیه سهم عوامل موثر بر آلودگی هوای ایجاد شده خواهیم پرداخت. نوآوری مقاله حاضر در این است که در مقالات داخلی در حوزه محیطزیست و صنعت، به طور تخصصی بر صنعت خاصی تمرکز نشده و موضوع به طور کلی در بخش صنعت و آلودگی ایجاد شده توسط این بخش مورد بررسی قرار گرفته است، اما مقاله حاضر موضوع به طور خاص بر صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی تمرکز کرده است. همچنین، در معدود مطالعات در حوزه آلودگی صنایع، از داده‌های دی‌اکسید کربن منتشر شده توسط کل بخش صنعت که توسط ترازنامه انرژی به صورت سالیانه گزارش می‌شود، به عنوان شاخص آلودگی هوا استفاده شده، اما در این مقاله ابتدا دی‌اکسید کربن منتشر شده به تفکیک صنایع کد آیسیک دو رقمی طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۸۳ محاسبه شده و بعد به طور خاص بر صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی تمرکز شده است. دیگر نوآوری مقاله در این است که برای اولین بار با استفاده از رویکرد ارزش شیپلی- اون به

---

۱. مرکز آمار ایران متولی جمع‌آوری و انتشار داده‌های مربوط به مقدار حامل انرژی مصرف شده توسط صنایع کد آیسیک می‌باشد. این داده‌ها برای سال‌های قبل از ۱۳۸۳ و تا زمان نگارش مقاله برای سال بعد از ۱۴۰۰ نیز موجود نیست.

۲. ISIC نوعی طبقه‌بندی بین‌المللی استاندارد فعالیت‌های صنعتی است و مخفف International Standard Industrial Classification می‌باشد.

3. Cole, Elliott & Shimamoto

تجزیه سهم عوامل موثر بر آلودگی هوای ایجاد شده توسط صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی، پرداخته می‌شود. ساختار مقاله بدین صورت است که در ادامه ابتدا مبانی نظری و سپس پیشینه و روش‌شناسی پژوهش مقاله آورده شده و در نهایت نتایج، بحث و نتیجه‌گیری ارائه خواهد شد.

## ۲- مبانی نظری

در کشورهای در حال توسعه انتشار دی‌اکسید کربن رو به افزایش است، زیرا در این کشورها محیط‌زیست اولویت برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران نیست (کمالی دهکردی، ۱۴۰۲). آلودگی زیست‌محیطی در ایران، طی سال‌های گذشته افزایش یافته به طوری که مجموع دی‌اکسید کربن منتشر شده به عنوان مهم‌ترین آلاینده هوا، در بخش‌های مختلف (صنعت، خانگی، تجاری و عمومی، حمل و نقل، کشاورزی، پالایشگاهی و نیروگاهی) از ۳۸۱۹۳۸ هزار تن در سال ۱۳۸۴ به ۷۲۵۸۲۷ هزار تن در سال ۱۴۰۰ رسیده است (دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، ۱۴۰۲). بخش صنعت و به‌ویژه صنایع انرژی‌بر یکی از مهم‌ترین بخش‌های آلاینده محسوب می‌شوند. استفاده زیاد از سوخت‌های فسیلی[1] نقش بسزایی در ایجاد آلودگی به خصوص آلودگی هوا داشته است. به دلیل اهمیت و جایگاه خاص بخش صنعت در کشورهای درحال‌توسعه از جمله ایران، مصرف انرژی در این بخش افزایش یافته است. انرژی به عنوان یکی از مهمترین عوامل تولید و همچنین یکی از ضروری‌ترین محصولات نهایی جایگاه ویژه‌ای در رشد و توسعه کشورها دارد (منصوری و همکاران ۱۴۰۴). به طوری که کل مصرف انرژی در بخش صنعت از ۱۶۴/۵ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۳۸۳ به ۴۴۴ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۴۰۰ رسیده است (ترازنامه انرژی سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۴۰۰) و به تبع آن میزان مواد آلاینده حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی نیز رشد کرده است. به عنوان مثال، میزان گاز دی‌اکسید کربن منتشر شده در بخش صنعت که ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی می‌باشد از ۵۸۸۳۸ هزار تن در سال ۱۳۸۴ به ۱۳۶۳۸۷ هزار تن در سال ۱۴۰۰ افزایش یافته است (دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی،

---

۱. لازم به ذکر است که بر اساس آمارهای بین المللی، سرانه مصرف نهایی انرژی در ایران در بخش صنعت ۱/۶ برابر متوسط جهانی است (ترازنامه انرژی سال ۱۴۰۰).

۱۴۰۲). در سال ۱۴۰۰، سرانه انتشار دی‌اکسید کربن به میزان ۸/۶ تن در سال به ازای هر نفر به دست آمده است (ترازنامه انرژی، ۱۴۰۰). انباشت طولانی‌مدت و حجم عظیم دی‌اکسید کربن و انتشار سایر گازهای گلخانه‌ای در جو، منجر به تغییرات در سیستم آب و هوایی کره زمین شده است که مشخصه اصلی آن افزایش گرمایش جهانی است (خلیلی و همکاران، ۱۴۰۴). لذا آثار و پیامدهای انواع آلودگی‌ها به خصوص آلودگی هوا باید مورد بررسی قرار گیرد. در مقاله حاضر ابتدا سعی شده میزان آلودگی منتشر شده توسط هر صنعت کد آیسیک دو رقمی محاسبه شود. برای این منظور ابتدا باید ضرایب انتشار آلودگی هر حامل انرژی را محاسبه نمود. که این امر، نیازمند اندازه‌گیری میزان آلودگی منتشر شده توسط آن حامل انرژی می‌باشد. با توجه به این که در ترازنامه انرژی میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای ناشی از مصرف انرژی تنها در سطح کلان ذکر می‌شود (مانند سطح خانگی، تجاری و عمومی – صنعت-حمل و نقل و کشاورزی)، نمی‌توان ضرایب انتشار آلودگی را برای زیربخش‌های صنعت به دست آورد. لذا همان ضریب انتشار آلودگی هر حامل انرژی در کل بخش صنعت، برای زیربخش‌ها نیز در نظر گرفته می‌شود. در مقالات منتشر شده متعددی مانند: نصراللهی و غفاری ۱۳۸۹، نصراللهی و غفاری ۱۳۹۴، پورعبادالهان و همکاران ۱۳۹۴ و پورعبادالهان و همکاران ۱۳۹۷ نیز ضریب انتشار یکسان برای تمام صنایع کد آیسیک دو رقمی در نظر گرفته شده است.

همان طور که ذکر شد به دلیل این که آمار مربوط به انتشار آلاینده‌های هوا به تفکیک کدهای صنعتی موجود نیست، به کمک ضرایب انتشار آلاینده‌های هوای ناشی از بخش صنعت و همچنین مقدار سوخت فسیلی و برق مصرف شده در صنایع، که اطلاعات آن از سوی مرکز آمار ایران به صورت سالیانه و به تفکیک کدهای صنعتی برای کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر منتشر می‌شود، میزان انتشار آلاینده‌ها برای صنایع تولیدی ایران و به تفکیک کدهای دو رقمی آیسیک محاسبه شده و صنعتی که بیشترین میزان آلودگی هوا را ایجاد کرده به عنوان صنعت مورد نظر مقاله حاضر، در نظر گرفته شده است. در ادامه به شناخت عوامل مؤثر بر انتشار آلودگی هوای آن صنعت، پرداخته خواهد شد. این امر مستلزم تجزیه انتشار آلودگی مزبور به عوامل مختلف است. با تجزیه انتشار آلودگی به عوامل مختلف می‌توان سهم هر عامل را در

انتشار آلودگی محاسبه و موثرترین عامل در ایجاد آلودگی صنعت آلاینده را شناسایی نمود. به همین دلیل، تجزیه عوامل موثر بر آلودگی ایجاد شده توسط صنایع و اتخاذ راهکارهایی برای کاهش آلودگی ایجاد شده توسط آنها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر همین اساس، پژوهش حاضر با استفاده از آمار و اطلاعات کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر، به تجزیه عوامل مؤثر بر انتشار آلودگی هوا در صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی در سطح کد آیسیک دو رقمی، پرداخته است. در مطالعات پیشین، به منظور تجزیه عوامل موثر بر آلودگی، از روش‌های مختلفی مانند: رویکردهای رگرسیونی اقتصادسنجی و روش‌های تجزیه استفاده شده است. هر یک از این رویکردها دارای معایبی هستند که در ادامه و در قسمت روش تحقیق، به آنها پرداخته می‌شود. به همین دلیل در این پژوهش، برای تجزیه سهم عوامل موثر بر آلودگی هوا، از روش تجزیه شیپلی-اون[1] استفاده خواهد شد که ضمن توانایی برآورد سهم تفکیک شده هر یک از اجزا و مولفه‌های تشکیل‌دهنده متغیرهای توضیحی، رویکرد تجمعی برای هر ترکیب ممکن را ارائه می‌دهد. استفاده از این روش به منظور تجزیه سهم عوامل موثر بر آلودگی هوای ایجاد شده توسط صنعت آلاینده، یکی از نوآوری‌های پژوهش حاضر می‌باشد که تاکنون در سطح صنایع، این رویکرد مورد تجزیه و تحلیل قرار نگرفته است.

### ۲-۱- اهداف و سوالات پژوهش

هدف مقاله حاضر این است که ابتدا آلاینده‌ترین صنعت در سطح کد آیسیک دو رقمی را شناسایی کند. سپس عوامل موثر بر آلودگی ایجاد شده توسط آن صنعت (آلاینده‌ترین صنعت) تعیین گردد و در نهایت سهم هر عامل بر آلودگی ایجاد شده توسط رویکرد ارزش شیپلی- اون محاسبه گردد.

سوالات پژوهش: میزان دی‌اکسید کربن منتشر شده (به عنوان شاخص آلودگی) توسط هر یک از صنایع کد آیسیک دو رقمی چه میزان است؟

کدام صنعت در سطح کد آیسیک دو رقمی بیشترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن را داشته است (صنعت آلاینده)؟

عوامل موثر بر آلودگی ایجاد شده توسط صنعت آلاینده کدام است؟

1. Shapley-owen

سهم هر یک از عوامل موثر بر آلودگی ایجاد شده توسط رویکرد ارزش شیپلی- اون چقدر است؟

## ۳- پیشینه تحقیق

در ادامه به مطالعات خارجی و داخلی در حوزه تجزیه سهم عوامل موثر بر آلودگی پرداخته شده است. در این زمینه از روش‌های متنوعی مانند رویکرد تجزیه واریانس، روش تجزیه ساختاری[۱]، روش تجزیه دیویژیا[۲] و رویکرد شیپلی استفاده شده که به مرور این مطالعات پرداخته است.

### ۳-۱- مطالعات خارجی صورت گرفته در زمینه تجزیه آلودگی

چونتاناوات[۳] (۲۰۱۸)، با استفاده از رویکرد تجزیه واریانس تاثیر عوامل موثر بر انتشار دی‌اکسید کربن در انجمن ملی جنوب شرق آسیا را طی دوره زمانی ۲۰۱۳-۱۹۷۱ بررسی نموده است، نتایج نشان می‌دهند افزایش درآمد سرانه، رشد جمعیت و استفاده از سوخت‌های فسیلی به افزایش انتشار دی‌اکسید کربن منجر می‌شوند. شدت انرژی[۴] و ضریب انتشار[۵] تاثیر منفی بر انتشار دی‌اکسید کربن دارند.

خان و ماجید[۶](۲۰۱۹)، با بکارگیری رویکرد LMDI[۷] عوامل موثر بر انتشار دی‌اکسید کربن در پاکستان را طی دوره زمانی ۲۰۱۴-۱۹۹۰ بررسی کردند. نتایج تجزیه نشان می‌دهند جمعیت، ساختار انرژی[۸] و رشد اقتصادی به طور قابل توجهی به

1. Structural Decomposition Analysis
2. Divisia Decomposition Analysis
3. Chontanawat

۴. نسبت مصرف انرژی به تولید ناخالص داخلی را شدت انرژی می‌نامند و نشان دهنده‌ی میزان مصرف انرژی برای تولید مقدار معینی از کالا و خدمات است.

۵. نسبت مقدار دی‌اکسید کرین منتشر شده به مقدار انرژی مصرف شده

6. Khan & Majeed

۷. روش LMDI (Logarithmic Mean Divisia Index) یک روش تجزیه و تحلیل است که برای بررسی عوامل موثر بر تغییرات در یک شاخص کلیدی، معمولاً در زمینه انرژی و محیط زیست استفاده می شود. این روش به طور خاص برای تجزیه و تحلیل عوامل موثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای، مصرف انرژی و سایر شاخص‌های مرتبط با پایداری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۸. سهم سوخت i در کل مصرف انرژی

افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر می‌شوند. اما شدت انرژی و شدت انتشار کربن[۱] تاثیر کاهشی بر انتشار دی‌اکسید کربن دارند.

ون و هائو[۲](۲۰۲۰)، با استفاده از روش تجزیه ارزش شیپلی سهم عوامل موثر بر انتشار دی‌اکسید کربن صنعت برق در سطح ملی و استانی چین را طی دوره زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۵ تجزیه و تحلیل کردند. در این راستا استان‌های چین با استفاده از روش خوشه‌بندی به ۶ خوشه تقسیم شدند. سهم هر خوشه در انتشارات دی‌اکسید کربن به ترتیب ۳۷/۲۲، ۳۰/۱۱، ۱۱/۷۵، ۱۲/۹۳، ۳/۹۶ و ۴/۰۳ درصد است. نتایج نشان می‌دهند در سطح استانی مهم‌ترین عوامل موثر بر افزایش انتشار دی‌اکسید کربن به ترتیب توسعه اقتصادی و شدت برق می‌باشند. همچنین در مناطق ساحلی شرقی به دلیل سطح بالای توسعه اقتصادی تقاضای برق بالا است. از این روی انتشار دی‌اکسید کربن در این مناطق بیشتر از مناطق جنوب غربی است. در سطح ملی نیز متغیرهای توسعه اقتصادی، اندازه جمعیت و انتقال نیرو به ترتیب به افزایش ۲۵۳۳/۱۲، ۲۵۴/۷۵ و ۳۳/۵۶ میلیون تن دی‌اکسید کربن منجر می‌شوند. لذا، عامل اصلی افزایش انتشار دی‌اکسید کربن توسعه اقتصادی است. با این وجود شدت انتشار کربن، ساختار تولید و اثر شدت مصرف به ترتیب منجر به کاهش ۳۰۹/۸۷، ۵۳۴/۵۲ و ۶۲۳/۳۰ میلیون تن دی‌اکسید کربن می‌شوند.

لیسابا و لوپر[۳](۲۰۲۱)، با به کارگیری روش LMDI تاثیر جمعیت، فعالیت اقتصادی، ساختار اقتصادی و شدت انرژی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در منطقه جنوب شرقی آسیا را طی دوره زمانی ۲۰۱۸-۱۹۹۰ بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهند تاثیرگذارترین عوامل در انتشار دی‌اکسید کربن در سال‌های اخیر جمعیت، فعالیت اقتصادی و اثرات شدت انرژی می‌باشند.

### ۳-۲- مطالعات داخلی صورت گرفته در زمینه تجزیه آلودگی

پورعبادالهان کویچ و همکاران (۱۳۹۷)، با بکارگیری روش میانگین لگاریتمی شاخص دیویژیا به تجزیه عوامل موثر بر انتشار دی‌اکسید کربن در زیر بخش‌های صنعتی استان

---

۱. میزان انتشار دی‌اکسیدکربن به ازای سطح مشخصی از تولید ناخالص داخلی

2. Wen & Hao

3. Lisaba & Lopez

آذربایجان شرقی طی دوره زمانی ۱۳۹۳-۱۳۸۰ پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات در اثر فعالیت و اثر ضریب انتشار به ترتیب بیشترین اثر را بر رشد انتشار دی‌اکسید کربن زیر بخش‌های صنعتی استان داشته‌اند. در نقطه مقابل تغییرات اثر شدت انرژی، اثر ساختاری و اثر ترکیب سوخت عوامل اصلی کاهش انتشار دی‌اکسید کربن بوده‌اند.

جعفری صمیمی و نجاری (۱۳۹۷)، با استفاده از رهیافت تجزیه ساختاری در الگوی داده-ستانده سهم عوامل موثر بر تغییرات آلایندگی در بخش صنعت ایران را طی سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهند تولید کالاهای نهایی با بیشترین تاثیر مثبت، مهم‌ترین عامل موثر بر انتشار آلاینده‌ها است. همچنین تحرک آفرینی تولیدات و ساختار اجزای کالاهای نهایی به افزایش انتشار آلاینده‌ها منجر می‌گردند. روند تحولات ترکیب و اجزای کالاهای نهایی، تغییرات ساختار تولیدی و شدت انرژی نیز تاثیر کاهشی بر انتشار دی‌اکسید کربن دارند. با این وجود بهبود ترکیب اجزای کالاهای نهایی مهم‌ترین عامل کاهش انتشار دی‌اکسید کربن می‌باشد.

فطرس و همکاران (۱۴۰۱)، در پژوهشی به تجزیه سهم عوامل موثر بر آلودگی محیط‌زیست در ایران با استفاده از رویکرد ارزش شیپلی- اون طی دوره زمانی ۱۳۹۷-۱۳۶۱ پرداختند. یافته‌های روش شیپلی نشان می‌دهند مصرف انرژی بیشترین سهم از آلودگی محیط‌زیست را به خود اختصاص می‌دهد. نتایج حاصل از رویکرد اون نیز حاکی‌اند مصرف انرژی در بخش حمل و نقل بیشترین سهم و مصرف انرژی در بخش کشاورزی کمترین سهم از کل آلودگی محیط‌زیست را دارا می‌باشند.

اغلب مطالعات صورت گرفته در زمینه آلودگی صنعتی، برای تعیین رابطه میان توسعه اقتصادی و تخریب محیط‌زیست از اطلاعات در سطح کلان (کشورها) استفاده نموده‌اند. نوآوری مقاله حاضر در این است که ضمن محاسبه میزان دی‌اکسیدکربن منتشر شده به تفکیک هر یک از صنایع کد آیسیک، به شناسایی عوامل موثر بر دی‌اکسیدکربن منتشر شده توسط صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی به عنوان آلاینده‌ترین صنعت در ایران طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۸۳ با تخمین رگرسیون به روش بوت استرپ کردن باقی‌مانده‌ها[1]، پرداخته است و سهم هر عامل را بر انتشار

1. Residual Bootstrap

دی‌اکسید کربن بر اساس رویکرد ارزش شیپلی- اون محاسبه کرده است. در مطالعات صورت گرفته در زمینه آلودگی زیست‌محیطی بخش صنعت، از روش‌های: رگرسیون اقتصادسنجی و تجزیه سهم عوامل بهره گرفته شده است. این رویکردها دارای معایبی هستند که در قسمت روش تحقیق به آن به طور کامل پرداخته خواهد شد. در مقاله حاضر برای اولین بار از روش تجزیه با رویکرد ارزش شیپلی- اون به منظور تعیین سهم هر عامل بر روی ایجاد آلودگی استفاده می‌کند که استفاده از این رویکرد، معایب روش‌های قبل را ندارد.

پژوهش حاضر با محدودیت‌های زیر مواجه بوده است:

۱- با توجه به اینکه آمار انتشار آلاینده‌های ناشی از مصرف انرژی در ایران تنها در سطح کلان منتشر می‌شود، لذا ضرایب انتشار دی‌اکسید کربن هر یک از سوخت‌های مختلف و برق[1]، با استفاده از آمار میزان انتشار دی‌اکسید کربن در بخش صنعت به تفکیک هر سوخت و نیز مقدار هر یک از سوخت‌های فسیلی مصرف شده و برق در این بخش به دست می‌آید که برای تمام زیربخش‌های صنعتی و فعالیت‌های آنها ثابت در نظر گرفته می‌شود.

۲- داده‌های مربوط به مقدار حامل انرژی مصرف شده توسط صنایع در سطح کد آیسیک دو رقمی، از سال ۱۳۸۳ و بعد از آن، توسط مرکز آمار ایران منتشر می‌شود. لذا محدودیت در داده‌ها نیز یکی دیگر از محدودیت‌های تحقیق هست.

## ۴- روش‌شناسی

بر اساس اطلاعات منتشر شده از سوی مرکز آمار ایران، نهاده انرژی فسیلی در کشور به هفت زیرشاخه شامل: گاز طبیعی، نفت کوره، گازوییل، بنزین، نفت سفید، گازمایع، زغال‌سنگ و زغال‌چوب تقسیم می‌شود. مصرف حامل‌های انرژی زغال‌سنگ و زغال‌چوب از اهمیت کمتری برخوردارند هستند و مقدار مصرف این دو در اکثر فعالیت‌ها صفر بوده است. لذا، در پژوهش حاضر از اطلاعات مربوط به مقدار گاز طبیعی، نفت کوره، گازوییل، بنزین، نفت سفید و گازمایع مصرف شده در بخش صنعت به عنوان حامل

---

۱. از آنجایی که برق مصرفی در صنعت، خود به وسیله سوخت‌های فسیلی تولید شده است، لذا تولید برق موجب آلودگی و انتشار دی‌اکسیدکربن می‌شود.

انرژی فسیلی و همچنین برق استفاده شده است. ابتدا مقدار انتشار دی‌اکسید کربن هر یک از این شش نوع حامل انرژی فسیلی و برق و سپس مجموع دی‌اکسید کربن منتشره محاسبه شده تا کل میزان انتشار دی‌اکسید کربن برای هر یک از این ۲۴ صنعت در دوره زمانی مورد مطالعه به دست آید. با توجه به این که اطلاعات مربوط به ضریب انتشار دی‌اکسید کربن هر حامل انرژی به تفکیک نوع صنعت موجود نمی‌باشد، به ناچار باید ضریب انتشار دی‌اکسید کربن هر یک از حامل‌های انرژی در بخش صنعت به صورت سالیانه محاسبه و سپس عددهای به دست آمده به عنوان ضرایب انتشار دی‌اکسید کربن برای تمام صنایع کدهای آیسیک دو رقمی یکسان در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبه ضریب انتشار دی‌اکسید کربن در کل بخش صنعت برای هر نوع حامل انرژی، باید مقدار انتشار دی‌اکسید کربن از آن نوع حامل انرژی در کل بخش صنعت را بر مقدار مصرف آن نوع حامل انرژی در کل بخش صنعت، تقسیم کرد. اطلاعات مربوط به مقدار دی‌اکسید کربن منتشر شده از هر حامل انرژی مصرف شده در بخش صنعت و نیز اطلاعات مربوط به مقدار مصرف هر حامل انرژی در بخش صنعت توسط وزارت نیرو به صورت سالیانه منتشر می‌شود. از آن جایی که مقدار مصرف هر حامل انرژی در بخش صنعت دارای واحدهای متفاوتی می‌باشد، ابتدا لازم است مقدار هر یک از حامل انرژی مصرف شده را در ضریب ارزش حرارتی[۱] آن حامل انرژی ضرب کنیم تا بر حسب واحد یکسان به نام BTU[۲] برای تمام حامل‌های انرژی مختلف به دست آید[۳] و با جمع آنها، کل مقدار انرژی مصرفی بر حسب واحد BTU به دست می آید. برای محاسبه میزان انتشار دی‌اکسید کربن منتشر شده توسط هر صنعت با کد آیسیک دو رقمی در هر سال، لازم است مقدار انرژی مصرفی بر حسب واحد BTU برای هر یک از حامل‌های انرژی را در میزان انتشار دی‌اکسید کربن از تولید یک میلیون BTUانرژی توسط هر یک از حامل‌های انرژی در سال مربوطه ضرب کرده و سپس

۱. ارزش حرارتی حامل انرژی عبارت است از مقدار گرمایی که در موقع سوختن کامل واحد جرم حامل انرژی آزاد می‌شود.

۲. واحد انرژی BTU مقدار حرارتی است که لازم است تا دمای یک پوند آب را به میزان یک درجه فارنهایت بالا برد ( British Thermal Unit).

۳. به دلیل این که حامل‌های انرژی واحدهای اندازه‌گیری متفاوتی دارند، ابتدا باید همگی به واحد یکسانی بر حسب BTU تبدیل شوند.

مجموع دی‌اکسید کربن منتشر شده توسط هر صنعت در هر سال را محاسبه کرد. طبق روش ذکر شده میزان انتشار دی‌اکسید کربن منتشره برای تمام ۲۴ صنعت کد آیسیک دو رقمی در سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۳ محاسبه شده است. بعد از تعیین دی‌اکسید کربن منتشر شده توسط تمام صنایع با کد آیسیک دو رقمی، سهم هر صنعت از کل میزان دی‌اکسید کربن منتشر شده در بخش صنعت در هر سال، محاسبه و به شناسایی صنعتی که بیشترین آلودگی را در هر سال ایجاد کرده، پرداخته شده است. طبق محاسبات، صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی در دوره مورد مطالعه پژوهش، به عنوان آلاینده‌ترین صنعت به دست آمده است. به منظور برآورد رابطه میان فعالیت‌های صنعتی و انتشار آلودگی توسط صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی، از مدل کول، الیوت و شیماموتو[1] (۲۰۰۴) با تعدیلاتی به شرح ذیل استفاده شده است:

$$E_t = f(ENERGY_t, PCI_t, HCI_t, SKILL_t, CAP_t) \qquad (۱)$$

که در آن متغیرهای مورد استفاده به شرح زیر است:

$E_t$: نسبت میزان انتشار دی‌اکسید کربن منتشر شده توسط صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی به ارزش افزوده[2] آن صنعت می‌باشد که شدت انتشار آلودگی نامیده می‌شود.

$ENERGY_t$: نسبت کل مقدار حامل انرژی مصرف شده توسط صنعت تولید فرآورده‌های صنعت کانی غیرفلزی به ارزش افزوده آن صنعت می‌باشد. رابطه مثبت بین میزان آلودگی و میزان حامل انرژی مصرف شده، مورد انتظار است.

$PCI_t$: در مطالعه حاضر برای محاسبه شدت سرمایه فیزیکی از رابطه زیر استفاده شده است:

شدت سرمایه فیزیکی: (ارزش افزوده- جبران خدمات نیروی کار[3])/ کل شاغلان تولیدی.

1. Cole, M., Elliott, R. J. R., Shimamoto, K.

۲. ابتدا داده‌ها بر شاخص قیمت تولیدکننده فرآورده‌های صنعتی صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی (بر پایه سال ۱۳۹۵) تقسیم شده‌اند تا به قیمت ثابت به دست آید.

۳. مجموع کل مزد و حقوق پرداختی سالانه و سایر پرداختی‌ها به شاغلان تولیدی و غیرتولیدی

علامت منفی برای متغیر شدت سرمایه فیزیکی مورد انتظار است. در صنایعی که به ازای هر کارگر، سهم بیشتری از ارزش افزوده را به سرمایه فیزیکی اختصاص می‌دهند بدان معنی است که از تجهیزات و تکنولوژی‌های بهتر و کارآمدتر استفاده می‌کنند که معمولاً انتشار دی‌اکسید کربن کمتری دارند.

$HCI_t$ : شدت سرمایه انسانی مبتنی بر دستمزد می‌باشد و به صورت نسبت جبران خدمات نیروی کار به ارزش افزوده محاسبه می‌شود. علامت این متغیر در مدل نامشخص است. در صورتی که صنایع مجبور باشند هزینه‌های بالایی برای نیروی کار بپردازند (و نسبت جبران خدمات به ارزش افزوده بالاست)، ممکن است منابع مالی کمتری برای سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های نوین، اتوماسیون و تجهیزات کاهنده آلودگی داشته باشند. در نتیجه، به استفاده از تجهیزات قدیمی‌تر و پرمصرف‌تر ادامه می‌دهند که منجر به انتشار CO2 بیشتر می‌شود و علامت این متغیر به صورت مثبت خواهد شد. اما چنان چه بخشی از جبران خدمات نیروی کار مواردی مانند آموزش، توسعه مهارت‌ها و نگهداری نیروی کار با انگیزه را شامل شود، نیروی کار با انگیزه و آموزش‌دیده، حتی در سطوح غیرماهر، می‌تواند کارایی فرآیندها را افزایش داده و منجر به کاهش ضایعات و مصرف انرژی شود و در این حالت، ضریب متغیر به صورت منفی خواهد شد.

$SKILL_t$: شدت مهارت نیروی انسانی است. در این مطالعه برای محاسبه شدت مهارت نیروی انسانی از رابطه زیر استفاده شده است:

شدت مهارت نیروی انسانی: تعداد شاغلین ماهر[1] /کل تعداد شاغلین

اثر شدت مهارت نیروی انسانی بر دی‌اکسید کربن منتشر شده مبهم بوده است و ممکن است دارای اثر مثبت یا منفی بر انتشار آلودگی داشته باشد. کارگران ماهر معمولا با فناوری‌های پیشرفته آشنا هستند و می‌توانند به بهینه‌سازی فرآیندهای تولیدی بپردازند به طوری که منجر به کاهش پساب‌ها و گازهای گلخانه‌ای شود. همچنین افزایش نیروی کار ماهر می‌تواند منجر به افزایش ظرفیت تولید یا تولید محصولات پیچیده‌تر و با ارزش افزوده بالاتر شود. این افزایش تولید، حتی اگر با

۱. بنابر تعریف سالنامه آماری، در این پژوهش مجموع کارگران ماهر، تکنیسین‌ها و مهندسین به عنوان شاغلان ماهر خطوط تولید در نظر گرفته می‌شوند.

بهره‌وری بهتر همراه باشد، ممکن است در مجموع به افزایش انتشار CO2 منجر شود، زیرا حجم کل فعالیت اقتصادی افزایش یافته است.

$CAP_t$: بیانگر هزینه‌های سرمایه‌ای یک صنعت است. که به صورت نسبت مخارج سرمایه‌گذاری به ارزش افزوده تعریف شده است. وقتی یک صنعت مخارج سرمایه‌گذاری بالایی را به ارزش افزوده خود اختصاص می‌دهد، این اغلب به معنای سرمایه‌گذاری در ماشین‌آلات، تجهیزات، و تکنولوژی‌های جدید است. لذا تحت این فرض که هرچه این مخارج در صنعتی بزرگتر باشد، تجهیزات و ماشین‌آلات صنعت جدیدتر خواهد بود عمل می‌نماید و سطح پایین‌تری از آلودگی هوا در آن صنعت خواهیم داشت[۱].

اندیس t به سال مورد نظر اشاره دارد. تمامی ارزش‌ها بر حسب شاخص‌های قیمتی در سال پایه ۱۳۹۵ تعدیل شده است. همان طور که قبلا اشاره شد، به دلیل محدودیت در داده‌های آماری در بخش صنعت، دوره زمانی پژوهش حاضر از ۱۳۸۳ تا ۱۴۰۰ در نظر گرفته شده است. بعد از تخمین مدل، به تعیین سهم عوامل موثر بر دی‌اکسیدکربن منتشر شده توسط صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیر فلزی به روش تجزیه ارزش شیپلی- اون پرداخته شده است.

در روش تجزیه ارزش شیپلی، سهم هر متغیر مستقل بر متغیر وابسته محاسبه می‌شود. به منظور تبیین موضوع، معادله (۲) را در نظر بگیرید:

$$y = a + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_j x_j + \cdots + \beta_k x_k + \epsilon \qquad (۲)$$

که در آن y متغیر وابسته، a عرض از مبدا، $x_1, x_2, \ldots, x_j \ldots, x_k$ متغیرهای توضیحی، β بردار ضرایب متغیرها و ϵ جز اخلال را نشان می‌دهند. با برآورد رگرسیون فوق به روش حداقل مربعات معمولی مقدار ضریب تعیین $R^2(K)$ به دست می‌آید. سپس با تمرکز بر ضریب تعیین، سهم و مشارکت رگرسورها را در میزان توضیح‌دهندگی متغیر وابسته برآورد می‌کند. در این روش، معادله (۲) برآورد و ضریب

۱. یک صنعت ممکن است شدت سرمایه فیزیکی بالایی داشته باشد (ارزش تجهیزات بالا به ازای هر کارگر)، اما سال‌ها هیچ مخارج سرمایه‌گذاری جدیدی نداشته باشد (نسبت مخارج سرمایه‌ای پایین). برعکس، صنعتی ممکن است شدت سرمایه فیزیکی پایینی داشته باشد، اما سالانه بخش زیادی از ارزش افزوده خود را صرف نوسازی و توسعه (مخارج سرمایه‌ای بالا) نماید.

تعیین آن محاسبه می‌شود؛ سپس با خروج هر یک از متغیرهای توضیحی، رگرسیون مجدد برآورد و ضریب تعیین آن معادله محاسبه می‌شود؛ بنابراین، تفاوت بین ضریب تعیین‌ها میزان سهم نهایی هر متغیر حذف شده از رگرسیون را نشان می‌دهد. مزیت مهم رویکرد ارزش شیپلی کارآیی است که بر اساس آن ضریب تعیین به طور کامل بین متغیرهای توضیحی تجزیه می‌شود.

در پژوهش پیش رو با استفاده از روش ارزش شیپلی سهم متغیرهای مستقل از تغییرات متغیر وابسته بر حسب معادله رگرسیون پژوهش محاسبه خواهند شد:

$$\mathrm{E_t} = \mathrm{a} + \beta_1\mathrm{CAP_t} + \beta_2\mathrm{PCI_t} + \beta_3 HCI_t + \beta_4\mathrm{SKILL_t} + \beta_5\mathrm{ENERGY_t} + \epsilon \qquad (۳)$$

روش اون، ارزش شیپلی تجمیع یافته است که در آن امکان دسته‌بندی متغیرهای توضیحی در گروه‌ها نیز وجود دارد؛ به طوری که علاوه بر سهم هر متغیر مستقل، سهم مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل که در یک گروه قرار دارند نیز در توضیح متغیر وابسته قابل تعیین می‌باشد.

$$\begin{aligned}\mathrm{E_t} &= \mathrm{a} + \beta_1\mathrm{CAP_t} + \beta_2\mathrm{PCI_t} + \beta_3 HCI_t + \beta_4\mathrm{SKILL_t} \\ &+ \underbrace{\beta_5\mathrm{ENERGY}_{gaz,t} + \beta_6\mathrm{ENERGY}_{naft,t} + \cdots}_{\mathrm{G_{ct}}} + \epsilon_t \qquad (۴)\end{aligned}$$

در فرمول فوق، منظور از متغیر $ENERGY_{gaz,t}$ مقدار گاز طبیعی مصرفی در صنعت آلاینده و منظور از $ENERGY_{naft,t}$ مقدار نفت کوره مصرفی در صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی است و به همین صورت مقدار سایر حامل‌های انرژی وارد مدل می‌شود[۱]. با استفاده از معادله فوق علاوه بر محاسبه سهم هر یک از حامل‌های انرژی بر آلودگی هوا، سهم انواع حامل‌های انرژی مصرفی به صورت یکجا و در یک گروه تحت عنوان $\mathrm{G_{ct}}$ نیز برآورد می‌شود.

۱. سایر متغیرها در معادله ۱ تعریف گردیده است.

## ۵- نتایج تخمین

همان طور که در جدول زیر مشاهده می‌شود، بر طبق محاسبات پژوهش، صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی طی دوره مورد بررسی، به طور متوسط ۲۶/۰۲ درصد از کل آلودگی ایجاد شده توسط بخش صنعت را به خود اختصاص داده و آلاینده‌ترین صنعت در این دوره مورد مطالعه می‌باشد.

**جدول ۱. سهم صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی از کل دی‌اکسید کربن منتشر شده توسط بخش صنعت در سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۳**

| سال | ۱۳۸۳ | ۱۳۸۴ | ۱۳۸۵ | ۱۳۸۶ | ۱۳۸۷ | ۱۳۸۸ | ۱۳۸۹ | ۱۳۹۰ | ۱۳۹۱ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| درصد | ۲۷/۱۱ | ۲۷/۳۴ | ۲۶/۸۹ | ۲۷/۵۴ | ۲۹/۶۸ | ۳۰/۵۶ | ۳۱/۰۲ | ۳۱/۹۴ | ۲۸/۱۷ |
| سال | ۱۳۹۲ | ۱۳۹۳ | ۱۳۹۴ | ۱۳۹۵ | ۱۳۹۶ | ۱۳۹۷ | ۱۳۹۸ | ۱۳۹۹ | ۱۴۰۰ |
| درصد | ۲۸/۳۰ | ۲۵/۷۷ | ۲۵/۱۷ | ۲۴/۳۳ | ۲۱/۷۹ | ۲۰/۹۲ | ۲۲/۱۴ | ۱۹/۷۴ | ۲۰/۰۲ |

منبع: محاسبات پژوهش

در ادامه به معرفی زیربخش‌های صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی می‌پردازیم.

صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی بر اساس طبقه‌بندی فعالیت‌های اقتصادی ایران (بازنگری شده توسط مرکز آمار ایران در سال ۱۴۰۳) در دو گروه: تولید شیشه و فرآورده‌های شیشه‌ای و تولید سایر فرآورده‌های کانی غیرفلزی و ده فعالیت: تولید شیشه جام، تولید کالا و فرآورده‌های شیشه‌ای (بجز شیشه جام)، تولید کالا و فرآورده‌های نسوز، تولید سایر کالاهای چینی و سرامیکی، تولید سیمان، آهک و گچ، تولید کالاهای بتونی و سیمانی و گچی، برش و شکل دادن و پرداخت سنگ، تولید انواع آجر، تولید مواد ساختمانی از خاک رس و خاک کانی (بجز آجر) و تولید سایر فرآورده‌های کانی غیرفلزی طبقه‌بندی می‌شود.

در ادامه به شناسایی عوامل موثر بر دی‌اکسید کربن منتشر شده توسط صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی پرداخته شده است. قبل از تخمین رگرسیون، ابتدا پایایی متغیرها مورد بررسی قرار گرفته که برای این منظور از آزمون دیکی ـ فولر تعمیم یافته استفاده شده است. همانطورکه در جدول شماره ۲ مشاهده می‌شود متغیرها در سطح مانا هستند.

**جدول ۲. نتایج آزمون مانایی**

| نام متغیر | سطح احتمال | آماره t | درجه مانایی |
|---|---|---|---|
| E | ۰/۰۵ | -۳/۰۱ | I(0) |
| ENERGY | ۰/۰۴ | -۳/۰۵ | I(0) |
| PCI | ۰/۰۵ | -۲/۹۹ | I(0) |
| HCI | ۰/۰۵ | -۳/۰۳ | I(0) |
| SKILL | ۰/۰۰ | -۷/۰۰ | I(0) |
| CAP | ۰/۰۰ | -۴/۴۲ | I(0) |

منبع: محاسبات پژوهش

با توجه به این که تمام متغیرها در سطح مانا هستند نیازی به آزمون همجمعی نمی‌باشد. در ادامه به برآورد مدل از طریق رگرسیون حداقل مربعات معمولی پرداخته شده است، که نتایج آن در جدول ۳ گزارش شده است.

**جدول ۳. نتایج تخمین مدل از طریق رگرسیون**

| نام متغیر | ضریب | آماره t | سطح احتمال |
|---|---|---|---|
| عرض از مبدا | ۰/۰۴ | ۲/۲۰ | ۰/۰۴ |
| ENERGY | ۰/۳۸ | ۲۵/۶۶ | ۰/۰۰ |
| PCI | -۰/۰۶ | -۳/۷۵ | ۰/۰۰ |
| HCI | -۰/۰۶ | -۲/۰۳ | ۰/۰۶ |
| SKILL | ۰/۰۶ | ۱/۸۸ | ۰/۰۸ |
| CAP | -۰/۰۵ | -۳/۲۹ | ۰/۰۰ |
| Adj.$R^2$ = ۰/۹۹ | | D.W=۱/۶۴ | |

منبع: محاسبات پژوهش

برای بررسی نرمال بودن باقی مانده‌های مدل از آزمون Jarque-Bera استفاده شده است. مقدار آماره آزمون برابر با ۰/۰۳ و مقدار p برابر با ۰/۹۸ به دست آمده است. با توجه به این که مقدار p بیشتر از سطح معناداری ۰/۰۵ است، فرض نرمال بودن باقی مانده رد نمی‌شود. بنابراین، باقی مانده‌ها دارای توزیع نرمال است.

آزمون‌های White و Breusch-Pagan-Godfrey شواهدی از ناهمسانی واریانس ارایه کردند، به طوری که آزمون White در سطح معنادار پنج درصد معنادار بود و آزمون BP نتایج مرزی اما تقویتی نشان داد. لذا برای استحکام استنباط ضرایب را به

صورت OLS نگه داشته و خطاهای استاندارد و آمارهای t و p را با برآوردگر مقاوم Newey-West تخمین و به دلیل این که اندازه نمونه محدود بود (۱۸ داده سالانه)، وقفه برابر یا یک در نظر گرفته شد. پس از اصلاح با Newey-West نتایج کیفی مدل بدون تغییر باقی ماندند.

با توجه به حجم محدود نمونه، استفاده از روش‌های کلاسیک آماری برای برآورد خطاهای استاندارد ممکن است با کاهش دقت همراه باشد. از این‌رو، در مطالعه حاضر پس از تخمین مدل با روش حداقل مربعات معمولی (OLS)، از روش بوت‌استرپ روی باقی مانده‌ها، به‌عنوان یک تکنیک غیرپارامتری برای برآورد مجدد خطاهای استاندارد ضرایب استفاده شده است. این روش با نمونه‌گیری مکرر از باقی‌مانده‌ها و بازتخمین مدل، امکان ارزیابی پایایی ضرایب و افزایش اعتبار نتایج آماری را در شرایط حجم نمونه کم فراهم می‌سازد. کاربرد بوت‌استرپ در مطالعات با داده‌های محدود، به‌ویژه زمانی که فروض کلاسیک یا توزیع دقیق آماره‌ها قابل اتکا نباشند، توصیه شده است.

**جدول ۴. نتایج تخمین مدل از طریق بوت استرپ کردن باقی مانده‌ها**[۱]

| نام متغیر | ضریب | آماره t | سطح احتمال |
|---|---|---|---|
| عرض از مبدا | ۰/۰۴ | ۲/۶۹ | ۰/۰۱ |
| ENERGY | ۰/۳۸ | ۳۱/۴۷ | ۰/۰۰ |
| PCI | -۰/۰۶ | -۴/۵۴ | ۰/۰۰ |
| HCI | -۰/۰۶ | -۲/۴۴ | ۰/۰۳ |
| SKILL | ۰/۰۶ | ۲/۲۶ | ۰/۰۴ |
| CAP | -۰/۰۵ | -۳/۹۸ | ۰/۰۰ |
| Adj.R2 = ۰/۹۹ | | | D.W=۱/۶۴ |

منبع: یافته‌های پژوهش

نتایج پژوهش حاضر با استفاده از تخمین رگرسیون از طریق بوت استرپ کردن باقی‌مانده‌ها طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۳ نشان می‌دهد که دی‌اکسید کربن منتشره

۱. گرچه نتایج آزمون‌های نرمال بودن باقی‌مانده‌ها و واریانس ناهمسانی نشان‌دهنده تأیید فروض کلاسیک مدل هستند، با توجه به حجم نمونه محدود، استفاده از روش بوت‌استرپ به‌عنوان یک تکنیک مکمل برای برآورد خطاهای استاندارد ضرایب صورت گرفته است. این روش غیرپارامتری امکان ارزیابی پایایی نتایج و افزایش اعتبار آماری تحلیل را فراهم می‌سازد، به‌ویژه در شرایطی که آزمون‌های کلاسیک ممکن است در حجم نمونه کم از قدرت کافی برخوردار نباشند.

توسط صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی تابعی مثبت از مقدار حامل انرژی مصرف شده و شدت مهارت نیروی انسانی و تابع منفی از شدت سرمایه فیزیکی، شدت سرمایه انسانی و هزینه‌های سرمایه‌ای صنعت است. در ادامه به تعیین سهم عوامل موثر بر انتشار دی‌اکسید کربن در صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی پرداخته شده است.

با توجه به این که رویکردهای رگرسیونی و روش‌های تجزیه دارای معایبی هستند، به همین دلیل، در این پژوهش برای تجزیه سهم عوامل موثر بر آلودگی محیط‌زیست از روش تجزیه شیپلی-اون استفاده خواهد شد. نرم‌افزار مورد استفاده برای تعیین ارزش شیپلی- اون، نرم‌افزار R می‌باشد و از پکیج‌های readxl ، shapley و devtools و توابع موجود در آن‌ها برای کدهای برنامه نویسی استفاده شده است. در ادامه جداول مربوط به ارزش شیپلی و اون آمده است.

**جدول ۵. تجزیه سهم عوامل موثر بر انتشار دی‌اکسید کربن در صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی (رویکرد شیپلی)**

| نام متغیر | سهم متغیر از ضریب تعیین | سهم متغیر از ضریب تعیین بر حسب درصد |
|---|---|---|
| ENERGY | ۰/۵۷۱۷ | ۵۷/۱۷ |
| PCI | ۰/۱۸۸۷ | ۱۸/۸۷ |
| HCI | ۰/۱۰۱۵ | ۱۰/۱۵ |
| SKILL | ۰/۰۰۵۳ | ۰/۵۳ |
| CAP | ۰/۱۲۵۷ | ۱۲/۵۷ |
| $R^2$ | ۰/۹۹۲۹ | ۹۹/۲۹ |

منبع: یافته‌های پژوهش

یافته‌های ارزش شیپلی- اون نشان می‌دهد که مصرف حامل‌های انرژی با سهم تقریبا ۵۷ درصد بیشترین سهم را به خود اختصاص داده و بعد از آن به ترتیب شدت سرمایه فیزیکی و مخارج سرمایه‌ای بیشترین سهم را از دی‌اکسید کربن منتشر شده در صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی داشته‌اند.

**جدول ۶. تجزیه سهم عوامل موثر بر انتشار دی‌اکسید کربن در صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی (رویکرد اون)**

| نام متغیر | | | سهم متغیر از ضریب تعیین | | سهم متغیر از ضریب تعیین بر حسب درصد | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gaz | گاز طبیعی | ENERGY | ۰/۳۰۳۷ | ۰/۵۸۵۷ | ۳۰/۳۷ | ۵۸/۵۷ |
| Naft | نفت کوره | | ۰/۰۷۷۳ | | ۷/۷۳ | |
| Gazoail | گازوئیل | | ۰/۰۱۷۱ | | ۱/۷۱ | |
| Benzin | بنزین | | ۰/۰۳۰۳ | | ۳/۰۳ | |
| Naftsefid | نفت سفید | | ۰/۰۲۵۲ | | ۲/۵۲ | |
| Gazmaye | گاز مایع | | ۰/۰۱۷۳ | | ۱/۷۳ | |
| Bargh | برق | | ۰/۱۱۴۸ | | ۱۱/۴۸ | |
| PCI | | | ۰/۱۸۵۵ | | ۱۸/۵۵ | |
| HCI | | | ۰/۱۰۰۸ | | ۱۰/۰۸ | |
| SKILL | | | ۰/۰۰۴۱ | | ۰/۴۱ | |
| CAP | | | ۰/۱۲۳۳ | | ۱۲/۳۳ | |
| $R^2$ | | | ۰/۹۹۹۴ | | ۹۹/۹۴ | |

منبع: یافته‌های پژوهش

یافته‌های ارزش اون بیان می‌کند که از بین حامل‌های انرژی مورد استفاده در صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی، گاز طبیعی با سهم تقریبا ۳۰ درصدی بیشترین سهم در ایجاد آلودگی داشته است. در ادامه به چرایی این نتیجه و مهم‌ترین تحولات در سیاست صادرات گاز طی دوره مورد مطالعه پرداخته شده است.

مهم‌ترین تحولات کلیدی در سیاست صادرات گاز ایران طی دوره مورد مطالعه به صورت زیر بوده است:

***- تمرکز بر مصرف داخلی بجای صادرات***

به‌ویژه پس از اجرای قانون هدفمند کردن یارانه‌ها در سال ۱۳۸۹، اولویت دولت‌ها به تأمین گاز برای مصارف خانگی، صنعتی و نیروگاهی داخلی معطوف شد. این موضوع باعث شد بسیاری از پروژه‌های صادراتی به تعویق افتاده یا متوقف شوند.

***- نافرجامی پروژه‌های صادراتی بزرگ***

قراردادهای صادرات گاز به هند و پاکستان (خط لوله صلح) و پروژه‌های LNG برای صادرات به اروپا و آسیا، به دلایل سیاسی، تحریمی و فنی، اجرایی نشدند. تنها صادرات پایدار به ترکیه و عراق ادامه یافت.

***- تحریم‌ها و تأثیر بر دیپلماسی انرژی***

تحریم‌های بین‌المللی در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۷، موجب کاهش سرمایه‌گذاری خارجی، محدودیت در انتقال فناوری و کاهش توان ایران برای حضور در بازار جهانی گاز شد. با توجه به مهم‌ترین تحولات سیاست صادرات گاز، سهم گاز طبیعی در بخش صنعت و بخصوص در صنعت تولید سایر فرآورده‌های کانی غیرفلزی افزایش یافته و جایگزین با فرآورده‌های نفتی شده است. با توجه به اینکه طی دوره مورد بررسی (بر اساس محاسبات پژوهش) سهم حامل انرژی گاز طبیعی از تامین انرژی، در بین حامل‌های انرژی مختلف، تقریبا ۷۸ درصد بوده این حامل انرژی به دلیل استفاده بیشتر در صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی، دی‌اکسید کربن بیشتری را منتشر کرده است. علی‌رغم این که گاز طبیعی یک حامل انرژی پاک محسوب می‌شود، براساس یافته‌های پژوهش بیشترین سهم را در انتشار دی‌اکسید کربن در بین حامل‌های انرژی داشته است.

## ۶- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر بیان می‌کند که طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۳، صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی آلاینده‌ترین صنعت در بین صنایع کدهای آیسیک دو رقمی بوده و طی سال‌های مورد بررسی، به طور متوسط ۲۶/۰۲ درصد از کل آلودگی ایجاد شده توسط بخش صنعت را به خود اختصاص داده است. تخمین رگرسیون از طریق بوت استرپ کردن باقی‌مانده‌ها طی این سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۳ نشان می‌دهد میزان دی‌اکسید کربن منتشره توسط صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی تابعی مثبت از مقدار حامل انرژی مصرف شده و شدت مهارت نیروی انسانی و تابعی منفی از شدت سرمایه انسانی، شدت سرمایه فیزیکی و هزینه‌های سرمایه‌ای صنعت می‌باشد. نتایج

تجزیه رگرسیون براساس رویکرد ارزش شیپلی بیان می‌کند که مصرف حامل‌های انرژی در صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی با تقریبا ۵۷ درصدی و بیشترین سهم را به خود اختصاص داده و متغیرهای شدت سرمایه فیزیکی و مخارج سرمایه‌ای به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. نتایج تجزیه رگرسیون براساس رویکرد اون بیان می‌کند که مصرف گاز طبیعی در بین حامل‌های انرژی در صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی، با تقریبا ۳۰ درصد بیشترین سهم در بین حامل‌های انرژی در انتشار دی‌اکسید کربن را داشته است در ادامه به مهم‌ترین علل آن اشاره شده خواهد شد. در سال ۱۳۸۸ که اولین سال دوره مورد بررسی است، قانون هدفمندی یارانه‌ها تصویب شد. بند «ب» ماده «یک» این قانون باعث شده جذابیت اقتصادی استفاده از گاز طبیعی در صنایع انرژی‌بر مانند صنعت تولید سایر فرآورده‌های کانی غیرفلزی افزایش یابد. در ماده ۵ قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی که در سال ۱۳۸۹ به تصویب رسید، آمده است که دولت موظف است با اعمال سیاست‌های تشویقی از جمله تعرفه ترجیحی، تسهیلات مالی و مالیاتی، صنایع را به استفاده از فناوری‌های کم مصرف و سوخت‌های پاک ترغیب کند. در سند ملی راهبردی انرژی کشور (مصوب سال ۱۳۹۶) آمده است که توسعه زیرساخت‌های گازرسانی به بخش‌های صنعت، تجارت و خانگی با هدف افزایش سهم گاز طبیعی در سبد انرژی کشور و جایگزینی آن با فرآورده‌های نفتی صورت بگیرد. در بخش سوم تراز تولید و مصرف گاز طبیعی کشور تا افق ۱۴۲۰ که در سال ۱۳۹۹ توسط شورای عالی انرژی کشور تصویب شد آمده است که بهینه‌سازی مصرف گاز طبیعی در صنایع انرژی‌بر، تکمیل زنجیره ارزش و اولویت‌بخشی به گاز طبیعی به عنوان حامل انرژی اصلی در صنایع تولیدی در دستور کار قرار گیرد.

گرچه دوره زمانی مورد استفاده در این مطالعه ۱۸ سال است و از حداقل دوره پیشنهادی فاصله دارد، اما برای کاهش اثر این محدودیت بر اعتبار نتایج، از روش بوت‌استرپ مبتنی بر پسماندها استفاده شده است. این تکنیک آماری با حفظ ساختار مدل اصلی، امکان ارزیابی دقیق‌تر عدم‌قطعیت ضرایب و پایداری روابط میان متغیرها را فراهم کرده است. به‌علاوه، دوره انتخاب‌شده شامل سال‌هایی با ثبات نسبی در سیاست‌گذاری انرژی بوده و روندهای اصلی مصرف در صنعت مورد نظر را به‌خوبی نمایندگی می‌کند. بنابراین، با وجود محدودیت زمانی، نتایج حاصل از تحلیل‌ها از اعتبار آماری و کاربردی لازم برای ارزیابی سیاست‌های انرژی برخوردارند.

## ۷- پیشنهادات سیاستی

**۱- سیاست استفاده از اهرم‌های تشویقی و تنبیهی توسط شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت؛** محصولات اکثر کارخانه‌های آجر شامل آجر سنتی، آجر ماشینی و بلوک با فناوری قدیمی تولید می‌شود که علاوه بر انرژی‌بری بسیار بالا در تولید، از بسیاری از مزایای استفاده از آجرهای جدید بی‌بهره هستند. دلیل عدم تمایل تولیدکنندگان به استفاده از این فناوری‌ها، نیاز به سرمایه‌گذاری پرهزینه، پایین بودن قیمت حامل‌های انرژی و طولانی شدن زمان برگشت سرمایه می‌باشد. سیاست استفاده از اهرم‌های تشویقی و تنبیهی توسط شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت و نهادهای ذیربط برای سوق دادن تولیدکنندگان به این سمت ضروری می‌باشد.

**۲- برنامه‌ریزی برای کاهش سهم فعالیت‌های آلاینده و افزایش سهم فعالیت‌های پاک؛** فعالیت‌های تولید سیمان، آهک، گچ، تولید آجر و تولید سایر محصولات گلی و سرامیکی غیر نسوز آلاینده‌ترین فعالیت‌های صنایع تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی هستند که باید برنامه‌ریزی‌هایی در جهت کاهش سهم این فعالیت‌ها در حد کفاف برای مصرف داخلی (و نه برای صادرات) و افزایش سهم فعالیت‌های کمتر آلاینده صورت پذیرد.

**۳- اعمال مالیات‌های زیست‌محیطی؛** اعمال مالیات‌های زیست‌محیطی مانند کاربرد ابزارهای قانونی، استانداردها، مقررات و.... در راستای افزایش بازده و بهبود کارایی فنی وسایل و فنآوری‌های مصرف انرژی، ایجاد تغییرات مناسب در ساختار تولیدات و نوآوری، تدوین سیستم کارآمد توزیع سوبسید، مالیات ستانی و... می‌تواند مفید واقع گردد. به طور کلی هدف از اعمال قوانین مالیات زیست‌محیطی، تلاش در جهت کم کردن آلاینده‌هایی همچون دی‌اکسید کربن از طریق نصب سیستم‌های کنترل حفاظت محیط‌زیست در صنایع است.

۴- افزایش قیمت‌های نسبی حامل‌های انرژی به نحوی که امکان جانشینی بین آنها وجود داشته باشد، می‌تواند به عنوان یکی از راه‌حل‌های کاهش انتشار دی‌اکسید کربن پیشنهاد گردد که با انجام این کار مصرف برخی از حامل‌های انرژی کاهش یافته و برخی دیگر از آنها افزایش یابد. در این خصوص لازم است افزایش نسبی قیمت در مورد آنگونه حامل‌های انرژی صورت پذیرد که از ضرایب انتشار بالایی برخوردار می‌باشند.

## منابع


- پورعبادالهان کویچ، محسن، فلاحی، فیروز، علی‌زاده، الهام و صالحی ابر، خدیجه (۱۳۹۷). تجزیه عوامل موثر بر انتشار آلودگی دی‌اکسید کربن در زیر بخش‌های صنعتی استان آذربایجان شرقی با استفاده از روش میانگین لگاریتمی شاخص دیویژیا (LMDI)، فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد، سال ۵، شماره ۲، ۲۲۲-۱۹۹.
- جعفری صمیمی، احمد و نجاری، فاطمه (۱۳۹۷). ارزیابی سهم عوامل موثر بر تغییرات آلایندگی بخش صنعت ایران: رهیافت تجزیه ساختاری در الگوی داده-ستانده، مطالعات علوم محیط‌زیست، دوره ۳، شماره ۴، ۸۳۹-۸۳۱.
- خلیلی، امیررضا، بهمنی، مجتبی، نجاتی، مهدی (۱۴۰۴). بررسی رابطه‌ی بین گذار انرژی و شاخص‌های زیست‌محیطی ایران با استفاده از مدل پویا، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال ۲۱، شماره ۸۵، ۶۸-۳۳.
- فطرس، محمدحسن، معبودی، رضا و دره نظری، زینب (۱۴۰۱). تجزیه سهم عوامل موثر بر آلودگی محیط‌زیست در ایران با استفاده از رویکرد ارزش شیپلی- اون، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، شماره ۷۳، ۱۲۸-۹۷.
- کتابچهی نتایج آمارگیری از مقدار مصرف انرژی در کارگاههای صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر (۱۴۰۰-۱۳۸۳).
- کمالی دهکردی، پروانه، غبیشاوی، عبدالخالق، عبدالهی، فرشته (۱۴۰۲). اثر رشد سبز بر آلودگی محیط‌زیست در ایران با تاکید بر انرژی هسته‌ای، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال ۱۸، شماره ۷۶، ۲۵۴-۲۲۳.
- لطفعلی‌پور، محمدرضا و آشنا، ملیحه (۱۳۸۹). بررسی عوامل موثر بر تغییرات دی‌اکسید کربن در اقتصاد ایران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، شماره ۲۴، ۱۴۵-۱۲۱.
- مروری بر ۳۴ سال آمار انرژی کشور (۱۴۰۰-۱۳۶۷). معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، (۱۴۰۲).
- مرکز آمار ایران (۱۴۰۰-۱۳۸۳). کتابچه‌ی نتایج آمارگیری از مقدار مصرف انرژی در کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر، تهران: مرکز آمار ایران.

- منصوری، سید امین، آرمن، سید عزیز، اندایش، یعقوب و خورسند، کیوان (۱۴۰۴). بررسی تاثیر انرژی و رشد اقتصادی بر انتشار دی‌اکسید کربن در ایران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال ۲۱، شماره ۸۴، ۷۸-۵۱.
- وزارت نیرو، ترازنامه انرژی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۳، تهران: معاونت امور برق و انرژی..
- Barrado, B., Gimenez, G. & Sanaú, J. (2021). The Use of decomposition methods to understand the economic growth gap between Latin America and East Asia. Sustainability, 13, 6674.
- Chontanawat, J. (2018). Decomposition analysis of CO2 emission in ASEAN: an extended IPAT model, Energy Procedia, 153, 186-190.
- Cole, M., Elliott, R. J. R. & Shimamoto, K. (2004). Industrial characteristics, environmental regulations and air pollution: an analysis of the UK manufacturing sector, Research Paper, No. 22.
- Khan, S. & Majeed, M. T. (2019). Decomposition and decoupling analysis of carbon emissions from economic growth: a case study of Pakistan, Journal of Commerce and Social Sciences (PJCSS), ISSN 2309-8619, Johar Education Society, Pakistan (JESPK), Lahore, 13(4), 868-89.
- Liang, Y., Niu, D., Zhou, W. & Fan, Y. (2020). Decomposition analysis of Carbon emissions from energy consumption in Beijing-Tianjin-Hebei, China: a weighted-combination model based on logarithmic mean divisia index and shapley value. Sustainability, 10(7), 2535, https://doi.org/10.3390/su10072535.
- Lisaba, E. B. & Lopez, N. S. (2021). Using logarithmic mean divisia index method (LMDI) to estimate drivers to final energy consumption and emissions in ASEAN, IOP Conf, Ser.: Mater. Sci. Eng, 1109 012070.
- Wen, L. & Hao, Y. (2020). Factor decomposition and clustering analysis of CO2 emissions from China's power industry based on Shapley Value, Energy Sources, Part A: recovery, utilization, and environmental effects, Published online 14 Jun 2020, https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1776795

# Contribution of Factors Affecting Air Pollution by The Non-Metallic Mineral Products Industry: A Shapley-Owen Value Approach[1]

**Samaneh Talei Ardakani** [2]
**PhD Candidate, Economics Deot., Yazd Uiversity, Iran, (samaneh.talei@stu.yazd.ac.ir)**

**Seyed-nezamuddin Makiyan**
**Prof. in Economics, Economics Dept., Yazd University, Iran, (nmakiyan@yazd.ac.ir)**

**Zahra Nasroolahi**
**Prof. in Economics, Economics Dept., Yazd University, Iran, (nasr@yazd.ac.ir)**

**Received: 2025/08/04 Accepted: 2025/10/23**

## Abstract

The industrial sector is considered one of the most significant polluting sectors, encompassing several sub-sectors of production. The first step in controlling industrial pollution is to identify polluting industries, determine the factors influencing the air pollution they generate, and analyze the contribution of these factors to their pollution.In this article, we first calculated the amount of carbon dioxide emitted by each two-digit ISIC code industry during the period 2004-2021. Subsequently, each industry's share of carbon dioxide emissions for each year was calculated. According to the calculations in this article, the 'manufacture of other non-metallic mineral products' industry accounted for an average of 26.02% of the total carbon dioxide emitted by the industrial sector, identifying it as the most polluting two-digit ISIC code industry.To determine the contribution of factors influencing the air pollution generated by the 'manufacture of other non-metallic mineral products' industry, we first identified these influential factors through regression analysis. Although the time period used in this study is limited and data prior to 2004 is unavailable, the bootstrap method based on residuals was employed to mitigate the impact of this limitation on the validity of the results.Following this, the Shapley-Owen value approach was utilized over the studied time frame. The Shapley value results indicate that energy carrier consumption has the largest share, approximately 57%, followed by physical capital intensity and capital expenditures, respectively. The Owen value results further reveal that among the energy carriers consumed in the 'manufacture of other non-metallic mineral products' industry, natural gas consumption has the highest share in carbon dioxide emissions, at approximately 30%, with electricity and fuel oil following with approximate shares of 11% and 8%, respectively.

**JEL Classification:** L61, Q53, Q40, Q30.

**Keywords:** Pollution Emissions, Non-Metallic Mineral Products Industry, Contribution of Factors Affecting Air Pollution, Shapley-Owen Value Approach.

1. This paper is extracted from a PhD Dizertation of First Author.
2. Corresponding Author