فصلنامه علمی پژوهش‌های اقتصاد صنعتی
سال پنجم، شماره هجدهم، زمستان ۱۴۰۰ (۳۲-۱۱)
نوع مقاله: پژوهشی

Quarterly Journal of Industrial Economics Researches
Vol. 5, No. 18, January 2022 (11-32)

بررسی تاثیر محدودیت آلودگی هوا بر اشتغال کارگاه‌های صنعتی ایران رهیافت نظریه بازی‌ها

راضیه جلال زاده[۱]، *زین‌العابدین صادقی[۲]، سید عبدالمجید جلایی[۳]، مهدی نجاتی[۴]

۱. کارشناس ارشد اقتصاد انرژی، دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان ، ایران
۲. دانشیار دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان ایران
۳. استاد دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان ایران
۴. دانشیار دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۳/۷ بازنگری: ۱۴۰۰/۵/۲۶ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۲۵)

Investigating the Effect of Air Pollution Limitation on Iran's Employment of Manufacturing Firms: Game Theory Approach

Razieh Jalalzadeh[1], *Zeinolabedin Sadeghi[2], Seyed abdolmajid Jalaee[3], Mehdi Nejati[4]

1. Master of Energy Economics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
2. Associate Professor in Department of Economics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
3. Professor in Department of Economics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
4. Associate Professor in Department of Economics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

(Received: 28/May/2021 **Revised:** 17/Aug/2021 **Accepted:** 17/Oct/2021**)**

چکیده:

در یک مدل اقتصادی مشارکتی برای آلودگی هوای منطقه‌ای، یک نکته مهم نحوه تخصیص منطقی و عادلانه هزینه‌ها و مزایای آن به شرکت کنندگان است. براساس این اصل، تحقیقات بسیار و گسترده‌ای در مورد موضوعاتی از جمله توزیع منافع با استفاده از نظریه بازی مشارکتی انجام شده است. در این مطالعه تاثیر محدودیت آلودگی هوا بر اشتغال کارگاه‌های صنعتی ایران بررسی شده است.

براساس روش حداقل هزینه باقیمانده ، مجموع منافع کارگاه‌های صنعتی و سطح اشتغال کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر در مدل اقتصاد سنجی تعاملی نسبت به حالت کاهش آلودگی به تنهایی، بیشتر است؛ برعکس، هزینه کاهش انتشار دی اکسید کربن در مدل اقتصاد سنجی تعاملی نسبت به حالت کاهش آلودگی به تنهایی، کمتر است. نتایج نشان می‌دهد مدل اقتصاد سنجی تعاملی ارائه شده از نظر افزایش اشتغال و صرفه جویی در هزینه برای همان سطح کنترل آلودگی، نسبت به مدل کنترلی جداگانه فعلی برتر است. بنابراین نتایج فعلی می‌تواند افزون بر ترویج همکاری و حصول نتیجه برد-برد برای شرکت کنندگان، مرجع مهمی برای حمایت از تصمیم گیری منطقه‌ای را فراهم کند.

واژه‌های کلیدی: روش حداقل هزینه باقیمانده، محدودیت آلودگی هوا.
طبقه‌بندی JEL: L2، C7، Q53.

Abstract:

In a participatory economic model for regional air pollution, an important point is how to rationally and fairly allocate costs and benefits to participants. Based on this principle, much and extensive research has been conducted on topics such as the distribution of benefits by using cooperative game theory. In this study, the effect of air pollution limitation on Iran's employment of manufacturing firms has been investigated. Based on the minimum costs-remaining savings (MCRS) method, the total benefits of manufacturing Firms and the level of employment of them with 10 labor and more in the interactive econometrics model are more than the case of reducing pollution alone. Vice versa, the cost of reducing carbon dioxide emission in the interactive econometric model is lower than in the case of pollution reduction alone .The results show that the presented interactive econometrics model is superior to the current separate control model in terms of increasing employment and economies of expense for the same level of pollution control. Therefore, the current results can provide an important reference to support the regional decision-making, in addition to promoting cooperation and achieving win-win outcome for the participants.

Keywords: Minimum Costs-Remaining Savings (Mcrs), Air Pollution Limitation, Interactive Econometrics Model, Pollution Control, Cooperative Game.
JEL: L2, C7, Q53.

* **نویسنده مسئول:** زین‌العابدین صادقی
E-mail: z_sadeghi@uk.ac.ir

*Corresponding Author: Zeinolabedin Sadeghi

۱. مقدمه

تحقیقات قبلی در مورد اثرات جانبی کنترل آلودگی هوا، به طور عمده بر تأثیر کنترل آلودگی هوا بر اشتغال متمرکز بوده‌است. بسیاری از این تحقیقات روش‌های اقتصاد سنجی را برای بررسی تأثیر کنترل آلودگی بر اشتغال را اتخاذ کرده‌اند. بر اساس دیدگاه سازمانی، لومبارد (۲۰۰۲) به طور تجربی با ایجاد یک مدل اقتصادسنجی، تأثیر شدت کنترل آلودگی بر اشتغال را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. وی دریافت که افزایش شدت کنترل آلودگی باعث افزایش هزینه تولید و هزینه کنترل آلودگی بنگاه‌ها شده و منجر به کاهش اشتغال می‌شود. براساس دیدگاه صنعتی، واکر[1] (۲۰۱۱) دریافت که تأثیر کنترل آلودگی بر اشتغال عمدتاً در اجرای سیاست‌هایی که کارگران را ترغیب به حرکت بین صنایع می‌کند، آشکار می‌شود. دیسو و سان[2] (۲۰۱۳) و کان و منصور[3] (۲۰۱۳) از سیاست مالیاتی به عنوان ابزاری برای کنترل آلودگی استفاده کردند و دریافتند که تقویت کنترل آلودگی منجر به رشد اشتغال می‌شود. گری و همکاران[4] (۲۰۱۴) برای بررسی تأثیر قوانین خوشه بندی در اشتغال در صنعت کاغذ تحت کنترل آلودگی از روش دو گانه استفاده کردند و دریافتند که کنترل دقیق آلودگی باعث کاهش اشتغال در این صنعت می‌شود. فریس و همکاران[5] (۲۰۱۴) تأثیر کنترل آلودگی بر اشتغال در صنعت برق را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که کنترل آلودگی تأثیر تدریجی بر اشتغال نیروگاه‌های برق دارد. یعنی اشتغال در مراحل اولیه اجرای سیاست کنترل نسبت به مراحل بعدی اجرا به طور قابل توجهی پایین بود. بر اساس دیدگاه کلان اقتصادی، گو و همکاران[6] (۲۰۱۷) به طور سیستماتیک رابطه بین اشتغال و فعالیتهای اجرایی برای کنترل آلودگی را مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که تحت کنترل شدید آلودگی، انتقال از صنایع اولیه و ثانویه نسبتا بیشتر از صنایع ثالث به افزایش اشتغال کمک می‌کند. لیو و همکاران[7] (۲۰۱۷) نشان دادند که استانداردهای دقیق کنترل آلودگی تأثیر ناهمگن بر اشتغال دارد. آن‌ها دریافتند که استانداردهای سخت گیرانه انتشار، اشتغال شرکت‌های خصوصی چینی را ۷.۴٪ کاهش می‌دهد، اما تأثیر چندانی بر شرکت‌های دولتی و خارجی نداشته‌است. فارا و همکاران[8] (۲۰۱۸) برای شبیه سازی تولید مشترک خروجی‌های خوب و بد یک شرکت، یک تابع فاصله پیشنهاد دادند و از این تابع برای اندازه گیری اینکه چگونگه هزینه‌های کاهش آلودگی بر اشتغال تاثیر می‌گذارد، استفاده کردند. لیو و همکاران[9] (2018a) به بررسی تأثیر کنترل آلودگی بر اشتغال از منظر ناهمگنی منطقه و ناهمگنی صنعت براساس داده‌های سطح فردی را مطالعه کردند، دریافتند که تأثیر کنترل آلودگی بر اشتغال ناهمگنی منطقه و صنعت را نشان می‌دهد. شنگ و همکاران[10] (۲۰۱۹) تأثیر شدت کنترل آلودگی در اشتغال توسط شرکت‌های تولیدی را مورد بررسی قرار دادند و با بررسی اثرات خروجی و جانشینی، مکانیسم‌های اساسی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها دریافتند که شدت کنترل آلودگی اثر منفی بر اشتغال از طریق هر دو نوع تأثیر دارد.

اگرچه تحقیقات فوق تأثیر کنترل آلودگی در اشتغال را از طیف وسیعی از دیدگاه‌ها نشان داده‌است، اما محققان هنوز چگونگی کاهش هزینه‌های کنترل آلودگی هوا را در حالی که همزمان با محافظت یا بهبود اشتغال تحت سیاست‌های دقیق کنترل آلودگی را در نظر نگرفته‌اند. علاوه بر این، رویکرد کنترل آلودگی عموماً بجای مشارکتی به صورت مجزا انجام می‌شود. کنترل مشارکتی مزایای خاصی دارد، از جمله انگیزه بیشتری برای حمایت از سیاست و پتانسیل برای پس انداز هزینه و افزایش اثربخشی را ارائه می‌دهد.

برای دستیابی به کنترل آلودگی هوای منطقه‌ای مشارکتی در هر دو کشور توسعه یافته و در حال توسعه، روش‌های کنترل مستقیم (مانند سیستم‌های فرماندهی و کنترل دولت) همواره رویکرد اساسی بوده‌است. بدیهی است که دولت با تصویب قوانین و مقررات زیست محیطی، اجرای استانداردهای انتشار، صدور مجوزها و اعمال مجازات‌ها، تمایل به ترویج کنترل آلودگی هوای منطقه‌ای، دارد. برای اجرای مؤثر همکاری های منطقه‌ای و کنترل آلودگی، ایالات متحده یک مکانیزم تعاملی برای کنترل آلودگی هوای منطقه‌ای را بر اساس کاربرد قانون هوای پاک اجرا کرد. در مقابل، اتحادیه اروپا تلاش کرد تا هزینه‌های انتشار آلاینده‌ها را کاهش بدهد و با ایجاد سیستم تجارت آزاد اتحادیه اروپا [11] و عملیاتی کردن مطابق با اصل "سقف و تجارت"[12] تلاش کردند تا هزینه‌های کاهش انتشار به حداقل برساند. اتحادیه اروپا می‌تواند انتشار گازهای گلخانه‌ای را بدون تأثیر منفی قابل توجه بر رقابت شرکت‌ها بطور مؤثر کاهش دهد (جولترا و همکاران[13]، ۲۰۱۷).

1. Walker
2. Dissou and Sun
3. Kahn and Mansur
4. Gray et al.
5. Ferris et al.
6. Guo et al.
7. Liu et al.
8. Fare et al.
9. Liu et al.
10. Sheng et al.
11. EU ETS
12. cap and trade
13. Joltreau at al.

مسأله اصلی پژوهش حاضر، یافتن رابطه بین سیاست کاهش آلودگی و اشتغال است که بنا به موضوع، سوالات فرعی زیر را نیز به دنبال خواهد داشت :

- سیاست کاهش آلودگی در کارگاه‌های صنعتی بر اشتغال ، کارگاه‌ها چه تاثیری می‌گذارد؟

-آیا کنترل آلودگی در کارگاه‌های صنعتی باعث افزایش هزینه کنترل آلودگی می‌شود؟

۲- پیشینه تحقیق

وو و همکاران[1] (۲۰۱۳) یک مدل بهینه سازی برای کنترل آلودگی منطقه‌ای بر اساس سرمایه گذاری و هزینه‌های عملیاتی برای تقویت کنترل مشارکتی آلودگی هوای منطقه‌ای را گسترش دادند. زو و همکاران[2] (۲۰۱۵) یک الگوی کنترل مشارکتی برای آلودگی هوای منطقه‌ای با واحدهای اجرایی به عنوان اجزای اصلی این مدل ایجاد کردند و همکاری بین منطقه‌ای و کنترل آلودگی را تقویت کرد. زنگ و همکاران[3] (۲۰۱۷) یک روش برنامه ریزی برای کنترل هماهنگ آلودگی هوا پیشنهاد کردند، که با کاهش هزینه کنترل آلاینده‌های متعدد، اقدامات کاهش انتشار را ترکیب می‌کنند. لیو و لین[4] (۲۰۱۷) یک روش برنامه‌ریزی غیرخطی را برای کاهش هزینه و بهبود کیفیت هوا پیشنهاد کردند و آن را با استفاده از یک مطالعه تجربی از تخصیص بهینه سهمیه انتشار کربن برای صنعت ساخت و ساز در سه منطقه چین استفاده کردند. نتایج نشان داد که تخصیص سهمیه مطلوب انتشار با موفقیت، هزینه را به حداقل می‌رساند. وانگ و همکاران[5] (۲۰۱۹) برای دستیابی به هدف کاهش انتشار گازهای منطقه‌ای توسط دولت مرکزی چین و به حداقل رساندن هزینه کاهش انتشار آلاینده در هر بخش، یک مدل بازی تعادل نش تعمیم یافته را ایجاد کرده‌اند. همه این مطالعات فوق نشان داد که کنترل مشارکتی آلودگی هوای منطقه مزایای هزینه‌ای قابل توجهی را در مقایسه با کنترل جداگانه ارائه می‌دهد، در حالی که کیفیت هوا را در سراسر منطقه بهبود می‌بخشد. بنابراین آن‌ها مزایای بالقوه کنترل مشارکتی آلودگی هوا را نشان دادند.

با این حال، این مطالعات فقط یک هدف واحد، از جمله هزینه کنترل، بازده سرمایه گذاری یا بهبود کیفیت هوا را در نظر می‌گیرد. تعداد کمی از محققان، کنترل آلودگی را از به صورت چند منظوره در نظر گرفته‌اند. به عنوان مثال، پیسونی و ولتا[6] (۲۰۰۹) یک مدل بهینه سازی دو هدفه را بر اساس هزینه کاهش و شاخص کیفیت هوا ایجاد کردند و تأثیر آن بر سلامت انسان را بر اساس راه حل بهینه برآورد کرده‌اند. زی و همکاران[7] (۲۰۱۶) یک مدل بهینه سازی دو هدفه ساخته‌اند که آسیب‌های سلامتی و هزینه‌های کاهش آلاینده را محاسبه کرده‌اند. لی و همکاران (b۲۰۱۸)جهت کاهش انتشار کربن، یک مدل برنامه نویسی دو هدفه، با اهداف مبتنی بر هزینه و کربن محور ساخته‌است. این مطالعات هماهنگی بین مدیریت آلودگی، هزینه بهداشت و سایر عوامل را از منظرهای مختلف را در نظر گرفته است. با این حال، این مطالعات چگونگی ارتقاء کنترل آلودگی تعاونی در بین نهادهای مختلف را با هدف دستیابی به همکاری مؤثر و نتیجه برد-برد برای همه شرکت کنندگان در نظر نگرفته‌است.

در یک مدل اقتصادی مشارکتی برای آلودگی هوای منطقه‌ای، یک نکته مهم این است که چگونه به طور منطقی و عادلانه هزینه‌ها و مزایای را بین شرکت کنندگان تخصیص دهیم. براساس این اصل، بسیاری از محققان با استفاده از تئوری بازی مشارکتی، تحقیقات گسترده‌ای را در مورد موضوعاتی از جمله توزیع سود انجام دادند. به عنوان مثال، یوزر اوزنر و ارگون[8] (۲۰۰۸) مکانیزمی برای تخصیص هزینه در بین نهادهای متحد برای تضمین از ثبات اتحاد، پیشنهاد داده‌اند. هسو و سو[9] (۲۰۰۵)، وانورمر و همکاران[10] (۲۰۱۴)از روش ارزش شپلی برای توزیع واقعی منافع مشارکتی استفاده کردند و به طور موثر مساله عدالت و کارآیی مربوط به توزیع سود را بین سه عضو یک اتحاد مشارکتی را حل کردند. وو و همکاران[11] (۲۰۱۷) برای توزیع سود یک مدل ریاضی طراحی کردند و از این مدل برای توزیع مزایای مشارکتی در بین مصرف کنندگان مختلف انرژی در سیستم حمل و نقل استفاده کردند. این رویکرد هم برای منافع جمعی و هم برای افراد مفید بود.

با این حال، چانگ و همکاران[12] (۲۰۱۶) خاطرنشان کردند که روش ارزش شپلی[13] ، به عنوان نوعی اتحاد بازی تخصیص

1 . Wu et al.
2 . Xue et al.
3 . Zeng et al.
4 . Liu and Lin
5 . Wang et al.

6 . Pisoni and Volta
7 . Xie et al.
8 . Ozener and Ergun
9 . Hsu and Soo
10 . Vanovermeire et al.
11 . Wu et al.
12 . Chang et al. (2016)
13 . Shapley

مشارکتی، ممکن است توزیع ناعادلانه‌ای از مزایا را در بین انواع مختلف شرکت کنندگان ایجاد کند. علاوه بر این، تعیین سود نهایی برای هر شرکت کننده دشوار است. بنابراین، روش ارزش شپلی بندرت در کاربردهای عملی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای یافتن روشی مؤثر و عملی برای تخصیص مزایای همکاری، گزینه‌های دیگری لازم است. در پژوهش حاضر، روش حداقل هزینه باقیمانده برای تخصیص منافع همکاری عادلانه و کارآمد انتخاب شده‌است. وانگ و همکاران[1] (۲۰۱۸) از روش حداقل هزینه باقیمانده برای حل مسئله توزیع سود در بین نهادهای مشارکتی متشکل از مراکز لجستیکی، مراکز توزیع و مشتریان استفاده کردند و کارایی شبکه لجستیک را بهینه کرده‌اند. یو و همکاران[2] (۲۰۱۸) از روش حداقل هزینه باقیمانده برای تخصیص سهم تولید کننده پراکنده[3] در تلفات و کاهش انتشار در شبکه‌های توزیع استفاده‌کردند. آنها روش حداقل هزینه باقیمانده را با سایر روش‌های اختصاصی بازی مبتنی بر روش‌های مشارکتی مقایسه کردند و دریافتند که روش حداقل هزینه باقیمانده یک فرایند محاسبه ساده دارد و می‌تواند بار محاسباتی تعداد زیادی از انتگرال را به میزان قابل توجهی کاهش دهد.

این تحقیق نشان می‌دهد که روش حداقل هزینه باقیمانده برای حل مسئله تقسیم هزینه یا تقسیم سود در یک بازی مشارکتی چند عاملی بسیار مناسب است. اگرچه زمان محاسبه مورد نیاز توسط این روش با افزایش تعداد شرکت کنندگان به سرعت افزایش می‌یابد، اما سریع‌تر از اکثر روش‌های قبلی تخصیص سود است. علاوه بر این، نتیجه نزدیک‌تر به استراتژی تخصیص بهینه‌است تا موردی که با استراتژی‌های تخصیص دیگر جود دارد. با این حال مرور مقالات نشان می‌دهد که روش حداقل هزینه باقیمانده بیشتر برای اختصاص منافع مشارکتی در زمینه های لجستیک، برق و انرژی استفاده می‌شود. هیچ مطالعه‌ای وجود ندارد که از روش حداقل هزینه باقیمانده برای کنترل مشارکتی آلودگی هوا در یک بازی چند عاملی استفاده کرده‌باشد. برای به دست آوردن بینش جدید، مطالعه حاضر از روش حداقل هزینه باقیمانده برای تخصیص مزایای مشارکتی در استان‌های چین که در کنترل مشارکتی آلودگی هوای منطقه شرکت کرده‌اند، استفاده شده‌است. هدف دستیابی به تخصیص منصفانه از مزایای مشارکتی بود، در نتیجه تمام استان‌ها را در منطقه مورد مطالعه تشویق می‌کرد تا فعالانه در کنترل مشارکتی شرکت کنند.

به طور خلاصه، محققان چگونگی بهینه سازی چندین هدف به صورت همزمان، مانند بهبود اشتغال و به حداقل رساندن هزینه‌های کنترل را مورد مطالعه قرار نداده‌اند، درحالیکه مزایای همکاری را نیز به طور عادلانه در بین چندین شرکت کننده تخصیص داده‌اند. برای حل این مشکلات، یک مدل اقتصاد سنجی مشارکتی ایجاد شد که همزمان هزینه‌های کنترل آلودگی هوا و اشتغال را در نظر گرفت. سپس مدلی برای تخصیص مزایای همکاری‌های منطقه‌ای جهت ارتقاء همکاری میان شرکت کنندگان در کنترل آلودگی تهیه شد. این مدل تضمین می‌کند که هر شرکت کننده می‌تواند سهمیه‌های آلاینده هوا را که توسط دولت مقرر شده، به حداقل برساند، ضمن اینکه تأثیر منفی سیاست‌های کنترل آلودگی بر اشتغال را هم به حداقل می‌رساند، در آخر به یک راه حل برد برد که هزینه‌های کنترل را به حداقل و اشتغال را به حداکثر می‌رساند، دست میآبند.

برای غلبه بر مشکل عدم تعادل عرضه و تقاضا در یک سیستم انرژی توزیع شده مرسوم، شبکه انرژی توزیع شده[4] بر اساس مبادلات برق و گرما ارائه شده‌است. با طراحی و بهره برداری منطقی، شبکه انرژی توزیع شده ممکن است عملکرد اقتصادی رضایت بخشی را در مقایسه با وضعیت بدون تبادل انرژی بدست آورد. با این حال، حداکثر منافع کلی اقتصادی لزوماً منجر به عملکرد اقتصادی رضایت بخش برای هر مصرف کننده نمی‌شود. بنابراین، برای ارتقاء مشارکت مصرف کنندگان در شبکه انرژی توزیع شده ، مکانیسم تخصیص مؤثر و منصفانه برای سود اضافی لازم است. در این مطالعه، ابتدا، یک مدل برنامه ریزی خطی مختلط عدد صحیح[5] برای مقابله با انتخاب تکنیک بهینه، خارج از خط انتقال انرژی و استراتژی در حال اجرا از شبکه انرژی توزیع شده پیشنهاد شده‌است. سپس، یک مدل ریاضی برای تخصیص منافع منصفانه در بین شرکت کنندگان، بر اساس روش اصلی نظریه بازی تعاونی ارائه شده‌است.

۳-تصریح مدل

برای آزمون فرضیه‌های تحقیق و با توجه به اهداف تحقیق از مدل‌های زیر استفاده می‌کنیم:

(۱)

$$lnL_{it} = b_0 + b_1 lnA_{it} + b_2 lnK_{it} + b_3 lnY_{it} + b_4 lnP_{i\,t}$$

1 . Wang et al
2 . Yu et al. (2018)
3 . Distributed generation
4 . DEN
5 . MILP

(۲)

$$AC_{it} = \theta . W_{it}^{\varphi} . P_{it}^{\mu}$$

بـر اسـاس تـابع اشـتغال (۱) ، شـاغلان کارگـاه‌هـای صنعتی(L_{it}) بـه عنـوان متغیـر وابسـته و مقـدار سـالانه تولیـد محصول کارگاه‌های صنعتی (Y_{it})، آلودگی تولیـد شـده توسـط کارگاه‌های صنعتی (P_{it})، موجودی سرمایه کارگاه‌های صـنعتی (K_{it}) و دستمزد شاغلان کارگاه‌های صنعتی (A_{it}) به عنـوان متغیر مستقل هستند. متغیر وابسته عبارت است از L_i که نشان دهنده مقدار سالانه تولید محصول کارگاه های صنعتی می‌باشد و متغیرهای مستقل نیز عبارت اسـت از Y_i کـه نشـان دهنـده مقدار تولید کارگاه‌های صنعتی، k_i موجودی سرمایه کارگاه‌های صنعتی و P_i میزان آلـودگی کارگـاه‌هـای صـنعتی A_i میـران دستمزد در کارگاه‌های صنعتی می‌باشد. بر اساس تـابع هزینـه کاهش آلودگی (۲)،هزینه کاهش سالانه یک آلاینـده مشـخص در منطقه (AC_{it}) به عنوان متغیر وابسته و آلودگی تولیـد شـده توسط کارگاه‌های صنعتی (P_{it})، انتشار گازهای پسماند صـنعتی در صنعت i (W_{it}) به عنوان متغیر مستقل هسـتند. در آزمـون فرضیه‌های تحقیق اگر ضرایب متغیرها در سـطح اطمینـان ۹۵ درصد معنی‌دار باشد فرضیه تحقیق مورد پـذیرش قـرار خواهـد گرفت.

بر اساس معادلات (۱) و (۲)، مدل بهینه سازی دو هدفـه برای کنترل آلودگی هوای منطقـه‌ای مـی‌توانـد بـه شـرح زیـر باشد:

(۳)

$$maxLmaxL \sum_{i=I}^{n} L_i = \sum_{i=I}^{n} e^{b_0} . A_i^{b_1} . K_i^{b^2} . Y_i^{b^3} . P_i^{b_4}$$

(۴)

$$minAC = \sum_{i=I}^{n} ACi = \sum_{i-I}^{n} \Theta . W_i^{\varphi} . P_i^{\mu}$$

$$s.t. \begin{cases} P_{0i} - P_i \le \gamma i . P_{ei} \ \left(i = 1،2،\dots .،n\right) & (5) \\ \alpha . P_{1i} \le P_i \le \beta_i . P_{1\mathrm{i}} \ \left(i = 1،2،\dots ،n\right) & (6) \\ \sum_{i=I}^{n} P_i \ge \sum_{i=I}^{n} (P_{0\mathrm{i}} - P_{ei}) & (7) \end{cases}$$

معادله (۳) با هدف به حداکثر رساندن اشتغال برای کارگاه هـای صنعتی مورد مطالعـه و نشـان دهنـده میـزان اشـتغال در همـه کارگاه‌هـای صـنعتی اسـت. معادلـه (۴) بـرای کـاهش کنتـرل آلودگی هوا در کارگاه‌های صنعتی است و هزینه کاهش آلودگی را به حداقل می‌رساند. مجموع هزینه‌های کاهش قیمـت بـرای هر کارگاه‌های صنعتی برابر است با کـل کـاهش هزینـه‌هـا در صنعت.

معادلات (۵) تا (۷) محدودیت‌های موجود در مـدل بهینـه سازی دو هدفه را نشان مـی‌دهـد. میـزان انتشـار آلاینـده‌هـای کارگاه‌های صنعتی مورد مطالعه باید کمتـر یـا مسـاوی بـا حـد مجاز آلایندگی تعیین شده توسط دولـت باشـد (سـقف انتشـار). بنابراین، نابرابری (۵) نشان می‌دهد کـه انتشـار آلاینـده در هـر کارگاه‌های صنعتی نمی‌تواند از ظرفیت محیط زیست فراتر رود. ظرفیت محیط زیست هر کارگاه‌های صنعتی بـا ضـریب انتشـار آلاینده‌ها که در سال جاری توسط دولت به هـر کارگـاه‌صـنعتی اختصاص یافته‌است، برابر است. ظرفیـت کـاهش آلاینـده هـر کارگاه‌ها صنعتی دارای محدوده مشخصـی اسـت کـه ناشـی از محدودیت های اعمال شده توسط سطح توسـعه کشـور، سـطح فناوری و ظرفیت کاهش آلودگی است.

هنگامی که تجهیزات کاهش آلودگی در کارگاه‌صـنعتی i با ظرفیت کامل خود کار می‌کند، حداکثر کاهش می‌تواند بـه دو برابر میزان آلاینده هوا که سالانه توسط صنعت تولید مـی شـود برسد. با این حال، نمی‌توان همه آلاینده‌های حاصـل از صـنعت را کـاهش داد یعنـی $P_{1\mathrm{i}} \le P_{\mathrm{i}} b_{\mathrm{i}}$. از طـرف دیگـر، امکانـات کاهش آلودگی آلاینده‌هـا در کارگـاه‌هـای صـنعتی مختلـف بـا توانایی آن ها برای کاهش یک آلاینده مشخص متفاوت اسـت. یعنی حداقل مقدار کاهش میزان آن از مقدار α_i آلاینده هـوا در سال تولید شده توسـط صـنعت کمتـر نیسـت. بنـابراین میـزان کاهش آلاینده‌ها در کارگـاه‌هـای صـنعتی تـابع محـدودیت (۶) است. نـابرابری معادلـه (۷) نشـان مـی‌دهـد کـه کـل کـاهش آلاینده‌ها در کارگاه‌های صنعتی باید بیشتر یا مساوی بـا هـدف انتشار مشخص شده از سوی دولت باشد.

بر این اساس، مدل بهینـه‌سـازی دو هـدفی مـی‌توانـد مـورد استفاده قرار گیرد و با تبدیل دو هدف به عنوان یک رابطـه بـه یک مساله برنامه ریزی تک هدفه، می‌تواند رسید:

(۸)

$$\max f = L/AC$$

تئوری بازی این مدل به این صورت است:

(۹)

$$
\begin{aligned}
com &= \sum_i \sum_p (capo_{i.p}.omf_p \\
&+ \sum_m \sum_h D_m.Eneo_{i.p.m.h}.Om_{vp}) \\
&+ \sum_i \sum_k (Capch_{pk}.ychp_{i.k}.Om_{vk} \\
&+ \sum_m \times \sum_h D_m.Echp_{i.k,m.h}.ychp_{i.k}.Om_{vk}) \\
&+ \sum_i \times \sum_j Dist_{i.j}.\left(Omp.yp_{i.j}\right. \\
&\left. + Omw.yw_{i.j}\right)
\end{aligned}
$$

با توجه به معادله (۹) برای بررسی نظریه بازی به موارد زیر توجه میکنیم : هزینه نگهداری سالانه شامل هزینه ثابت (عملکرد ظرفیت واحد) و متغیر (تابع تولید انرژی تجمعی) است که معادله (۹) این مطلب رانشان می دهد. در این مطالعه، برای سادگی، یک روز معمولی در هر ماه برای تجزیه و تحلیل استراتژی اجرای ساعتی استفاده شده‌است.

۳-۱- متغیرهای تحقیق

با توجه به مدل تحقیق‌های که در بخش قبل ارائه شده است، در تابع اشتغال متغیرهای این تحقیق شامل : L به عنوان متغیر وابسته و Y، k، A و P به عنوان متغیرهای مستقل، در تابع هزینه کاهش آلودگی AC به عنوان متغیر وابسته و P و W به عنوان متغیرهای مستقل این پژوهش می‌باشند.

متغیر عبارت است از خصوصیت، موقعیت یا حالتی که قابل تبدیل به کمیت بوده و پژوهشگر با کنترل، دستکاری و مشاهده آن در صدد انجام آزمایش یا آزمون فرضیه‌ها می‌باشد. متغیر بر اساس نقشی که در تحقیق بر عهده دارد به دو دسته متغیر مستقل و متغیر وابسته تقسیم می‌شود.

متغیر مستقل به متغیری گفته می‌شود که از طریق آن، متغیر وابسته تبیین یا پیش‌بینی می‌شود. متغیر وابسته متغیری است که مقادیر آن در اثر تغییر در متغیر مستقل تغییر پیدا می‌کند. به عبارت دیگر تغییر در آن مستلزم ایجاد تغییر در متغیر مستقل می‌باشد..

به طور خلاصه متغیرها در تحقیق حاضر به ۲ گروه به شرح زیر طبقه بندی می شوند :

متغیر وابسته: L_{it} در تابع اشتغال و AC_{it} در تابع هزینه کاهش آلودگی

متغیرهای مستقل: W_{it}،P_{it}،K_{it}،Y_{it} در تابع اشتغال و P_{it} ,W_{it} در تابع هزینه کاهش آلودگی .

نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها فرآیندی چند مرحله‌ای است که طی آن داده‌هایی که به طریق مختلف جمع آوری شده‌اند، خلاصه، دسته بندی و در نهایت پردازش می‌شوند. تا زمینه برقراری انواع تحلیل‌ها و ارتباط بین داده‌ها، به منظور پاسخ به سوالات بوجود آید. در این فرآیند پژوهشگر پس از اینکه روش تحقیق خود را مشخص نمود، با استفاده از ابزارهای مناسب، داده‌های مورد نیاز را برای آزمون فرضیه‌های خود جمع آوری می‌کند. سپس با استفاده از تکنیک‌های آماری مناسب که با روش تحقیق، نوع متغیرها و... سازگاری دارد، داده‌های جمع‌آوری شده را دسته بندی و تجزیه و تحلیل می‌نماید و در نهایت فرضیه‌ها مورد آزمون قرار گرفته و سرانجام پاسخ پرسشی که تحقیق برای آن صورت گرفته بدست می‌آید.

۳-۲- پارامترها و متغیرها

طبق روش‌های بوهرینگر و همکاران[1] (۲۰۱۲)، کنترل آلودگی هوا به عنوان نوعی از ورودی آلودگی در نظر گرفته‌شده و در چهارچوب تابع تولید کاب داگلاس گنجانیده شده‌است. از این تابع برای بررسی رابطه بین میزان کاهش آلاینده های هوا و اشتغال در کارگاه‌های صنعتی استفاده شده‌است. این رابطه را می‌توان مورد تجزیه و تحلیل قرار داد تا راه‌هایی برای بهبود نتیجه پیدا کرد (یعنی برای به حداکثر رساندن اشتغال و کاهش آلاینده).

بر اساس تابع تولید کاب داگلاس، مقدار سالانه کاهش انتشار دی اکسید کربن،(P_i) نیروی کار (L_i) نشان دهنده اشتغال، دستمزد (A_i)، موجودی سرمایه (K_i) و کل تولید کارگاه های صنعتی (Y_i) به عنوان فاکتورهای ورودی تولید در نظر گرفته‌شده‌اند. اشتغال به عنوان یک عامل اصلی در این مدل انتخاب شد زیرا اکثر دولت ها در سراسر جهان در هنگام ایجاد سیاست، اشتغال را در اولویت قرار می‌دهند، اما از هر عامل دیگری می‌توان بجای اشتغال در تابع هدف استفاده کرد. بر اساس این عوامل، معادله زیر ساخته شد:

(۱۰)

$$Y_i = A_i^{a_1}.K_i^{a_2}.L_i^{a_3}.P_i^{a_4}$$

ضرایب کشش α_1،α_2،α_3،α_4 دارای ارزشی بین ۰ و ۱ هستند. اگر از دو طرف معادله لگاریتم طبیعی بگیریم یک معادله رگرسیون خطی بوجود می‌آید:

$$lnL_i = b_0 + b_1 lnA_i + b_2 lnK_i + b_3 lnY_i + b_4 lnP_i \qquad + b_4 lnP_i$$

1 . Bohringer etal. (2012)

$$where = b1 = -\frac{a_1}{a3}, b2 = -\frac{a_2}{a3}, b3 = \frac{1}{a_3}, b4 = -\frac{a_4}{a_3}$$

بنابراین، تابع اشتغال را می توان از معادله (۱) به شرح زیر بدست آورد:

(۱۱)

$$L_i = e^{b_0}.A_i^{b_1}.K_i^{b_2}.Y_i^{b_3}.P_i^{b_4}$$

کشورها و شرکت‌ها مبلغ زیادی را برای کاهش آلاینده‌های تولید شده در طی فرآیندهای تولید صنعتی سرمایه گذاری می‌کنند. در اینجا از مدل هزینه کاهش آلاینده‌های ایجاد شده توسط کاو و همکاران[1] (۲۰۰۹) برای مطالعه روابط بین هزینه کاهش آلودگی و انتشار گازهای ناشی از سوخت‌های فسیلی، استفاده شده‌است. بر اساس این مدل، تابع هزینه کاهش آلودگی به شرح زیر است:

تمام کارگاه‌های صنعتی، آلودگی را طبق برنامه انتشار آلاینده ها که توسط سازمان حفاظت از محیط زیست تعیین شده‌است باید رعایت کنند و برای اطمینان از این که کل انتشار آلودگی کارگاه‌های صنعتی از هدف انتشار دولت فراتر نمی‌رود، مورد کنترل قرار می‌گیرند. تا زمانی که کل انتشار اینده‌ها در کارگاه‌های صنعتی در محدوده مجاز تعیین شده از سوی دولت باشد، کلیه منابع آلودگی داخل کارگاه‌های صنعتی می‌توانند به طور مستقل تنظیم شوند. بر اساس معادلات (۱) و (۲)، مدل بهینه سازی دو هدفه برای کنترل آلودگی هوا می تواند به شرح زیر باشد: معادله (۳) با هدف به حداکثر رساندن اشتغال برای کارگاه‌های صنعتی مورد مطالعه و نشان دهنده میزان اشتغال در همه کارگاه‌های صنعتی است. معادله (۴) برای کاهش کنترل آلودگی هوا در کارگاه‌های صنعتی است و هزینه کاهش آلودگی را به حداقل می‌رساند. مجموع هزینه‌های کاهش قیمت برای هر کارگاه‌های صنعتی برابر است با کل کاهش هزینه‌ها در صنعت.

معادلات (۵) تا (۷) محدودیت های موجود در مدل بهینه سازی دو هدفه را نشان می‌دهد. میزان انتشار آلاینده‌های کارگاه‌های صنعتی مورد مطالعه باید کمتر یا مساوی با حد مجاز آلایندگی تعیین شده توسط دولت باشد (سقف انتشار). بنابراین، نابرابری (۵) نشان می‌دهد که انتشار آلاینده در هر کارگاه‌های صنعتی نمی‌تواند از ظرفیت محیط زیست فراتر رود. ظرفیت محیط زیست هر کارگاه‌های صنعتی با ضریب انتشار آلاینده‌ها که در سال جاری توسط دولت به هر کارگاه صنعتی اختصاص یافته‌است، برابر است. ظرفیت کاهش آلاینده هر کارگاه‌ها صنعتی دارای محدوده مشخصی است که ناشی از محدودیت های اعمال شده توسط سطح توسعه کشور، سطح فناوری و ظرفیت کاهش آلودگی است.

هنگامی که تجهیزات کاهش آلودگی در کارگاه صنعتی i با ظرفیت کامل خود کار می‌کند، حداکثر کاهش می‌تواند به دو برابر میزان آلاینده هوا که سالانه توسط صنعت تولید می شود برسد. با این حال، نمی‌توان همه آلاینده‌های حاصل از صنعت را کاهش داد یعنی $P_{1i} \leq P_i b_i$. از طرف دیگر، امکانات کاهش آلودگی آلاینده‌ها در کارگاه‌های صنعتی مختلف با توانایی آن ها برای کاهش یک آلاینده مشخص متفاوت است. یعنی حداقل مقدار کاهش میزان آن از مقدار α_i آلاینده هوا در سال تولید شده توسط صنعت کمتر نیست. بنابراین میزان کاهش آلاینده‌ها در کارگاه‌های صنعتی تابع محدودیت (۶) است. نابرابری معادله (۷) نشان می دهد که کل کاهش آلاینده‌ها در کارگاه‌های صنعتی باید بیشتر یا مساوی با هدف انتشار مشخص شده از سوی دولت باشد.

بر این اساس، مدل بهینه سازی دو هدفی می تواند مورد استفاده قرار گیرد و با تبدیل دو هدف به عنوان یک رابطه به یک مساله برنامه ریزی تک هدفه، می‌تواند رسید:

$$\max f = L/AC$$

دراین بخش داده‌های بدست آمده، با استفاده از نرم افزار ایویوز و گمز[2] مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند.

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های گردآوری شده از روش‌های آماری (توصیفی و استنباطی) به همراه رسم جدول و نمودارها استفاده شده‌است. سپس پیش آزمون های لازم همچون آزمون ریشه واحد و آزمون هم انباشتگی انجام خواهدشد. پس از تایید نتایج پیش آزمون‌ها، فرضیه‌های تحقیق مورد آزمون قرار گرفته و نتایج در قالب یک مدل رگرسیونی تخمین زده می‌شود. البته با توجه به اینکه داده‌های این تحقیق به صورت تابلویی (پانل) هستند، آزمون‌های اف لیمر (چاو) و هاسمن برای تشخیص اینکه مدل رگرسیونی با اثرات ثابت است یا تصادفی انجام می‌گردد.

۳-۳-متغیرها و مدل رگرسیونی (تصریح مدل)

نماد متغیرهای استفاده شده در این پایان نامه و معادل فارسی در ضمایم آمده است.

1 . Cao et al. (2009)

2 . GAMS

۳-۴- برآورد مدل رگرسیونی

برای آزمون فرضیات، از روش تحلیل رگرسیون با استفاده از داده‌های تابلویی است.

بررسی مدل تجمیعی یا پانل

بنابراین قبل از برآورد مدل باید بررسی شود که آیا مدل پانل می‌باشد یا اینکه تجمیعی می‌باشد؟ یا به عبارت دیگر آیا مدل دارای اثرات (ثابت) است یا خیر؟ بدین منظور آزمون اف لیمر یا چاو در نرم افزار اجرا می‌شود.

آزمون اف لیمر و آزمون هاسمن

جدول ۱. نتیجه آزمون اف لیمر برای تابع اشتغال

نوع آزمون	مقدار آماره t	مقدار احتمال	نتیجه
آزمون اف لیمر	۳۹/۹۷	۰/۰۰۰	مدل رگرسیون با اثرات ثابت است

منبع: محاسبات تحقیق

جدول ۲. نتیجه آزمون اف لیمر برای تابع هزینه کاهش آلودگی

نوع آزمون	مقدار آماره کای اسکوئر	مقدار احتمال	نتیجه
آزمون هاسمن	۱/۵۷	۰/۴۵	مدل دارای اثرات ثابت است (اثرات تصادفی ندارد)

منبع: محاسبات تحقیق

از آنجایی که مقدار احتمال آزمون لیمر تابع تقاضای اشتغال و تابع هزینه کاهش آلودگی کوچکتر از ۰/۰۵ می باشد، لذا فرض صفر مبنی بر وجود رگرسیون تجمیعی (رگرسیون بدون وجود اثرات ثابت) رد شده و بنابراین الگوی مناسب برای برآورد مدل‌های مورد بررسی، دارای اثرات ثابت بوده و به صورت تجمیعی نیست.

در صورتی که بر اساس نتایج آزمون اف لیمر برای هر یک از فرضیه‌ها، استفاده از روش داده‌های پانل مورد تأیید واقع شود، به منظور این که مشخص گردد کدام روش (اثرات ثابت و یا اثرات تصادفی) برای برآورد مدل‌ها مناسب‌تر می‌باشد (تشخیص ثابت یا تصادفی بودن تفاوت‌های واحدهای مقطعی) از آزمون هاسمن استفاده می‌شود.

در این آزمون، تایید فرض H0 به معنای برتری مدل با اثرات تصادفی نیست (بین اثرات فردی و متغیرهای توضیحی همبستگی وجود دارد) و تایید فرض H1 به معنای برتری مدل با اثرات تصادفی (بین اثرات فردی و متغیرهای توضیحی همبستگی وجود ندارد) است. حال که مشخص شد مدل به صورت پانل و دارای اثرات است، نیاز به این آزمون وجود دارد. با اجرای آزمون هاسمن نتایج برای تابه اشتغال و هزینه کاهش به قرار زیر خواهد بود:

جدول ۳. نتیجه آزمون هاسمن برای تابع اشتغال

نوع آزمون	مقدار آماره کای اسکوئر	مقدار احتمال	نتیجه
آزمون هاسمن	۳/۸۱	۰/۴۳	مدل دارای اثرات ثابت است (اثرات تصادفی ندارد)

منبع: محاسبات تحقیق

جدول ۴. نتیجه آزمون هاسمن برای تابع هزینه کاهش آلودگی

نوع آزمون	مقدار آماره t	مقدار احتمال	نتیجه
آزمون اف لیمر	۱۱۹/۲۳	۰/۰۰۰	مدل رگرسیون با اثرات ثابت است

منبع: محاسبات تحقیق

با توجه به اینکه در توابع رگرسیون چون مدل غیر خطی است با گرفتن لگاریتم از متغیرها، مدل خطی می‌شود. مقدار احتمال آزمون هاسمن برای هر دو تابع بیشتر از ۰.۰۵ می باشد، در نتیجه این فرض آماری که مدل‌ها دارای اثرات ثابت باشند، تایید می‌شود.

۳-۵-برآورد مدل

با توجه به توضیحات قبل، مدل تابع اشتغال و تابع هزینه کاهش آلودگی برآورد شده و ضرایب این دو معادله به قرار زیر است:

جدول ۵. مدل رگرسیونی تابع اشتغال

مدل	$lnL_{it} = b_0 + b_1 lnA_{it} + b_2 lnK_{it} + b_3 lnY_{it} + b_4 lnP_{it}$			
نام متغیر	ضریب رگرسیون	خطای استاندارد	آماره t	مقدار احتمال
Y	-۰/۰۳	۰.۰۰	-۵.۰۶	۰/۰۰
P	-۰/۰۶	۰.۰۲	-۲.۳۳	۰/۰۳
K	-۰/۰۰	۰.۰۰	-۳.۰۷	۰/۰۰
A	-۰/۴۴	۰.۱۹	-۲.۲۵	۰/۰۳
C	۹/۱۲	۰.۶۷	۱۳.۴۱	۰/۰۰
ضریب تعیین	۰.۹۹			
ضریب تعیین تعدیل شده	۰.۹۸			
آماره دوربین – واتسون	۳.۸۴			
مقدار آماره F	۱۵۲.۷۶			
معنی‌داری کل مدل	۰.۰۰			

منبع: محاسبات تحقیق

جدول ۶. مدل رگرسیونی تابع هزینه کاهش آلودگی

مدل	$AC_{it} = \theta . W_{it}^{\varphi} . P_{it}^{\mu}$			
نام متغیر	ضریب رگرسیون	خطای استاندارد	آماره t	مقدار احتمال
C	۲.۹۴	۰.۴۰	۷.۲۹	۰.۰۰
P	۱.۳۳	۰.۰۲	۵۲.۷۸	۰.۰۰
W	−۰.۱۰	۰.۰۵	−۲.۰۵	۰.۰۵
ضریب تعیین	۰.۹۹			
ضریب تعیین تعدیل شده	۰.۹۹			
آماره دوربین – واتسون	۳.۸۴			
مقدار آماره F	۷۳۷.۱۸			
معنی‌داری کل مدل	۰.۰۰			

منبع: محاسبات تحقیق

تحلیل مدل رگرسیون تابع اشتغال:

بر اساس تابع اشتغال، شاغلان کارگاه‌های صنعتی(L_{it}) به عنوان متغیر وابسته و مقدار سالانه تولید محصول کارگاه‌های صنعتی (Y_{it})، آلودگی تولید شده توسط کارگاه‌های صنعتی (P_{it})، موجودی سرمایه کارگاه‌های صنعتی (K_{it}) و دستمزد شاغلان کارگاه‌های صنعتی (A_{it}) به عنوان متغیر مستقل هستند. در تابع رگرسیون چون مدل غیر خطی است با گرفتن لگاریتم از متغیرها، مدل خطی می‌شود.

ضریب رگرسیون رابطه متغیر وابسته و مستقل را نشان می‌دهد. در اینجا به این دلیل که ضریب همه متغیرها منفی شده‌است، نشان می‌دهد که رابطه متغیرهای مستقل با متغیر وابسته غیر مستقیم است و رابطه‌ای معکوس دارند و با افزایش متغیر مستقل، متغیر وایسته کاهش می‌آبد و بلعکس . برای مثال اگر ۱٪ میزان محصول زیاد شود، تعداد شاغلان ۳٪ کاهش می‌آبد

مقدار آماره اف و مقدار احتمال برای مدل به ترتیب برابر ۱۵۲/۷۶ و ۰/۰۰۰ می باشد، که این نشان دهنده معنی دار بودن مدل در حالت کلی می باشد (زیرا مقدار احتمال این آماره کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد).

معروف ترین آماره نیکویی برازش، ضریب تعیین است که مقدار آن بین صفر و یک قرار دارد. اگر ضریب تعیین بزرگ و نزدیک به یک باشد، مدل داده ها را به خوبی برازش کرده‌است در حالی که اگر R^2 پایین یعنی نزدیک به صفر باشد، مدل برازش خوبی از داده‌ها ارائه نداده است. در جدول فوق مقدار ضریب تعیین برابر ۰/۹۹ است که نشان می‌دهد مدل برازش قابل قبولی ارائه داده‌است.

ضمنا مقدار ضریب تعیین تعدیل شده برابر ۰/۹۸ می باشد، که بر اساس آن می توان گفت این مدل بیش از ۹۰ درصد تغییرات در متغیر وابسته یعنی y را تبیین نموده‌است.

آماره دوربین واتسون که خود همبستگی بین باقیمانده‌های مدل را نشان می‌دهد باید در محدوده مجاز ۱/۵ تا ۲/۵ قرار داشته باشد که در این مدل مقدار آن ۳/۸۴ است که نشان دهنده خودهمبستگی منفی بین باقیمانده های مدل است که باید آن را رفع کرد.

تحلیل مدل رگرسیون تابع هزینه کاهش آلودگی:

بر اساس تابع هزینه کاهش آلودگی،هزینه کاهش سالانه یک آلاینده مشخص در منطقه (AC_{it}) به عنوان متغیر وابسته و آلودگی تولید شده توسط کارگاه‌های صنعتی (P_{it})، انتشار گازهای پسماند صنعتی در صنعت i (W_{it}) به عنوان متغیر مستقل هستند. در تابع رگرسیون چون مدل غیر خطی است با گرفتن لگاریتم از متغیرها، مدل خطی می‌شود.

ضریب رگرسیون رابطه متغیر وابسته و مستقل را نشان می‌دهد. در اینجا به این دلیل که ضریب متغیر آلودگی تولید شده توسط کارگاه‌های صنعتی (P_{it}) مثبت شده‌است؛ نشان می‌دهد که رابطه مستقیمی با متغیر مستقل، هزینه کاهش سالانه یک آلاینده مشخص (AC_{it})، دارد و با افزایش متغیر مستقل، متغیر وابسته افزایش می‌آید. برای مثال اگر ۱٪ آلودگی تولید شده توسط کارگاه‌های صنعتی زیاد شود، هزینه کاهش سالانه یک آلاینده مشخص در منطقه ۱۳۳٪ افزایش می‌آبد. از آنجا که ضریب متغیر انتشار گازهای پسماند صنعتی در صنعت i (W_{it}) منفی شده‌است، نشان می‌دهد که رابطه این متغیر مستقل با متغیر وابسته (AC_{it}) غیر مستقیم است و رابطه‌ای معکوس دارند و با افزایش متغیر مستقل، متغیر وابسته کاهش می‌یابد و بلعکس . برای مثال اگر آلودگی افزایش یابد سالانه هزینه آلودگی ۱۰٪ می‌تواند کاهش یابد یعنی صرفه ناشی از مقیاس در کاهش آلودگی وجود دارد.

مقدار آماره اف و مقدار احتمال برای مدل به ترتیب برابر ۷۳۷/۱۸ و ۰/۰۰۰ می باشد، که این نشان دهنده معنی دار بودن مدل در حالت کلی می باشد (زیرا مقدار احتمال این آماره کمتر از ۰.۰۵ می باشد). اما آن مقدار از آلودگی که با تاثیر شرایط محیطی و جغرافیایی کاهش نمی‌یابد منجر به افزایش هزینه کاهش آلودگی می‌شود.

معروف ترین آماره نیکویی برازش، ضریب تعیین است که مقدار آن بین صفر و یک قرار دارد. اگر ضریب تعیین بزرگ و نزدیک به یک باشد، مدل داده ها را بـه خـوبی بـرازش کـرده‌اسـت در حالی که اگر R^2 پایین یعنی نزدیک به صفر باشد، مدل بـرازش خوبی از داده‌ها ارائه نداده است. در جدول فـوق مقـدار ضـریب تعیین برابر ۰/۹۹است که نشـان مـی‌دهـد مـدل بـرازش قابـل قبولی ارائه داده‌است.

ضمنا مقدار ضریب تعیین تعدیل شده برابـر ۰/۹۹ مـی باشـد، که بر اساس آن می توان گفت ایـن مـدل بـیش از ۹۹ درصـد تغییرات در متغیر وابسته یعنی y را تبیین نموده‌است.

آماره دوربین واتسون که خـود همبسـتگی بـین باقیمانـده‌هـای مدل را نشان می‌دهد باید در محـدوده مجـاز۱/۵ تـا ۲/۵ قـرار داشته باشد که در این مدل مقـدار آن ۳/۸۴ اسـت کـه نشـان دهنده خودهمبستگی منفی بین باقیمانده های مـدل اسـت کـه باید آن را رفع کرد.

۳-۶-تجزیه و تحلیل تجربی مدل بهینـه سـازی دو هدف

تعیین تابع اشتغال

برای اعمال محدودیت کـربن و سـهمیه‌بنـدی کـربن و انجـام بازی‌هـای تعـاونی بـین بنگـاه‌هـا بـرای بـرآورد تـابع اشـتغال، کارگاه‌های صنعتی را به چهار ذیل گروه تقسیم کرده‌ایم: گـروه اول(مواد مصرفی نهایی)، گـروه دوم(تولیـد مـواد اولیـه)، گـروه سـوم(تولید محصـول)، گـروه چهارم(سـایر تجهیـزات و محصولات). تجزیه و تحلیل بر اساس داده‌های نمونـه از ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۶ و برای برازش داده‌هـای آمـاری چهـار گـروه کارگـاه صنعتی از نسخه ۱۲ نرم افزار ایویوز استفاده شده‌است. می‌تـوان مقـادیر تخمـین زده شـده از پارامترهـای P_1، P_2، P_3 و P_4 را بدست آورد (پیوست شماره ۱).

رگرسـیون بـرای چهـار گـروه کارگـاه‌هـای صـنعتی قـوی (R^2>۰/۶۰) و از نظر آماری معنی‌دار بود (P<۰/۰۳)، که نشان می‌دهد چهار تابع اشتغال از نظر آماری معنی دار هستند. رابطـه خطی معنی داری بین متغیر وابسته (lnLit) و کلیه متغیرهـای مستقل(lnAit ، lnKit ،lnYit ،lnPit) وجود دارد. علاوه بر این، آزمـون جـارک-بـرا در مـورد تـابع اشـتغال چهـار گـروه کارگاه‌هـای صـنعتی انجـام شـده‌اسـت. نتـایج آزمـون آزمـون جارک-برا نشان می‌دهد کـه مقـادیر اهمیـت پـیش رونـده دو جانبه برای چهار گروه کارگاه‌های صنعتی به ترتیـب ۱۷۲/۸۰، ۱۰۵/۹۳، ۱۸/۳۷ و ۳/۲۰۳ می‌باشـد. یعنـی مقـادیر P از ۰/۰۵ کمتر هستند. مشاهده می‌شود که باقیمانده‌های موجود در چهـار تابع اشتغال همه به طور نرمال توزیع شده‌اند. مقادیر متغیرها در جدول ۷ برای چهار گروه کارگاه‌های صنعتی در سـال ۱۳۹۶ بـا استفاده از معادله (۱۲) برای بدست آوردن توابـع اشـتغال بـرای چهار گروه کارگاه‌های صنعتی جایگزین شدند.

جدول ۷. محاسبه ضرایب مربوط به معادله نیروی کار

ضریب	متغیر	گروه اول	گروه دوم	گروه سوم	گروه چهارم
b۰	C	۲۰/۷۶	-۲۴/۲۶	۲۵/۵۲	۴۲/۶۲
b۱	A	-۴/۳۰	-۱/۷۸	-۰/۱۳	-۴/۲۰
b۲	K	۰/۴۳	۰/۳۵	-۰/۱۹	-۰/۲۵
b۳	Y	۰/۰۲	۱/۶۶	-۱/۱۱۵	-۰/۷۱
b۴	P	۰/۲۴	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۴
R۲		۰/۶۰	۰/۸۳	۰/۶۲	۰/۷۲
F-test		۳/۶۱ (۰/۰۳)	۱۲/۴۵ (۰/۰۰)	۵/۰۰ (۰/۰۰۶)	۴/۶۳ (۰/۰۲۲)
Jarque-Bera (L)		۱۷۲/۸۰ (۰/۰۰)	۱۰۵/۹۳ (۰/۰۰)	۱۸/۳۷ (۰/۰۰)	۳/۲۰ (۰/۲۰)

منبع: محاسبات تحقیق

با توجه به پارامترهای محاسبه شـده و جمـع بنـدی متغیرهـای توابع اشتغال برای چهار گروه کارگاه‌های صنعتی، می‌توان تـابع اشتغال زیر را برای کل کارگاه های صنعتی مورد بررسی بدست آورد:

(۱۲)

$$L = 9.105 * P_1^{0.245} + 214.490 * P_2^{-0.004} + 28.201 * P_3^{0.004} + 1.518 * P_4^{0.048}$$

کـه در آن P_1، P_2، P_3 و P_4 بـه ترتیـب در چهـار گـروه کارگاه‌های صنعتی، کاهش میـزان دی اکسـید کـربن را نشـان می‌دهند.

تعیین تابع هزینه کاهش آلودگی

معادله (۲) با استفاده از تبدیل لگاریتم طبیعی به شرح زیر خطی می‌شود:

(۱۳)

$$lnAC_{it} = ln\theta_{it} + \varphi lnw_{it} + \mu lnp_{it}$$

از روش تحلیل رگرسیون خطی برای تجزیه و تحلیل داده هـای آمـاری کارگـاه‌هـای صـنعتی در سـال ۱۳۹۴- ۱۳۹۶استفاده شده‌است. ضرایب رگرسیون برای لگاریتم‌هـای طبیعـی φ، Θو μ در معادله (۱۳) بدست می‌آید (جدول ۸).

همانطور کـه از نتـایج مشـخص مـی‌شـود بـرای چهـار گـروه کارگاه‌های صنعتی در جدول ۹ مشاهده مـی‌شـود، R^2 از ۰/۶۲

بیشتر است و مقدارP از ۰/۰۵ کمتر است که نشان می‌دهد بین متغیر وابسته (lnACit) و کلیه متغیرهای مستقل (lnWit، lnPit) رابطه خطی معنی داری وجود دارد. آزمون جارک-برا در مورد تابع کاهش هزینه دی اکسید کربن برای چهار گروه کارگاه‌های صنعتی انجام شده‌است. نتایج آزمون جارک-برا نشان می دهد که مقادیر اهمیت پیش رونده دو طرفه برای چهار گروه کارگاه‌های صنعتی به ترتیب ۲۹/۶۳، ۱۱/۱۳، ۷۱/۶۵، ۳۰/۹۳ می‌باشد. یعنی مقادیر P از ۰/۰۵ کمتر هستند.

جدول ۸. محاسبه ضرایب مربوط به معادله هزینه کاهش آلودگی

ضریب	متغیر	گروه اول	گروه دوم	گروه سوم	گروه چهارم
Ln (□)		۷/۲۷	۴.۸۱۸	۵.۶۵	۴.۵۹
Φ	W	۰/۶۷	۰.۸۳۶	۱/۰۰	۱.۰۲۵
M	P	−۰/۰۷	−۰.۰۱۰	۰/۰۲	−۰.۰۵۳
R۲		۰/۷۲	۰/۶۲	۰/۸۳	۰/۴۸
F-test		۲۳/۵۲ (۰/۰۰)	۱۲/۲۹ (۰.۰۰)	۴۴/۹۰ (۰.۰۰)	۵/۶۳ (۰.۰۱)
Jarque-Bera (AC)		۲۹/۶۳ (۰/۰۰)	۱۱/۱۳ (۰/۰۰۳)	۷۱/۶۵ (۰/۰۰)	۳۰/۹۳ (۰/۰۰)

منبع: محاسبات تحقیق

مشاهده می‌شود که باقیمانده در توابع هزینه کاهش دی اکسید کربن برای چهار گروه کارگاه‌های صنعتی نیز به طور عادی توزیع شده‌اند. نتایج برازش در جدول ۸ و اطلاعات مربوط به انتشار گازهای پسماند صنعتی (lnWit) سپس برای بدست آوردن توابع هزینه کاهش آلودگی دی اکسید کربن برای سه استان در معادله (۲) جایگزین شدند. با جمع بندی چهار تابع هزینه کاهش آلودگی دی اکسید کربن ، می توان تابع زیر را که کاهش هزینه دی اکسید کربن را برای کل کارگاه‌های صنعتی مورد بررسی را بدست آورد:

(۱۴)

$$AC = 19.014 * P_1^{-0.078} + 0.686P_2^{-0.010} + 2.125 * P_3^{0.022} + 1.383 * P_4^{-0.053}$$

که P_1، P_2، P_3 و P_4 به ترتیب هزینه‌های کاهش دهنده در اکسید کربن را برای چهار گروه کارگاه‌های صنعتی را نشان می‌دهند.

مدل بهینه سازی دو هدف

تعهدات ایران در توافق پاریس، تعهداتی که ایران داده است چیزی بین ۴ تا ۱۲ درصد بسته به کمک‌های بین‌المللی است. درطول این دوره، میانگین کاهش انتشار دی اکسید کربن به میزان ۸٪ است که با توجه به توافق پاریس دولت ایران هم می‌بایست میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را تا ۸ درصد کاهش دهد. در چهار گروه کارگاه‌های صنعتی میزان کل انتشار آلودگی ۲۶۵/۰۲ تن بوده است. با این حال،همه کارگاه‌های صنعتی باید میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را تا ۸ درصد کاهش دهند. بر اساس برنامه کنترل میزان کل انتشار دی اکسید کربن در چهار کارگاه‌های صنعتی باید به ترتیب به ۳۴/۲۳ ، ۱۱۹/۹۳ ، ۵۷/۸۵ و ۳۱/۷۹ تن محدود شود. مقادیر کاهش آلودگی نسبت به سال قبل برای چهار گروه کارگاه‌های صنعتی به ترتیب برابر. ۰/۵۰-، ۴/۷۰-[1]، ۶/۲۱ و ۰/۰۲- می‌باشد. با استفاده از این مقادیر و اهداف انتشار دی اکسید کربن که توسط دولت تعیین شده‌است، می توان شاخص‌های کاهش سطح دی اکسید کربن را محاسبه کرد (جدول ۹).

مطابق تحقیقات انجام شده توسط ژائو و همکاران (۲۰۱۳)، پارامترهای α_i، β_i و γ_i در قیدها و محدودیت‌ها به ترتیب ۰/۴، ۰/۹ و ۱/۳ در نظر گرفته شده‌اند.

محدودیت‌ها و قیدهای تعیین شده با توجه به جدول داده‌های انتشار آلودگی هوا

$$s.t.\begin{cases} 256021-\sum_{i=1}^{4} P_i \le 1.3\times(34.232+119.933+57.854+31.799) \\ 0.4\times(37.209) \le P_1 \le 0.9\times(37.209) \\ 0.4\times(130.36) \le P_2 \le 0.9\times(130.36) \\ 0.4\times(69.097) \le P_3 \le 0.9\times(69.097) \\ 0.4\times(34.564) \le P_4 \le 0.9\times(34.564) \\ \sum_{i=1}^{4} P_i \ge (2.97+10.42+5.03+2.76) \end{cases}$$

$$s.t.\begin{cases} 256.021-\sum_{i=1}^{4} P_i \le 316.965 \\ 14.883 \le P_1 \le 33.488 \\ 52.144 \le P_2 \le 117.326 \\ 27.639 \le P_3 \le 62.188 \\ 13.825 \le P_4 \le 31.108 \\ \sum_{i=1}^{4} P_i \ge 21.201 \end{cases}$$

۱. عدد منفی به مفهوم عدم کاهش انتشار آلودگی و افزایش آن است که در محاسبات لحاظ نخواهد شد.

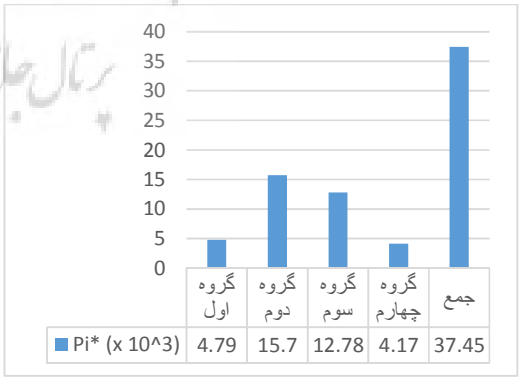
جدول ۹. داده‌های انتشار آلودگی برای گروه‌های مختلف

گروه / پارامتر	گروه اول	گروه دوم	گروه سوم	گروه چهارم	جمع کل
انتشار آلودگی	۳۷/۲۰	۱۳۰/۳۶	۶۲/۸۸	۳۴/۵۶	۲۶۵/۰۲
میزان هدف دولت۱	۳۴/۲۳	۱۱۹/۹۳	۵۷/۸۵	۳۱/۷۹	۸۱.۲۴۳
کاهش آلودگی نسبت به سال قبل۲	-۰/۵۰	-۱۴/۷۰	۶/۲۱	-۰/۰۲	-۹/۰۲
شاخص کاهش آلودگی توزیع شده توسط دولت	۲/۹۷	۱۰/۴۲	۵/۰۳	۲/۷۶	۲۱/۲۰
مقدار تولید سالانه توسط گروه	۳۷/۲۰	۱۳۰/۳۶	۶۹/۰۹	۳۴/۵۶	۲۷۱/۲۳

منبع: محاسبات تحقیق

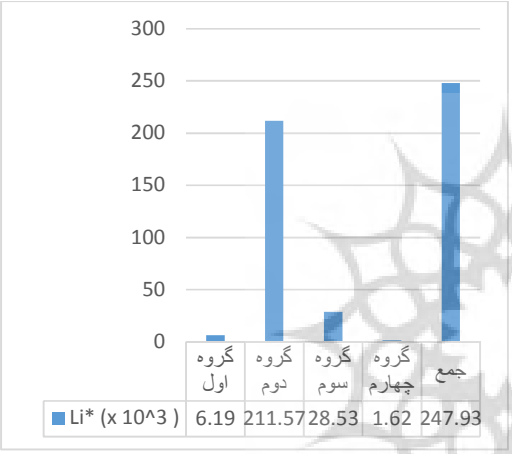
میزان هدف دولت بر اساس توافق کاهش ۸ درصدی در پیمان جهانی پاریس برای کاهش آلودگی هوا

۱. عدد منفی به مفهوم عدم کاهش انتشار آلودگی و افزایش آن است که در محاسبات لحاظ نخواهد شد.



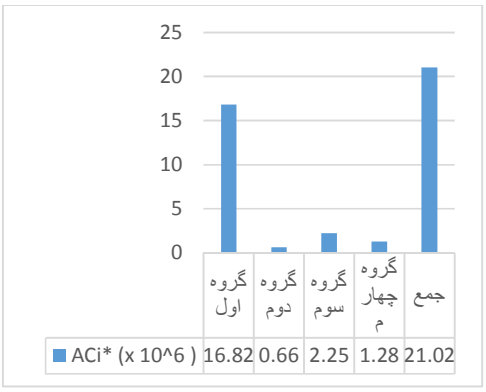
شکل ۱. نمودار مقدار کاهش بهینه دی اکسید کربن (*Pi) را در تحت مدل بهینه سازی دو هدفه در چهار گروه کارگاه صنعتی

این نمودار مقدار کاهش بهینه دی اکسید کربن (*Pi) را در تحت مدل بهینه سازی دو هدفه را نشان می‌دهد که این مقدار در گروه اول $۴/۷۹*۱۰^{۳}$ ، گروه دوم $۱۵/۷۰*۱۰^{۳}$، گروه سوم $۱۲/۷۸*۱۰^{۳}$ و در گروه چهارم $۴/۱۷*۱۰^{۳}$ می‌باشد.*Pi در گروه دوم، نسبت به سایر گروه‌ها بالاتر است. *Pi در چهار گروه کارگاه صنعتی در مدل بهینه سازی دو هدفه $۳۷/۴۵*۱۰^{۳}$ است و در مدل بهینه سازی تک هدفه $۱۰۹/۱۷*۱۰^{۳}$ است. این نتایج نشان می‌دهد که *Pi د رمدل بهینه سازی دو هدفه بسیار کاربردی تر و به صرفه تر است و می‌توان نتیجه گرفت که مدل اقتصادسنجی تعاملی نتایج بهتری نسبت به نتایج سیستم فعلی را بر اساس کنترل جداگانه آلودگی هوا از نظر کنترل و کاهش آلودگی دارد.



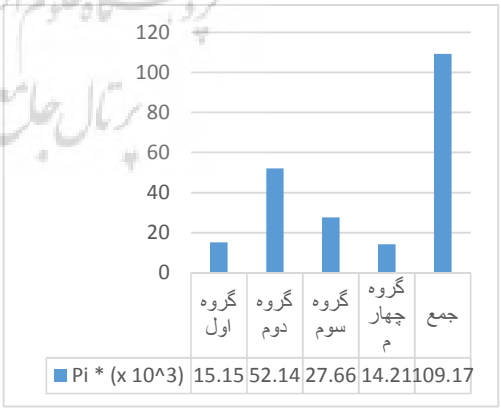
شکل ۲. نمودار سطح اشتغال (*Li) تحت مدل بهینه سازی دو هدفه در چهار گروه کارگاه صنعتی

این نمودار سطح اشتغال (*Li) تحت مدل بهینه سازی دو هدفه را نشان می‌دهد که این مقدار در گروه اول $۶/۱۹*۱۰^{۳}$ گروه دوم $۲۱۱/۵۷*۱۰^{۳}$، گروه سوم $۲۸/۵۳*۱۰^{۳}$ ودر گروه چهارم $۱/۶۲*۱۰^{۳}$ می‌باشد.*Li در گروه دوم، نسبت به سایر گروه‌ها بالاتر است. *Li در چهار گروه کارگاه صنعتی در مدل بهینه سازی دو هدفه $۲۴۷/۹۳*۱۰^{۳}$ است و در مدل بهینه سازی تک هدفه $۱۰/۹۱*۱۰^{۳}$ است. *Li در گروه دوم از همه گروه‌ها بالاتر می‌باشد در واقع به همین دلیل است که آلودگی بیشتری هم نسبت به سایر گروه‌ها ایجاد می‌کند *Li تحت مدل بهینه سازی دو هدفه نسبت به *Li تحت مدل بهینه سازی تک هدفه بسیار کاربردی تر و به صرفه تر است و می‌توان نتیجه گرفت که مدل اقتصادسنجی تعاملی نتایج بهتری نسبت به نتایج سیستم فعلی را بر اساس کنترل جداگانه آلودگی هوا از نظر افزایش اشتغال دارد.



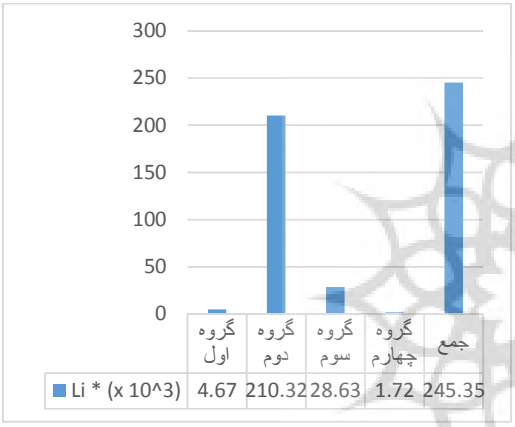
شکل ۳. نمودار میزان هزینه کاهش انتشار دی اکسید کربن (ACi*) تحت مدل بهینه سازی دو هدفه در چهار گروه کارگاه صنعتی

این نمودار میزان هزینه کاهش انتشار دی اکسید کربن (ACi^*) تحت مدل بهینه سازی دو هدفه را نشان می‌دهد که این مقدار در گروه اول $۱۶/۸۲*۱۰^{۶}$ ، گروه دوم $۰/۶۶*۱۰^{۶}$، گروه سوم $۲/۲۵*۱۰^{۶}$ و گروه چهارم $۱/۲۸*۱۰^{۶}$ می‌باشد. ACi^* در گروه اول نسبت به سایر گروه‌ها بیشتر است در واقع به همین دلیل است که گروه اول توانسته‌است نسبت به سایر گروه‌ها آلودگی را کنترل کند. ACi^*در چهار گروه کارگاه صنعتی در مدل بهینه سازی دو هدفه $۲۱/۰۲*۱۰^{۶}$ و در مدل بهینه سازی تک هدفه $۱۹/۵۲*۱۰^{۶}$ است. ACi^* تحت مدل بهینه سازی دو هدفه تا حدی به صرفه تر است ولی اختلاف زیادی با هم ندارند که بخواهیم تصمیم بگیریم که مدل اقتصاد سنجی تعاملی کاربردی نیست.



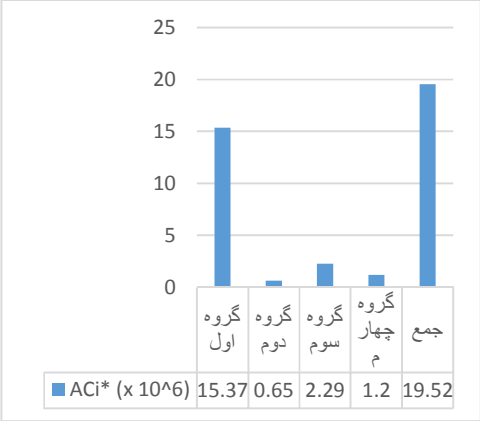
شکل ۴. نمودار مقدار کاهش بهینه دی اکسید کربن (Pi*) را در تحت مدل بهینه سازی تک هدفه در چهار گروه کارگاه صنعتی

این نمودار مقدار کاهش بهینه دی اکسید کربن (Pi*) را در تحت مدل بهینه سازی تک هدفه را نشان می‌دهد که مقدار آن در گروه اول ۱۵/۱۵*۱۰۳، گروه دوم۵۲/۱۴*۱۰۳، گروه سوم ۲۷/۶۶*۱۰۳ و در گروه چهارم۱۴/۲۱*۱۰۳ می‌باشد. این مقدار در گروه دوم از همه بالاتر است و Pi* در مدل بهینه سازی دو هدفه در مقایسه با Pi* در مدل بهینه سازی تک هدفه بسیار کاربردی تر و به صرفه تر است و می‌توان نتیجه گرفت که مدل اقتصادسنجی تعاملی نتایج بهتری نسبت به نتایج سیستم فعلی را بر اساس کنترل جداگانه آلودگی هوا از نظر کنترل و کاهش آلودگی دارد.



شکل ۵. نمودار سطح اشتغال (Li*) تحت مدل بهینه سازی تک هدفه در چهار گروه کارگاه صنعتی

این نمودار سطح اشتغال (Li^*) تحت مدل بهینه سازی تک هدفه را نشان می‌دهد که این مقدار در گروه اول $۴/۶۷*۱۰^{۳}$، گروه دوم $۲۱۰/۳۲*۱۰^{۳}$، گروه سوم $۲۸/۶۳*۱۰^{۳}$ و در گروه چهارم $۱/۷۲*۱۰^{۳}$ می‌باشد. این مقدار در گروه دوم از همه گروه‌ها بالاتر می‌باشد در واقع به همین دلیل است که آلودگی بیشتری هم نسبت به سایر گروه‌ها ایجاد می‌کند. Li^* تحت مدل بهینه سازی دو هدفه نسبت به Li^* تحت مدل بهینه سازی تک هدفه بسیار کاربردی تر و به صرفه تر است و می‌توان نتیجه گرفت که مدل اقتصادسنجی تعاملی نتایج بهتری نسبت به نتایج سیستم فعلی را بر اساس کنترل جداگانه آلودگی هوا از نظر افزایش اشتغال دارد.



شکل ۶. نمودار میزان هزینه کاهش انتشار دی اکسید کربن (ACi*) تحت مدل بهینه سازی تک هدفه در چهار گروه کارگاه صنعتی

این نمودار میزان هزینه کاهش انتشار دی اکسید کربن (ACi^*) تحت مدل بهینه سازی تک هدفه را نشان می‌دهد که درگروه اول $۱۵/۳۷*۱۰^{۶}$، گروه دوم $۰/۶۵*۱۰^{۶}$، گروه سوم $۲/۲۹*۱۰^{۶}$ و در گروه چهارم $۱/۲*۱۰^{۶}$ می‌باشد. این مقدار درگروه اول نسبت به سایر گروه‌ها بیشتر است در واقع به همین دلیل است که گروه اول توانسته است نسبت به سایر گروه‌ها آلودگی را کنترل بکند ACi^* تحت مدل بهینه سازی تک هدفه نسبت به ACi^* تحت مدل بهینه سازی دو هدفه تا حدی صرفه تر است ولی اخلاف زیادی با هم ندارند که بخواهیم تصمیم بگیریم که مدل اقتصاد سنجی تعاملی کاربردی نیست.

مطابق معادله (۸)، پس از تبدیل مدل بهینه سازی دو هدفی به یک مدل بهینه سازی تک هدفه، کاهش بهینه دی اکسید کربن برای گروه اول $۴/۷۹*۱۰^{۳}$ تن، برای گروه دوم $۱۵/۷۰*۱۰^{۳}$، برای گروه سوم $۱۲/۷۸*۱۰^{۳}$ تن، $۴/۱۷*۱۰^{۳}$ تن برای گروه چهارم است. براساس مبلغ مطلوب کاهش قیمت برای چهار گروه کارگاه‌های صنعتی، می‌توان اشتغال و کاهش هزینه را طبق مدل بهینه دو هدفی محاسبه کرد (جدول ۱۱و۱۲).

براساس مدل بهینه دو هدفی، اهداف اشتغال $۶/۱۹*۱۰^{۳}$ نفر برای گروه اول، $۲۱۱/۵۷*۱۰^{۳}$ نفر برای گروه دوم، $۲۸/۵۳*۱۰^{۳}$ نفر برای گروه سوم و $۱/۶۲*۱۰^{۳}$ نفر برای گروه چهارم است. کل اشتغال برای چهار گروه کارگاه‌های صنعتی برابر با $۲۴۷/۹۳*۱۰^{۳}$ نفر و کل هزینه کاهش آلایندگی $۲۱/۰۲*۱۰^{۳}$ است .

مقایسه مدل های اقتصاد سنجی جداگانه و تعاملی

جدول ۱۰ نتایج محاسبات کاهش بهینه دی اکسید کربن (Pi*)را در تحت مدل بهینه سازی دو هدفه نشان می‌دهد، میزان کاهش برای هر چهار گروه کارگاه صنعتی (Pi) که توسط دولت تحت کنترل جداگانه آلودگی هوا اختصاص داده شده‌است، اشتغال(Li) ، هزینه کاهش انتشار دی اکسید کربن (ACi) برای هر چهار گروه کارگاه صنعتی را نشان می‌دهد..

جدول۱۰ نشان می دهد که تحت مدل بهینه سازی دو هدفی (یعنی مدل اقتصاد سنجی تعاملی)، میزان کاهش بهینه در گروه دوم بالاتر بقیه گروه‌ها می‌باشد و Pi* در این سه گروه کمتر است. این نتیجه حاکی از این واقعیت است که برای کاهش کل دی اکسید کربن گروه دوم، مدل بهینه سازی دو هدفی کاملاً تفاوت‌هایی را در ظرفیت کاهش آلودگی، ظرفیت کاهش صنعتی و شرایط اشتغال در بین کارگاه‌های صنعتی را مورد توجه قرار می‌دهد. علاوه بر این، کل اشتغال در چهار گروه کارگاه صنعتی $۲۴۷/۹۳*۱۰^{۳}$ هزار نفر است، در مقابل کل اشتغال تحت مدل کنترل جداگانه آلودگی هوا $۲۴۵/۳۵*۱۰^{۳}$ هزار نفر است. یعنی، اشتغال به میزان $۲/۵۸*۱۰^{۳}$ (۱٪) افزایش یافته‌است. این نشان می‌دهد که براساس الگوی بهینه سازی دو هدفه، چهار گروه کارگاه صنعتی همچنین می‌توانند ضمن انجام کنترل آلودگی هوا، اشتغال را افزایش داد. نتیجه مطابق با مطالعات قبلی در مورد اشتغال است (لیو و همکاران[1]، b ۲۰۱۸) علاوه بر این، بر اساس الگوی بهینه سازی دو هدفی، هزینه‌های کنترل جامع چهار گروه کارگاه صنعتی به این شکل است: $۱۶/۸۲*۱۰^{۶}$ گروه اول، $۰/۶۶*۱۰^{۶}$ گروه دوم، $۲/۲۵*۱۰^{۶}$ گروه سوم و $۱/۲۸*۱۰^{۶}$ گروه چهارم است. همچنین، هزینه کنترل جامع در گروه اول بالاترین هزینه در چهار گروه کارگاه صنعتی است. این به دلیل کاهش بیشتر دی اکسید کربن در گروه اول است (زینگ و همکاران[2]، (۲۰۱۹)). کل هزینه کنترل جامع دی اکسید کربن تحت کنترل جداگانه آلودگی هوا $۱۹/۵۲*۱۰^{۶}$ است. بنابراین، مدل اقتصادسنجی تعاملی نتایج بهتری نسبت به نتایج سیستم فعلی را بر اساس کنترل جداگانه آلودگی هوا از نظر هزینه‌های اشتغال و کاهش هزینه دارد.

۳-۷-مدل تخصیص مزایای همکاری منطقه ای بر اساس روش روش حداقل هزینه باقیمانده

کنترل آلودگی هوا بر اساس یک بازی همکارانه در بین کارگاه‌های صنعتی مورد مطالعه نیازمند تخصیص منافع است که برای همه کارگاه‌های صنعتی قابل قبول است. با این حال،

1 . Liu et al.
2 . Xing et al.

نحوه تخصیص مزایای همکاری به روش عادلانه، علمی و عقلانی، کلید ارتقاء همکاری برای کنترل آلودگی تبدیل شده‌است. از روش حداقل هزینه باقیمانده اغلب برای حل مسئله تقسیم هزینه یا تقسیم مزایا در یک بازی مشارکتی تعاملی استفاده می‌شود. این روش می‌تواند بهره‌وری تخصیص مزایای همکاری را بهبود بخشد(تجیس و دریسون[1]،(۱۹۸۶)) . بنابراین، روش حداقل هزینه باقیمانده برای تخصیص مزایای تعاونی در بین صنایع مورد مطالعه انتخاب شده‌است.

تحت کنترل تعاملی آلودگی هوای منطقه‌ای، فرمول تخصیص سود برای کارگاه‌های صنعتی می‌تواند به شرح زیر بیان شود (وانگ۲، ۲۰۱۵)

(۱۴)

$$[C(I) - \sum_{i\epsilon I} Z_{imin}]\ \forall_i, ,\ \epsilon I$$

$$Z_i^* = Z_{imin} + \frac{Z_{imax} - Z_{imin}}{\sum_{i\epsilon I}(Z_{imax} - Z_{imin}}$$

در معادله (۱۴)، کران بالا و پایین مزایا برای کارگاه‌های صنعتی تحت الگوی اقتصادسنجی مشارکتی تعیین می‌شود. آن‌ها به ترتیب زیماکس و زیمین هستند به گونه‌ای که $Z_{imin} \le Z_i \le Z_{imax}$ است. در طول بهینه سازی، مقدار Z_{imax} به مقدار Z_{imin} مربوط است. نقطه تقاطع Z_i^* به عنوان راه حل به دست‌آمده با حل $Z_i = Z_{imin} + \lambda\,(Z_{imax} - Z_{imin})$ و $\sum Z_i = C(I)$ بدست می آید. در روش حداقل هزینه باقیمانده ، کران بالا و پایین $\left(Z_{imin}\text{ و }Z_{imax}\right)$ مزایا با حل مسئله برنامه ریزی خطی بدست می‌آیند. در روش حداقل هزینه باقیمانده برای محاسبه تخصیص مزایا نیز به طور مستقیم می تواند به شرح زیر تعریف شود:

(۱۵)

$$Z_{imin} = C(I) = C(I - \{i\}) for\ \forall \epsilon I$$

(۱۶)

$$Z_{imax} = X_i for \forall \epsilon I$$

در معادله(۱۵)، C(I) کل مزایای به دست‌آمده از کنترل آلودگی هوا را تحت الگوی اقتصادسنجی تعاملی منطقه‌ای زمانی که همه کارگاه‌های صنعتی منطقه مورد مطالعه همکاری می‌کنند را نشان می‌دهد $C\ (I\ \{i\})$ منافع حاصل از سایر ترکیبات اتحاد را نشان می‌دهد زمانی که یک کارگاه صنعتی از همکاری خودداری می‌کند اما کارگاه‌های صنعتی دیگر با هم همکاری می‌کنند و X_i بیانگر مزایای حاصل از کنترل جداگانه آلودگی هوا توسط کارگاه‌های صنعتی است. در اینجا، i بیانگر یک کارگاه صنعتی است که در کنترل آلودگی هوا در منطقه شرکت می‌کند، و I مجموعه‌ای از کارگاه‌های صنعتی را که به طور بالقوه می توانند در کنترل آلودگی هوا شرکت کنند را نشان می‌دهد.

۳-۸-مدل روش حداقل هزینه باقیمانده برای تخصیص مزایای همکاری

براساس روش حداقل هزینه باقیمانده برای تخصیص مزایای همکاری، مزایای تعاملی بدست آمده چهار گروه کارگاه‌های صنعتی، $۱۶/۸۲*۱۰^{۶}$ برای گروه اول، $۱۶/۸۲*۱۰^{۶}$ برای گروه اول، $۰/۶۶*۱۰^{۶}$ برای گروه دوم، برای گروه سوم $۲/۲۵*۱۰^{۶}$ و $۱/۲۸*۱۰^{۶}$ برای گروه چهارم (جدول ۱۱) می‌باشد.

جدول ۱۱ نشان می‌دهد که براساس روش حداقل هزینه باقیمانده برای تخصیص مزایای همکاری، مجموع مزایای این چهار گروه کارگاه صنعتی $۲۱/۰۲*۱۰^{۶}$ است. برای اطمینان از این‌که همه کارگاه‌های صنعتی می‌توانند از همکاری بهره مند شوند و آن‌ها را ترغیب به مشارکت فعال درکنترل آلودگی هوای منطقه‌ای کنند و همینطور مزایا باید به طور عادلانه و کارآمد بین چهار گروه کارگاه صنعتی اختصاص یابد.

صنایع می‌توانند هزینه کنترل جامع برای هر کارگاه صنعتی را کاهش داده و منجر به کاهش هزینه کنترل جامع برای کل کارگاه‌های صنعتی شوند. در اینجا به این دلیل که هزینه کاهش آلودگی برای گروه دوم بالا است؛ سه گروه دیگر می‌توانند به گروه دوم کمک کنند تا کل هزینه کنترل آلودگی، کاهش یابد. در مقایسه با کنترل جداگانه آلودگی هوا، مدل اقتصاد سنجی تعاملی به طور کامل به تفاوت‌های میان کارگاه‌های صنعتی در فناوری‌ها و ظرفیت‌های کنترل آلودگی، ساختار صنعتی، ساختار اشتغال و توسعه اقتصادی می‌پردازد (لی و همکاران[3]، (۲۰۱۸a)) این منجر به یک موقعیت برد-برد برای هر کارگاه صنعتی است.

1 . Tijs and Driessen
2 . Wang
3 . Li et al.

جدول ۱۰. نتایج بهینه سازی برای کاهش بهینه دی اکسید کربن

پارامتر	حالت بهینه دو هدفه (1)	حالت کاهش الودگی به تنهایی (2)	(۱)-(۲)
گروه	Pi^{*} $(x\ 10^{3})$	Pi^{*} $(x\ 10^{3})$	Li^{*} $(x\ 10^{3})$
گروه اول	۴/۷۹	۱۵/۱۵	-۱۰/۳۶
گروه دوم	۱۶/۷۰	۵۲/۱۴	-۳۶/۴۴
گروه سوم	۱۲/۷۸	۲۷/۶۶	-۱۴/۸۸
گروه چهارم	۴/۱۷	۱۴/۲۱	-۱۰/۰۴
جمع	۳۷/۴۵	۱۰۹/۱۷	-۷۱/۷۲

منبع: محاسبات تحقیق

جدول ۱۱. نتایج بهینه سازی برای کاهش انتشار

پارامتر	حالت اولیه (۱)	حالت بهینه دو هدفه (۲)	حالت کاهش الودگی به تنهایی (۳)	(۱)-(۲)	(۱)-(۳)	(۲)-(۳)
گروه	$ACi^{*}\ (x10^{6})$	$ACi^{*}\ (x10^{6})$	$ACi^{*}\ (x10^{6})$	$ACi^{*}\ (x10^{6})$	$ACi^{*}\ (x10^{6})$	$ACi^{*}\ (x10^{6})$
گروه اول	۱۹/۰۱	۱۶.۸۲	۱۵/۳۷	۲/۱۹	۳/۶۳	۱/۴۴
گروه دوم	۰/۶۸	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰
گروه سوم	۲/۱۲	۲/۲۵	۲/۲۹	-۰/۱۲	-۰/۱۶	-۰/۰۴
گروه چهارم	۱/۳۸	۱/۲۸	۱/۲۰	۰/۱۰	۰/۱۸	۰/۰۸
جمع	۲۳/۲۰	۲۱/۰۲	۱۹/۱۵۲	۲/۱۸	۳/۶۸	۱/۴۹

منبع: محاسبات تحقیق

جدول۱۲. نتایج بهینه سازی برای نیروی کار

پارامتر	حالت اولیه (۱)	حالت بهینه دو هدفه (۲)	حالت کاهش الودگی به تنهایی (۳)	(۱)-(۲)	(۱)-(۳)	(۲)-(۳)
گروه	$Li\ *\ (x\ 10^{3})$	$Li\ *\ (x\ 10^{3})$	$Li\ *\ (x\ 10^{3})$	$Li\ *\ (x\ 10^{3})$	$Li\ *\ (x\ 10^{3})$	$Li\ *\ (x\ 10^{3})$
گروه اول	۹/۱۰	۶/۱۹	۴/۶۷	۲/۹۰	۴/۴۳	۱/۵۲
گروه دوم	۲۱۴/۴۹	۲۱۱/۵۷	۲۱۰/۳۲	۲/۹۱	۴/۱۶	۱/۲۵
گروه سوم	۲۸/۲۰	۲۸/۵۳	۲۸/۶۳	-۰/۳۲	-۰/۴۳	-۰/۱
گروه چهارم	۱/۵۱	۱/۶۲	۱/۷۲	-۰/۱۰	-۰/۲۱	-۰/۱
جمع	۲۵۳/۳۱	۲۴۷/۹۳	۲۴۵/۳۵	۵/۳۸	۷/۹۶	۲/۵۸

۳-۹-تجزیه و تحلیل حساسیت برای مدل اقتصادسنجی تعاملی برای آلودگی هوا

اثرات ترکیب پارامترهای مختلف بر روی مدل اقتصادسنجی تعاملی با استفاده از آنالیز حساسیت مورد آزمایش قرار گرفت (پیوست شماره ۲).

پیوست شماره ۲ نشان می‌دهد که هنگامی که αi از ۰/۴ به ۰/۳ کاهش می‌یابد، کل اشتغال در چهار گروه کارگاه‌های صنعتی ۰/۰۶٪ افزایش می‌یابد و هزینه کاهش دی اکسید کربن نیز ۰/۱% افزایش می‌یابد. هنگامی که αi از ۰/۴ به ۰/۵. افزایش می‌یابد، کل اشتغال در منطقه ۰/۰۱٪ کاهش می‌یابد و هزینه کاهش دی اکسید کربن ۰/۴۷% کاهش می‌یابد. بنابراین، تغییر در مقادیر α_i در دامنه ۰/۳ تا ۰/۵ تنها

تـأثیر کمـی در نتـایج مـدل دارد. دوم، تغییـر در ارزش β_i در دامنه ۰/۷ تا ۰/۹ هیچ تاثیری در نتایج نـدارد. عـلاوه بـر ایـن، وقتـی ارزش γ_i از ۱/۲ تـا ۱/۴ متغیـر اسـت، کـل اشـتغال در منطقه و کل هزینه کاهش دی اکسید کـربن تغییـر نمـی‌کنـد. بنابراین، تغییر در مقادیر γ_i در محدوده ۱/۲ تا ۱/۴ متغیر است، کل اشتغال در منطقه و کل هزینـه کـاهش دی اکسـید کـربن تغییر نمی کند. بنابراین، تغییر در مقادیر γ_i در محـدوده ۱/۲ تـا ۱/۴ هـیچ تـاثیری در مـدل نـدارد. بنـابراین تجزیـه و تحلیـل حساسیت نشان می دهد که مـدل اقتصادسـنجی تعـاملی قـوی است و تنهـا حساسـیت کمـی بـه تغییـرات در α_iدارد و هـیچ حساسیتی به تغییرات در پارامترهای دیگر ندارد.

۴-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر از یـک مـدل اقتصادسـنجی تعـاملی اسـتفاده شده‌اسـت کـه هـم کنتـرل آلـودگی و هـم اشـتغال را در نظـر می گیرد، این یک پیشرفت قابل توجه در مطالعات قبلـی اسـت که فقط یک هدف واحد مانند کنترل آلـودگی را مـورد مطالعـه قرار داده‌اند. در نتیجه مدل اقتصادسنجی تعاملی حاصـل شـده، هر دو عامل را به طور هم زمان به شکلی که به هـر دو هـدف برسد، در نظر گرفته است.

دوم، از روش حـداقل هزینـه باقیمانـده بـرای تخصـیص مزایای تعاملی،برای کارگاه‌های صنعتی به طور فعـال در زمینـه کنترل آلودگی، استفاده شده‌است. سـرانجام، تجزیـه و تحلیـل کنترل دی اکسید کربن در کارگاه‌هـای صـنعتی مـورد بررسـی قرار گرفت.

بـرخلاف مـدل کنـونی کنترلـی جداگانـه (غیـر تعـاملی)، براساس روش حداقل هزینه باقیمانده برای تخصیص مزایـای همکاری، مزایای تعاملی بدست آمده چهـار گـروه کارگـاه‌هـای صـــنعتی، $۱۰^{۶}$*۱۶/۸۲ میلیـــون ریـــال بـــرای گـــروه اول، $۱۰^{۶}$*۰/۶۶ میلیون ریـال بـرای گـروه دوم، بـرای گـروه سـوم $۱۰^{۶}$*۲/۲۵ میلیون ریال و $۱۰^{۶}$*۱/۲۸ میلیون ریال برای گـروه چهارم و در حالت کاهش آلودگی به تنهایی مزایای بدست آمده چهار گروه کارگاه‌های صنعتی، $۱۰^{۶}$*۱۵/۳۷ میلیون ریال بـرای گروه اول، $۱۰^{۶}$*۰/۶۵ میلیون ریال برای گروه دوم، برای گـروه سوم $۱۰^{۶}$*۲/۲۹ میلیون ریال و $۱۰^{۶}$*۱/۲۰ میلیون ریـال بـرای گروه چهارم (جدول ۱۱) می‌باشد.

این نتایج نشان می‌دهـد کـه کنتـرل آلـودگی تحـت مـدل اقتصاد سنجی تعاملی نسبت به حالت کنترل آلودگی به تنهـایی، کارآمدتر است.جدول ۱۳ نشان می‌دهـد کـه براسـاس مـدل روش حداقل هزینه باقیمانده برای تخصیص مزایای همکاری، مجموع مزایای این چهار گـروه کارگـاه صـنعتی $۱۰^{۶}$*۲۱/۰۲ و در حالت کاهش آلودگی به تنهایی $۱۰^{۶}$*۱۹/۵۲ میلیـون ریـال است.

براساس روش حداقل هزینه باقیمانده سطح اشتغال چهـار گروه کارگاه‌های صنعتی به ایـن شـکل مـی‌باشـد: $۱۰^{۳}$*۶/۱۹ هزار نفربرای گروه اول، $۱۰^{۳}$*۲۱۱/۵۷ هـزار نفـر بـرای گـروه دوم، برای گروه سوم $۱۰^{۳}$*۲۸/۵۳ هزار نفـر و $۱۰^{۳}$*۱/۶۲ نفـر برای گروه چهارم و در حالت افزایش سطح اشتغال بـه تنهـایی میزان اشتغال بدست آمده برای چهار گروه کارگاه‌هـای صـنعتی به این شکل می باشد: $۱۰^{۳}$*۴/۶۷ هزار نفـر بـرای گـروه اول، $۱۰^{۳}$*۲۱۰/۳۲ هـزار نفـر بـرای گـروه دوم، بـرای گـروه سـوم $۱۰^{۳}$*۲۸/۶۳ هزار نفر و $۱۰^{۳}$ *۱/۷۲ هزار نفر برای گروه چهارم (جدول ۱۲) می‌باشد. این نتـایج نشـان مـی‌دهـد کـه افـزایش اشتغال تحت مدل اقتصاد سنجی تعاملی نسـبت بـه حالـت کـه افـزایش اشتغال به تنهایی، کارآمـدتر اسـت. جـدول ۱۲ نشـان می‌دهد که براسـاس مـدل روش حـداقل هزینـه باقیمانـده ، مجموع اشتغال این چهار گـروه کارگـاه صـنعتی $۱۰^{۳}$*۲۴۷/۹۳ هزار نفر و در حالت افزایش اشتغال بـه تنهـایی $۱۰^{۳}$* ۲۴۵/۳۵ هزار نفر است.

بنابراین، مدل اقتصاد سـنجی تعـاملی ارائـه شـده در ایـن مقاله از نظر افزایش اشـتغال و صـرفه جـویی در هزینـه بـرای همان سطح کنترل آلودگی، نسـبت بـه مـدل کنترلـی جداگانـه فعلی برتر است.

اگرچه در مدل کاهش آلودگی به تنهـایی نسـبت بـه مـدل اقتصادسنجی تعاملی هزینه کاهش آلودگی دی اکسید کربن، تـا حدی به صرفه تر است ولی اخلاف زیادی بـا هـم ندارنـد کـه بخـواهیم تصـمیم بگیـریم کـه مـدل اقتصـاد سـنجی تعـاملی کاربردی نیست. بنابراین نتایج فعلی می تواند مرجع مهمی برای حمایت از تصمیم گیری منطقـه‌ای، ضـمن تـرویج همکـاری و نتیجه برد–برد برای شرکت کنندگان، فراهم کند.

برای بهبود مکانیسم تشویقی بـرای ارتقـاء کنتـرل تعـاملی آلودگی هوا، تحقیقات آینده باید جنبه‌های زیر را در نظر بگیـرد: (۱) از دیدگاه اشتغال، بهداشت عمومی و رشد اقتصادی، و سایر عوامل فرعی باید همزمان در مـدل گنجانیـده شـوند. از جملـه درآمد اشتغال، هزینه‌هـای رشـد اقتصـادی و مزایـای بهداشـت عمومی با هـدف بهبـود منـافع اجتمـاعی، اقتصـادی و زیسـت محیطی. (۲) این مدل بایـد بـه منظـور در نظـر گـرفتن اثـرات

همزمـان آلاینـده‌هـای متعـدد جهـت پشـتیبانی از توسـعه سازوکارهای همکاری منطقه‌ای و سیاست‌های زیست محیطـی که برای شرایط ملی ایران با توجه به عوامل اقلیمـی و شـرایط اکولوژی طبیعی ایران مناسب‌تر هستند گسترش داده‌شود.

نتایج این تحقیـق نشـان مـی‌دهـد همکـاری و تعامـل در کاهش آلودگی بسیار موثرتر از رقابت می‌باشد، پیشنهاد می‌شود سیاسـت‌گـذران در اجـرای سیاسـت‌هـای آلـودگی از سیاسـت همکاری برای کاهش آلودگی در مناطق مختلف کشـور چـه در سطح کارگاه‌های صـنعتی چـه سـایر مصـرف‌کننـدگان انـرژی استفاده نمایند.

منابع

Cao, D., Song, C. Y., Wang, J. N., Jiang, H., Li, W. X., & Cao, G. Z. (2009). Establishment and empirical analysis of cost function for pollution combination abatement. ***Research of Environmental Sciences***, ***22***(3), 371-376

Chang, K., Zhang, C., & Chang, H. (2016). Emissions reduction allocation and economic welfare estimation through interregional emissions trading in China: evidence from efficiency and equity. ***Energy***, ***113***, 1125-1135

Dissou, Y., & Sun, Q. (2013). GHG mitigation policies and employment: A CGE analysis with wage rigidity and application to Canada. ***Canadian Public Policy***, ***39***(Supplement 2), S53-S65

Ferris, A. E., Shadbegian, R. J., & Wolverton, A. (2014). The effect of environmental regulation on power sector employment: Phase I of the title IV SO2 trading program. ***Journal of the Association of Environmental and Resource Economists***, ***1***(4), 521-553

Gray, W. B., & Shadbegian, R. J. (2014). Do the job effects of regulation differ with the competitive environment. Does regulation kill jobs

Guo, D., Bose, S., & Alnes, K. (2017). Employment implications of stricter pollution regulation in China: theories and lessons from the USA. ***Environment, Development and Sustainability***, ***19***(2), 549-569

Joltreau, E., & Sommerfeld, K. (2016). Why does emissions trading under the EU ETS not affect firms' competitiveness? Empirical findings from the literature. ***Empirical Findings from the Literature (September 2016). ZEW-Centre for European Economic Research Discussion Paper***, (16-062).

Kahn, M. E., & Mansur, E. T. (2013). Do local energy prices and regulation affect the geographic concentration of employment?. ***Journal of Public Economics***, ***101***, 105-114

Liu, F., Xu, K., & Zheng, M. (2018). The effect of environmental regulation on employment in China: empirical research based on individual-level data. ***Sustainability***, ***10***(7), 2373.

Liu, H., & Lin, B. (2017). Cost-based modelling of optimal emission quota allocation. ***Journal of Cleaner Production***, ***149***, 472-484

Liu, M., Shadbegian, R., & Zhang, B. (2017). Does environmental regulation affect labor demand in China? Evidence from the textile printing and dyeing industry. ***Journal of Environmental Economics and Management***, ***86***, 277-294

Liu, M., Zhang, B., & Geng, Q. (2018). Corporate pollution control strategies and labor demand: evidence from China's manufacturing sector. ***Journal of Regulatory Economics***, ***53***(3), 298-326

Pisoni, E., & Volta, M. (2009). Modeling Pareto efficient PM10 control policies in Northern Italy to reduce health effects. ***Atmospheric Environment***, ***43***(20), 3243-324850.

Sheng, J., Zhou, W., & Zhang, S. (2019). The role of the intensity of environmental regulation and corruption in the employment of manufacturing enterprises: evidence from

Walker, W. R. (2011). Environmental regulation and labor reallocation: Evidence

from the Clean Air Act. ***American Economic Review***, ***101***(3), 442-47

Wang, Q., Zhao, L., Guo, L., Jiang, R., Zeng, L., Xie, Y., & Bo, X. (2019). A generalized Nash equilibrium game model for removing regional air pollutant. ***Journal of Cleaner Production***, ***227***, 522-531

Wu, M. W., & Shen, C. H. (2013). Corporate social responsibility in the banking industry: Motives and financial performance. ***Journal of Banking & Finance***, ***37***(9), 3529-3547

Xie, Y., Zhao, L., Xue, J., Hu, Q., Xu, X., & Wang, H. (2016). A cooperative reduction model for regional air pollution control in China that considers adverse health effects and pollutant reduction costs. ***Science of the Total Environment***, ***573***, 458-469

پیوست یک: متغیرهای استفاده شده در مدل

واحد	تعریف	پارامترها و متغیرها
بدون بعد	ضرایب کشش برای عوامل ورودی تولید در معادله ۱	a1, a2, a3, and a4
عدد	دستمزد شاغلان در کارگاه‌های صنعتی	Ai
میلیون ریال	هزینه کاهش سالانه آلاینده در کارگاه‌های صنعتی	AC
میلیون ریال	هزینه کاهش سالانه یک آلاینده مشخص در کارگاه‌های صنعتی	ACi
میلیون ریال	از مزایای کل مشارکت در کنترل آلودگی هوا کلیه استان‌های منطقه مورد مطالعه با الگوی اقتصاد سنجی مشارکتی	C(I)
میلیون ریال	مزایای دیگر ترکیب اتحاد وقتی استان i در کنترل آلودگی تعاونی شرکت نمی‌کند	C(I-(i))
–	برچسب متغیرهای مورد استفاده در تحلیل کنترل مشارکتی برای آلودگی هوا	c
میلیون ریال	موجودی سرمایه در کارگاه‌های صنعتی i	Ki
هزارنفر	کل اشتغال در کارگاه‌های مورد مطالعه	L
هزارنفر	اشتغال در صنعت i	L_i
$۱۰^{۳}$ تن/سال	کاهش سالانه آلاینده هوا در کارگاه صنعتیi	Pi
$۱۰^{۳}$ تن/سال	کاهش بهینه سالانه یک آلاینده در کارگاه صنعتیi	Pi*
$۱۰^{۳}$ تن/سال	مقررات ملی برای حداکثر انتشار سالانه یک آلاینده خاص در کارگاه صنعتیi	Pei
$۱۰^{۳}$ تن/سال	میزان آلاینده هوا سالانه که توسط کارگاه صنعتی i تولید می‌شود	P0i
$۱۰^{۳}$ تن/سال	میزان آلاینده هوا که سالانه توسط صنعت در استان تولید می‌شود	P1i
مترمکعب	انتشار گازهای پسماند صنعتی در کارگاه صنعتی i	Wi
میلیون ریال	منافع حاصل از کنترل جداگانه آلودگی هوا توسط استان i	Xi
میلیون ریال	مزایای استان i از کنترل آلودگی تحت الگوی اقتصاد سنجی مشارکتی	Zi*
میلیون ریال	حداکثر مزایای استان i از کنترل آلودگی تحت مدل اقتصاد سنجی مشارکتی	Zimax
میلیون ریال	حداقل مزایای استان i از کنترل آلودگی مشارکتی در مقایسه با مدل کنترل جداگانه	Zimin
–	توان کاهش سالانه میزان آلاینده هوا	μ
–	ضریب در معادله ۴	Θ

پیوست دو: تقسیم بندی کارگاه‌های صنعتی

گروه	بخش های دربرگیرنده
گروه اول (مواد مصرفی نهایی)	تولید فراورده‌های غذایی
	تولید انواع آشامیدنی‌ها
	تولید فراورده‌های توتون و تنباکو

	تولید منسوجات
	تولید پوشاک
	تولید داروها وفراورده های دارویی شیمیایی وگیاهی
گروه دوم (تولید مواد اولیه)	تولید چرم و فراورده های وابسته
	تولید چوب وفراورده های چوب وچوب پنبه
	تولید کاغذ و فراورده های کاغذی
	تولید کک و فراورده های حاصل از پالایش نفت
	تولید موادشیمیایی و فراورده های شیمیایی
	تولید فلزات پایه
گروم سوم (تولید محصول)	تولیدسایر فراورده های معدنی غیرفلزی
	تولیدفراورده های لاستیکی وپلاستیکی
	تولیدمحصولات فلزی ساخته شده، به جزماشین آلات وتجهیزات
	ساخت محصولات رایانه ای، الکترونیکی ونوری
	تولید تجهیزات برقی
	تولید مبلمان
	تولید وسایل نقلیه موتوری، تریلر ونیم تریلر
گروه چهارم (سایر تجهیزات و محصولات)	چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط شده
	تولید ماشین آلات و تجهیزات طبقه بندی نشده درجای دیگر
	تولید سایر تجهیزات حمل و نقل
	تولید سایر مصنوعات طبقه بندی نشده در جای دیگر
	تعمیر ونصب ماشین آلات و تجهیزات

سناریو	پارامترها	گروه اول		گروه دوم		گروه سوم		گروه چهارم		جمع چهار گروه	
		Li * ($x\ 10^3$)	ACi* ($x10^6$)	Li * ($x\ 10^3$)	ACi* ($x10^6$)	Li * ($x\ 10^3$)	ACi* ($x10^6$)	Li * ($x\ 10^3$)	ACi* ($x10^6$)	Li * ($x\ 10^3$)	ACi* ($x10^6$)
پایه	α=۰/۴ B=۰/۹ ϒ=۱/۳۰	۴/۶۷	۱۵.۳۷	۲۱۱/۵۷	۰/۶۶	۲۸/۶۳	۲/۲۹	۱/۷۲	۱/۲۰	۲۴۷/۹۳	۲۱/۰۲
تغییرات α	α=۰.۳ B=۰/۹ ϒ=۱/۳۰	۶/۱۵	۱۶.۷۸	۲۱۱/۵۷	۰/۶۶	۲۸/۷۲	۲/۳۳	۱/۶۳	۱/۲۷	۲۴۸/۰۹	۲۱/۰۵
	α=۰/۵ B=۰/۹ ϒ=۱/۳۰	۶/۰۲	۱۶.۶۷	۲۱۱/۵۷	۰/۶۶	۲۸/۶۶	۲/۳۰	۱/۶۲	۱/۲۸	۲۴۷.۸۹	۲۰/۹۲
تغییرات β	α=۰/۴ B =۰/۷ ϒ=۱/۳۰	۶/۱۸	۱۶.۸۱	۲۱۱/۵۷	۰/۶۶	۲۸/۶۳	۲/۲۹	۱/۶۲	۱/۲۸	۲۴۸/۰۳	۲۱/۰۵
	α=۰/۴ B =۰/۸ ϒ=۱/۳۰	۴/۵۹	۱۵.۲۹	۲۱۱/۵۷	۰/۶۶	۲۸/۷۰	۲/۳۲	۱/۶۶	۱/۲۴	۲۴۶/۵۴	۱۹/۵۳
تغییرات γ	α=۰/۴ B=۰/۹ ϒ=۱/۲۰	۶/۲۲	۱۶.۸۴	۲۱۱/۵۷	۰/۶۶	۲۸/۵۰	۲/۲۴	۱/۶۲	۱/۲۸	۲۴۷/۹۳	۲۱/۰۳
	α=۰/۴ B =۰/۹ ϒ=۱/۴۰	۵/۸۱	۱۶/۴۸	۲۱۱/۵۷	۰/۶۶	۲۸/۶۶	۲/۳۰	۱/۶۴	۱/۲۶	۲۴۷/۷۰	۲۰/۷۲

پیوست ۳: کدهای نرم افزار گمز برای حل مدل تحقیق

مدل یک

```
free variable AC object function
  variable P1, P2, P3, P4;
  set i goods /1*4/;
  table data(i,*)
     L0         AC0         P0         Pe
1    91.05      19.014      37.209     34.232
2    2144.92    0.686       130.362    119.933
3    282.1      2.125       62.885     57.854
4    15.18      1.38        36.564     31.799;
  parameter L0(i), AC0(i), P0(i), Pe(i);
  L0(i) = data(i,'L0');
  AC0(i) = data(i,'AC0');
  P0(i) = data(i,'P0');
  Pe(i) = data(i,'Pe');
  parameter gama, alpha, beta scaler parameter;
  gama = 1.3;
  alpha = 0.4;
  beta = 0.9;
  equation objective1 The minimization of the AC;
  equation eq1 The maximization of the Carbon;
  equation eq2, eq3 The amount of air pollutant annually generated by group 1;
  equation eq4, eq5 The amount of air pollutant annually generated by group 2;
  equation eq6, eq7 The amount of air pollutant annually generated by group 3;
  equation eq8, eq9 The amount of air pollutant annually generated by group 4;
  equation eq10 The amount of air pollutant annually generated;

objective1..AC=e=19.014*P1**(1/(39/500))+0.686*P2**(1/(1/100))+2.125*P3**0.022+(1.38*P4*
*(1/(53/1000)));
  eq1..sum(i,P0(i))-(P1+P2+P3+P4)=l=gama*sum(i,Pe(i));
  eq2..P1=g=alpha*37.209;
  eq3..P1=l=beta*37.209;
  eq4..alpha*130.36=l=P2;
  eq5..P2=l=beta*130.36;
  eq6..alpha*69.097=l=P3;
  eq7..P3=l=beta*69.097;
  eq8..alpha*34.564=l=P4;
  eq9..P4=l=beta*34.564;
  eq10.. P1+P2+P3+P4=g=(2.97+10.42+5.03+2.76);
  model Jalalzadeh /all/;
  Option dnlp=KNITRO;
  solve jalalzadeh minimazing AC using dNLP;
  display P1.l, P2.l, P3.l, P4.l;
```

مدل دوم

```
free variable La,AC object function
  variable P1, P2, P3, P4;
  set i goods /1*4/;
  table data(i,*)
```

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

```
     L0        AC0        P0        Pe
1    91.05     19.014     37.209    34.232
2    2144.92   0.686      130.362   119.933
3    282.1     2.125      62.885    57.854
4    15.18     1.38       36.564    31.799;
 parameter L0(i), AC0(i), P0(i), Pe(i);
 L0(i) = data(i,'L0');
 AC0(i) = data(i,'AC0');
 P0(i) = data(i,'P0');
 Pe(i) = data(i,'Pe');
 parameter gama, alpha, beta scaler parameter;
 gama = 1.3;
 alpha = 0.4;
 beta = 0.9;
 equation objective1 The maximization of the LL;
 equation objective2 The minimization of the AC;
 equation eq1 The maximization of the Carbon;
 equation eq2, eq3 The amount of air pollutant annually generated by group 1;
 equation eq4, eq5 The amount of air pollutant annually generated by group 2;
 equation eq6, eq7 The amount of air pollutant annually generated by group 3;
 equation eq8, eq9 The amount of air pollutant annually generated by group 4;
 equation eq10 The amount of air pollutant annually generated;

objective1..La=e=91.05*P1**0.245+2144.92*P2**(1/(1/250))+282.01*P3**0.004+15.18*P4**0.0
48;

objective2..AC=e=19.014*P1**(1/(39/500))+0.686*P2**(1/(1/100))+2.125*P3**0.022+(1.38*P4*
*(1/(53/1000)));
 eq1..sum(i,P0(i))-(P1+P2+P3+P4)=l=gama*sum(i,Pe(i));
 eq2..alpha*37.209=l=P1;
 eq3..P1=l=beta*37.209;
 eq4..alpha*130.36=l=P2;
 eq5..P2=l=beta*130.36;
```

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی