

Environmental Pollution and Green Tax in Iron Ore Mine of Gol Gohar

Saeideh Shahabi Rabori¹, Sadegh Khalilian² , Seyed Habibollah Mosavi³,
Hamed Najafi Alamdarlo⁴

1. Ph.D. Student of Agricultural Economics, Agriculture Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: s.shahabi@modares.ac.ir
2. Full Professor of Agricultural Economics, Agriculture Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (Corresponding Author) E-mail: khalil_s@modares.ac.ir
3. Associate Professor of Agricultural Economics, Agriculture Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: shamosavi@modares.ac.ir
4. Associate Professor of Agricultural Economics, Agriculture Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: hamed_najafi@modares.ac.ir

Abstract

One of the most important concerns related to industrialization is the effects and environmental consequences of industrial activities. Therefore, achieving the necessary solutions to control such consequences is vitally important. Minerals are essential for human survival. In this study, the economic effects of environmental pollutants of Gol Gohar Iron Mine in Sirjan (Southeastern Iran), is investigated using the input distance function model from 2001 to 2022. Through calculating the shadow price of pollutants, a criterion for determining the green tax is determined, and then the amount of social cost resulting from the emission of pollutants is calculated. The products of Gol Gohar Iron Ore Complex in Sirjan, include granulated iron ore, iron ore concentrate and pelletized in the production process. The most greenhouse gases and air pollutants are related to carbon dioxide (CO₂), sulfur oxides (Sox), nitrogen oxides (Nox) and particulate matter (SPM). According to the obtained results, the average shadow price for air pollutants in Gol Gohar complex for CO₂, Sox Nox, and SPM was calculated as 454, 5798, 2998, and 1355 rials per kilogram respectively. Moreover, the average total social costs resulting from the production of Gol Gohar Sirjan Complex was calculated as 11793.5 billion Rials according to the amount of pollution produced over the period. The estimation of environmental costs is actually an introduction to providing solutions for internalizing and reducing environmental costs, using the input distance function model and the shadow price of environmental pollutants in the industrial and mineral complex of Gol Gohar, Sirjan.

Article information

Review History:

Received: Jan. 15, 2024

Revised: Jan. 22, 2024

Accepted: Feb. 6, 2024

Keywords:

Environmental

Pollutants

Input Distance Function

Shadow Price Social Cost

JEL Classification:

Q53, C02, Q51

Corresponding Author:

khalil_s@modares.ac.ir



Aim and Introduction

Today, the environment is considered as one of the most important pillars of sustainable development, and the development of other economic and social sectors depends on its sustainability and proper functioning. Environmental pollution has become one of the main challenges of countries. Environmental health is currently one of the most critical concerns of people and officials round the world. Almost all managers and decision makers believe that this national wealth should be protected not only for the current generation but also for future generations, since the pollutants caused by industries are highly costly and detrimental to health.

Active industries are one of the main sources of environmental pollution. One of the necessary conditions for economic progress and the introduction of extensive structural changes in economic and technological fields is industrialization and industrial development. In the production process, using production inputs whose main source is the environment, in addition to desirable outputs such as consumer goods, undesirable outputs such as environmental pollutants are also produced. If the number of outputs is not controlled and disproportionate, the losses from undesirable outputs will be greater than the benefits of desirable products in such a way that damages to the environment would be irreparable and sustainable development less likely to be achieved.

One of the most important concerns related to industrialization is the effects and environmental consequences of industrial activities. Therefore, achieving the necessary solutions to control such consequences is vitally important. Minerals are essential for human survival, but their extraction and processing are not environmentally friendly practices which contribute to problems such as soil erosion, air and water pollution. On the other hand, mineral sector is one of the largest energy consumers which has active contribution to air pollution and global warming. The main purpose of this study is to investigate the economic effects of Gol Gohar mine in Sirjan. For this purpose, it is intended to determine the type and amount of pollutants released from this complex, and also to determine the amount of the green tax of the complex as a solution to reduce pollution and examine the social welfare resulting from reducing pollution.

Methodology

In this study, the economic effects of environmental pollutants of Gol Gohar Iron Mine in Sirjan (Southeastern Iran), is investigated using the input distance function model from 2001 to 2022. Through calculating the shadow price of pollutants, a criterion for determining the green tax is determined, and then the amount of social cost resulting from the emission of pollutants is calculated.

The shadow price of the undesirable output is the cost that the producer must bear if they plan to reduce the production of the undesirable output. In fact, it can be

interpreted as the marginal cost of reducing pollution for each producer. Therefore, the shadow price of the desirable output is considered positive and equal to the market price of that output, but the shadow price of the undesirable output must be estimated to be less than zero.

Findings

The products of Gol Gohar Iron Ore Complex in Sirjan, include granulated iron ore, iron ore concentrate and pelletized in the production process. The most greenhouse gases and air pollutants are related to carbon dioxide (CO₂), sulfur oxides (Sox), nitrogen oxides (Nox) and particulate matter (SPM). According to the obtained results, the average shadow price for air pollutants in Gol Gohar complex for CO₂, Sox Nox, and SPM was calculated as 454, 5798,2998, and 1355 rials per kilogram respectively. Moreover, the average total social costs resulting from the production of Gol Gohar Sirjan Complex was calculated as 11793.5 billion Rials according to the amount of pollution produced over the period.

Discussion and Conclusion

The estimation of environmental costs is actually an introduction to providing solutions for internalizing and reducing environmental costs, using the input distance function model and the shadow price of environmental pollutants in the industrial and mineral complex of Gol Gohar, Sirjan. The title of the largest producer of iron ore in the country was calculated, and the social cost resulting from the emission of pollutants was also evaluated. Finally, in this study, solutions and mechanisms for reducing environmental costs have been proposed.

Considering that the ability to absorb pollutants by the environment is limited, the shadow price of pollutants, which represents their real social cost, should be taken into consideration. The damages should also be determined based on the shadow price of the pollutants. In other words, the amounts of pollutant emission should be calculated and while taking into account the allowed limit of pollutant emission and shadow prices, based on a legal plan, the environmental costs should be reimbursed. Taking such measures would surely require more studies and capable executive management system.

بررسی اثرات اقتصادی انتشار آلودگی‌های زیست‌محیطی و برآورد مالیات سبز در معادن سنگ آهن (مطالعه موردی: مجتمع صنعتی و معدنی گل گهر سیرجان)

سعیده شهابی رابری^۱، صادق خلیلیان^۲ , سید حبیب‌الله موسوی^۳، حامد نجفی علمدارلو^۴

۱. دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران s.shahabi@modares.ac.ir
۲. استاد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (نویسنده مسئول) khalil_s@modares.ac.ir
۳. دانشیار اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران shamosavi@modares.ac.ir
۴. دانشیار اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران hamed_najafi@modares.ac.ir

چکیده	اطلاعات مقاله
یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مربوط به صنعتی شدن، آثار و تبعات زیست‌محیطی فعالیت‌های صنعتی است. استخراج و فرآوری مواد معدنی، نقش مهمی در مشکلات زیست‌محیطی از قبیل فرسایش خاک، آلودگی هوا و آب ایفا می‌کند و از طرفی، این بخش، یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی است و باعث آلودگی محیط زیست می‌شود. در این مطالعه به بررسی آثار اقتصادی و زیست‌محیطی حاصل از فعالیت معدن گل گهر سیرجان در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۳ با استفاده از روش تابع مسافت نهاده پرداخته شده است. تولیدات مجموعه سنگ آهن گل گهر سیرجان شامل سنگ آهن دانه‌بندی شده، کنسانتره سنگ آهن و گندله‌سازی می‌باشد که در روند تولید، بیشترین گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا مربوط به گازهای دی‌اکسید کربن، اکسیدهای گوگرد، اکسیدهای نیتروژن و ذرات ریز معلق در هوا است. طبق نتایج به‌دست آمده، میانگین قیمت سایه‌ای برای آلاینده‌های هوا در مجموعه گل گهر برای CO_2 ، Nox و Sox به ترتیب، برابر با ۴۵۴، ۵۷۹۸، ۲۹۹۸ و ۱۳۵۵ ریال به‌ازای هر کیلوگرم محاسبه شد. همچنین میانگین هزینه‌های کل اجتماعی حاصل از تولید مجموعه با توجه به میزان تولید آلاینده‌ها در دوره مورد نظر، مبلغ ۱۱۷۹۳/۵ میلیارد ریال محاسبه شد. لذا به منظور درونی‌سازی هزینه‌های زیست‌محیطی در راستای تحقق توسعه پایدار، قیمت‌های سایه‌ای محاسبه‌شده می‌تواند معیاری برای تعیین مالیات سبز برای مجموعه‌های سنگ آهن باشد و یافته‌های چنین مطالعاتی، می‌تواند زمینه‌ای برای برنامه‌ریزی مسئولان اقتصادی ایجاد کند.	تاریخچه داوری: دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۲ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۷ کلمات کلیدی: آلاینده‌های زیست‌محیطی، تابع مسافت نهاده، قیمت سایه‌ای، هزینه اجتماعی طبقه‌بندی JEL: Q53, C02, Q51 نویسنده مسئول: khalil_s@modares.ac.ir

۱. مقدمه

امروزه محیط زیست به عنوان یکی از مهم ترین ارکان توسعه پایدار قلمداد می شود و توسعه سایر بخش های اقتصادی و اجتماعی در گرو پایداری و کارکرد صحیح آن معنا پیدا می کند. آلودگی محیط زیست، به یکی از چالش های اصلی کشورها تبدیل شده است. سلامت محیط زیست، یکی از مهم ترین دغدغه های فعلی مردم و مسئولین در دنیا است و همه مدیران و تصمیم گیران معتقدند باید این ثروت ملی را نه تنها برای نسل حاضر بلکه برای نسل های آینده محافظت کرد، زیرا آلاینده های ناشی از صنایع، هزینه های زیادی را برای سلامت می گذارد (بابازاده خامنه، ۱۳۹۵).

از نظر بسیاری از دانشمندان، سطوح بالاتری از فعالیت های اقتصادی (تولید یا مصرف) نیازمند انرژی و مواد اولیه بیشتری است و در نتیجه، مقادیر بیشتری مواد زائد فرعی ایجاد می شود. استخراج رو به افزایش منابع طبیعی، تجمع مواد زائد و تمرکز آلاینده ها از ظرفیت تحمل زیست کره بالاتر خواهد رفت و به تخریب محیط زیست منجر می شود و در واقع، به رغم افزایش سطح درآمد، منجر به کاهش رفاه انسان ها خواهد شد. علاوه بر این، تخریب منابع طبیعی، نهایتاً فعالیت اقتصادی را با خطر مواجه می کند. از نظر متخصصین علوم طبیعی به طور عام و علوم زیست محیطی به طور خاص، آلودگی عبارت است از جریان پسماندها و مواد زائد ناشی از فعالیت های اقتصادی که وارد محیط زیست می شود. به عبارت دیگر، حضور هر ماده یا انرژی که ماهیت، موقعیت یا کمیت آن، پیامدهای ناخواسته بر محیط زیست بگذارد، آلودگی خوانده می شود (کالان اسکات، جی، ۲۰۰۰).

تأثیر متقابل اقتصاد و محیط زیست نیز بر یکدیگر واقعیتی غیرقابل چشم پوشی است، به گونه ای که هر تصمیم اقتصادی مستقیماً بر محیط زیست تأثیر می گذارد و سیاست های زیست محیطی نیز اقتصاد را متأثر می کند. یکی از این سیاست های کلان اقتصادی، سیاست مالی است. در بین انواع مالیات ها، تنها پایه مالیاتی که کمترین عدم کارایی را به جامعه تحمیل می کند، مالیات های زیست محیطی است. مالیات سبز که بر انواع آلودگی های محیط زیستی اعمال می شود، نه تنها کارایی را خدشه دار نمی کند، بلکه به دلیل کاهش هزینه های ناشی از آلودگی، فایده اجتماعی را نیز افزایش می دهد. این نوع مالیات که اغلب بر پایه هزینه وضع می شود، اصطلاحاً (مالیات سبز) می گویند.

مالیات سبز بر تولیدکننده آلودگی وضع می شود و پس از احتساب مالیات، هزینه های خصوصی طرف تولیدکننده آلودگی با هزینه های اجتماعی فعالیت، مساوی می باشد. یک ایده اساسی برای مالیات سبز، این است که تولید فقط باید با منفعت زیست محیطی همراه باشد. افزون بر این، باید باعث بهبود کارایی و اشتغال شود که در اصطلاح، این تأثیر را (سود مضاعف) می نامند. در نتیجه دریافت این نوع مالیات از کارخانجات و کسانی که باعث آلودگی محیط زیست می شوند، علاوه بر اینکه باعث کاهش آلودگی محیط زیست می شود، می تواند به عنوان یک منبع درآمدی برای دولت در

این زمینه به حساب آید. از طرفی، جمع‌آوری این نوع مالیات، باعث کاهش هزینه‌های زیست‌محیطی و ثبات اقتصادی نیز می‌گردد (پژویان و امین رشتی، ۱۳۸۶).

از دیدگاه دیگر، مالیات سبز را می‌توان "قرار دادن مالیات بر فعالیت‌ها و کالاهایی که باعث ایجاد عوارض بر مردم و شهروندان و همچنین تخریب محیط زیست می‌گردد"، تعریف نمود. در این دیدگاه، تأکید اصلی بر اخذ عوارض و مالیات از فعالیت‌هایی همچون فعالیت کارخانجات و کارگاه‌ها و همچنین کالاهای تولیدی می‌باشد که به نوعی بر محیط زیست و اکوسیستم‌ها (که ممکن است انسان نیز در آن دخیل باشد)، تأثیر مخرب و منفی دارد. در این دیدگاه، با توجه به اینکه سیاست‌های اجرایی در جهت گرفتن عوارض و مالیات از شهروندان و یا صاحبان مشاغل مختلف می‌باشد، لذا لازم است که از جوانب مختلف مورد بررسی قرار گیرد (رضایی، ۱۳۸۸).

گسترش پایه‌های مالیاتی، بهترین گزینه برای افزایش درآمدهای مالیاتی به‌ویژه از طریق مالیات زیست‌محیطی است. در واقع، استفاده از مالیات‌های زیست‌محیطی، روشی نوین برای تخصیص بهینه منابع در راستای افزایش رفاه اجتماعی است (پایتختی اسکویی و ناهیدی، ۱۳۸۶).

معدن‌کاری به‌عنوان یکی از فعالیت‌هایی که منابع معدنی را مورد بهره‌برداری قرار می‌دهد، نقشی حیاتی در بسیاری از کشورها دارد؛ به‌گونه‌ای که بهره‌برداری از مواد معدنی فلزی و غیرفلزی و صنایع وابسته به آنها، بخش عمده درآمد و اشتغال‌زایی این کشورها را تشکیل می‌دهد. بهره‌برداری از این منابع، علاوه بر اقتصاد، در توسعه اجتماعی نیز نقش تعیین‌کننده‌ای دارد. در عین حال، معادن و صنایع معدنی، آثار زیست‌محیطی بسیار گسترده‌ای بر منابع آب، خاک، هوا و موجودات زنده دارند (جیانوپولو، ۲۰۰۶).

در فاز بهره‌برداری از معدن سنگ آهن به‌دلیل فعالیت‌های گوناگون از جمله کندوکاو، ساخت‌وسازهای گوناگون، حمل‌ونقل، فعالیت کارخانه‌های گندله‌سازی، تولید کنسانتره و به‌کارگیری تجهیزات، تغییراتی در محیط زیست به‌صورت اثرات منفی ایجاد می‌گردد. برخی اثرات، ماهیت برگشت پذیر دارند که پس از پایان عملیات ساخت‌وساز در صورت توجه به مسائل زیست‌محیطی در طول دوره بهره‌برداری و اتمام عملیات معدنی، می‌تواند از بین رفته و محیط به حالت اولیه خود بازگردد. از طرفی، آلودگی‌هایی مانند آلودگی‌های هوا ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، گازهای آلاینده و سمی حاصل از انفجار در پیت معدن، ریزگردهای حاصل از حفاری و استحصال و آلودگی‌های ناشی از تولیدات کارخانه‌های موجود در مجموعه برخی از اثرات منفی هستند که اثرات ماندگاری بر محیط زیست وارد می‌کنند. اثرات افزایش گازهای گلخانه‌ای موجود در جو می‌تواند محدودهای فراتر از مجموعه معدن را تحت تأثیر خود قرار دهد.

در روند حرکت جهانی به‌سوی توسعه پایدار، توجه به آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی فعالیت‌های اقتصادی، امری ضروری محسوب می‌شود. در این راستا، توجه به میزان انتشار گازهای آلاینده و

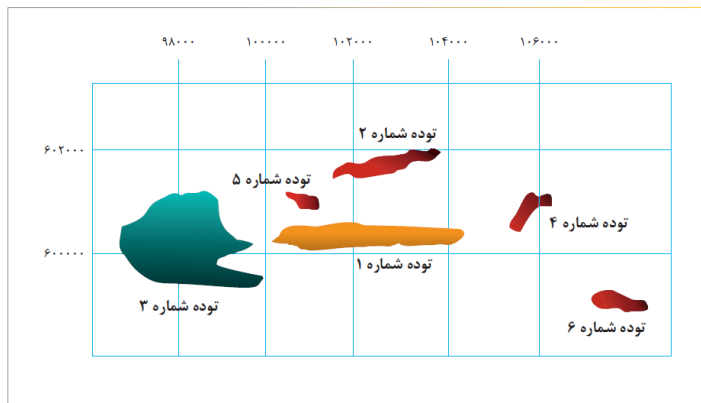
گلخانه‌ای ناشی از بخش‌های مختلف مجتمع گل گهر سیرجان به‌عنوان یکی از مطرح‌ترین قطب‌های فعال معدنی، صنعتی در خاور میانه، به لحاظ اثرات محلی، منطقه‌ای، از اهمیت بسزایی برخوردار است. به همین منظور، در این مطالعه، به تعیین قیمت سایه‌ای گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولیدات سنگ آهن مجموعه می‌پردازیم. بیشترین گازهای آلاینده منتشر شده از عملیات حفاری تا تولید کنسانتره و گندله سنگ آهن در مجموعه گل گهر سیرجان، شامل اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای گوگرد و دی اکسید کربن و ذرات ریز معلق در هوا می‌باشند که در این مطالعه به بررسی قیمت سایه‌ای این آلاینده‌های هوا و هزینه اجتماعی حاصل از تولید آن‌ها در بازه زمانی ۱۴۰۱-۱۳۸۰ پرداخته شده است.

سنگ آهن، یکی از مهم‌ترین سنگ‌های معدنی است و ماده‌ای استراتژیک محسوب می‌شود. به گزارش سازمان زمین‌شناسی آمریکا، مجموع ذخایر سنگ آهن خام جهان در سال ۲۰۲۲ میلادی، ۱۸۰ میلیارد تن و میزان ذخیره آهن آن ۸۵ میلیارد تن برآورد شده است که از این میان، استرالیا با دارا بودن ۵۱ میلیارد تن از این ذخایر در رتبه نخست جهان قرار دارد. برزیل و روسیه نیز به ترتیب، با ۳۴ و ۲۹ میلیارد تن ذخایر سنگ آهن، در رتبه‌های دوم و سوم جهان ایستاده‌اند.

ایران با در اختیار داشتن ۲ میلیارد و ۷۰۰ میلیون تن ذخایر سنگ آهن خام، به‌عنوان نهمین کشور در فهرست ۱۰ کشور برتر دارای ذخایر این ماده معدنی در جهان قرار دارد. بیشترین معادن سنگ آهن کشور در استان‌های یزد، کرمان، مرکزی و خراسان جای گرفته‌اند. مهم‌ترین معادن سنگ آهن کشور، گل گهر، سنگان، چغارت، سه چاهون، چادرملو، زرنند و چاه گز است. در عین حال، ایران در سال ۲۰۲۲ میلادی توانست با تولید ۷۵ میلیون تن رتبه هشتم جهانی تولید این ماده معدنی استراتژیک را در جهان به خود اختصاص دهد (گزارش مالی شرکت معدنی و صنعتی گل گهر، ۱۴۰۱).

منطقه معدنی و صنعتی گل گهر با داشتن معادن غنی از سنگ آهن به‌عنوان یکی از مطرح‌ترین قطب‌های فعال معدنی، صنعتی در خاور میانه است که دارای قابلیت‌های بسیاری برای تبدیل شدن به یک منطقه بزرگ و رقابتی در سطح ایران و حتی جهان می‌باشد. شرکت معدنی و صنعتی گل گهر یکی از شرکت‌های فعال این منطقه می‌باشد که نقش مهمی در سیاست‌گذاری و مدیریت منطقه برعهده دارد. این ناحیه معدنی، در سال ۱۳۸۴ مورد شناسایی قرار گرفت. کانسار سنگ آهن گل گهر در شش آنومالی مجزا در مجموع با ذخیره‌ای در حدود ۱۲۰۰ میلیون تن در محدوده‌ای به طول تقریبی ۱۰ کیلومتر و عرض تقریبی ۴ کیلومتر قرار گرفته است که آنومالی شماره ۳ آن که بزرگ‌ترین آنومالی این کانسار آهنی است، با ظرفیت بالغ بر ۶۰۰ میلیون تن، متعلق به شرکت گهر زمین است. با توجه به مطالعات ژئوفیزیکی اولیه، مجموع ذخایر ۶ گانه گل گهر، بیش از یک میلیارد و ۱۳۵ میلیون تن تخمین زده شده که با توجه به مطالعات اکتشافی انجام شده اخیر، ذخایر موجود بیش از این مقدار نیز برآورد می‌شود. این شرکت در حال حاضر، با ظرفیت تولید بیش از ۱۵ میلیون تن کنسانتره و بیش از ۱۰ میلیون تن گندله بزرگ‌ترین تولیدکننده کشور می‌باشد. این ذخایر معدنی

در استان کرمان و در ۵۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان سیرجان واقع، و از شش توده معدنی تشکیل شده است:



شرکت معدنی و صنعتی گل گهر با کسب سهم ۲۰/۳ درصدی، رتبه اول کشور در تولید گندله و با کسب سهم ۲۱/۷۹ درصدی، رتبه دوم کشور در تولید کنسانتره سنگ آهن در سال ۱۴۰۱ را به خود اختصاص داده است (گزارش مالی شرکت معدنی و صنعتی گل گهر، ۱۴۰۱).

اهداف

زیربنایی‌ترین فعالیت‌ها به هنگام طراحی عملیات استخراج سنگ آهن، تولید مستمر و بهینه، اکتشاف مطلوب مواد اولیه، تولید استاندارد و با کیفیت و در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی است. عدم توجه کافی به مسائل زیست‌محیطی در اکتشاف و بهره‌برداری نه تنها کیفیت مطلوب آهن و فولاد را به‌دنبال نخواهد داشت، بلکه به دلیل اثرات غیرقابل جبران به محیط زیست و هزینه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی تخریب‌ها، می‌تواند تولید و بهره‌برداری را دچار اختلال نماید.

در فاز بهره‌برداری از معدن به دلیل فعالیت‌های گوناگون از جمله کندوکاو، ساخت‌وسازهای گوناگون، حمل‌ونقل، فعالیت کارخانه‌های گندله سازی، تولید کنسانتره و به کارگیری تجهیزات، علاوه بر تولیدات مطلوب، آلاینده‌های زیست‌محیطی از جمله گازهای گلخانه‌ای و آلاینده نیز تولید می‌شود. بیشترین علت انتشار گازهای آلاینده در معدن روباز سنگ آهن گل گهر سیرجان، ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در فرایند حفاری و استحصال تا مرحله تولید کنسانتره و گندله می‌باشد؛ به طوری که مصرف ماهیانه سوخت گازوئیل و بنزین مجموعه به ترتیب ۵۵۰۰۰۰ و ۳۵۰۰۰ لیتر برای دستگاه‌های معدنی و خودروهای سبک می‌باشد (طرح جامع مدیریت محیط زیست معدن سنگ آهن گل‌گهر زمین، ۱۳۹۷).

اثرات افزایش گازهای گلخانه‌ای موجود در جو می‌تواند محدوده‌ای فراتر از مجموعه معدن را تحت تأثیر خود قرار دهد. لذا در این مطالعه، به بررسی اثرات اقتصادی آلاینده‌های هوا در معدن سنگ

آهن گل گهر سیرجان با استفاده از مدل تابع مسافت نهاده در بازه زمانی ۱۴۰۱-۱۳۸۰ می‌پردازیم و با محاسبه قیمت سایه‌ای آلاینده‌ها، معیاری برای تعیین مالیات سبز تعیین می‌شود و سپس میزان هزینه اجتماعی حاصل از انتشار آلاینده‌ها محاسبه می‌شود. همچنین تاکنون مطالعه‌ای به بررسی اقتصادی آلودگی هوا ناشی از فعالیت سنگ آهن معدن گل گهر سیرجان و تعیین مالیات زیست‌محیطی نپرداخته است؛ لذا این ضرورت برای انجام مطالعه احساس شد.

۲. پیشینه پژوهش

مطالعاتی در زمینه بررسی آلودگی زیست‌محیطی معادن و برآورد قیمت سایه‌ای آلاینده‌های زیست‌محیطی انجام گرفته که به چند مورد اشاره می‌شود.

بهارلویی (۱۴۰۱)، در مطالعه‌ای به ارزیابی اثرات زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های معدن کاری پرداخت نتایج، نشان داد که نمودارهای مربوط به غلظت فلزات سنگین همچون سرب، روی، آرسنیک، کادمیم و نیکل در نمونه‌های برداشت شده از آب آشامیدنی، کشاورزی و نمونه خاک نزدیک به اماکن فعال معدنی، میزان غلظت این فلزات را نسبت به استانداردهای جهانی زیست‌محیطی بسیار بالاتر نشان می‌دهد که این امر، بیانگر انتقال آلاینده‌ها از کیک‌ها و پساب‌های صنعتی و معدنی به آب و خاک منطقه است.

سلطانی (۱۳۹۶)، در مطالعه‌ای، اثرات زیست‌محیطی معدن کاری و فرآوری در معدن سنگ آهن گل گهر سیرجان را بررسی کردند. بدین منظور تعداد ۱۰۹ نمونه خاک سطحی، ۷ نمونه باطله معدنی، ۶۰ نمونه گیاه، ۱۰ نمونه غبار برجا و ۷۴ نمونه غبار معلق در اندازه PM10، PM2.5 و TSP برداشت و غلظت عناصر بالقوه سمی در آن‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج غلظت عناصر در خاک سطحی و گیاه، نشان داد که نمونه‌های باطله معدنی و خاک و گیاه نزدیک معادن و کارخانه‌های فرآوری آلوده به عناصر بالقوه سمی هستند و می‌توانند طی انتقال ذرات غبار نهشته شده بر خاک سطحی و گیاهان و ذرات خشک آزاد شده از کومه‌های باطله معدنی منتقل شوند. نتایج غلظت جرمی ذرات غبار معلق، نشان داد که غلظت جرمی نمونه‌های غبار در محیط‌های داخل کارخانه‌های فرآوری از استاندارد ملی کیفیت هوای محیط طی بیست و چهار ساعت و همچنین استاندارد سازمان جهانی بهداشت بیشتر است.

وی و ژنگ (۲۰۲۰)، در مطالعه‌ای درخصوص استفاده از عملکرد تابع فاصله ستانده جهت به‌دست آوردن قیمت سایه‌ای آلاینده‌های CO₂ و SO₂ در چین انجام شده است، توزیع قیمت سایه‌ای تخمینی نشان داد که استان‌های ساحلی شهرداری‌ها دارای قیمت سایه‌ای CO₂ بالاتری هستند؛ اما قیمت سایه‌ای SO₂ پایین‌تر محاسبه گردید، در حالی که استان‌های شمال شرقی برعکس بودند.

برخلاف قیمت سایه ای SO_2 که در نوسان است، قیمت سایه ای CO_2 در دوره مطالعه، نسبتاً پایدار بود.

همچنین در مطالعه دیگری او و هی^۱ (۲۰۱۹)، با استفاده از عملکرد تابع فاصله ستانده، قیمت‌های سایه ای SO_x و NO_x را در بخش انرژی کشور چین برای پاسخ به این سوال که بنگاه‌های تولیدی با چه قیمتی میزان مجاز انتشار آلاینده‌ی خود را به دست می‌آورند، مورد بررسی قرار دادند. نتیجه حاصل از این مطالعه، مؤید این موضوع است که از آنجا که سیاست‌های حفاظت از محیط زیست، اغلب منجر به کاهش چندین آلاینده به صورت همزمان می‌شود، در صورت محاسبه قیمت آلاینده‌ها با فرض چندین آلاینده، تصمیمات زیست‌محیطی کاراتری از طرف دولت اتخاذ خواهد گردید.

یانگ و همکاران^۲ (۲۰۱۷)، با استفاده داده‌های استانی کشور چین، کارآیی زیست‌محیطی و هزینه نهایی کاهش انتشار دی اکسیدکربن را از روش پارامتریک مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که ایجاد محدودیت برای انتشار در طی این دوره، هزینه بیشتری ایجاد کرده و به همین دلیل، قیمت سایه‌ای نیز روند افزایشی داشته است. همچنین برای دستیابی به اهداف کاهش انتشار در سطح ملی، باید در این کشور طرح‌های منطقه‌ای کربن اجرا شوند (ژائو و همکاران^۳ ۲۰۱۷).

کوان و همکاران^۴ (۲۰۰۵)، به ارزیابی هزینه‌های مورد نیاز برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای پرداختند. نتایج نشان داد، بخش صنعت از بزرگ‌ترین آلوده‌کنندگان هوا در کره جنوبی است و حجم وسیعی از گازهای گلخانه‌ای، ستانده بد تولیدی صنعت در این کشور می‌باشد و هزینه نهایی برای کاهش هر تن اکسید سولفور، دی اکسید کربن و اکسید نیتروژن، بسته به طرح‌های زیست‌محیطی مختلف، متفاوت می‌باشد و قوانین زیست‌محیطی کنونی، شرایط حداقل کردن هزینه‌های انتشار گازهای گلخانه‌ای را فراهم نمی‌کند.

نجفی علمدارلو و شمشادی (۱۳۹۷)، به برآورد قیمت سایه‌ای CO_2 در مراحل تولید و توزیع گندم ایران پرداخته‌اند. نتایج مطالعه، نشان داد که قیمت سایه‌ای دی اکسید کربن در مراحل تولید و توزیع، به ترتیب، برابر با ۷۶۳۰۰ و ۸۵۲۴۰۰ ریال است.

علی پور و همکاران (۱۳۹۳)، به ارزیابی هزینه انتشار گاز گلخانه‌ای کربن دی اکسید حاصل از توسعه بخش کشاورزی با استفاده از تابع مسافت پرداختند. نتایج نشان داد، در بازه زمانی ۱۳۷۱-۱۳۸۹ میانگین زیان سالانه انتشار هر کیلوگرم دی اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت در بخش کشاورزی، ۱۴۱ ریال بوده است.

1. Ou & He (2019)
2. Yang et al. (2017)
3. Zhao, J. et al. (2017)
4. Kown et al. (2005)

جعفرنیا و اسماعیلی (۱۳۹۲)، در مطالعه‌ای، به بررسی آلاینده‌های زیست‌محیطی پرواربندی گوساله‌ها در شیراز با استفاده از تابع مسافت ستانده محور پرداخت. نتایج نشان می‌دهد، میزان درآمد و کارآیی تولید با کاهش آلاینده افزایش می‌یابد و اعطای یارانه‌های زیست‌محیطی، سبب کاهش میانگین هزینه کاهش انتشار خواهد شد.

اسماعیلی و محسن پور (۱۳۸۹)، به تعیین قیمت سایه‌ای آلاینده‌های هوا در نیروگاه‌های کشور با استفاده از تابع مسافت نهاده پرداختند. در آن بررسی، قیمت سایه‌ای آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای گوگرد برآورد شد. نتایج نشان داد، قیمت سایه‌ای آلاینده‌ها، بیش از آنچه توسط سازمان حفاظت محیط زیست و بانک جهانی ارائه شده، می‌باشد. لذا پیشنهاد شد که خسارت اخذ شده براساس قیمت سایه‌ای آلاینده‌ها تعیین گردد تا خسارت با میزان زیان وارده تطابق داشته باشد. بلالی و همکاران (۱۳۹۷)، نرخ بهینه مالیات سبز بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در گاوداری‌های شیری استان همدان را با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ با روش (ISUR) برآورد کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که ۱/۱ درصد از درآمد گاوداری‌ها، میزان بهینه مالیات سبز است که برای کاهش آلودگی و گاز متان، باید این میزان مالیات اعمال شود.

امیرتیموری (۱۳۹۲)، در رساله دکتری خود، به بررسی اثر آلودگی هوا ناشی از فعالیت مجتمع مس سرچشمه بر بخش کشاورزی منطقه و برآورد میزان بهینه اجتماعی آن پرداختند. در این مطالعه، تمایل به پرداخت افراد برای کاهش انتشار گاز SO_2 منتشر شده از این مجتمع با استفاده از روش ارزش‌گذاری مشروط تعیین شد و میزان مالیات بهینه اجتماعی انتشار این گاز تقریباً ۲۶۵۲۹۰/۶ تن در سال برآورد گردید. نرخ بهینه مالیات نیز ۱۲۸۱۵/۲ ریال به ازای هر تن انتشار SO_2 به‌دست آمده است. همچنین نتایج نشان داد که خسارات وارد شده به محصولات کشاورزی در مناطق اطراف این مجتمع، حدود ۲/۷۲۲ میلیارد ریال در سال می‌باشد.

با توجه به مطالعات انجام شده، تاکنون مطالعه جامعی درباره بررسی اقتصادی و زیست‌محیطی آلاینده‌های هوا در مجتمع صنعتی و معدنی سنگ آهن کشور و به‌خصوص گل‌گهر سیرجان انجام نشده است. لذا در این مطالعه، بر آن شدیم تا با مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی، قیمت سایه‌ای گازهای گلخانه‌ای حاصل از تولید فرآورده‌های سنگ آهن را طی دوره زمانی ۱۴۰۱-۱۳۸۰ بررسی کنیم و هزینه اجتماعی حاصل از آلودگی هوا در این مجموعه را به‌دست آورده.

۳. مبانی نظری

یکی از آثار جانبی مهم در بحث محیط زیست، مسئله آلودگی است. آلودگی هوا، یکی از ابعاد آلودگی‌های زیست‌محیطی را تشکیل می‌دهد. حذف کامل آثار جانبی همانند آلودگی‌های محیط زیست با توجه به در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی، مطلوب و عملی نیست؛ زیرا آلودگی ایجاد شده معمولاً ناشی از فعالیت‌های تولیدی است که برای جامعه سودمند و مفیدند. از آنجا که بحث شکست بازار در بحث کالاهای زیست‌محیطی مطرح می‌شود، لذا می‌توان آثار جانبی را ارزش‌گذاری و با اخذ

مالیات، درونی^۱ کرد تا بنگاه‌ها هزینه‌های اجتماعی^۲ را به جای هزینه‌های خصوصی^۳ بپردازند و سطح آلودگی به سطح بهینه اجتماعی آن برسد (امیر تیموری و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین می‌باید اثر این آلودگی را بر بخش‌های مختلف اقتصاد سنجید تا برنامه‌ریزی صحیحی در مدیریت تولید و میزان آلودگی صورت گیرد.

به منظور محاسبه هزینه‌های زیست‌محیطی با توجه به دامنه، شدت و مدت تخریب، از برخی گزارشات روزانه و آمارهای پایه، مواردی مانند اندازه‌گیری کیفیت هوا، کیفیت آب، فشار بر اکوسیستم-ها، میزان تولید ضایعات، خروج گازهای گلخانه‌ای، تخریب جنگل‌ها و مراتع و غیره، استفاده می‌شود. طبق ماده نهم و دهم اصل پنجاه قانون اساسی تحت عنوان "قانون حفاظت و به‌سازی محیط زیست"، اقدام به هر عملی که موجبات آلودگی محیط زیست را فراهم نمایند، ممنوع است. منظور از آلوده ساختن محیط زیست، عبارت است از پخش یا آمیختن مواد خارجی به آب، هوا یا خاک یا زمین به میزانی که کیفیت فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیک آن به‌طوری که زیان آور به حال انسان یا سایر موجودات زنده و یا گیاهان و آثار و ابنیه باشد، تغییر دهد.

یکی از معیارهای فرایند توسعه پایدار، توجه به مسائل زیست‌محیطی و حفاظت از محیط زیست می‌باشد. در این رهگذر، استفاده از ابزارهای اقتصادی، نقش بسزایی در افزایش کارایی بازار و تخصیص بهینه منابع در دستیابی به هدف حداکثر اجتماعی ایفا می‌نمایند. مالیات‌های زیست‌محیطی، یکی از ابزارهای اقتصادی مورد نظر برای کاهش هزینه‌های خارجی فعالیت‌های اقتصادی است (فهیم و اقدامی، ۱۳۹۰).

مالیات‌های پیگویی، مالیات‌هایی با نرخ معین هستند که به هر واحد انتشار آلاینده‌ها یا تخریب زیست‌محیطی، وضع می‌شوند. در مورد نرخ‌های استفاده شده می‌توان گفت که نرخ مالیات با هزینه نهایی اجتماعی در سطح کارآمد اجتماعی انتشار آلودگی^۴ برابر است. سطح کارآمد اجتماعی انتشار آلودگی، زمانی رخ می‌دهد که منافع نهایی منتج از رفع آلودگی برای شرکت‌ها برابر هزینه نهایی اجتماعی انتشار آلاینده‌ها باشد. به‌طور کلی، مالیات‌های پیگویی، با بالا بردن قیمت‌های آلودگی از طریق افزایش هزینه‌های اجتماعی، باعث می‌شود که آلوده کنندگان با هزینه‌های اجتماعی و شخصی اقدامات خود مواجه گردند (بامول و گوته، ۱۹۹۸). نتیجه آنکه، دو ویژگی بارز مالیات‌های پیگویی، آن را از سایر مالیات‌ها متمایز و از دیدگاه کارایی اجتماعی نیز آن را برجسته می‌کند.

اولاً، هزینه‌های سیاست‌های زیست‌محیطی را با استفاده از مکانیزم مالیات‌ها کاهش می‌دهد؛ زیرا برخلاف هزینه‌های اجرای سیاست‌های نظارت و بازرسی، این مالیات، بر سیستم قیمت‌ها متکی است. ثانیاً، مالیات‌های پیگویی، موارد زیر را تشویق می‌کند تا آلودگی را به روش حداقل هزینه کاهش دهد (اسدی، ۱۳۸۷):

1. Internalize
2. Social Costs
3. Private Costs
4. Socially efficient level of emissions
5. Baumol & Qates (1998)

۱- کاهش بیشترین مقدار آلودگی از طریق کارخانه‌های صنعتی که می‌توانند موقعیت خود را با کمترین هزینه تعدیل کنند؛

۲- استفاده از حداقل هزینه کاهنده توسط هر کارخانه.

در مواردی پیش می‌آید که در جریان تولید یک ستانده مطلوب که در بازار مورد مبادله قرار می‌گیرد، ستانده نامطلوبی نیز تولید می‌شود که بنگاه دفع می‌کند. این ستانده نامطلوب از آنجا که در بازار مبادله نمی‌شود، قیمت ندارد. برای مثال، مجتمع سنگ آهن گل گهر سیرجان، علاوه بر تولید کنسانتره و گندله سنگ آهن به‌عنوان ستانده مطلوب، آلودگی زیست‌محیطی از جمله گازهای گلخانه‌ای مانند اکسیدهای گوگرد، اکسیدهای نیتروژن و دی اکسید کربن و گردوغبار یا ستانده‌های نامطلوب را نیز تولید می‌کند که می‌توان میزان این انتشار را با توجه به مقدار تولید محصولات و ضریب انتشار آلاینده‌ها محاسبه نمود. برای تخمین قیمت این ستانده‌ها می‌توان از رویکرد تحلیل مرز تصادفی استفاده کرد و با این فرض که قیمت بازاری هر ستانده با قیمت سایه‌ای آن برابر است و با استفاده از قیمت بازاری ستانده مطلوب، قیمت سایه‌ای ستانده نامطلوب را محاسبه کرد.

قیمت سایه‌ای ستانده نامطلوب، هزینه‌ای است که اگر تولیدکننده بخواهد تولید ستانده نامطلوب را کاهش دهد، باید متحمل گردد. در واقع، می‌توان آن را به‌عنوان هزینه نهایی کاهش آلودگی برای هر تولیدکننده تفسیر کرد. بنابراین، قیمت سایه‌ای ستانده مطلوب، مثبت و برابر قیمت بازار آن ستانده در نظر گرفته می‌شود؛ اما قیمت سایه‌ای ستانده نامطلوب، باید کوچک‌تر از صفر برآورد شود. (صفرزاده، ۱۳۹۱).

برتری استفاده از تابع مسافت به‌جای نمایش تابع تولید برای تکنولوژی، این است که به آسانی، تولیدات توأم چند محصول را مدل سازی می‌کند. چندین مزایا در مورد مدل سازی توأم کالای مطلوب و نامطلوب وجود دارد. یکی از این مزیت‌ها، آن است که به اطلاعات فعالیت‌های کنترل آلودگی نیاز نبوده و همچنین نیاز به تخمین کمیت آلودگی کاهش یافته و در نتیجه، فعالیت‌ها در جهت کنترل آلودگی نمی‌باشد و به‌جای آن، هزینه فعالیت‌های کنترل آلودگی به‌وسیله تولید کاهش یافته کالای مطلوب که در نتیجه تخصیص مجدد نهاده در جهت فعالیت‌های کنترل آلودگی است، محاسبه می‌شود (اسماعیلی و محسن پور، ۱۳۸۹).

مزیت دیگر مدل سازی توأم کالاهای مطلوب و نامطلوب، این است که از مشکلات ایجاد شده در نمونه‌گیری برای اندازه‌گیری هزینه‌های ناشی شده از تغییر در فرایند تولید و تکنیک‌های کنترل آلودگی، اجتناب می‌کند. در مدل تولیدات توأم، هماهنگی در مورد فرایند کاهش در یک یا چند آلودگی به‌صورت خودکار مربوط به تکنولوژی، تولید می‌شود. توابع کنترل آلودگی، نیاز به اطلاعاتی در مورد هماهنگی موجود بین فرایند کنترل آلودگی‌های گوناگون دارند و در نهایت، روش تابع مسافت قیمت‌های سایه‌ای تولیدکننده را براساس رفتار واقعی تولیدکننده‌ها و نه براساس برآوردهای مهندسی، تخمین می‌زند (کویلی، ۲۰۰۰).

۴. روش شناسی پژوهش

در این مطالعه، به دلیل توانایی تابع مسافت نهاد در جهت دادن اعتبار به تولیدکننده برای فعالیت‌های کنترل آلودگی، از زمانی که ستانده‌های نامطلوب در تجزیه و تحلیل وارد می‌شوند، برای اندازه‌گیری قیمت سایه‌ای، استفاده شده است.

برای یک تکنولوژی تولید با N نهاد جهت تولید M ستانده مطلوب و غیرمطلوب، تابع مسافت نهاد براساس دیدگاه شفرد^۱ و فار و پریمونت^۲ (به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود):

$$D(u, x, t) = \sup\{\theta: \left(u, \frac{x}{\theta}\right) \in Y(t), \theta \in R_+\} \quad (1)$$

که در آن، x و u به ترتیب، بردارهای نهاد و ستانده و t متغیر روند زمانی، و $Y(t)$ تکنولوژی امکانات تولید (در زمان t) است.

به عبارت دیگر، ارزش تابع مسافت نهاد، مقدار حداکثری (ماکزیمم) را اندازه می‌گیرد که بردار نهاد، می‌تواند با ثابت در نظر گرفتن بردار ستانده، اندازه‌گیری شود. این ارزش کاهش متناسب کمینه بردار نهاد را برای رسیدن به یک بردار ستانده، به یک مرز مشخص تعریف می‌کند.

تابع مسافت نهاد، یک ارزش متناهی برای $0 \leq u$ دارد، غیرافزایشی و تابعی پیوسته از x برای $u \in R_+^M$ بوده و مقعر و همگن از درجه ۱ در x است، همچنین یک تابع شبه مقعر و نیمه پیوسته فوقانی از u است. در صورتی که نهاده‌ها کاملاً آزاد باشند، تابع مسافت نهاد، یک سری مشخصات کامل از نهاد را فراهم می‌کند

همچنین می‌توان مشخصات مشتق تابع فاصله‌ای نهاد را با توجه به ستانده‌های مطلوب و نامطلوب تشخیص داد. اگر نهاده‌ها به صورت ثابت در نظر گرفته شوند، یا از طریق استفاده از نهاده‌های اضافی جهت کنترل آلودگی، سطح ستانده‌های مطلوب حفظ شود، ستانده‌های نامطلوب می‌توانند در مخارج (هزینه) ستانده‌های مطلوب کاهش یابند. از آنجا که ارزش تابع مسافت ماکزیمم تناسبی را که همه نهاده‌ها می‌توانند به طور متناسب با ثابت در نظر گرفتن ستانده کاهش یابند، اندازه‌گیری می‌کند، تابع مسافت نهاد باید غیرکاهشی در نهاده‌ها و نیز غیرافزایشی در محصولات مطلوب باشد. از طرف دیگر، کاهش در ستانده‌های نامطلوب، نیاز به استفاده نهاده‌هایی برای کنترل آلودگی دارد، در حالی که ستانده‌های دیگر، ثابت باقی می‌مانند. بنابراین، تابع مسافت نهاد باید در مورد ستانده‌های نامطلوب، غیرکاهشی باشد.

همچنین قابلیت حذف ضعیف ستانده‌ها برای مدل، نگاه داشته می‌شود. قابلیت حذف ضعیف، معادل با این باور است که اگر x بتواند u را تولید کند، پس x می‌تواند یک درجه پایین‌تر محصول u را نیز تولید کند. در غیاب ستانده‌های نامطلوب، قابلیت حذف ضعیف، یک فرض قابل اغماض است؛ زیرا ستانده‌های مطلوب به راحتی قابل حذف هستند. به طور عمومی‌تر، قابلیت حذف ضعیف می‌تواند

در شرایط مفاهیم شفرده از تکنولوژی‌های قابل تقسیم، در نتیجه توانایی جهت انجام تکنولوژی یک جزء θ از زمان برای به دست آوردن u تفسیر شود. با وجود قابلیت حذف ضعیف، یک ستانده ضرورتاً دارای قابلیت حذف آزاد نیست. حذف یک ستانده نامطلوب، هزینه‌ای را به صورت یک کاهش متناسب از ستانده مطلوب خواهد داشت و بنابراین، یک بنگاه، مجبور به بالاتر بردن قابلیت حذف ضعیف برای تشخیص کامل‌تری از تکنولوژی تولید است. این مورد از طریق مشخصات تابع مسافت نهاده که در مورد ستانده‌های نامطلوب غیرکاهشی بوده، جهت رسیدن به این حقیقت که کنترل آلودگی می‌تواند از طریق استفاده از نهاده‌های اضافی با ثابت در نظر گرفتن ستانده‌های مطلوب به دست آید، انجام شده است (اسماعیلی و محسن پور، ۱۳۸۹).

رهیافت تابع مسافت، نه تنها نیاز به برآورد ارزش صدمات آلودگی ندارد، بلکه همچنین می‌تواند برای به دست آوردن قیمت‌های سایه‌ای آلودگی که هزینه‌های نهایی کنترل آلودگی تولیدکننده را نشان می‌دهد، استفاده شود. برآورد هزینه‌های نهایی کنترل آلودگی برای تجزیه و تحلیل‌های بیشتر اقتصادی و برای دیگر سیاست‌های زیست‌محیطی مفید هستند. این قیمت‌های سایه‌ای تحت فرض رفتاری حداقل (مینیمم) کردن هزینه به دست می‌آید.

معمولاً شکل تابعی ترانسلوگ انعطاف پذیر برای تابع مسافت نهاده انتخاب می‌گردد (هایلر، ۲۰۰۳) که به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} \ln D(u, x, t) = & \alpha_o \\ & + \sum_{n=1}^N \alpha_n \ln x_n \\ & + \sum_{m=1}^M \beta_m \ln u_m \\ & + (0.5) \sum_{n=1}^N \sum_{\dot{n}=1}^{\dot{N}} \alpha_{n\dot{n}} \ln x_n \ln x_{\dot{n}} \\ & + (0.5) \sum_{m=1}^M \sum_{\dot{m}=1}^{\dot{M}} \beta_{m\dot{m}} \ln u_m \ln u_{\dot{m}} \\ & + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \gamma_{nm} \ln x_n \ln u_m + \alpha_t \cdot t + (0.5) \cdot \alpha_{tt} \cdot t^2 \\ & + \sum_{n=1}^N \alpha_{nt} \cdot t \cdot \ln x_n + \sum_{m=1}^M \beta_{mt} \cdot t \cdot \ln u_m \end{aligned} \quad (2)$$

که در آن، x بردار نهاده‌ها را به صورت زیرنویس ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ نشان می‌دهد که به ترتیب، سنگ آهن خام، نیروی کار، میزان سوخت مصرفی و حمل‌ونقل و سرمایه هستند و U بردار ستانده بنگاه را به صورت ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ نشان می‌دهد که به ترتیب، ستانده مطلوب، میزان تولید کنسانتره سنگ آهن و گندله و ستانده نامطلوب آلاینده‌های هوا شامل SO_x ، CO_2 ، NO_x و ذرات ریز معلق در هوا می‌باشند و t متغیر روند زمانی را نشان می‌دهد.

تلاش اصلی در رهیافت برنامه‌ریزی هدف، برآورد پارامترهایی است که مجموع انحرافات ارزش لگاریتمی تابع فاصله‌ای را از صفر، مینیمم می‌کند. شرایط یکنواختی، همگنی و تقارن به عنوان محدودیت وارد می‌شوند. یک محدودیت اضافی دیگر در مسئله، جهت نشان دادن اینکه باید ارزش تابع مسافت نهاده برابر یا بزرگ‌تر از پیوستگی (اشتراک) برای همه ترکیبات مشاهدات نهاده و ستانده لازم می‌باشد، وارد شده و شکل مسئله بهینه سازی به صورت رابطه ۳ است:

$$\text{Minimize}_{(\alpha, \beta, t)} \sum_{t=1} \ln D(u, x, t) \quad (3)$$

Subject to following constraints:

$$\ln D(u, x, t) \geq 0 \quad t = 1, \dots, 22 \quad (C1)$$

$$\frac{\partial \ln D(u, x, t)}{\partial x_n} \geq 0 \quad t = 1, \dots, 22 \quad n = 1, \dots, 5. \quad (C2)$$

$$\frac{\partial \ln D(u, x, t)}{\partial u_m} \leq 0 \quad , 22t = 1, \dots \quad m = 1 \quad (C3)$$

$$\frac{\partial \ln D(u, x, t)}{\partial u_m} \geq 0 \quad t = 1, \dots, 22 \quad m = 5 \quad (C4)$$

$$\sum_{n=1} \alpha_n = 1 \quad (C5a)$$

$$\sum_{n=1} \alpha_{n\dot{n}} = 0 \quad \dot{n} = 1, 2, 3, 4, 5 \quad (C5b)$$

$$\sum_{n=1} \gamma_{nm} = 0 \quad m = 1, \dots, 5 \quad (C5c)$$

$$\sum_{n=1} \alpha_{nt} = 0 \quad (C5d)$$

$$\alpha_{n\dot{n}} = \alpha_{\dot{n}n} \quad n, \dot{n} = 1, \dots, 5 \quad (C6a)$$

$$\beta_{m\dot{m}} = \beta_{\dot{m}m} \quad m, \dot{m} = 1, \dots, 5 \quad (C6b)$$

تابع هدف، مینیمم کردن مجموع انحرافات ارزش لگاریتمی تابع فاصله‌ای را از صفر نشان می‌دهد. تابع مسافت نهاده $D(u, x, t)$ براساس دیدگاه شفرده و فار و پریمونت^۲، در رابطه ۱ در بالا تعریف شده است (که در آن، x و u به ترتیب، بردارهای نهاده و ستانده و t متغیر روند زمانی است). محدودیت اول (C1) نشان دهنده، بزرگ‌تر یا مساوی یک بودن ارزش تابع مسافت نهاده برآورد شده می‌باشد. به عبارت دیگر، مشاهدات را به کاهش به سمت داخل یا روی مرز تولید سوق می‌دهد.

سری دوم، محدودیت‌ها، (C2) شرایط یکنواختی را که باید تابع مسافت در مورد نهاده‌ها، غیرکاهشی باشد، برقرار می‌کند.

سری سوم، محدودیت‌ها (C3) نشان می‌دهد که نیاز است تابع، یک تابع غیرافزایشی از ستانده‌های مطلوب باشد؛ در حالی که محدودیت (C4) تضمین می‌کند که تابع مسافت نهاده در مورد ستانده‌های نامطلوب غیرکاهشی است. بنابراین، محدودیت‌ها در C3 و C4 برای ترکیب عدم تقارن اساسی بین ستانده‌های مطلوب و نامطلوب برای تعیین تکنولوژی تولید نیاز است، به این صورت که ستانده‌های مطلوب به راحتی قابل حذف هستند؛ اما کنترل آلودگی هزینه‌بر است. سری باقیمانده محدودیت‌ها (C5)، همگنی خطی را در نهاده‌های تابع و (C6) وضعیت تقارن پارامترها را برای شکل تابعی ترانسلوگ تضمین می‌کند.

در مدل بهینه‌سازی فوق، ارزش سایه‌ای آلودگی از طریق رابطه زیر به دست می‌آید (فارا و همکاران^۳، ۱۹۹۰):

$$P_b^{rt} = P_g^{rt} \left[\frac{\frac{\partial D_0(X, Y)}{\partial Y_b}}{\frac{\partial D_0(X, Y)}{\partial Y_g}} \right] \quad (4)$$

در این رابطه، P_b ارزش سایه‌ای ستانده نامطلوب و P_g ارزش سایه‌ای ستانده مطلوب است. در این رابطه، صورت کسر، مشتق تابع فاصله نسبت به ستانده نامطلوب و مخرج آن، مشتق نسبت به ستانده مطلوب است.

از رابطه بالا برای محاسبه قیمت سایه‌ای آلاینده‌ها SO_x ، NO_x و CO_2 و SPM که در برآورد تابع فاصله نهاده دخیل می‌باشد، استفاده شده، و بدیهی است که نسبت قیمت سایه‌ای ستانده خوب (تولید کنسانتره و گندله آهن) به قیمت سایه‌ای ستانده بد (آلودگی) توسط شیب تابع فاصله مرزی در ستانده ترکیبی مشاهده شده، منعکس می‌شود. همچنین قیمت‌های سایه‌ای، رابطه مبادله بین

1. Shephard (1953 & 1970)
2. Fare & Primon (1995)
3. Fare et al. (1990)

ستانده‌های مطلوب و نامطلوب را در ترکیب عملی ستانده‌ها نشان می‌دهد. با توجه به آنکه قیمت ستانده نامطلوب به دلیل هزینه‌های رفع و کاهش آلودگی و یا به دلیل وضع مالیات بر روی ستانده بد منفی است، هر چه ستانده بد مضرتر و خطرناک‌تر باشد، قدر مطلق P_b^{rt} بزرگ‌تر خواهد بود. در این مطالعه، قیمت سایه‌ای گازهای گلخانه‌ای در تولید سنگ آهن در مجموعه صنعتی و معدنی گل گهر سیرجان محاسبه شده است. در این بخش، مقادیر سنگ آهن خام (تن)، پرسنل شاغل (نفر)، سوخت مصرفی (لیتر)، ماشین آلات و سرمایه خالص به‌عنوان نهاده، مجموع تولید سنگ آهن دانه‌بندی شده، کنسانتره سنگ آهن و گندله معدن به‌عنوان ستانده مطلوب و گازهای SO_2 ، NOx و CO_2 منتشره و ریزگرد حاصل از تولید، به‌عنوان ستانده نامطلوب در نظر گرفته شده است. بازه زمانی مورد مطالعه، ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۱ می‌باشد.

داده‌های مورد نیاز در این مطالعه، از منابع مختلف جمع‌آوری شد. بخشی از اطلاعات مورد استفاده، از گزارش‌های مالی شرکت گل گهر در سال‌های مختلف استخراج گردید و داده‌های مربوط به آلاینده‌ها با مراجعه به اداره کل حفاظت محیط زیست کرمان و معدن گل گهر سیرجان و ترازنامه انرژی جمع‌آوری گردید. تحلیل داده‌ها با استفاده از بسته نرم افزاری GAMS و Excel صورت گرفت. به منظور برآورد هزینه اجتماعی حاصل از تولید مجتمع سنگ آهن گل گهر، میانگین تولید گازهای گلخانه‌ای مجموعه در بازه زمانی ۱۴۰۱-۱۳۸۰ محاسبه و در میزان هزینه اجتماعی ناشی از هر کدام از انواع آلاینده‌ها ضرب، و نهایتاً میزان هزینه‌های اجتماعی انواع آلاینده‌ها محاسبه شد. با توجه به اینکه هزینه اجتماعی ناشی از گازهای گلخانه‌ای، از ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۷ استخراج شده است، تبدیل ارزش ریالی به سال ۱۴۰۱ صورت پذیرفت.

برای تبدیل ارزش ریالی در یک مقطع زمانی نسبت به مقطع زمانی دیگر (در گذشته) از شاخص بهای کالاها و خدمات مصرفی^۲ (CPI) به شرح فرمول ۵ استفاده می‌شود (بانک مرکزی ج.ا.ا، ۱۴۰۱):

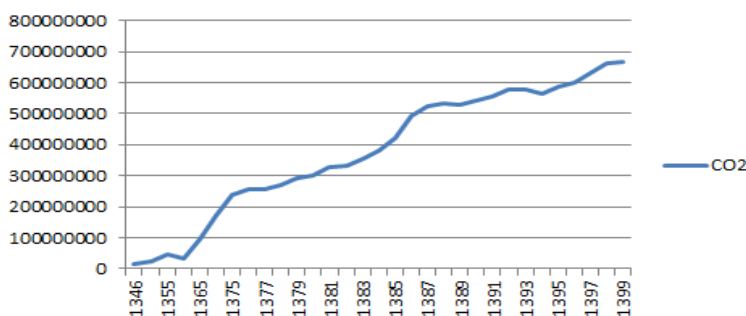
$$(۵) \quad \text{مبلغ ریالی} \times \frac{\text{عدد شاخص در مقطع زمانی مورد نظر}}{\text{عدد شاخص در مقطع زمانی اول}} = \text{ارزش ریالی مبلغ در مقطع زمانی مورد نظر}$$

۱. این ضریب در ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۷ ارائه شده است.
۲. شاخص بهای کالاها و خدمات مصرفی (Consumer price index) معیار سنجش تغییرات قیمت کالاها و خدماتی است که توسط خانوارهای شهرنشین ایرانی به مصرف می‌رسد. این شاخص به عنوان وسیله‌ای برای اندازه‌گیری سطح عمومی قیمت کالاها و خدمات مورد مصرف خانوارها، یکی از بهترین معیارهای سنجش تغییر قدرت خرید پول داخل کشور، به‌شمار می‌رود. نرخ تورم منتهی به هر ماه از محاسبه درصد تغییر متوسط شاخص CPI در دوازده ماه منتهی به ماه مورد نظر نسبت به دوره مشابه قبل، به دست می‌آید (بانک مرکزی جمهوری اسلامی، ۱۴۰۲).

۵. نتایج

روند رو به افزایش گازهای گلخانه‌ای در کشور طبق آمارهای منتشره از سازمان‌های مربوط، به خوبی نشان داده می‌شود؛ به‌طوریکه طبق اطلاعات ترازنامه انرژی در ایران، میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن (CO_2) مربوط به مصرف کل انرژی از حدود ۱۶۰ میلیون تن در سال ۱۳۴۶ به میزان بیش از ۶۶۷ میلیون تن در سال ۱۳۹۹ رسیده است. این گاز بیشترین حجم انتشار را بین گازهای گلخانه‌ای در کشور دارا است. همچنین میزان انتشار گاز دی‌اکسید گوگرد از حدود ۱۰۸ هزار تن در سال ۱۳۴۶ به حدود ۹۸۰ هزار تن در سال ۱۳۹۹ رسیده است.

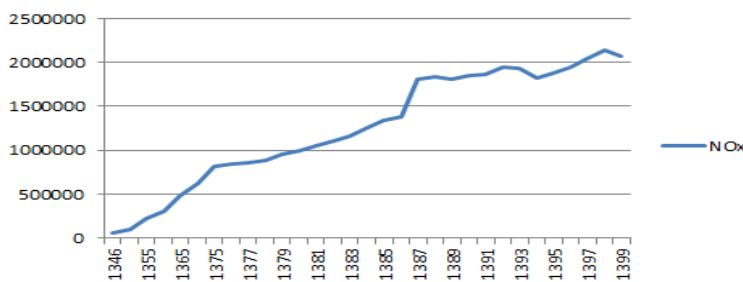
طی پنجاه سال گذشته برای سایر گازهای گلخانه‌ای نیز روند رو به افزایش انتشار، مشاهده می‌شود که شکل‌های زیر، این روند را نشان می‌دهند. لذا با توجه به اهمیت انتشار گازهای گلخانه‌ای، بررسی اثرات این گازها بر محیط زیست و سایر بخش‌ها نقش بسزایی در تصمیم‌گیری و مدیریت انتشار آن‌ها دارد.



شکل ۱: روند انتشار گاز CO_2 حاصل از مصرف انرژی (تن)

Figure 1: CO_2 emission trend from energy consumption (tons)

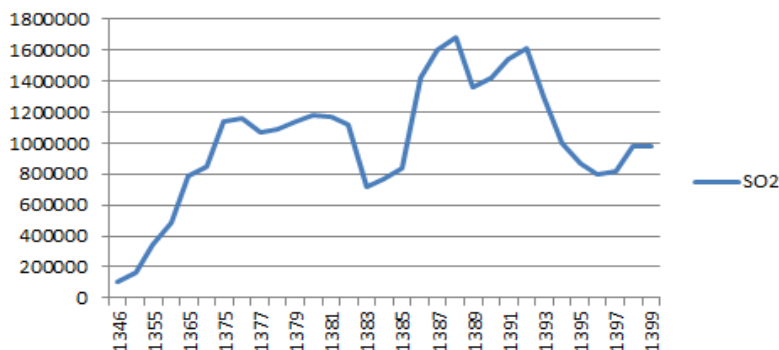
منبع: ترازنامه انرژی، وزارت نیرو، معاونت امور برق و انرژی، ۱۳۹۹



شکل ۲: روند انتشار گاز NO_x حاصل از مصرف انرژی (تن)

Figure 2: NO_x emission trend from energy consumption (tons)

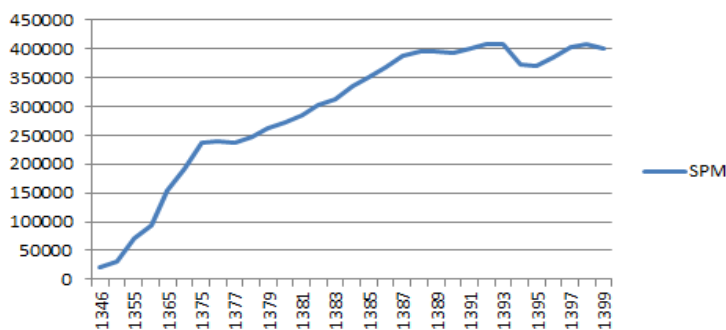
منبع: ترازنامه انرژی، وزارت نیرو، معاونت امور برق و انرژی، ۱۳۹۹



شکل ۳: روند انتشار گاز SO₂ حاصل از مصرف انرژی (تن)

Figure 3: SO₂ emission trend from energy consumption (tons)

منبع: ترازنامه انرژی، وزارت نیرو، معاونت امور برق و انرژی، ۱۳۹۹



شکل ۴: روند انتشار گاز SPM حاصل از مصرف انرژی (تن)

Figure 4: SPM emission trend from energy consumption (tons)

منبع: ترازنامه انرژی، وزارت نیرو، معاونت امور برق و انرژی، ۱۳۹۹

آلودگی زیست‌محیطی و پدیده تغییر اقلیم و همچنین تجدیدناپذیری حامل‌های انرژی فسیلی که از چالش‌های اصلی استفاده از این منابع کمیاب و ارزشمند به شمار می‌روند، در اثر توسعه ناپایدار، الگوهای نادرست مصرف انرژی، افزایش جمعیت و ... در سال‌های اخیر، با شدت بیشتری ادامه داشته و هزینه‌های اجتماعی بسیاری را به جامعه تحمیل کرده است. جهت محاسبه هزینه‌های اجتماعی که بتوان به وسیله آن، صدمات ناشی از انتشار مواد آلاینده و گازهای گلخانه‌ای را جبران کرد، نیاز به کمی کردن اثر آلاینده‌ها و فعالیت‌ها در محیط‌های اثر پذیر (انسانی و طبیعی) است (شهیکی تاش و همکاران، ۱۳۹۳).

کشور ما با ثروت معدنی تجدیدناپذیر غنی شده است. متأسفانه، پروژه‌های معدنی همواره باعث ایجاد اختلال در محیط زیست می‌شود. مهم‌ترین آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از استخراج سنگ

آهن، بدتر شدن تنوع زیستی و کیفیت هوا است. بزرگی و اهمیت تأثیرات بر تنوع زیستی و کیفیت هوا به اندازه و مقیاس فعالیت‌های معدنی بستگی دارد. به منظور حفاظت از محیط زیست، نیاز بیشتری به اتخاذ شیوه‌های عملیاتی بهتر و فناوری‌های پاک‌تر در صنعت سنگ آهن وجود دارد.

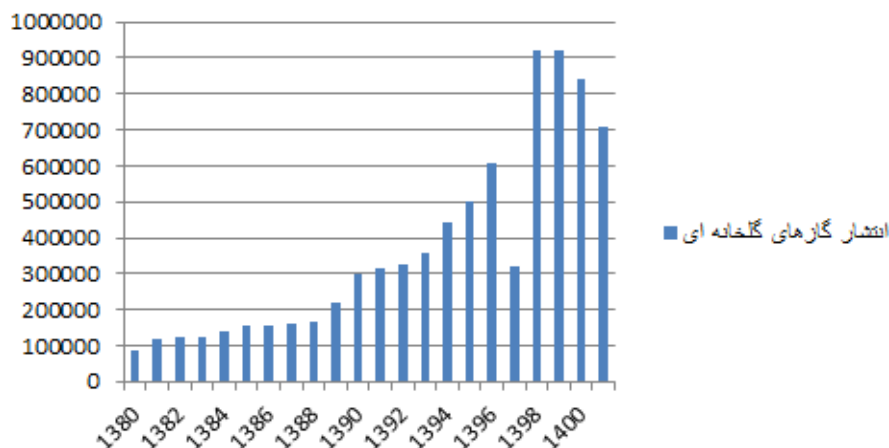
مجموعه صنعتی و معدنی گل گهر سیرجان با ظرفیت تولید بیش از ۱۵ میلیون تن کنسانتره و بیش از ۱۰ میلیون تن گندله، بزرگ‌ترین تولیدکننده در کشور می‌باشد. اگر پروژه‌های توسعه و بهینه‌سازی در افق چشم‌انداز تحقق یابد، مجموع تولیدات سالانه به بیش از ۳۰ میلیون تن می‌رسد. این شرکت با تأسیس شرکت‌های فولادی، سعی در افزایش سهم تولید محصولات فولادی نظیر آهن اسفنجی دارد. در آینده‌ای نزدیک با تولید اسلب نازک و مقاطع فولادی، زنجیره خود را کامل خواهد کرد. منطقه‌ای که گل گهر در آن قرار دارد کلیه فرایند تولید از معدن تا محصول نهایی در کنار هم قرار گرفته‌اند. تولیدات حاصل از این معدن شامل گندله سنگ آهن، کنسانتره سنگ آهن و سنگ دانه‌بندی شده می‌باشند. علاوه بر تولیدات مطلوب، در اثر حفاری، حمل‌ونقل سنگ آهن خام و سپس عملیات تولید محصولات شرکت، تولیدات نامطلوب مثل آلاینده‌های هوا شامل SO_x ، CO_2 ، NO_x و ذرات ریز معلق در هوا نیز تولید می‌شود.

به عنوان مثال، عملیات کلوخه سازی می‌تواند سطوح قابل توجهی از غبار در حدود ۲۰ کیلوگرم به واحد تن فولاد منتشر کند. همچنین عملیات گندله سازی می‌تواند در حدود ۱۵ کیلوگرم/تن فولاد غبار منتشر کند. نشر گازها به هوا در مراحل مختلف از جمله توده آهن در یک کوره بلند شامل ذرات ریز کمتر از ۱۰ میکرون (SPM) از کمتر از ۱۰ کیلوگرم/تن تا ۴۰ کیلوگرم/تن فولاد؛ اکسیدهای گوگرد (SO_x) عمدتاً از کلوخه سازی و عملیات گندله سازی (۱/۵ کیلوگرم/تن فولاد)؛ اکسیدهای نیتروژن (NO_x) به‌طور عمده از کلوخه‌سازی و پخت (۱/۲ کیلوگرم/تن فولاد)؛ هیدروکربن، مونوکسید کربن، در برخی از موارد دی‌اکسید (عمدتاً از عملیات کلوخه سازی) و فلورید هیدروژن صورت می‌گیرد (ضمیرایی و ناهد، ۱۳۹۵).

در این، مطالعه میزان انتشار آلاینده‌های هوا شامل SO_x ، CO_2 ، NO_x و ذرات ریز معلق برای مجموع تولید سنگ آهن دانه‌بندی شده، کنسانتره سنگ آهن و گندله مجتمع سنگ آهن گل گهر سیرجان با توجه به ضریب انتشار گازهای آلاینده صنعت فولاد (که در مطالعه، با عنوان بررسی کمی و کیفی پسماندهای تولید شده در صنایع فولاد (ضمیرایی و ناهد، ۱۳۹۵) به تفکیک مراحل تولید و فرآوری سنگ آهن آورده شده است) به ازای هر تن سنگ آهن در بازه زمانی ۱۴۰۱-۱۳۸۰ محاسبه شد.

همان‌طور که شکل (۵) نشان می‌دهد، روند تغییرات انتشار آلاینده‌های گلخانه‌ای مجتمع سنگ آهن گل گهر در سال‌های اخیر، بسیار پر شتاب بوده و این مهم، ضرورت برنامه‌ریزی مناسب و تقلیل آثار سوء ناشی از مصرف انواع حامل‌های انرژی و توجه به میزان انتشار انواع آلودگی‌ها را ضروری می‌سازد.

میزان انتشار گازهای آلاینده گلخانه‌ای



شکل ۵: روند انتشار گازهای آلاینده زیست‌محیطی (NO_x , CO_2 , Sox و SPM) مجموعه

صنعتی و معدنی سنگ آهن گل گهر سیرجان

Figure 5: Emission trends of environmental pollutant gases (NO_x , CO_2 , Sox and SPM) of the Golgohar Iron Ore Industrial and Mining Complex, Sirjan

مأخذ: یافته‌های تحقیق

هزینه‌های اجتماعی تخریب زیست محیط در اثر مصرف حامل‌های انرژی فسیلی در کشور برای گازهای CH_4 ، CO ، CO_2 ، SO_2 ، NO_x و SMP در جدول (۱) درج شده است.

جدول ۱: هزینه‌های اجتماعی بخش انرژی به تفکیک گاز آلاینده/گلخانه‌ای (هزار ریال/تن)

Table 1: Social costs of the energy sector by pollutant/greenhouse gas (thousand rials/ton)

CH_4	CO_2	SPM	CO	SO_3	SO_2	NO_x	نوع گاز
۱۶۸۰	۸۰	۳۴۴۰۰	۱۵۰۰	**	۱۴۶۰۰	۴۸۰۰	هزینه اجتماعی ۱
(۱۳۹۳)							
۱۳۱۲۵/۱۳	۶۲۵	۲۶۸/۷۵	۱۱۷۱۹	**	۱۱۴/۰۶۴	۳۷/۵۰۰	هزینه اجتماعی (۱۴۰۱)

منبع: ترازنامه انرژی، ۱۳۸۷ براساس مطالعه بانک جهانی و سازمان محیط زیست ** ارقام در دسترس نیستند.

پس از آنکه هزینه اجتماعی گازهای گلخانه‌ای درج شده در جدول ۱ به وسیله شاخص بهای کالاها و خدمات مصرفی (CPI) تعدیل، و در میزان میانگین هر یک از آلاینده‌ها ضرب شد. میزان

هزینه اجتماعی برای آلاینده‌های CO_2 , SO_x , NO_x و SMP برای مجتمع گل گهر سیرجان در جدول ۲ ارزیابی شده است.

جدول ۲: هزینه اجتماعی آلاینده‌های مجتمع سنگ آهن گل گهر سیرجان

Tabel 2: The social cost of pollutants from the Gol Gohar Iron Ore Complex in Sirjan

آلاینده‌ها	NO_x	SO_x	SPM	CO_2
میزان تولید (تن)	15185.4	12231.8	35540.85	44370.87
هزینه اجتماعی (میلیارد ریال) تولید	569.4	1395.2	9551.6	277.3

مأخذ: یافته‌های تحقیق

میانگین هزینه‌های کل اجتماعی حاصل از تولید مجتمع گل گهر با توجه به میزان تولید آلاینده‌ها در دوره مورد نظر (بازه زمانی ۱۴۰۱-۱۳۸۰) مبلغ ۱۱۷۹۳/۵ میلیارد ریال محاسبه شد.

در این مطالعه، جهت برآورد تابع مسافت نهاده از رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی رابطه ۳ استفاده شد که نهاده‌های مدل شامل سنگ آهن خام (تن)، پرسنل شاغل (نفر)، سوخت مصرفی (لیتر)، ماشین آلات و سرمایه خالص می‌باشد و مجموع تولید سنگ آهن دانه‌بندی شده، کنسانتره سنگ آهن و گندله معدن به‌عنوان ستانده مطلوب و گازهای SO_2 ، NO_x و CO_2 منتشره و ریزگرد حاصل از تولید، به‌عنوان ستانده نامطلوب می‌باشند. بعد از برآورد مدل با استفاده از مدل رابطه ۴، قیمت سایه‌ای آلاینده‌های زیست‌محیطی معدن سنگ آهن محاسبه شد.

قیمت‌های سایه‌ای، هزینه نهایی کنترل آلودگی را برای تولیدکننده و البته برای جامعه، اندازه‌گیری می‌کند که در جدول ۳ آورده شده است. هزینه نهایی کنترل آلاینده‌های زیست‌محیطی به این مفهوم است که کنترل و جلوگیری از انتشار یک واحد بیشتر از این آلاینده‌ها، به چه میزان دارای هزینه است یا کاهش یک واحد از سطح آلاینده‌های مورد نظر، به چه میزان منجر به افزایش و بهبود کیفیت هوای محیط خواهد شد.

دو راه حل کلی جهت کنترل گازهای آلاینده وجود دارد. در روش اول، به منظور کنترل یک واحد از این آلاینده‌ها، تولید کننده می‌باید از واحدهایی از سطح تولید بکاهد، و به بیان دیگر، در این روش، راه کاهش دادن انتشار آلاینده‌ها، کاهش سطح تولیدات معدن می‌باشد. در روش دوم، تولیدکننده باید جهت کاهش آلاینده‌های هوا از نهاده‌هایی جهت کنترل آلودگی استفاده کند. بنابراین روش دوم مانند یک فرایند تولیدی، از نهاده‌هایی برای رسیدن به ستانده مورد نظر بهره می‌گیرد که ستانده مورد نظر، همان کیفیت هوای محیط است. پس به منظور افزایش کیفیت بیشتر هوای محیط زیست، هزینه‌های بیشتری مورد نیاز است. به عبارت دیگر، هزینه نهایی افزایش کیفیت هوای محیط به کیفیت موجود آن بستگی دارد. در شرایطی که هوای محیط به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای

بسیار آلوده باشد، در مراحل اولیه کنترل آلودگی، با نهاده‌ها و وسایل ساده‌تر، به هزینه‌های کمتری جهت افزایش کیفیت هوای محیط نیاز می‌شود.

از طرفی، در شرایطی که تولیدکننده بخواهد کیفیت محیط زیست را بیشتر افزایش دهد و سطوح بیشتری از آلاینده‌های مورد نظر را کنترل کند، متحمل هزینه‌های بیشتری خواهد شد. همان‌گونه که هایل و ویمن^۱ معتقدند، فرایند کنترل آلاینده‌های زیست‌محیطی از قانون بازدهی نزولی تبعیت می‌کند. بنابراین، با افزایش حجم آلاینده‌های زیست‌محیطی، هزینه‌های نهایی کنترل، کاهش و با کاهش سطح آلاینده‌های مذکور، هزینه نهایی کنترل آلودگی جهت بهبود کیفیت محیط زیست، افزایش خواهد یافت (علی پور و همکاران، ۱۳۹۳).

در ادامه، به تشریح نتایج برآورد قیمت سایه‌ای آلاینده‌های منتشره در مراحل مختلف تولید و فرآوری سنگ آهن (شامل تولید سنگ آهن دانه‌بندی و کنسانتره و گندله سنگ آهن) شامل گازهای دی اکسید کربن (CO_2)، اکسیدهای گوگرد (SO_x)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x) و ذرات معلق (SPM) به‌عنوان پراکنش‌ترین گازهای آلاینده در تولید سنگ آهن طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۸۰ پرداخته شده است.

جدول ۳: قیمت سایه‌ای آلاینده‌های زیست‌محیطی مجتمع گل گهر سیرجان (هزار ریال/تن)

Tabel 3: Shadow price of environmental pollutants in the Gol Gohar Complex in Sirjan (thousand rials/ton)

سال/نوع آلاینده	CO_2	SPM	NO_x	SO_x	سال/نوع آلاینده	CO_2	SPM	NO_x	SO_x
1380	10/8	21/93	121/5	109/1	1391	456/96	930/05	653/2	368/25
1381	22/9	11/8	116/7	106/98	1392	789/4	4244/05	1552/2	696/25
1382	13/6	9/55	51/2	121/84	1393	218/08	2400/1	1522/9	877/2
1383	16/9	9/51	98/7	61/11	1394	96/6	1537/2	909/9	334/2
1384	48/6	13/9	252/2	29/11	1395	66/07	1225/8	1663/1	373/7
1385	77/7	31/9	294/6	41/1	1396	552/4	2170/9	1740/01	508/2
1386	72/2	12/1	192/2	63/3	1397	2221/17	9010/5	6663/5	8396/02
1387	97/2	19/4	203/3	207/42	1398	1303	3358/9	8115/5	11790/03
1388	145/04	29/44	312	384	1399	2128/9	1986/9	14665/5	24529/29
1389	271/5	135/7	672/6	766/15	1400	493/9	1464/6	14646/03	۲1497/09
1390	559/4	425/6	1083/9	1020/32	1401	324/1	756/2	10443/1	۱5290/6

مأخذ: یافته‌های تحقیق

با توجه به نتایج جدول ۳، مشاهده می‌شود که طی دوره مورد مطالعه، قیمت سایه‌ای گاز دی اکسید کربن، کمتر از قیمت سایه‌ای سایر گازهای آلاینده است؛ لذا کنترل هر واحد انتشار این آلاینده

نسبت به آلاینده‌های دیگر، آسان‌تر و کم‌هزینه‌تر است. همچنین طبق نتایج به‌دست آمده، بیشترین قیمت سایه‌ای مربوط به اکسیدهای گوگرد بوده، که نشان دهنده هزینه بالای کنترل آلودگی است و بعد از آن، اکسیدهای نیتروژن و ذرات معلق به ترتیب، بالاترین هزینه کاهش آلودگی را دارند. به عبارت دیگر، به منظور انتشار کمتر آلاینده‌ها، یا باید سطح تولید کل کاهش یابد و در نتیجه، ستانده مطلوب کمتری تولید می‌شود و یا هزینه‌های بیشتری در بخش نهاده‌های مورد نیاز جهت کنترل آلودگی انجام شود. قیمت‌های سایه‌ای به این صورت تفسیر می‌شود که طبق نتایج به‌دست آمده (جدول ۴)، برای مثال، چنانچه بخواهیم انتشار آلودگی اکسیدهای نیتروژن را به میزان یک کیلوگرم کاهش دهیم، این امر مستلزم تولید کمتر ستانده مطلوب و یا افزایش به‌کارگیری نهاده‌ها در بخش تصفیه آلاینده‌ها به‌طور متوسط به ارزش ۲۹۹۸/۸ ریال می‌باشد. همچنین برای کاهش اکسیدهای گوگرد به میزان یک کیلوگرم، هزینه فرصت معادل ۵۷۹۸/۸ ریال از کاهش ستانده‌های مطلوب و یا افزایش نهاده‌ها را خواهیم داشت. این هزینه برای کاهش دی اکسید کربن ۴۵۳/۹۳ ریال و برای کاهش یک کیلوگرم ذرات معلق ۱۳۵۴/۸ ریال می‌باشد.

جدول ۴: میانگین قیمت سایه‌ای آلاینده‌ها (ریال/کیلوگرم)

Table 4: Average shadow price of pollutants (rials/kilogram)

CO2	SPM	SOX	NOX	آلاینده‌ها
				میانگین هزینه
۴۵۳/۹۳	۱۳۵۴/۸	۵۷۹۸/۷	۲۹۹۸/۸	کاهش آلودگی

مأخذ: یافته‌های تحقیق

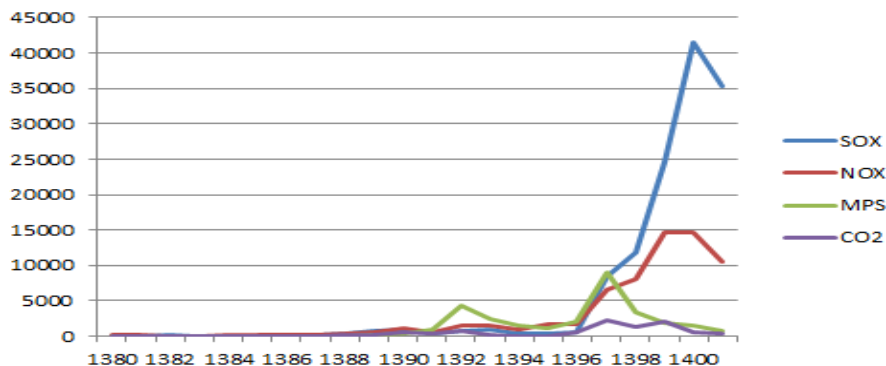
طبق جدول ۵ و همچنین شکل ۶، متوسط قیمت‌های سایه‌ای محاسبه شده طی دوره مورد مطالعه، افزایشی بوده است و هرچه به آخر دوره نزدیک‌تر می‌شویم، روند افزایشی قیمت سایه‌ای سریع‌تر می‌شود که این خود شاهی بر افزایش هزینه‌های کنترل آلودگی در طی زمان می‌باشد.

جدول ۵: میانگین قیمت سایه‌ای آلاینده‌های زیست‌محیطی مجتمع گل گهر سیرجان (هزار ریال/تن)

Table 5: Average shadow price of environmental pollutants in the Gol Gohar Complex, Sirjan (thousand rials/ton)

NO _x	SPM	SO _x	CO ₂	سال / آلاینده
۱۵۵/۸۱	۱۶/۴۲	۷۸/۲۱	۳۱/۷۵	۱۳۸۰-۱۳۸۵
۵۱۹/۵۳	۲۵۸/۷	۴۶۸/۲۴	۲۶۷/۰۵	۱۳۸۶-۱۳۹۱
۲۳۴۱/۹۳	۳۴۳۱/۴۲	۱۸۶۴/۲۶	۶۵۷/۲۸	۱۳۹۲-۱۳۹۷
۱۱۹۷۶/۵۳	۳۸۹۱/۶۵	۲۸۲۷۶/۷۵	۱۰۶۲/۴۷	۱۳۹۸-۱۴۰۱

مأخذ: یافته‌های تحقیق



شکل ۶: مقایسه روند قیمت سایه‌ای آلاینده‌های هوا در مجتمع سنگ آهن گل گهر

Figure 6: Comparison of shadow price trends of air pollutants in the Golgohar iron ore complex
مأخذ: یافته‌های تحقیق

افزایش شدید روند هزینه آلاینده‌ها اگرچه از یک طرف، می‌تواند نشان دهنده افزایش مقدار آلاینده‌ها ناشی از افزایش تولید باشد، اما از طرف دیگر، نشان دهنده فراتر رفتن مقدار آلودگی از حد توان جذب محیط می‌باشد. به عبارت دیگر، وقتی آلودگی از توان جذب محیطی بیشتر باشد، خسارت آن شدیدتر ظاهر می‌گردد.

۶. بحث

یکی از روش‌های کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، اخذ مالیات‌های زیست‌محیطی (مالیات سبز) می‌باشد. مالیات سبز در اصطلاحات جدید مالیاتی، به‌عنوان پایه‌های مؤثر و اجرایی به منظور کنترل آلودگی قلمداد می‌شود. این نوع مالیات که بر پایه هزینه است، میزان آلودگی را کاهش داده و کارایی در اقتصاد را افزایش می‌دهد. مالیات سبز نسبت به انتشار هر واحد آلاینده یا تخریب محیط زیست وضع می‌گردد و از طریق افزایش هزینه‌های اجتماعی، باعث کاهش سطح تولید آلاینده به مقدار بهینه اجتماعی آن و در نتیجه، کاهش سطح آلاینده‌ها می‌شود. لذا قیمت سایه‌ای شایع‌ترین گازهای آلاینده و گلخانه‌ای منتشر شده از مجموعه صنعتی و معدنی سنگ آهن گل گهر سیرجان، به‌عنوان هزینه نهایی کنترل هر واحد از آنها، را می‌توان به‌عنوان مالیات زیست‌محیطی در نظر گرفت و سیاست‌گذاری‌های لازم را طبق آن، به عمل آورد.

طبق نتایج به‌دست آمده، میانگین قیمت سایه‌ای برای آلاینده‌های هوا در مجموعه گل گهر برای CO_2 ، SO_x ، NO_x و SPM، به ترتیب، برابر با ۴۵۴، ۵۷۹۸، ۲۹۹۸ و ۱۳۵۵ ریال به ازای هر کیلوگرم، و میانگین هزینه‌های کل اجتماعی حاصل از تولید مجموعه با توجه به میزان تولید آلاینده‌ها در دوره مورد نظر، مبلغ ۱۱۷۹۳/۵ میلیارد ریال محاسبه شد.

لذا به منظور درونی سازی هزینه‌های زیست‌محیطی در راستای تحقق توسعه پایدار، قیمت‌های سایه‌ای محاسبه شده می‌تواند معیاری برای تعیین مالیات سبز برای مجموعه‌های سنگ آهن باشد و یافته‌های چنین مطالعاتی می‌تواند زمینه‌ای برای برنامه‌ریزی مسئولان اقتصادی فراهم نماید.

۷. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

برآورد هزینه‌های زیست‌محیطی، مقدمه‌ای بر ارائه راهکارهای درونی کردن و کاهش هزینه‌های زیست‌محیطی می‌باشد که در این مطالعه، با استفاده از مدل تابع مسافت نهاده، قیمت سایه‌ای آلاینده‌های زیست‌محیطی مجموعه صنعتی و معدنی گل گهر سیرجان، به‌عنوان بزرگ‌ترین تولید کننده سنگ آهن در کشور، محاسبه گردید و همچنین هزینه اجتماعی حاصل از انتشار آلاینده‌ها ارزیابی شد و در نهایت، در این مطالعه، راهکارها و مکانیزم‌های کاهش هزینه‌های زیست‌محیطی پیشنهاد شده است.

با توجه به اینکه قابلیت جذب آلاینده‌ها توسط محیط زیست محدود است، پیشنهاد می‌گردد تا قیمت سایه‌ای آلاینده‌ها که نشان دهنده هزینه واقعی اجتماعی آن‌ها است، مدنظر قرار گیرد. همچنین خسارت‌ها براساس قیمت سایه‌ای آلاینده‌ها تعیین شود که خسارت با میزان زیان وارده تطابق داشته باشد. به عبارت دیگر، مقادیر انتشار آلاینده‌ها را محاسبه کرده و ضمن در نظر گرفتن حد مجاز انتشار آلاینده‌ها و قیمت‌های سایه‌ای، براساس طرحی قانونمند، نسبت به استرداد هزینه‌های زیست‌محیطی، اقدام گردد.

تأییدیه‌های اخلاقی: موردی وجود ندارد.

تعارض منافع: موردی وجود ندارد.

سهام نویسندگان در مقاله: نویسنده اول (۲۵ درصد)، نویسنده دوم (۲۵ درصد) و نویسنده سوم

(۲۵ درصد) و نویسنده چهارم (۲۵ درصد)

منابع مالی / حمایت‌ها: وجود ندارد.

References

- Alipour, A., Mousavi, S.H., & Khalilian, S. (2014). "Evaluation of the cost of carbon dioxide greenhouse gas emissions resulting from the development of Iran's agricultural industry", *Agricultural Economy*, 8(1). [In Persian]
- Amirtaimoori, S., Khalilian, S., Amirnejad, H., & Mohebbi, A. (2014). Estimation of cost curve to control sulfur dioxide gas (SO₂) emissions from Sarcheshmeh Copper Complex. *Ecology*, 70: 431-438
- Amirtimori, S. (2013) "Investigation of the effect of air pollution caused by the activity of Sarchesme copper complex on the agricultural sector of the region and estimation of its optimal social level". PhD dissertation, Faculty of Agricultural Economics, Tarbiat Modares University, Tehran. [In Persian]
- Asadi, M.(2009). The cost of losses resulted from air pollution in Iran and the necessity of introduction of green taxes. *Tax Res*, 16(3) :199-234 . [In Persian]
- Babazadeh Khameneh, N. (2015). "Environmental assessment using an approach based on the concept of fuzzy logic; A case study of Shahid Freeway Interpass Bridge, Lake Urmia police station". Master's thesis, Faculty of Civil Engineering, Department of Water Engineering, University of Tabriz. [In Persian]
- Baharloui. S. (2023P). Assessment of environmental effects caused by mining activities and investigation of strategies to deal with it. *Application of Chemistry in the Environment*, 13(52), 1-8. [In Persian]
- Balali, H., Khalilian, Q., & Deliri, A.S., (2018). Determination of optimal green tax rate on greenhouse gas emissions in dairy farms of Hamedan province. *Agricultural Economics & Development*, 32(3). [In Persian]
- Baumol, William J., & Walla. Qates. (1988). *The Theory of Environmental Policy*. New York: Cambridge University Press.
- Callan, Scott, & Thomas, J. (2000). *Enviromental Economics and Management. (Teory, Policy and Applications)*. Cengage Learning, Second Edition.
- Coelli, T. (2000). On the econometric estimation of the distance function representation of the production technology. *Working Paper*, Center of Operations Research and Econometrics. available at:
<http://www.core.ucl.ac.be/services/psfiles/dp00/dp2000-42.pdf>.
- Esmaili, A., & Mohsenpoor, R. (2018). "Determining the shadow price of air pollutants in the country's power plants". *Economic research (sustainable growth and development)*, 10(4): 69-86. [In Persian]
- Fare, R., and Primont, D. (1995). *Multi-Output Production and Duality: Theory and Applications*. Kluwer Academic, Boston.
- Financial report of Gol Gohar Mining and Industrial Company (2022). [In Persian]
- Giannopoulou, I. P., & Panias, D. (2006). "Sustainable development of mining and metallurgy in relation". *Acta Metallurgica Slovaca*, 12(12): 105-110.

- Hailu, A., & Veeman, T. S. (2000). Environmentally sensitive productivity analysis of the Canadian Pulp and paper industry, 1959-1994: An Input Distance Function approach. *Journal of Environmental Economics and Management*, 40, 251-274.
https://cbi.ir/InflationCalculator/InflationCalculator_FA.aspx
- Jafarnia, M., & Esmaeili, A. (2013). Computation shadow prices of environmental pollutants of beef cattle farms in Shiraz. *Economic Research and Agricultural Development of Iran*, 44(1): 17-2. [In Persian]
- Kwon, O.S., & Yun, W. C. (2005). Estimation of the marginal abatement costs of airborne pollutants in Korea's power generation sector. *Energy Economics*, 21: 545-558.
- Kwon, O.S., Yun, W. C. (1999). Estimation of the marginal abatement costs of airborne pollutants in Korea's power generation sector. *Energy Economics*, 21: 545-558.
- Najafi Alamdarlo, H., & Shamshadi Yazd, K. (2017). Estimating the shadow price of pollution in Iran's wheat production and distribution chain. *Ecology*, 44(1), 85-98. [In Persian]
- Naghma, S. (2017). Medical geology and mineral environmental environment and processing in Gol Gohar Sirjan mine. PhD dissertation, Department of Geology-Environment, Faculty of Science, Shiraz University. [In Persian]
- Ou, J. J., & He, L. Y. (2019). The price of pollution? A Distance Function approach to valuing multiple pollutants in China. *Emerging Markets Finance and Trade*, 57(4), 1-18.
- Pajuyan, J., and Amin Rashti, N. (2007). Green taxes with emphasis on gasoline consumption. *Special letter Economy*, 1(7), 7-15. [In Persian]
- Rezaei, M. (2009). Green tax, the only tax that enhances economic efficiency. information base of tax media. <http://www.Khr-gto.com>. Visited 2009. [In Persian]
- Safarzadeh, G.H. (2012). "The effect of the shadow price of environmental pollutants caused by the consumption of fossil fuels in the transportation sector on the growth of the added value of this sector". Master's thesis Faculty of Economics, Allameh Tabatabai University. [In Persian]
- Seyyed Nejad Fahim, S., & Aghdami, E. (2011). Green tax in the path of sustainable development. *Economic Magazine (Bimonthly Review of Economic Issues and Policies)*, 11(3), 91-100. [In Persian]
- Shahiki Tash, M.N., Rahimi, G., & Khaje Hosni, M. (2014). Using the mathematical programming method and directed distance function in order to calculate the environmental efficiency (study of Iran's basic metal production industries). *Operations Research in its Applications*. 11(2):125-138. [In Persian]
- Shephard, R.W. (1953). *Cost and Production Functions*. Princeton Univ. Press, Princeton, NJ.
- Shephard, R.W. (1970). *Theory of Cost and Production Function*. Princeton Univ. Press, Princeton, NJ.

- Wei, X., & Zhang, N. (2020). The shadow prices of CO₂ and SO₂ for Chinese coal-fired power plants: A Partial Frontier approach. *Energy Economics*, 85, 104576.
- Yang et al. (2017). "Regional eco-efficiency and pollutants' marginal abatement costs in China: Aparametric approach". *Journal of Cleaner Production*, Vol. 167, 619-629.
- Zamiraei, Z., & Nahed, A. (2016). Quantitative and qualitative investigation of wastes produced in steel industries. *Environmental Research and Technology*, 1(1), 23-29. [In Persian]
- Zhao, J. (2017). The carbon emissions efficiency and marginal abatement cost in urban of China: Non-Parametric Directional Distance Function methqod. *Modern Economy*, 8