

# Taxation and Water Pollution Control of Industrial Activity: A Study of Sugar Industry

Mostafa Khajehhasani<sup>\*1</sup>, Javad Shahraki<sup>2</sup>, Mohammad Shahiki

Tash<sup>3</sup>

1. Ph.D Student, Department of Economics at the University of Sistan and Baluchestan, Iran, mostafa.khajehhasani@yahoo.com

2. Associate Professor, Department of Economics at the University of Sistan and Baluchestan, Iran, j.shahraki@eco.usb.ac.ir

3. Associate Professor, Department of Economics at the University of Sistan and Baluchestan, Iran, mohammad\_tash@eco.usb.ac.ir

Received: 2019/01/11 Accepted: 2020/05/13

## Abstract

The Sugar industry is one of the highest water-consuming industries and due to organic matter contaminations and high BOD index of its wastewater, it is one of the most water-polluting industries. It imposes costly externalities to society. This survey aimed first to assess environmental efficiency and marginal abatement costs of BOD and then to estimate marginal abatement cost function and calculate pigovian tax using regression analysis. The results show in order to be in compliance with Iran's national standard level of BODC, appropriate required pigouvian tax per kilogram of BOD for appropriate wastewater disposal to absorbent wells, surface waters and farmlands are respectively 739366, 739366 and 703069 Rials.

**JEL Classification:** C63 .H23 .P28 .Q01

**Keywords:** Shadow price, Pigouvian tax, SBM model, Environmental efficiency

---

\*. Corresponding Author, Tel: 09124250280

## مالیات‌گذاری و کنترل آلاینده‌گی آبی فعالیت صنعتی: مطالعه موردی صنعت قند و شکر

مصطفی خواجه‌حسنی رابری<sup>۱\*</sup>، جواد شهرکی<sup>۲</sup>، محمدنبی شهیکی تاش<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری رشته اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان،

mostafa.khajehhasani@yahoo.com

۲. دانشیار گروه اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، j.shahraki@eco.usb.ac.ir

۳. دانشیار اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، mohammad\_tash@eco.usb.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۴

### چکیده

صنعت تولید قند و شکر یکی از صنایع آبر کشور است. این صنعت با تولید فاضلاب‌های آلوده به مواد آلی و شاخص BOD بالا، یکی از آلاینده‌ترین صنایع منابع آبی کشور محسوب می‌شود. در صورتی که قبل از دفع این فاضلاب‌ها به محیط‌زیست اقدامات لازم جهت تصفیه آن‌ها صورت نگیرد، این صنعت می‌تواند هزینه‌های جانبی بسیاری را به جامعه تحمیل کند. در این راستا این مطالعه ابتدا با استفاده از مدل اولیه و دوگان SBM، به ترتیب کارایی محیط‌زیستی و هزینه‌های نهایی کاهش BOD را برآورد کرده و سپس برای تخمین مالیات پیگویی با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی به تخمین تابع هزینه‌های نهایی کاهش غلظت شاخص BOD پرداخته است. نتایج این مطالعه حاکی از آن هستند که به‌طور میانگین کارخانه‌های فعال در کشور از نظر محیط‌زیستی حدود ۴۰ درصد ناکارآمد عمل می‌کنند و میانگین قیمت سایه‌ای تولید هر کیلوگرم BOD در صنعت قند و شکر در حدود ۴۳۳۷۶۳ ریال می‌باشد. افزون بر این، نتایج حاصل شده از تحلیل رگرسیونی نشان می‌دهند که مالیات پیگویی لازم بر تولید یک کیلوگرم BOD و در نتیجه کاهش غلظت این شاخص تا سطح استاندارد تعیین شده در کشور برای دفع مناسب فاضلاب در چاه‌های جاذب، آب‌های سطحی و همچنین زمین‌های کشاورزی به ترتیب حدود ۷۳۹۳۶۶، ۷۳۹۳۶۶ و ۷۰۳۰۶۹ ریال خواهد بود.

طبقه‌بندی JEL: C63، H23، P28، Q01

واژه‌های کلیدی: قیمت سایه‌ای، مالیات پیگویی، مدل SBM، کارایی محیط‌زیستی

## ۱- مقدمه

با توجه به اینکه بخش بسیار زیادی از انتشارات آلاینده‌های صنعتی به صورت مایع و به شکل فاضلاب هستند، دفع بی‌رویه و رها کردن این آلاینده‌ها به محیط‌زیست و آبراه‌ها علاوه بر اینکه خطرات قابل ملاحظه‌ای برای اکوسیستم‌ها دارد، کیفیت حیات انسان‌ها را با ایجاد محدودیت بر دسترسی به منابع آبی پاک و با کیفیت تحت تأثیر قرار می‌دهد.

در میان صنایع فعال کشور، صنعت تولید قند و شکر که یکی از آب‌برترین صنایع است، با تولید فاضلاب‌های آلوده به مواد آلی یکی از آلاینده‌ترین صنایع منابع آبی کشور نیز محسوب می‌شود. دفع بی‌رویه آلاینده‌های آبی منتشر شده توسط این صنعت در زمین‌های زراعی، آب‌های سطحی و زیر زمینی می‌تواند موجب افزایش شاخص اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی ( $BOD^1$ ) این منابع شود. کاهش اکسیژن محلول در منابع آبی می‌تواند سبب افزایش بار میکروبی این منابع شود و در نتیجه هزینه‌های جانبی بسیاری را به جامعه تحمیل کند.

براساس اصل پنجاهم قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران، حفاظت از محیط‌زیست به مثابه این که نسل امروز و نسل‌های بعد باید از حیات اجتماعی رو به رشدی برخوردار باشند، وظیفه عمومی تلقی می‌شود. از این رو هرگونه فعالیت اقتصادی و غیره که با آلودگی محیط‌زیست و تخریب غیرقابل جبران آن ارتباط پیدا می‌کند، ممنوع می‌باشد، بنابراین تمامی کارخانه‌های تولیدکننده ملزم به اجرای این قوانین هستند. افزون بر این، با وجود آنکه قانون برنامه سوم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشور، تأکید بر آن داشته است که تمامی واحدهای صنعتی باید هزینه‌های مربوط به حفظ محیط‌زیست را جزو وظیفه‌های خود بدانند، فعالان این صنعت در طول این برنامه آنگونه که شایسته بوده است، به این امر نپرداخته‌اند.

پیگو<sup>۲</sup> در رابطه با دلایل این امر که چرا فعالان اقتصادی انگیزه‌های کافی برای کنترل انتشار آلاینده‌های خود ندارند، بیان می‌کند که صنایع تولیدکننده تنها به دنبال منفعت شخصی خود هستند و هیچ انگیزه‌ای برای درونی‌سازی هزینه‌های خارجی خود ندارند (پیگو، ۱۹۲۰). تفاوت میان منفعت نهایی شخصی و منفعت نهایی اجتماعی

---

1. Biological oxygen demand

2. Pigou

دارای دو نتیجه بسیار کلی است. اول، بخش دریافت‌کننده منافع اجتماعی ناشی از ایجاد آثار جانبی، منافع دریافت شده را جبران نمی‌کند، در مقابل بخشی که ایجادکننده زیان اجتماعی است نیز در پی جبران زیان‌دیده و یا زیان دیدگان نخواهد بود. دوم، هنگامی که زیان نهایی ناشی از تولیدات آلاینده از منفعت نهایی آن بیشتر باشد، تولیدکننده در سطحی بیش از سطح تولید آلاینده‌گی بهینه فعالیت خواهد کرد؛ بنابراین لازم است برای کنترل انتشار آلاینده‌گی در سطح بهینه، بر هر واحد تولید آلاینده مالیاتی وضع شود (پرمن و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱).

از آنجایی که امروزه سیستم‌های تصفیه، قادر به تصفیه فاضلاب با هر درجه‌ای از آلاینده‌گی هستند، می‌توان با اندیشیدن راهکارها و استفاده از ابزارهای مناسب، آثار جانبی ناشی از انتشار فاضلاب‌های آلاینده را داخلی کرد. در این راستا این پژوهش با طراحی ابزار مالیات پیگویی و تعیین مالیات مناسب بر آلاینده‌گی به بررسی امکان داخلی‌سازی آثار خارجی ناشی از تولید فاضلاب صنعت تولید قند و شکر پرداخته است.

## ۲- ادبیات پژوهش

### ۲-۱- پیشینه پژوهش

تا به حال مطالعات بسیاری در جهت داخلی‌سازی هزینه‌های جانبی و کنترل هزینه‌های انتشار آلاینده‌گی محیط‌زیستی توسط پژوهشگران مختلف صورت گرفته است که در ادامه به مهم‌ترین مطالعات خارجی و داخلی پرداخته شده است. بامول و اوتس<sup>۲</sup> (۱۹۷۱)، در مقاله خود به بررسی کاربرد استانداردها و قیمت‌ها برای حفاظت از محیط‌زیست پرداخته‌اند. بررسی آن‌ها نشان داد که معمولاً امکان برآورد دقیقی از تابع زیان اجتماعی ناشی از انتشار آلاینده و در عمل امکان تشخیص سطح انتشار کارآمد آلودگی از لحاظ اقتصادی وجود ندارد؛ لذا آن‌ها پیشنهاد کرده‌اند که ابتدا باید برای کیفیت محیط‌زیست مجموعه‌ای از استانداردهای پذیرفتنی تعیین کرد و سپس برای نیل به این سطوح از استانداردها، عوارضی در نظر گرفت. مورتی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۱ و ۲۰۰۶)، با استفاده از رهیافت‌های تابع فاصله، ابتدا قیمت سایه‌ای آلاینده‌های فاضلاب‌های ناشی از فعالیت صنعت تولید قند و شکر را مورد

1. Perman et al.  
2. Baumol & Oates  
3. Murty & Kumar

تخمین قرار داده‌اند. آن‌ها در مرحله بعد با استفاده از تحلیل رگرسیونی و تخمین تابع هزینه نهایی کنترل آلاینده‌گی، مالیات مرتبط با سطح استاندارد انتشار آلاینده‌گی را برآورد کرده‌اند.

خلیل<sup>۱</sup> (۲۰۱۲)، در مطالعه خود با استفاده از رهیافت تابع فاصله به تخمین هزینه‌های کاهش آلاینده‌گی ناشی از فعالیت صنعت نساجی کشور پاکستان پرداخته است. او بیان کرده است که ابزار مناسب کنترل آلاینده‌گی باید با هزینه کنترل آلاینده‌گی مرتبط باشد.

گواناواردنا و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۷)، هزینه‌های نهایی کاهش آلاینده‌گی صنایع آلوده کننده آب کلومبو<sup>۳</sup> را با رهیافت تکنولوژی تولید ترانسلوگ چند ستانده‌ای، چند نهاده‌ای تخمین زده‌اند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد که میزان انتشار فعلی صنایع با میزان انتشار استاندارد در این منطقه تفاوت دارد. همچنین هزینه‌های کنترل آلاینده‌گی صنعتی که استانداردها را پذیرفته‌اند، با سایر صنایع تفاوت معنی‌داری دارد.

جین و کومار<sup>۴</sup> (۲۰۱۸)، در مقاله خود با استفاده از رهیافت تابع فاصله در سه سناریوی برداری، هزینه‌های کنترل آلاینده‌گی انتشار دی اکسید کربن نیروگاه‌های تولید برق کشور هند که از سوخت ذغال سنگ استفاده می‌کردند را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج این مطالعه نشان داده که پراکندگی بالای هزینه‌های کنترل آلاینده‌گی کارخانه‌ها بیانگر ضرورت باز طراحی ابزارهای مناسب، برای کنترل آلاینده‌گی است.

امیر تیموری و همکاران (۱۳۹۳)، در مطالعه خود میزان بهینه اجتماعی گاز دی اکسید گوگرد ( $SO_2$ ) منتشر شده از مجتمع مس سرچشمه و مالیات بهینه بر آن را برآورد کرده‌اند. به این منظور آن‌ها دو منحنی خسارت نهایی و هزینه نهایی کاهش آلودگی را برآورد نموده‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مقدار بهینه اجتماعی انتشار این گاز تقریباً ۲۶۵۲۹/۶ تن در سال می‌باشد و برای کنترل انتشار این آلاینده در این سطح باید به ازای هر تن انتشار  $SO_2$  مالیاتی حدود ۱۲۸۱۵/۲ ریال وضع شود.

حسن‌لو و همکاران (۱۳۹۴)، در مطالعه خود با استفاده از تخمین تابع هزینه، میزان بهینه مالیات سبز بر انتشار دی اکسید کربن صنعت سیمان ایران را برآورد

- 
1. Khalil
  2. Gunawardena et al.
  3. Colombo
  4. Jain & Kumar

کرده‌اند. براساس نتایج به دست آمده، آن‌ها نشان داده‌اند که نرخ مالیات سبز مناسب بر انتشار دی‌اکسیدکربن در صنعت تولید سیمان برابر با ۱۵ درصد می‌باشد. با مرور مطالعات مرتبط فوق می‌توان دریافت که با وجود اهمیت بسیار موضوع آلاینده‌گی منابع آبی کشور، تا به حال هیچ مطالعه‌ای در زمینه درونی‌سازی هزینه‌های خارجی ناشی از انتشار فاضلاب‌های صنعت قند کشور صورت نگرفته است. افزون بر این مطالعات انجام شده مشابه در کشورهای دیگر نیز از نظر روش تحقیق با این مطالعه متفاوت هستند. همان‌طور که در بخش بعدی به آن پرداخته شده است، روش ناپارامتریک به کار گرفته شده در این مطالعه به محقق این امکان را می‌دهد که علاوه بر اینکه برای تخمین قیمت سایه‌ای فرم تبعی پیش‌فرض تکنولوژی را کنار بگذارد، کارایی مصرف هر کدام از نهاده‌ها و ستانده‌ها را مورد بررسی قرار دهد.

## ۲-۲- مبانی نظری پژوهش

همواره در روند فعالیت‌های اقتصادی، محصول ناخواسته و نامطلوب به همراه محصول مطلوب تولید می‌شود و می‌تواند هزینه‌های جانبی و یا خارجی بسیاری را به محیط‌زیست و در نتیجه جامعه تحمیل کند. در حال حاضر با توجه به رشد روزافزون جمعیت و محدودیت تکنولوژی نمی‌توان انتظار داشت که بدون مصرف منابع محیط‌زیستی و تولید آلاینده‌ها، مسیر رشد و توسعه اقتصادی طی شود. از آنجایی که مصرف بی‌رویه منابع محیط‌زیستی موجب کاهش کیفیت زندگی انسان‌ها و یا حتی از بین رفتن حیات بر روی زمین می‌شود، اقتصاددانان پیشنهاد می‌کنند که میزان انتشار آلاینده‌گی در سطحی بهینه و کارآمد باشد.

سطح کارآمد انتشار آلاینده‌گی، مقداری از انتشار است که در آن زیان نهایی برابر با منفعت نهایی حاصل از تولید و انتشار آلاینده‌گی باشد. یکی از راهکارهای رسیدن به سطح انتشار آلاینده‌گی کارآمد، استفاده از ابزار مالیات با نرخ معادل ارزش پولی خسارت نهایی آلودگی در سطح بهینه انتشار آلاینده‌گی، بر هر واحد آلودگی منتشر شده می‌باشد.

از آنجایی که اندازه‌گیری خسارات نهایی ناشی از انتشار آلاینده‌گی تقریباً غیرممکن است، قادر نخواهیم بود که سطح بهینه انتشار اقتصادی را تعیین کنیم. به همین دلیل ناچار به استفاده از روش‌های دیگری هستیم. در این راستا بامول و اوتز رهیافت مالیات-

استاندارد<sup>۱</sup> را برای تعیین سطح آلاینده‌گی هدف و مالیات مرتبط با آن مطرح کرده‌اند. آن‌ها بیان کرده‌اند "در صورتی که مقدار مالیات بر انتشار آلاینده‌گی برابر با هزینه نهایی کنترل آلاینده‌گی در سطح استاندارد تعیین شده باشد، کارخانه‌ها انگیزه و اجبار لازم را برای کنترل انتشار آلاینده در سطح استاندارد تعیین شده را خواهند داشت" (بامول و همکاران، ۱۹۸۸).

هزینه نهایی کنترل آلاینده‌گی و یا قیمت سایه‌ای که ممکن است به‌عنوان هزینه فرصت تولید یک واحد بیشتر محصول ناخواسته تفسیر شود، می‌تواند اطلاعات بسیار ارزشمندی را در جهت نیل به هدف درونی‌سازی آثار خارجی به همراه داشته باشد. همان‌طور که نمودار زیر نشان می‌دهد، به‌طور کلی پژوهشگران برای برآورد قیمت سایه‌ای محصولات نامطلوب و آلاینده از یکی از روش‌های پارامتریک و یا ناپارامتریک استفاده می‌کنند (یعقوبی و همکاران، ۲۰۱۶).



نمودار ۱. مهم‌ترین روش‌های شناخته شده برآورد قیمت سایه‌ای

هر کدام از روش‌های یاد شده در نمودار فوق دارای معایبی هستند. به‌طور مثال برای استفاده از روش‌های پارامتریک، به‌طور پیش فرض نیاز به تصریح فرم تبعی خاصی

داریم. علاوه بر این در صورتی که از مدل‌های مرزی قطعی پارامتریک و یا ناپارامتریک استفاده شود، مرز ترسیم شده توسط این مدل‌ها نسبت به وجود داده‌های پرت از حساسیت بسیار بالایی برخوردار هستند و این معایب می‌توانند بر رتبه‌بندی و قیمت سایه‌ای برآورد شده، اثرات قابل توجهی داشته باشند.

در این مطالعه برای جلوگیری از بروز معایب یادشده پس از آزمون و اخذ اطمینان از عدم وجود داده‌های پرت از روش ناپارامتریک مبتنی بر متغیرهای کمکی (SBM)<sup>۱</sup>، برای بررسی کارایی محیط‌زیستی و برآورد قیمت‌های سایه‌ای شاخص BOD، استفاده شده است. این روش علاوه بر اینکه مانند روش‌های پارامتریک نیازی به انتخاب فرم از پیش تعیین شده‌ای ندارد، برخلاف سایر روش‌های ناپارامتریک نسبت به تغییر واحد نیز پایا است (کوپر و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۶).

همان‌طور که در قسمت بعدی به‌طور کامل شرح داده شده است، بر اساس مطالعات مورتی و همکاران، پس از برآورد قیمت‌های سایه‌ای می‌توان با استفاده از رهیافت مالیات - استاندارد و تحلیل رگرسیونی میزان مالیات پیگویی مرتبط با سطح استاندارد انتشار آلاینده‌گی را برآورد کرد (مورتی و همکاران، ۲۰۰۱؛ مورتی و همکاران، ۲۰۰۶).

### ۳- روش پژوهش

#### ۳-۱- ارزیابی کارایی محیط‌زیستی و محاسبه قیمت سایه‌ای

برخلاف مدل‌های شعاعی<sup>۳</sup> اندازه‌گیری کارایی که بر اساس کاهش نسبی (افزایش) نهاده‌ها (ستانده‌ها) هنگامی که سطح ستانده‌ها (نهاده‌ها) ثابت هستند، مدل ارزیابی کارایی مبتنی بر متغیرهای کمکی (SBM) به‌طور مستقیم با مازاد نهاده<sup>۴</sup> (کاهش بالقوه نهاده بنگاه ناکارآمد) و کمبود ستانده<sup>۵</sup> (افزایش بالقوه در ستانده بنگاه ناکارآمد) بنگاه تولیدکننده که به آنها متغیر کمکی<sup>۶</sup> یا اسلک گفته می‌شود، ارتباط دارد. خواص مدل SBM عبارتند از:

1. Slacks Based Measure of Efficiency
2. Cooper et al.
3. Radial
4. Input Excess.
5. Output Shortfall
6. Slack Variable



۱- پایایی مدل هنگام تغییر واحدهای اندازه‌گیری نهاده‌ها و ستانده‌های بنگاه. به این معنا که تغییر واحد مقدار نهاده و ستانده از کیلوگرم به تن اثری در نتایج حاصل شده نداشته باشد. به‌طور کلی این خاصیت که اگر نهاده‌های تولید نام بنگاه  $(x_{ik})$  با  $Z_i x_{ik} = \hat{x}_{ik}$  و همچنین ستانده‌های نام بنگاه  $(y_{jk})$  تولید با  $c_j y_{jk} = \hat{y}_{jk}$  تعویض شوند و ضرایب  $Z_i$  و  $c_j$  مقادیری ثابت و مثبتی باشند (ضرایب تبدیل واحد) تغییری در نتایج حاصل از تخمین حاصل نگردد، برای تخمین و محاسبه کارایی محیط‌زیستی و هزینه نهایی کنترل آلاینده‌گی بسیار ضروری می‌باشد.

۲- مقدار کارایی در این مدل نسبت به هر متغیر کمکی کاهشی و یکنواخت است.

۳- مقادیر به‌دست آمده از حل مدل، وابسته به مجموعه مرجع هستند و بر اساس مرز کارایی تخمینی تعیین می‌شوند. مدل‌های SBM به سه دسته نهاده محور، ستانده محور و بدون گرایش تقسیم می‌شود. مدل بدون گرایش که در این مطالعه مورد استفاده قرار می‌گیرد شامل هر دو مدل‌های نهاده محور و ستانده محور می‌شود و به ما اجازه می‌دهد که به‌طور همزمان مازاد نهاده و کمبود ستانده را مورد ارزیابی قرار دهیم (تن، ۱؛ ژو، ۲، ۲۰۰۱).

فرض کنید که مجموعه بنگاه‌های فعال اقتصادی  $k = (1, 2, \dots, K)$  با استفاده از  $I$  نهاده  $(x_i)$ ،  $J$  ستانده مطلوب  $(y_j^g)$  و  $L$  ستانده نامطلوب  $(y_l^b)$  تولید می‌کنند. به‌طوری که برای هر بنگاه<sup>۳</sup>:

$$DMU_k : x = (x_1, x_2, \dots, x_I) \in \mathcal{R}_+^I, \quad y^g = (y_1^g, y_2^g, \dots, y_J^g) \in \mathcal{R}_+^J, \quad (1)$$

$$y^b = (y_1^b, y_2^b, \dots, y_L^b) \in \mathcal{R}_+^L$$

در نتیجه مجموعه امکانات تولید  $P$ ، با فرض بازده نسبت به مقیاس ثابت<sup>۴</sup> (CRS)

و با تعریف  $\lambda_k$  به‌عنوان متغیر شدت، می‌تواند به صورت رابطه (۲) تعریف شود:

$$P = \left\{ (x, y^g, y^b) \mid \begin{aligned} x &\geq \sum_{k=1}^K \lambda_k x_k, & y^g &\leq \sum_{k=1}^K \lambda_k y_k^g, \\ y^b &\geq \sum_{k=1}^K \lambda_k y_k^b, & \lambda_k &\geq 0. \end{aligned} \right. \quad (2)$$

1. Tone
2. Zhu
3. Decision Making Unit (DMU)
4. Constant Returns to Scale

فرض CRS برای مقایسه بنگاه‌های فعال در یک محیط رقابتی با در نظر گرفتن درجه بالایی از انعطاف‌پذیری در استفاده از تکنولوژی‌های مختلف تولید قابل توجیه خواهد بود. علاوه بر این در نظر گرفتن این فرض سبب می‌شود که تفاوت‌ها تکنولوژیکی و مهارت‌های مدیریتی تولید هر بنگاه اقتصادی نسبت به سایرین تمییز بیشتری داشته باشد (کوپر و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶).

حال با استفاده از تعریف تکنولوژی محیط‌زیستی فوق می‌توان از مدل غیرخطی تحلیل پوششی داده‌های بدون گرایش SBM که به صورت رابطه زیر نشان داده می‌شود برای محاسبه کارایی محیط‌زیستی و مقادیر کمبود ستانده‌ها و مازاد نهاده‌ها استفاده کرد.

$$\rho_0^* = \text{Min} \frac{1 - \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \frac{s_i^x}{x_{io}}}{1 + \frac{1}{J+L} \left( \sum_{j=1}^J \frac{s_j^g}{y_{jo}} + \sum_{l=1}^L \frac{s_l^b}{y_{lo}} \right)}$$

s.t.

$$x_{io} = \sum_{k=1}^K \lambda_k x_{ik} + s_i^x; i = 1, 2, \dots, I.$$

$$y_{jo}^g = \sum_{k=1}^K \lambda_k y_{jk}^g - s_j^g; j = 1, 2, \dots, J. \quad (3)$$

$$y_{lo}^b = \sum_{k=1}^K \lambda_k y_{lk}^b + s_l^b; l = 1, 2, \dots, L.$$

$$\lambda_j \geq 0; k = 1, 2, \dots, K.$$

$$s_i^x, s_j^g, s_l^b \geq 0.$$

در رابطه فوق  $\rho_0^*, s_i^x, s_j^g, s_l^b$  به ترتیب نشان‌دهنده مازاد ستانده نامطلوب، کمبود ستانده مطلوب، مازاد نهاده و مقدار کارایی محیط‌زیستی بنگاه اقتصادی O هستند. مقدار تابع هدف یا کارایی محیط‌زیستی به‌دست آمده از رابطه فوق عددی مابین صفر و

1. Cooper et al.

یک می‌باشد ( $0 \leq \rho_O^* \leq 1$ ). این مقدار به‌طور آشکار با مقادیر اسلک‌های ستانده رابطه‌ای کاهشی دارد.

در صورتی که بنگاه در روی مرز کارآمد محیط‌زیستی فعالیت کند و مقدار کارایی به حداکثر خود برسد ( $\rho_O^* = 1$ )، مقادیر اسلک‌ها برابر با صفر خواهد شد ( $s_i^x = s_j^g = s_l^b = 0$ ). در این صورت می‌توان انعکاس بنگاه‌های ناکارآمد بر روی مرز کارا را به‌صورت روابط زیر نشان داد:

$$\begin{aligned} x_{io} - s_i^x &\rightarrow x_{io}^* \\ y_{jo}^g + s_j^g &\rightarrow y_{jo}^{g*} \\ y_{lo}^b - s_l^b &\rightarrow y_{lo}^{b*} \end{aligned} \quad (4)$$

مقادیر  $x_{io}^*, y_{jo}^{g*}, y_{lo}^{b*}$  نشان‌دهنده نقطه انعکاس بنگاه ناکارآمد  $O$  است و گویای آن است که این بنگاه می‌تواند با صرفه‌جویی در مصرف نهاده‌ها و تولید ستانده نامطلوب به همراه افزایش تولید ستانده مطلوب، خود را به مرز تولید برساند. به این ترتیب مقادیر کارایی در استفاده از هر نهاده تولید بنگاه  $O$  ( $IE_O$ )، مقادیر کارایی در تولید هر ستانده نامطلوب بنگاه  $O$  ( $UOE_O$ ) و مقادیر کارایی در تولید هر ستانده مطلوب و برنامه‌ریزی شده بنگاه  $O$  ( $DOE_O$ ) را می‌توان به‌ترتیب توسط روابط زیر نشان داد (هو و وانگ<sup>۴</sup>، ۲۰۰۶).

$$\begin{aligned} IE_O &= \frac{x_{io} - s_i^x}{x_{io}} \\ UOE_O &= \frac{y_{lo}^b - s_l^b}{y_{lo}^b} \\ DOE_O &= \frac{y_{jo}^g - s_j^g}{y_{jo}^g} \end{aligned} \quad (5)$$

- 
1. Input efficiency
  2. Undesirable Output Efficiency
  3. Desirable Output Efficiency
  4. Hu & Wang

مقادیر  $DOE_0, UOE_0, IE_0$  بین صفر و یک هستند. هر چه این مقادیر به یک نزدیک‌تر باشند استفاده از نهاده‌ها و تولید ستانده‌ها به صورت کارآمدتری انجام می‌شود (سسچینی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۸).

برای تخمین و ارزیابی هزینه‌های نهایی کنترل آلاینده‌گی و یا به عبارت دیگر قیمت‌های سایه‌ای انتشار هر آلاینده‌گی ما ابتدا رابطه غیرخطی ۳ را به صورت مسئله‌ای خطی بازنویسی کرده و سپس همان‌طور که رابطه ۶ نشان می‌دهد از دوگان این مدل برای این منظور استفاده می‌شود (چوی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۲).

$$\theta_0^* = \text{Max} \sum_{j=1}^J \pi_j^{y^g} y_{j0}^g - \sum_{l=1}^L \pi_l^{y^b} y_{l0}^b - \sum_{i=1}^I \pi_i^x x_{i0}$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^J \pi_j^{y^g} y_{jk}^g - \sum_{l=1}^L \pi_l^{y^b} y_{lk}^b - \sum_{i=1}^I \pi_i^x x_{ik} \leq 0, k = 1, 2, \dots, K;$$

$$\pi_i^x \geq \frac{1}{I} \left( \frac{1}{x_{i0}} \right), i = 1, 2, \dots, I; \quad (۶)$$

$$\pi_l^{y^b} \geq \frac{1 + \sum_{j=1}^J \pi_j^{y^g} y_{j0}^g - \sum_{l=1}^L \pi_l^{y^b} y_{l0}^b - \sum_{i=1}^I \pi_i^x x_{i0}}{J + L} \left( \frac{1}{y_{l0}^b} \right), l = 1, 2, \dots, L;$$

$$\pi_j^{y^g} \geq \frac{1 + \sum_{j=1}^J \pi_j^{y^g} y_{j0}^g - \sum_{l=1}^L \pi_l^{y^b} y_{l0}^b - \sum_{i=1}^I \pi_i^x x_{i0}}{J + L} \left( \frac{1}{y_{j0}^g} \right), j = 1, 2, \dots, J;$$

در رابطه فوق قیمت‌های مجازی  $\pi_i^x$ ،  $\pi_j^{y^g}$  و  $\pi_l^{y^b}$  هستند. با استفاده از قیمت‌های مجازی به دست آمده از رابطه فوق می‌توان قیمت‌های سایه‌ای ستانده‌های نامطلوب را به صورت رابطه زیر تخمین زد. در این رابطه  $P_j$  و  $P_l$  به ترتیب قیمت‌های سایه‌ای ستانده مطلوب و نامطلوب هستند. در صورتی که قیمت بازاری ستانده مطلوب  $j$  برابر قیمت سایه‌ای آن فرض شود، می‌توان با استفاده از رابطه ۷ قیمت سایه‌ای آلاینده  $l$  را محاسبه کرد (لی و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۶).

1. Cecchini et al.
2. Choi et al.
3. Li et al.

$$P_1 = P_j \times \frac{\pi_1^{y_b}}{\pi_j^{y_g}} \quad (7)$$

### ۳-۲- تعیین نرخ مالیات محیط‌زیستی

براساس گزارش وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی کشور، میزان استاندارد غلظت شاخص BOD در هر لیتر آب دفع شده<sup>۱</sup> (BODC) به ترتیب جدول زیر می‌باشد.

جدول ۱. استاندارد رهاسازی و دفع فاضلاب‌های صنعتی در ایران

آلاینده	واحد	تخلیه آب‌های سطحی	تخلیه به چاه جاذب	مصارف کشاورزی و آبیاری
استاندارد BODC	میلی گرم-لیتر	۳۰	۳۰	۱۰۰

منبع: وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی معاونت سلامت مرکز سلامت محیط و کار.

در این مقاله مانند مطالعه مورتی و همکاران برای آنکه بتوان به قیمت سایه‌ای مرتبط با این سطح از BOD دست پیدا کرد، ابتدا باید به ترتیب رابطه زیر تابع هزینه نهایی کاهش و یا کنترل آلاینده را تخمین زد (مورتی و همکاران، ۲۰۰۶).

$$\ln SPBOD = \alpha + \beta_{ww} \ln WW + \beta_{BODC} \ln BODC \quad (8)$$

در رابطه فوق  $\ln SPBOD$ ،  $\ln WW$  و  $\ln BODC$  عبارتند از مقادیر لگاریتم طبیعی به ترتیب قیمت سایه‌ای BOD، مقدار فاضلاب و مقدار غلظت شاخص BOD (میلی گرم-لیتر).

پس از اضافه کردن جزء باقیمانده به رابطه فوق، این رابطه را با استفاده از تخمین‌زن حداقل مربعات معمولی<sup>۲</sup> برآورد می‌کنیم. پارامتر برآورد شده  $\beta_{BODC}$  گویای آن خواهد بود که اگر یک درصد غلظت شاخص BOD تغییر کند، میزان تغییرات قیمت سایه‌ای شاخص BOD چند درصد خواهد بود.

با استفاده از اختلاف میانگین شاخص BODC صنعت تولید قند و شکر کشور و میزان استاندارد تعیین شده آن که نشان‌دهنده میزان کاهش مورد نیاز این شاخص برای رسیدن به سطح استاندارد است و با استفاده از  $\beta_{BODC}$  به دست آمده از تخمین

1. BOD Concentration  
2. Ordinary Least Squares

رابطه ۸، می‌توان به مقدار مالیات مورد نیاز بر BOD برای کنترل غلظت این شاخص در سطح استاندارد دست یافت.

#### ۴- داده‌های تحقیق

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه که خلاصه آن‌ها در جدول ۲ نمایش داده شده‌اند مربوط به اطلاعات ۳۶ کارخانه تولیدکننده قند و شکر از چغندر قند (بهاره) و نیشکر در سال ۱۳۹۶ می‌باشد. بخش اول این اطلاعات که توسط انجمن صنفی کارخانه‌های تولیدکنندگان قند و شکر ایران و سامانه اصلی اطلاع‌رسانی ناشران بورس اوراق بهادار ایران جمع‌آوری می‌شوند، شامل (۱) مقدار مصرف مواد اولیه (مقدار چغندر قند و نیشکر)، (۲) تعداد نیروی کار، (۳) مقدار گاز مصرفی (میانگین نیاز مصرفی روزانه گاز × تعداد روز کار کارخانه)، (۴) مقدار تولید کل قند و شکر و (۵) میزان ضایعات قندی حاصل از روند تولید هستند.

بخش دوم اطلاعات که شامل داده‌های محیط‌زیستی هستند عبارتند از:

(۱) نیاز اکسیژن خواهی بیولوژیکی فاضلاب (BOD): در این مطالعه میزان BOD بر اساس مطالعه دی ولتر<sup>۲</sup> و با استفاده از رابطه زیر به دست آمده است.

$$1 \text{ g sugar} = 0.75 \text{ g BOD}$$

قائده سر انگشتی فوق بیانگر آن است که هر گرم ضایعات قندی موجود در فاضلاب تولید شده می‌تواند ۰/۷۵ گرم BOD تولید کند (دی ولتر، ۱۹۷۲).

(۲) میزان فاضلاب تولیدی: براساس مقاله احمدی و همکاران به‌طور میانگین ضریب تولید فاضلاب کارخانه‌های تولیدکننده قند و شکر کشور به ازای هر تن مصرف مواد اولیه چغندر قند و نیشکر به‌ترتیب برابر با ۵ و ۳ متر مکعب می‌باشد. با توجه به یافته‌های این مطالعه، میزان تولید فاضلاب هر کارخانه به ازای هر تن مصرف مواد اولیه به دست آمده است (احمدی و همکاران، ۱۳۸۴).

(۳) میزان غلظت BOD در هر واحد فاضلاب (BODC) نیز با استفاده از نسبت مقدار BOD به حجم فاضلاب تولیدی هر کارخانه محاسبه شده است.

1. BOD Load.

2. De vletter

جدول ۲. خلاصه آمار تولید صنعت قند و شکر در سال ۱۳۹۶

متغیر	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	جمع
ماده اولیه	چغندر	۵۶	۵۷۴	۲۶۷	۱۳۸	۷۲۰۱
	نیشکر	۵۷۶	۱۶۰۳	۸۲۴	۲۹۰	۷۴۱۲
نیروی کار	نفر	۱۶۵	۲۶۶۰	۵۷۶	۴۹۴	۲۰۷۴۰
گاز مصرفی	میلیون مترمکعب	۳/۸۸۰	۱۱۲/۰۹۷	۲۴/۴۰۹	۱۹/۶۰۰	۸۷۸/۷۳۶
قند و شکر	هزار تن	۷	۱۸۲	۵۳	۳۵	۱۹۲۲
مقدار ضایعات قندی	هزار تن	۰/۳۱۱	۵/۴۷۴	۱/۳۵۲	۰/۹۲۳	۴۸/۶۸۱
BOD	هزار تن	۰/۲۳۴	۴/۱۰۶	۱/۰۱۴	۰/۶۹۲	۳۶/۵۱۱
مقدار فاضلاب	هزار متر مکعب	۲۸۰	۲۸۶۸	۱۵۱۸	۷۳۴	۴۸۵۷۶
BODC	میلیگرم/لیتر	۳۹۴	۱۰۳۱	۶۲۳	۱۴۴	---

منبع: یافته‌های تحقیق

## ۵- نتیجه‌گیری و بحث

## ۵-۱- تخمین مرز کارا، محاسبه کارایی محیط‌زیستی

به علت آنکه در مدل‌های مختلف تحلیل پوششی داده‌ها این امکان وجود دارد که مجموعه مرجع تشکیل دهنده مرز کارا از مشاهدات پرت تأثیر بسیاری بپذیرد و این تأثیرات، نتایج مطالعه را تحت تأثیر خود قرار دهند ابتدا باید داده‌های مورد استفاده را برای اطمینان از عدم وجود داده‌های پرت، مورد آزمون قرار داد. در این مطالعه برای شناسایی مشاهدات پرت از آزمون ابر داده<sup>۱</sup> (DCM) استفاده شده است و نتایج آن در جدول و نمودار زیر نمایش داده شده‌اند (ویلسون<sup>۲</sup>، ۱۹۹۳؛ بوگتوفت و اتو<sup>۳</sup>، ۲۰۱۱؛ بوگتوفت و همکاران، ۲۰۱۵).

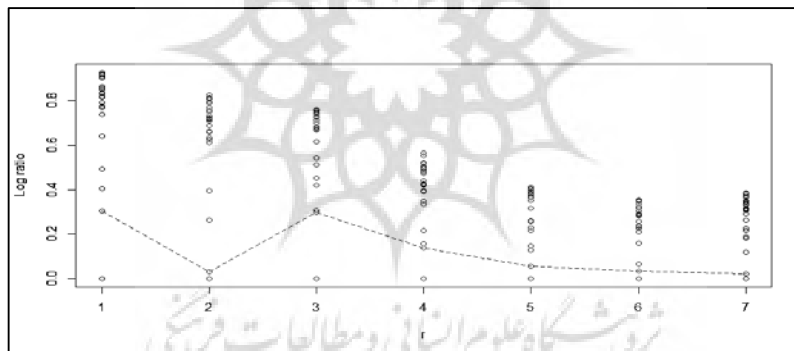
1. Data cloud method.
2. Wilson.
3. Bogetoft & Otto

جدول ۳. نتایج آزمون ابر داده برای انتخاب مجموعه مشاهدات پرت

$R_{\min}^{(r)}$	مشاهدات پرت (به ترتیب شماره کارخانه)						تعداد اعضای مجموعه مشاهدات پرت ( $r$ )
۰/۳۷۳۹						۲۹	۱
۰/۱۵۲۹					۲۹	۲۸	۲
۰/۰۶۰۳				۳۲	۲۹	۲۸	۳
۰/۰۳۱۴				۳۲	۳۰	۲۹	۴
۰/۰۱۷۵			۳۶	۳۲	۳۰	۲۹	۵
۰/۰۰۹۹		۳۴	۳۲	۳۱	۳۰	۲۹	۶
۰/۰۰۵۲	۳۵	۳۴	۳۲	۳۱	۳۰	۲۹	۷

منبع: یافته‌های تحقیق

این جدول نشان‌دهنده آن است که اگر بخواهیم مجموعه‌ای از داده‌های پرت را حذف کنیم، این مجموعه شامل چه مشاهداتی خواهد بود. در این جدول  $R$  نمایانگر حجم ابر داده، پس از حذف  $r$  مشاهده است. ویلسون پیشنهاد کرد که برای انتخاب تعداد اعضای مجموعه مشاهدات پرت از نمودار زیر استفاده شود.

نمودار ۲. نسبت لگاریتمی  $R^{(r)}$  به  $R_{\min}^{(r)}$  برای تعیین تعداد مشاهدات پرت

همان‌طور که نمودار ۲ نشان می‌دهد، بیشترین فاصله مقادیر  $\log\left(\frac{R^{(r)}}{R_{\min}^{(r)}}\right)$  از محور

افقی ( $r$ )، مربوط به حذف مجموعه‌ای که شامل سه مشاهده است می‌باشد و با حذف این سه مشاهده، حجم ابر داده به کم‌ترین مقدار خود می‌رسد. با مراجعه به جدول ۳



می‌توان مشاهده کرد که کارخانه‌های ۲۸، ۲۹ و ۳۲ به‌عنوان مشاهده پرت شناخته می‌شوند و باید از مجموعه داده‌ها حذف شوند.

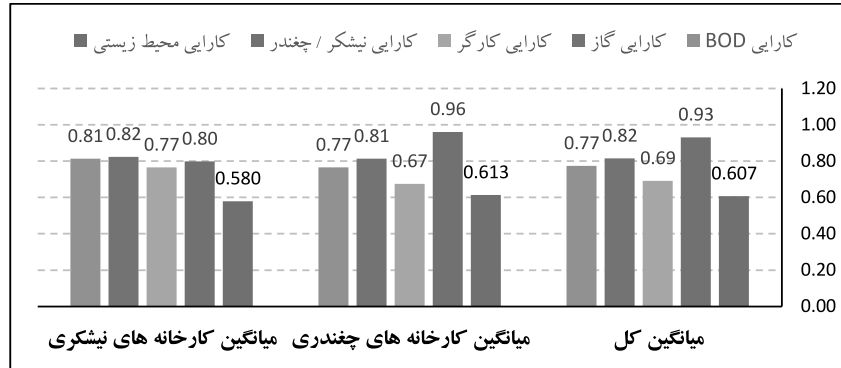
پس از حذف مشاهدات پرت، با استفاده از روش SBM غیرخطی که در رابطه ۳ نشان داده شده است، نمرات کارایی محیط‌زیستی، مقادیر کمبود تولید قند و شکر و مازاد نهاده‌های تولید، به‌همراه مازاد تولید محصول نامطلوب مورد محاسبه قرار گرفته و مقادیر میانگین نتایج در جدول زیر نشان داده شده است. این نتایج گویای آن هستند که به‌طور میانگین کارخانه‌های فعال کشور از نظر محیط‌زیستی حدود ۴۰ درصد ناکارآمد فعالیت می‌کنند و به‌طور متوسط هر کارخانه می‌تواند با صرفه‌جویی در مصرف مواد اولیه (نیشکر/چغندر/قند)، کارگر و گاز به ترتیب حدود ۳۵۱۹۳ تن، ۱۵۸ نفر کارگر و ۳۸۳۴ هزار متر مکعب و همچنین کاهش تولید ستانده نامطلوب در حدود ۱۸۹ تن خود را به مرز کارا برساند.

جدول ۴. میانگین میزان کارایی محیط‌زیستی و مقادیر کمبود ستانده مطلوب، مازاد ستانده نامطلوب و نهاده‌های مصرفی

کارخانه	کارایی	مازاد نهاده (هزار تن، نفر، میلیون متر مکعب)			کمبود ستانده (هزار تن)	مازاد ستانده نامطلوب (هزار تن)
		نیشکر/چغندر	کارگر	گاز		
میانگین چغندری	۰/۶۱۳	۸/۹۱۰	۱۲۴	۳/۱۴۹	۰	۰/۱۷۱
میانگین نیشکری	۰/۵۸۰	۱۵۳/۴۶۵	۳۱۰	۶/۹۱۸	۰	۰/۲۷۰
میانگین کل	۰/۶۰۷	۳۵/۱۹۳	۱۵۸	۳/۸۳۴	۰	۰/۱۸۹

منبع: یافته‌های تحقیق

در مرحله بعدی با استفاده از مجموعه روابط ۵ مقادیر کارایی در تولید ستانده‌های مطلوب و نامطلوب و همچنین مقادیر کارایی در مصرف هر کدام از نهاده‌های کارخانه‌های تولیدکننده، محاسبه و نتایج آن در نمودار ۳ نشان داده شد.



نمودار ۳. میانگین مقادیر کارایی محیط‌زیستی، نهاده‌های مصرفی و BOD

نتایج نمودار فوق نشان می‌دهد که باوجود اینکه کارخانه‌های چغندری از مقدار کارایی محیط‌زیستی بالاتری برخوردار هستند، کارخانه‌های نیشکری در تولید مقدار محصول نامطلوب کارآمدتر بوده و صرفه‌جویی بیشتری داشته‌اند. در معیار کارایی محیط‌زیستی کلی، کارخانه‌های کارآمدتر عمل می‌کند که همزمان با بیشترین تولید ستانده مطلوب، کم‌ترین استفاده از نهاده‌های مصرفی و کم‌ترین تولید ستانده نامطلوب را داشته باشد. همان‌طور که در ستون‌های نارنجی رنگ نمودار ۳ ملاحظه می‌شود، مهم‌ترین دلیل آنکه کارخانه‌های نیشکری کارایی محیط‌زیستی کم‌تری از خود نشان می‌دهند می‌تواند عیار پایین‌تر مواد اولیه آن‌ها یعنی نیشکر باشد.

در رابطه با کارایی مصرف در دیگر نهاده‌ها، می‌توان مشاهده کرد که این کارخانه‌ها از نظر کارایی در مصرف گاز تفاوت معناداری از خود نشان نمی‌دهند. علاوه بر این، نمودار نشان می‌دهد که کارخانه‌های چغندری نسبت به نیشکری در به‌کارگیری از نیروی کار حدود ۱۰ درصد کارآمدتر عمل می‌کنند.

#### ۵-۲- برآورد قیمت‌های سایه‌ای

همان‌طور که در قسمت روش پژوهش عنوان شد، برای تخمین مالیات پیگویی بر تولید BOD، ابتدا باید هزینه نهایی ناشی از کنترل و یا قیمت سایه‌ای BOD را محاسبه کرد. به این منظور ابتدا برای محاسبه قیمت‌های مجازی، از رابطه ۶ که همان دوگان مدل خطی شده رابطه ۳ می‌باشد، استفاده شده و سپس با استفاده از نتایج به‌دست

آمده و در نظر گرفتن قیمت مصوب ۲۷۲۲۰ ریالی شکر در سال ۱۳۹۶ و جایگذاری آن‌ها در رابطه ۷، قیمت سایه‌ای BOD هر کارخانه محاسبه شده است. همان‌طور که جدول ۵ نشان می‌دهد، میانگین قیمت سایه‌ای BOD کارخانه‌های تولید کننده برابر با ۴۳۳۷۶۳ ریال-کیلوگرم است. این مقدار نشان می‌دهد که کارخانه‌های فعال در این صنعت برای کاهش تولید یک کیلوگرم BOD به‌طور میانگین باید از حدود ۴۳۳۷۶۳ ریال درآمد ناشی از فروش قند و شکر صرف‌نظر کنند.

جدول ۵. قیمت سایه‌ای BOD هر کارخانه واحد: ریال/کیلوگرم

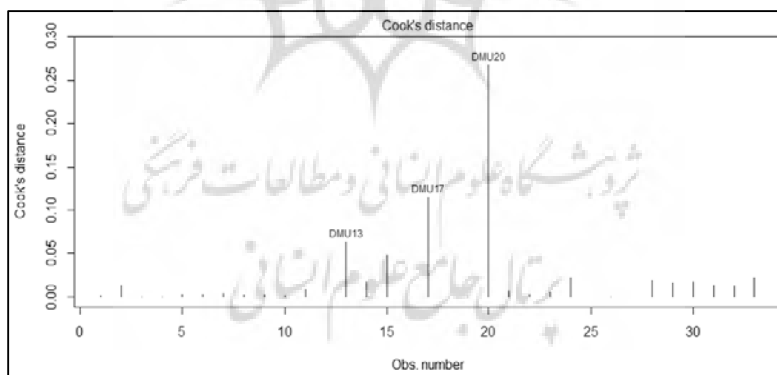
کارخانه	قیمت سایه‌ای	کارخانه	قیمت سایه‌ای
کارخانه ۱	۳۳۰,۵۱۷	کارخانه ۱۸	۳۷۰,۸۰۸
کارخانه ۲	۲۹۰,۴۱۵	کارخانه ۱۹	۴۵۳,۹۰۶
کارخانه ۳	۳۹۳,۸۹۹	کارخانه ۲۰	۴۲,۵۱۶
کارخانه ۴	۲۴۵,۸۵۸	کارخانه ۲۱	۲۶۹,۸۷۱
کارخانه ۵	۲۷۸,۶۱۰	کارخانه ۲۲	۲۵۵,۵۶۴
کارخانه ۶	۲۸۰,۵۸۰	کارخانه ۲۳	۳۶۹,۳۶۴
کارخانه ۷	۲۲۶,۳۳۰	کارخانه ۲۴	۲۸۹,۷۶۵
کارخانه ۸	۳۳۵,۵۶۷	کارخانه ۲۵	۵۰۹,۸۴۷
کارخانه ۹	۳۱۶,۷۹۱	کارخانه ۲۶	۴۷۲,۰۷۵
کارخانه ۱۰	۶۰۰,۶۹۳	کارخانه ۲۷	۳۸۱,۷۶۷
کارخانه ۱۱	۳۲۴,۳۳۵	کارخانه ۲۸	۵۶۳,۹۰۵
کارخانه ۱۲	۴۶۵,۷۴۵	کارخانه ۲۹	۵۶۹,۵۰۶
کارخانه ۱۳	۱,۰۰۳,۷۷۲	کارخانه ۳۰	۵۵۸,۳۸۴
کارخانه ۱۴	۲۷۹,۷۵۳	کارخانه ۳۱	۵۸۰,۹۳۴
کارخانه ۱۵	۷۸۸,۵۳۴	کارخانه ۳۲	۵۵۵,۷۹۷
کارخانه ۱۶	۳۴۳,۶۴۳	کارخانه ۳۳	۵۵۸,۶۹۹
کارخانه ۱۷	۱,۰۰۶,۴۲۹	میانگین قیمت سایه‌ای	۴۳۳,۷۶۳
حداکثر قیمت سایه‌ای	۱,۰۰۶,۴۲۹	انحراف معیار قیمت سایه‌ای	۲۰۵,۰۴۱

منبع: یافته‌های تحقیق

همان‌طور که جدول فوق درج شده است حداکثر قیمت سایه‌ای متعلق به کارخانه ۱۷ است، در صورتی که این کارخانه به مقدار یک کیلوگرم از تولید BOD خود بکاهد، باید از درآمدی حدود یک میلیون ریال صرف نظر کند. در صورتی که حداکثر قیمت سایه‌ای به‌عنوان مالیات وضع شده برای این صنعت در نظر گرفته شود، سایر کارخانه‌ها نیز مجبور می‌شوند با کاهش تولید و یا افزایش کارایی محیط‌زیستی سطح تولید آلاینده‌گی خود را تا جایی که هزینه‌های کنترل آلاینده‌گیشان برابر مالیات وضع شده باشد، کاهش دهند؛ اما این امکان وجود دارد که این سطح از تولید آلاینده‌گی از سطح بهینه خود فاصله داشته باشد.

### ۳-۵- تعیین نرخ مالیات محیط‌زیستی

همان‌طور که رابطه ۸ نشان می‌دهد برای برآورد  $\beta$ BODC و در نتیجه تعیین مالیات پیگویی مرتبط با سطح استاندارد، ابتدا باید تابع هزینه نهایی کنترل آلاینده را تخمین زد. یکی از روش‌های اطمینان از عدم وجود مشاهدات پرت در تحلیل‌های رگرسیونی چند متغیره روش فاصله کوک<sup>۱</sup> ( $D_i$ ) است. در این روش شناسایی، با محاسبه  $D_i$  هر کدام از مشاهدات، داده‌های پرت مورد شناسایی قرار می‌گیرند (کوک، ۱۹۷۹؛ کوک ۱۹۸۲).



نمودار ۴. فواصل کوک محاسبه شده برای هر کارخانه

1. Cook's distance

با توجه به اینکه مقدار فاصله کوک کارخانه‌های ۲۰، ۱۷ و ۱۳ بیش از ۰/۰۵ هستند و این مقادیر فاصله قابل توجهی با فاصله کوک سایر مشاهدات دارند، آن کارخانه‌ها به‌عنوان مشاهدات پرت شناسایی و حذف شده‌اند. در پایان با استفاده از ۳۰ مشاهده، رابطه ۸ با روش حداقل مربعات معمولی برآورد شده و نتایج به‌دست آمده در جدول زیر آمده است.

جدول ۶. نتایج حاصل از تخمین تابع هزینه کنترل آلاینده‌ی

متغیر	ضرایب	انحراف معیار	آماره t	Pr(> t )
$\alpha$	۱۵/۵۱۰۸	۲/۴۲۴۳	۶/۳۹۸	***
$\beta_{WW}$	۰/۱۴۹۵	۰/۰۸۶۲	۱/۷۳۴	۰/۰۹۴*
$\beta_{BODC}$	-۰/۷۴۰۴	۰/۲۷۹۲	-۲/۶۵۲	۰/۰۱۳***
$R^2$ تعمیم یافته	۰/۲۸۶	$R^2$		۰/۳۳۵
آماره F	۶/۸۱	p-value		۰/۰۰۴

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۷ نیز نشان دهنده نتایج آزمون فروض کلاسیک مدل رگرسیون تخمین‌زده شده می‌باشد. همان‌طور که این جدول نشان می‌دهد، میانگین اجزای خطا حدود صفر بوده و آزمون‌های شاپیرو-ویلک و جاک-برا تعمیم یافته گویای آن هستند که نمی‌توان فرض نرمال بودن توزیع اجزای خطا را رد کرد. آزمون‌های بریوش-پاگان و بریوش-گادفری گویای آن هستند که نمی‌توان فروض به‌ترتیب همسانی واریانس و همچنین عدم همبستگی اجزای خطا را رد کرد. علاوه بر این نتایج آزمون تورم واریانس نیز بیانگر عدم همخطی جدی بین متغیرهای مستقل است. با توجه به نتایج آزمون‌های انجام شده و عدم مشاهده علتی برای رد فروض کلاسیک رگرسیون خطی، می‌توان از نتایج به‌دست آمده برای محاسبه مالیات بر انتشار BOD استفاده کرد.

همان‌طور که جدول ۶ نشان می‌دهد منفی بودن علامت  $\beta_{BODC}$  گویای ارتباط معکوس قیمت سایه‌ای و یا هزینه کنترل BOD با BODC است. این موضوع نشان می‌دهد که در صورتی که BODC یک درصد کاهش یابد، هزینه‌های کنترل آلاینده‌ی حدود ۰/۷ درصد افزایش خواهد یافت. از آنجایی که میانگین قیمت سایه‌ای تخمینی شاخص BOD صنعت تولید قند و شکر حدود ۴۳۳،۷۶۳ ریال است و این قیمت برای

رسیدن به قیمت سایه‌ای مرتبط با سطح غلظت استاندارد BOD تعیین شده در کشور برای امکان دفع و تخلیه فاضلاب‌های تولیدی در چاه‌های جاذب، آب‌های سطحی و همچنین زمین‌های کشاورزی حدود به ترتیب ۷۰/۴۵، ۷۰/۴۵ و ۶۲/۰۸ درصد باید افزایش یابد؛ لذا مالیات پیگویی لازم برای رساندن میانگین شاخص BOD فعلی صنعت تولید قند و شکر به سطوح استاندارد یاد شده برای دفع هر کیلوگرم BOD در به ترتیب چاه‌های جاذب، آب‌های سطحی و همچنین زمین‌های کشاورزی حدود ۷۳۹۳۶۶، ۷۳۹۳۶۶ و ۷۰۳۰۶۹ ریال خواهد بود.

جدول ۷. نتایج آزمون‌های پس از تخمین مدل

آزمون	آماره	p-value
میانگین اجزای خطا	۶/۵۸E-۱۸	
شاپیرو-ویلک	۰/۹۷۷	۰/۷۵۱
چارک-برا تعمیم یافته	۰/۹۲۷	۰/۵۴۷
بریوش-پاگان	۲/۵۹۹	۰/۲۷۳
بریوش-گادفری	۰/۰۰۹	۰/۹۲۴
تورم واریانس (lnWW)	۱/۰۸۳	
تورم واریانس (lnBODC)	۱/۰۸۳	

منبع: یافته‌های تحقیق

#### ۶- جمع‌بندی و پیشنهادها

در این مطالعه ابتدا با استفاده از مدل غیرخطی اولیه SBM به ارزیابی کارایی محیط‌زیستی کارخانه‌های فعال در صنعت تولید قند و شکر و کارایی هر کدام از نهاده‌های به کار گرفته شده و ستانده‌های تولید شده پرداخته شده است. نتایج حاصل شده نشان می‌دهد که کارخانه‌های فعال در این صنعت به‌طور میانگین از نظر محیط‌زیستی حدود ۴۰ درصد ناکارآمد عمل می‌کنند و این مهم گویای ضرورت به کارگیری ابزارهایی در جهت ایجاد انگیزه برای انجام فعالیت کارآمد محیط‌زیستی است. در این میان باوجود اینکه کارخانه‌های نیشکری از نظر نمره کارایی جزئی BOD از کارآمدی بالاتری برخوردار هستند، کارخانه‌های چغندری با میانگین کارایی ۶۱ درصد از لحاظ معیار کلی کارایی محیط‌زیستی نسبت به کارخانه‌های تولید کننده نیشکری با

میانگین کارایی ۵۸ درصد، کارایی بیشتری دارند. دلیل آنکه چنین نتیجه‌ای حاصل شده است می‌تواند اختلاف معنادار کارایی جزئی مصرف مواد اولیه (حدود ۱۶ درصدی) کارخانه‌های چغندری با کارخانه‌های نیشکری باشد.

پس از برآورد مدل اولیه با استفاده از مدل دوگان، قیمت‌های سایه‌ای BOD کارخانه‌های تولید کننده تخمین زده شده‌اند. نتایج حاصل از این تخمین نشان می‌دهند که میانگین و حداکثر قیمت سایه‌ای هر کیلوگرم BOD کارخانه‌های تولید کننده قند و شکر به ترتیب برابر با ۴۳۳۷۶۳ و ۱۰۰۶۴۲۹ ریال می‌باشد. مقدار میانگین قیمت سایه‌ای گویای آن است که در این صنعت برای کاهش تولید هر یک کیلوگرم BOD، به‌طور میانگین باید از حدود ۴۳۳۷۶۳ ریال درآمد ناشی از فروش قند و شکر صرفه‌نظر نظر شود. انحراف معیار ۲۰۵۰۴۱ ریالی قیمت سایه‌ای کارخانه‌ها نیز می‌تواند گویای تفاوت زیاد تکنولوژی و مقیاس تولید کارخانه‌ها باشد.

پس از تخمین قیمت سایه‌ای، تابع هزینه نهایی کاهش و یا کنترل آلاینده را با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی برآورد کردیم. با استفاده از پارامترهای تخمین زده شده، مالیات پیگویی مورد نیاز برای کنترل غلظت BOD فاضلاب‌های دفع شده در چاه‌های جاذب، آب‌های سطحی و همچنین زمین‌های کشاورزی در سطح استاندارد کشور که به ترتیب حدود ۷۳۹۳۶۶، ۷۳۹۳۶۶ و ۷۰۳۰۶۹ ریال هستند مورد محاسبه قرار گرفته‌اند.

با توجه به پراکندگی بسیار زیاد قیمت‌های سایه‌ای و اختلاف بسیار بالای میانگین BOD تولیدی کارخانه‌ها با مقدار مجاز تعیین شده در کشور، می‌توان نتیجه گرفت که قانون‌گذاری صرف و ابزارهای دستوری، عملکرد مناسبی در کنترل آلاینده‌ی فاضلاب‌های صنعتی نداشته‌اند؛ لذا پیشنهاد می‌شود که سیاست‌گذاران از ابزارهای بازاری مانند مالیات پیگویی و یا ترکیبی از ابزارهای بازاری و کنترل دستوری برای نیل به این هدف استفاده کنند.

#### منابع

۱. احمدی، مهدی، تجربی، مسعود و ابریشم‌چی، احمد (۱۳۸۴). مقایسه فنی و اقتصادی روش‌های متداول تصفیه فاضلاب صنایع قندی در ایران. *مجله آب و فاضلاب*، ۵۳، ۶۱-۵۴.

۲. امیر تیموری، سمیه، خلیلیان، صادق و محبی، علی (۱۳۹۳). برآورد میزان بهینه اجتماعی گاز دی اکسید گوگرد (SO<sub>2</sub>) منتشرشده از مجتمع مس سرچشمه و مالیات بهینه بر آن. *مجله تحقیقات اقتصادی*، ۴۹، ۷۷۵-۷۹۷.
۳. حسنلو، سعید، خلیلیان، صادق و امیرنژاد، حمید (۱۳۹۴). برآورد میزان بهینه مالیات سبز بر انتشار دی اکسیدکربن در صنعت سیمان ایران. *مجله پژوهش‌های محیط‌زیست*، ۱۱، ۳۹-۵۰.
4. Baumol, W. J., Baumol, W. J., Oates, W. E., Bawa, V. S., Bawa, W. S., & Bradford, D. F. (1988). *The theory of environmental policy. Cambridge university press.*
  5. Baumol, W. J., & Oates, W. E. (1971). The use of standards and prices for protection of the environment. *In The economics of environment*, 53-65.
  6. Bogetoft, P., Maintainer, L. O., & Otto, L. (2015). Package Benchmarking. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7961-2>.
  7. Bogetoft, P., & Otto, L. (2011). Benchmarking with DEA, SFA, and R. *Springer Science & Business Media.*
  8. Cecchini, L., Venanzi, S., Pierri, A., & Chiorri, M. (2018). Environmental efficiency analysis and estimation of CO<sub>2</sub> abatement costs in dairy cattle farms in Umbria (Italy): a SBM-DEA model with undesirable output. *Journal of Cleaner Production.*
  9. Choi, Y., Zhang, N., & Zhou, P. (2012). Efficiency and abatement costs of energy-related CO<sub>2</sub> emissions in China: a slacks-based efficiency measure. *Applied Energy*, 98, 198-208.
  10. Cook, R. D. (1979). Influential observations in linear regression. *Journal of the American Statistical Association*, 74(365), 169-174.
  11. Cook, R. D., & Weisberg, S. (1982). Residuals and influence in regression. *New York: Chapman and Hall.*
  12. Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2006). Introduction to data envelopment analysis and its uses: with DEA-solver software and references. *Springer Science & Business Media.*
  13. De Vletter, R. (1972). Measures against water pollution in beet sugar processing industries. *Pure and Applied Chemistry*, 29(1-3), 113-128.
  14. Farrell, M. J. (1957). SERIES A (GENERAL). *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 120(3), 229-253.
  15. Gunawardena, A., Hailu, A., White, B., & Pandit, R. (2017). Estimating marginal abatement costs for industrial water pollution in Colombo. *Environmental Development*, 21, 26-37.
  16. Hu, J.-L., & Wang, S.-C. (2006). Total-factor energy efficiency of regions in China. *Energy Policy*, 34(17), 3206-3217.



17. Jain, R. K., & Kumar, S. (2018). Shadow price of CO 2 emissions in Indian thermal power sector. *Environmental Economics and Policy Studies*, 1–24.
18. KHALIL, S. (2012). Measuring the Cost of Environment-Friendly Textile Processing in Pakistan: A Distance Function Approach. *Bangladesh Development Studies*, XXXV(4), 29–45.
19. Li, T., Baležentis, T., Makutėnienė, D., Streimikiene, D., & Kriščiukaitienė, I. (2016). Energy-related CO2 emission in European Union agriculture: Driving forces and possibilities for reduction. *Applied Energy*, 180, 682–694.
20. Murty, M. N., Kumar, S., & Paul, M. (2001). Environmental and Economic Accounting for Indian Industry. *IEG Working Paper*, E/212/01.
21. Murty, M. N., Kumar, S., & Paul, M. (2006). Environmental regulation, productive efficiency and cost of pollution abatement: a case study of the sugar industry in India. *Journal of Environmental Management*, 79(1), 1–9.
22. Perman, R., Ma, Y., McGilvray, J., & Common, M. (2011). Natural Resource and Environmental Economics. Auflage. Harlow: Pearson Education Limited.
23. Pigou, A. (1920). The economics of welfare. *Routledge*.
24. Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 130(3), 498–509.
25. Wilson, P. W. (1993). Detecting outliers in deterministic nonparametric frontier models with multiple outputs. *Journal of Business & Economic Statistics*, 11(3), 319–323.
26. Yaqubi, M., Shahraki, J., & Sabouni, M. S. (2016). On dealing with the pollution costs in agriculture: A case study of paddy fields. *Science of the Total Environment*, 556, 310–318.
27. Zhu, J. (2015). Data envelopment analysis. A handbook of models and methods (International series in operations research & management science, 221). *New York: Springer*.