Environmental Sciences ***(Environ. Sci.)*** **2024, 22(3):517-536** **ISSN: 2588-6177**

Original Article

Estimation of Emission Rate, Social Cost, and Ecological Footprint of Greenhouse Pollutants Caused by Fossil Fuel Consumption in an Industrial Company

Received: 2024.02.10
Accepted: 2024.05.07

Mohammadmahdi Khalili,[1]* Hamidreza Jafari,[1] Milad Kishani Farahani[2]

[1] Department of Environmental Planning, Management and HSE, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

[2] Department of Technical-engineering, Safety, Health, and Environment Engineering (HSE), Naghshejahan University, Isfahan, Iran

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Air pollution has been raised as one of the most important risk factors contributing to citizens' health and the emergence of environmental problems in recent years. Determining the emission rate and the costs imposed by fossil fuel pollutants on human health is an effective approach that can provide a financial estimation from harmful effects of these compounds for urbanized and industrial managers. This study considered the estimation of emissions, external costs, and ecological footprints of NO_x, SO_2, SO_3, CO, SPM, CO_2, CH_4, and N_2O resulting from the consumption of three types of fossil fuels including natural gas, gasoline, and diesel in an industrial company.

Material and Methods: The scope of study includes an industrial company in the west of Tehran, Iran. Firstly, data about the consumption of fossil fuels was collected in the main consumer sectors such as engine rooms, private and industrial vehicles in 1401. Next, the emission rate of the pollutants was estimated by using the energy balance sheet notified by the Ministry of Energy and Electricity Deputy in 1399. By having the amount of fuel consumed from each source and considering basic amount of the social cost of each pollutant, initial estimation of the social cost of pollutants was calculated. Subsequently, correction factors were assigned and the costs were updated (based on constant prices in 1381). Ultimately, ecological footprint was computed with regard to the total amount of fossil fuels consumed in 1401.

Results and Discussion: According to the results, 1943880.64 cubic meters of natural gas were consumed in the engine room sector. Furthermore, 64435 liters of gasoline and 461482 liters of diesel were utilized by private and heavy industrial vehicles, respectively. In 1400, the emission rate of NO_x, SO_2, SO_3, CO, SPM, CO_2, CH_4 and N_2O was 17278.68, 7694.17, 90.34, 25972.46, 6400.79, 88860.01, 187.43, and 78.81, respectively. CO_2 pollutant with 4088860.01 kg took into account the highest and SO_3 pollutant with 90.34 kg had the lowest emission rate in the year. Based on the emission coefficient obtained from the Iran energy balance in 1399, the social cost for NO_x, SO_2, CO, SPM, CO_2, CH_4 were calculated 437081507, 592005417, 205312306, 1160386931, 1722935861, 1659463 Rials per year, respectively, which shows CO_2 and CH_4 gases impose the highest and lowest social cost to the environment, respectively. Moreover, total social cost based on the exchange rate and inflation rate approach was calculated about 4119381486 and 16383725983 billion Rials, respectively (after the coefficient factor was considered for constant prices in 1381). The calculations related to the estimation of the ecological footprint indicate that gasoline with 22.87 and natural gas with 9.33 hectares have created the greatest and the least ecological footprint. In addition, the total ecological footprint was calculated approximately 50.93 hectares.

Conclusion: The social cost of pollutants in this study showed different results based on the volume of their emission. While the engine room had the largest share in greenhouse gas emissions with the amount of 26655364.69 Kg, the forklift trucks imposed the largest social cost with the amount of 1808115554 Rials due to the high emission rate of NO_x, SPM and SO_2 pollutants and also, the higher social cost of these three pollutants compared to the other ones. This method can be used as a model in calculating the social costs of released pollutants within industrial companies and the results can be monitored in the context of their environmental planning so that by identifying the centers of pollution and prioritizing them, correct budgeting should be set to reduce the amount of emissions and social cost of pollutants.

Keywords: Social cost, Air pollution, Ecological footprint, Fossil fuel

How to cite this article:
Khalili, M., Jafari, H. and Kishani Farahani, M., 2024. Estimation of Emission Rate, Social Cost, and Ecological Footprint of Greenhouse Pollutants Caused by Fossil Fuel Consumption in an Industrial Company. Environ. Sci. 22(3): 517-536

* **Corresponding Author Email Address:** mm.khalili@ut.ac.ir
DOI: 10.48308/envs.2024.1376

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم محیطی، ۵۳۶-۵۱۷ : (۳) ۲۲، ۱۴۰۳ شاپا: ۶۱۷۷-۲۵۸۸

مقاله پژوهشی

تخمین میزان انتشار آلاینده‌های گلخانه‌ای، برآورد هزینه اجتماعی و ردپای اکولوژیک ناشی از مصرف سوخت فسیلی در یک شرکت صنعتی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۸

محمدمهدی خلیلی[1]*، حمیدرضا جعفری[1]، میلاد کیشانی فراهانی[2]

[1] گروه برنامه‌ریزی، مدیریت محیط‌زیست و HSE، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

[2] گروه فنی-مهندسی، مهندسی ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست (HSE)، مؤسسه آموزش عالی نقش-جهان، اصفهان، ایران

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: در سال‌های اخیر آلودگی هوا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فاکتورهای مشارکت‌کننده در موضوع سلامت شهروندان و بروز مشکلات زیست‌محیطی مطرح‌شده است. تعیین میزان انتشار و هزینه تحمیلی آلاینده‌های سوخت‌های فسیلی بر سلامت انسان‌ها می‌تواند یک برآورد مالی از اثرات زیان‌بار این ترکیبات در اختیار برنامه‌ریزان شهری و صنعتی قرار دهد. این مطالعه شامل برآورد میزان انتشار، هزینه‌های اجتماعی و ردپای اکولوژیک آلاینده‌های NO_x، SO_2، SO_3، CO، SPM، CO_2، CH_4 و N_2O ناشی از مصرف سه نوع سوخت فسیلی گاز طبیعی، بنزین و گازوئیل در یک مجموعه صنعتی است.

مواد و روش‌ها: محدوده مطالعاتی یک شرکت صنعتی در غرب تهران است. ابتدا اطلاعات مربوط به مصرف سوخت‌های فسیلی شامل گاز طبیعی، بنزین و گازوئیل در بخش‌های موتورخانه، خودروهای سواری و صنعتی در سال ۱۴۰۱ جمع‌آوری گردید. جهت برآورد نرخ انتشار آلاینده‌های یادشده، از ترازنامه انرژی معاونت انرژی و برق وزارت نیرو در سال ۱۳۹۹ استفاده شد. با در اختیار داشتن میزان سوخت مصرف‌شده از هر منبع سوخت فسیلی و بر اساس مبلغ پایه هزینه اجتماعی هر آلاینده، نسبت به برآورد اولیه هزینه اجتماعی آلاینده‌ها اقدام شده و سپس این هزینه‌ها با اختصاص ضرایب اصلاحی (با توجه به تغییر قیمت‌ها از سال ۱۳۸۱ تاکنون)، واقعی سازی شدند. سپس مطابق با تخمین صورت گرفته از میزان کل سوخت‌های فسیلی مصرفی در سال ۱۴۰۱ ، ردپای اکولوژیکی آن‌ها محاسبه گردید.

نتایج و بحث: مطابق با برآورد به‌عمل‌آمده، درمجموع ۱۹۴۳۸۸۰/۶۴ مترمکعب گاز طبیعی در موتورخانه‌ها، ۶۴۴۳۵ لیتر بنزین و ۴۶۱۴۸۲ لیتر نفت گاز در وسایل نقلیه سواری و سنگین در سال ۱۴۰۱ در این شرکت مصرف‌شده است. نتایج نشان داد نرخ انتشار گازهای آلاینده NO_x، SO_2، SO_3، CO، SPM، CO_2، CH_4 و N_2O به ترتیب ۱۷۲۷۸/۶۸، ۷۶۹۴/۱۷، ۹۰/۳۴، ۲۵۹۷۲/۴۶، ۶۴۰۰/۷۹، ۴۰۸۸۸۶۰/۰۱، ۱۸۷/۴۳، ۷۸/۸۱ کیلوگرم در سال ۱۴۰۱ بوده است. آلاینده CO_2 با ۴۰۸۸۸۶۰/۰۱ کیلوگرم بیشترین و آلاینده SO_3 با ۹۰/۳۴ کیلوگرم کمترین میزان انتشار را در این سال داشته‌اند. بر اساس ضریب انتشار به‌دست‌آمده از ترازنامه انرژی سال۹۹، هزینه اجتماعی آلاینده‌های NO_x، SO_2، CO، SPM، CO_2، CH_4 به ترتیب ۴۳۷۰۸۱۵۰۷، ۵۹۲۰۰۵۴۱۷، ۲۰۵۳۱۲۳۰۶، ۱۱۶۰۳۸۶۹۳۱، ۱۷۲۲۹۳۵۸۶۱، ۱۶۵۹۴۶۳ ریال در سال تخمین زده شد که نشان می‌دهد گازهای CO_2 و CH_4 به ترتیب بالاترین و کمترین هزینه اجتماعی را به محیط‌زیست تحمیل می‌کنند. پس از واقعی سازی قیمت‌های ثابت سال ۱۳۸۱، کل هزینه اجتماعی آلاینده‌های اندازه‌گیری شده بر اساس رویکرد نرخ ارز و نرخ تورم به ترتیب در حدود ۴۱۱۹۳۸۱۴۸۶ و ۱۶۳۸۳۷۲۵۹۸۳ میلیارد ریال در سال ۱۴۰۱ تخمین زده شد. برآورد ردپای اکولوژیک سوخت‌های فسیلی مصرفی حاکی از آن است که مصرف بنزین با ۲۲/۸۷ هکتار بیشترین و گاز طبیعی با ۹/۳۳ هکتار کمترین ردپای اکولوژیک را ایجاد کرده‌اند ضمن اینکه کل ردپای اکولوژیک در حدود ۵۰/۹۳ هکتار محاسبه گردیده است.

نتیجه‌گیری: هزینه اجتماعی تحمیلی آلاینده‌ها در این مطالعه نتایج متفاوتی را با توجه به حجم انتشار آن‌ها نشان داد. درحالی‌که بخش موتورخانه با مقدار ۲۶۶۵۵۳۶۴/۶۹ بیشترین سهم را در انتشار گازهای گلخانه‌ای داشت ولی لیفتراک‌ها بیشترین هزینه اجتماعی را به میزان ۱۸۰۸۱۱۵۵۵۴ ریال به محیط‌زیست تحمیل کرده‌اند که دلیل آن بالا بودن میزان انتشار سه آلاینده NO_x، SPM و SO_2 از لیفتراک و همچنین بالاتر بودن هزینه اجتماعی این سه آلاینده در ترازنامه انرژی نسبت به سایر آلاینده‌ها می‌باشد. این روش می‌تواند به‌عنوان یک الگو در محاسبه هزینه-های اجتماعی آلاینده‌های انتشاریافته در مجموعه‌های صنعتی مورداستفاده قرارگرفته و در سرفصل برنامه‌ریزی محیط‌زیستی آن‌ها پایش شود به‌طوری‌که با شناسایی کانون‌های ایجاد آلودگی و اولویت‌بندی کردن آن‌ها، نسبت به بودجه‌بندی در راستای کاهش میزان انتشار و هزینه اجتماعی آلاینده‌ها اقدام شود.

واژه‌های کلیدی: هزینه اجتماعی، آلودگی هوا، ردپای اکولوژیک، سوخت فسیلی

استناد به این مقاله: *خلیلی، م.، ح. جعفری و م. کیشانی فراهانی. ۱۴۰۳. تخمین میزان انتشار آلاینده های گلخانه‌ای، برآورد هزینه اجتماعی و ردّپای اکولوژیک ناشی از مصرف سوخت فسیلی در یک شرکت صنعتی. فصلنامه علوم محیطی. ۲۲(۳):۵۳۶-۵۱۷*

* **Corresponding Author Email Address:** mm.khalili@ut.ac.ir
DOI: 10.48308/envs.2024.1376

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقدمه

امروزه مقابله با آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین چالش‌های کشورهای دنیا در مسیر توسعه و پیشرفت به شمار می‌آید. درواقع هرگونه پیشرفت و توسعه‌ای نیازمند توجه به شاخص‌های بهداشت و محیط‌زیست سالم است و این موضوع یکی از حقوق شهروندان بوده که دولت‌ها موظف به محقق کردن آن می‌باشند (Almetwally *et al*., 2020; Soleymani and Cheraghi, 2018). اثرات بلندمدت آلودگی هوا بر شیوع بیماری‌هایی مانند عفونت‌های تنفسی و التهابات، آسم، اختلالات قلبی-عروقی و سرطان به‌طور گسترده پذیرفته‌شده است (Khalili and Nasrabadi, 2023; Manisalidis *et al*., 2020; Ghorani-Azam *et al*., 2016) از طرفی دیگر ترکیباتی مانند O_3، SO_2، NO_2 و ذرات معلق به‌عنوان ترکیبات عمده آلاینده‌های هوا مطرح بوده که می‌توانند فتوسنتز، ساختار گیاهان و نهایتاً محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار دهند و با ورود این ترکیبات به زنجیره غذایی سلامت انسان و جانوران تهدید می‌شود (Ghannadnia *et al*., 2020). گرمایش زمین از دیگر اثرات نامطلوب پدیده آلودگی هوا است که منجر به تغییرات نامطلوب جوی و اقلیمی می‌شود (Awanthi and Navaratne, 2018; Kazemi and Saki, 2015; Manisalidis *et al*., 2020). صنعتی شدن، شهرنشینی سریع به همراه رشد جمعیت منجر به افزایش تقاضای انرژی گردیده به‌طوری‌که شهرها در حدود دوسوم تقاضای انرژی را به خود اختصاص داده‌اند و درعین‌حال ۷۵ درصد از انتشار دی‌اکسید کربن جهان را نیز شامل می‌شوند (Couture *et al*.,2019). بیشترین حجم آلودگی هوا، توسط احتراق سوخت‌های فسیلی در جو رها می‌شود و با افزایش جمعیت و روند رو به رشد مصرف سوخت‌های فسیلی، افزایش آلودگی‌ها موضوعی است که نیازمند توجه دقیق از سوی مسئولین ذی‌ربط را دارد (Ashena and Hossein Abadi, 2020).

افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه CO_2 در جو زمین، منجر به گرمایش جهانی، ایجاد امواج گرمای شدید و طولانی‌تر، تغییرپذیری دما، آلودگی هوا، آتش‌سوزی جنگل، خشک‌سالی و سیلاب شده است (Ghorbani Sepehr, 2020). درحالی‌که حاضر مصرف انرژی به دلیل افزایش جمعیت، شهرنشینی، صنعتی شدن و استفاده گسترده از فناوری در حال افزایش است. صنعت یکی از پرمصرف‌ترین بخش‌های انرژی در کشور است. مصرف گاز طبیعی و نفت گاز در بخش صنعت بیشترین سهم در انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به ارزش‌افزوده بخش صنعت و معدن در سال ۱۳۹۹ که بر اساس قیمت‌های ثابت سال ۱۳۹۰ معادل ۱۷۳۹ هزار میلیارد ریال برآورد گردیده، شاخص انتشار CO_2 و NO_x در این سال به ترتیب معادل ۷۳/۳ و ۰/۱ تن بر میلیارد ریال برآورد می‌شود (Iran Energy Balance, 2019-2020) از سوی دیگر، اثرات منفی مصرف انرژی در صنایع بر محیط-زیست هزینه‌هایی را تحمیل می‌کند که به دلیل غیر محسوس بودن نادیده گرفته می‌شوند (Büke and Köne, 2022). موضوع اصلی در این زمینه عدم پرداخت هزینه تحمیلی در راستای جبران خساراتی است که منابع انتشار آلاینده‌های محیط‌زیستی ایجاد می‌کنند.

هزینه‌های اجتماعی شامل اثرات جبران‌ناپذیر تولید یا مصرف یک کالا بر یک شخص ثالث غیر دخیل در زمینه آن کالا است. برای مثال هزینه‌های اجتماعی انتشار آلاینده‌های هوا ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی در یک نیروگاه اثرات جبران‌ناپذیری برای سلامت عمومی شهروندان خواهد داشت درحالی‌که در این مورد، اپراتور نیروگاه، موظف به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای یا جبران خسارات شخص ثالث نیست (Dettner and Blohm, 2021). منابع مصرف-کننده سوخت فسیلی منجر به انتشار آلاینده در هوا شده که می‌توانند اثرات زیان‌آوری بر سلامت ساکنانی که در محدوده این منبع قرار دارند داشته باشد بدون اینکه عامل تولید آلاینده، هزینه‌ای را بابت انتشار آن‌ها صرف کند

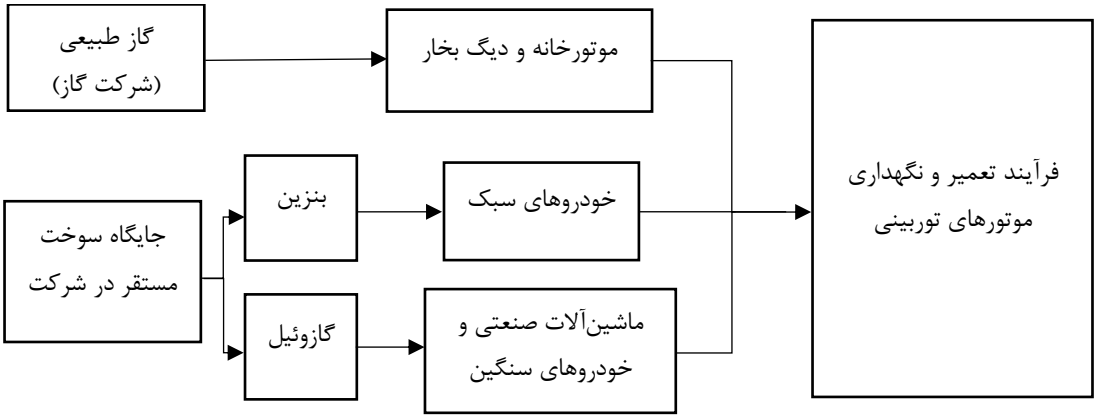
(Samadi, 2017; Zahed and Ameri, 2013). درواقع هزینه اجتماعی آن پولی است که بتواند صدمات ناشی از انتشار آلاینده‌ها در محیط‌زیست را جبران کند (Esfehanian *et al*., 2014). هرچند بسیاری از اثرات منفی ناشی از آلاینده‌ها نامشخص هستند و به‌صورت محلی و به‌واسطه پالایش محیطی حذف می‌شوند و یا با تأخیر زمانی اثرات منفی خود را نشان می‌دهند (Samadi, 2017). بر این اساس، تولید و مصرف انرژی باید در جهت حمایت از توسعه اقتصادی و اجتماعی، سازگاربامحیط‌زیست و راندمان بالا باشد. در انطباق با این رویکرد، مصرف انرژی باید در کمترین حد ممکن حفظ شود و اقتصادی‌ترین و کارآمدترین روش برای مصرف انرژی تعیین شود (Büke and Köne, 2022). مطالعات مختلفی در زمینه هزینه خارجی آلاینده‌های هوا انجام‌گرفته است. Ustaoglu در سال ۲۰۲۴ پژوهشی را باهدف تخمین میزان انتشار آلاینده‌های انواع خودروهای سواری سبک و سنگین در کشور ترکیه انجام داد. آلاینده CO با مقدار انتشار تقریبی ۴/۸ میلیون تن در سال بیشترین نرخ را در میان آلاینده‌های NO_X، N_2O، VOC، NH_3، Pb، CO_2 و $PM_{2.5}$ داشت. در این مطالعه که تنها هزینه اجتماعی CO_2 برحسب نوع وسایل نقلیه محاسبه‌شده است رقمی بالغبر ۳۱ تا ۱۴۲۷ میلیون یورو برحسب نوع وسایل نقلیه به محیط‌زیست تحمیل می‌شود (Ustaoglu, 2024). Rokhmawati *et al*. (2023) پژوهشی را در زمینه هزینه اجتماعی تولید برق در نیروگاه‌های کشور اندوزی که با زغال‌سنگ فعالیت می‌کنند انجام دادند. نتایج مشخص کرد کل هزینه اجتماعی تحمیلی به ازای هر کیلووات ساعت تولید برق در حدود ۰/۰۱۵ دلار بوده و آلاینده PM_{10} مسئول ۹۰ درصد این هزینه است (Rokhmawati *et al*., 2023). Yoo *et al*. (2022)به تخمین میزان انتشار آلاینده‌ها و هزینه‌های اجتماعی ناشی از آن‌ها در اثر تردد کشتی‌ها در بندر بوسان کشور چین پرداختند. داده‌های این مطالعه طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ جمع‌آوری گردید که مشخص شد در این مدت آلاینده CO_2 با ۳۵۴۰۰۰ تن بیشترین نرخ انتشار را داشته و پس‌ازآن آلاینده‌های NO_X، SO_2، VOC، PM_{10} و $PM_{2.5}$ به ترتیب دارای ۶۶۷۷، ۲۴۸۲، ۲۰۵، ۱۸۰ و ۱۷۱ هزار تن نرخ انتشار بودند. هزینه‌های اجتماعی این آلاینده‌ها که برحسب دلار تخمین زده شد نشان داد سال ۲۰۱۷ با تحمیل ۲۶/۶۸ میلیون دلار بیشترین هزینه اجتماعی آلاینده‌های مذکور بوده است (Yoo *et al*., 2022). در سال ۱۳۹۵ مطالعه‌ای در زمینه مقایسه هزینه‌های خارجی حمل‌ونقل ریلی و جاده‌ای در محدوده مسیر تهران - قم توسط Kazemi and Saki. (2015) انجام گرفت. میزان هزینه‌های زیست‌محیطی خارجی برای آزاد‌راه تهران – قم در سال ۱۳۹۱ بالغبر ۱۰۰۰ میلیارد ریال برآورد شد و برای حمل‌ونقل ریلی در مسیر تهران - قم این مبلغ ۲۰ میلیارد ریال تخمین زده شد. مقایسه این هزینه‌ها در دو بخش راه‌آهن و جاده نشان داد که با توجه به ظرفیت حمل‌ونقل مسافر و کالا در بخش حمل‌ونقل ریلی، توسعه حمل‌ونقل ریلی می‌تواند هزینه‌های محیط‌زیست خارجی را به میزان قابل‌توجهی کاهش دهد (Kazemi and Saki, 2015). کلانتر و پناهی در سال ۱۳۹۴ مطالعه‌ای را در زمینه هزینه‌های خارجی بخش حمل‌ونقل زمینی در ایران انجام دادند که مبلغ آن در حدود ۱۱۱ هزار میلیارد ریال با احتساب انتشار ۱۳ میلیون تن از چهار آلاینده CO، SO_2، NO_X و PM در هوا بود (Kalantar *et al*., 2016). Madadi *et al*. (2014) مطالعه‌ای در زمینه هزینه‌های اجتماعی آلاینده‌های ناشی از حمل‌ونقل عمومی در شهر تهران انجام دادند که این مقدار در حدود ۹/۶ هزار میلیارد ریال برآورد گردید ضمن اینکه ناوگان تاکسیرانی انتشار آلاینده بیشتری نسبت به بخش اتوبوس‌رانی داشته است (Madadi *et al*., 2014). Esfehanian *et al*. (2014) اقدام به برآورد هزینه‌های خارجی ناشی از چهار نوع آلاینده CO، SO_2، NO_X و PM در هوای کلان‌شهر تهران پرداختند که مشخص شد هزینه یادشده برای این آلاینده‌ها مبلغی در حدود ۱۸/۰۶ هزار

میلیارد ریال (بر اساس قیمت‌های ثابت سال 1381) بود که ۰/۱۸ درصد تولید ناخالص داخلی در آن زمان بوده است (Esfehanian *et al.*, 2014). Zhang *et al.* (2007) پژوهشی را در زمینه محاسبه هزینه محیط‌زیستی انتشار آلاینده‌های SO_2، NO_X، CO، PM_{10} از یک نیروگاه تولید برق به انجام رساندند که مشخص گردید این آلاینده‌ها به ترتیب در حدود ۶۹ (۴۹/۲۶٪)، ۳۰ (۲۱/۳۳٪)، ۲۸ (۲۰/۵۱٪) و ۱۲ (۸/۹۰٪) میلیارد دلار خسارت به محیط‌زیست تحمیل می‌کنند و با توجه به توزیع منطقه‌ای، هزینه‌های اجتماعی تولید برق از سوخت فسیلی عمدتاً در نواحی پرجمعیت‌تر و صنعتی‌تر چین، یعنی مناطق شرقی و جنوب شرقی متمرکز است (Zhang, 2007).

در بیشتر تحقیقات انجام‌گرفته با عنوان محاسبه هزینه‌های اجتماعی، به بررسی هزینه‌های اقتصادی آلاینده‌های هوا در مناطق شهری که ناشی از تردد وسایل نقلیه سواری می‌باشند پرداخته‌شده است. در این مطالعات به دلیل عدم در دسترس بودن نرخ مصرف سوخت تمامی مصرف‌کنندگان، از رویکرد کلان (از بالا به پایین)، میزان سوخت مصرفی به‌صورت تخمینی برآورد می‌شود درحالی‌که در این مطالعه، با استفاده از رویکرد پایین به بالا میزان مصرف انواع سوخت فسیلی به‌صورت مجزا در وسایل نقلیه سواری، خودروهای صنعتی و موتورخانه‌های موجود در یک شرکت صنعتی مشخص و تجزیه‌وتحلیل شده‌اند که تأثیر قابل‌توجهی در برآورد دقیق‌تر میزان انتشار آلاینده‌ها و هزینه‌های اجتماعی آن‌ها دارد. از سویی دیگر، تعداد مطالعات داخلی که با به‌کارگیری رویکرد این پژوهش نرخ انتشار، هزینه‌های اجتماعی و ردپای اکولوژیک گازهای گلخانه‌ای در مجموعه‌های صنعتی خرد یا کلان را بررسی کرده باشند بسیار محدود هستند و به نظر می‌رسد توجه به چنین موضوعاتی در حوزه صنایع که بخش قابل‌توجهی از مصرف سوخت‌های فسیلی را تشکیل می‌دهند مغفول مانده است درحالی‌که آگاهی از این اطلاعات می‌تواند صنایع را در مدیریت بهینه مصرف انرژی (در حوزه سوخت فسیلی) یاری دهد. هدف از انجام این مطالعه تخمینی از میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای در یک شرکت صنعتی در راستای مدیریت مصرف سوخت فسیلی، برنامه‌ریزی به‌منظور کاهش آلودگی هوا و همچنین برآورد اقتصادی ناشی از انتشار این آلاینده‌ها در هوا است. با توجه به وضعیت کنونی آلودگی هوا در کشور، کنترل و کاهش آلودگی هوا بایستی به‌عنوان اولویت ملی در نظر گرفته شود و باید فعالیت ارگان‌ها، مسئولان، انجمن‌ها، نهادها و مردم در این راستا با یکدیگر هماهنگ شوند (Soleymani and Cheraghi, 2018). در ادامه ردپای اکولوژیک سوخت‌های فسیلی مصرفی نیز محاسبه می‌شود تا مشخص گردد به چه ابعادی از زمین برای جذب آلاینده‌های انتشاریافته از این صنعت نیاز خواهد بود.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر در یک شرکت صنعتی واقع در غرب شهر تهران انجام‌گرفته است. فعالیت اصلی این شرکت تعمیرات و نگهداری انواع موتورهای توربینی شامل مونتاژ و دی مونتاژ این نوع تجهیزات می‌باشد. در این شرکت با استفاده از ابزارهای مخصوص نسبت به جداسازی قطعات موردنیاز برای تعمیر اقدام شده و پس از انجام بازرسی و کارشناسی قطعات و برحسب ضرورت، آن‌ها را جهت انجام فرآیندهای تعمیراتی برون سپار می‌کنند. قطعات پس از انجام تعمیرات مجدد به شرکت تحویل‌شده و مطابق با دستورالعمل‌های عملیاتی نسبت به اتصال و سوار نمودن قطعات بر روی موتور اقدام می‌گردد. شکل شماره ۱ فلودیاگرام مربوط به مصرف سوخت‌های فسیلی شامل گاز طبیعی، بنزین و گازوئیل را در این شرکت صنعتی نمایش می‌دهد. گاز طبیعی برای تأمین انرژی سیستم‌های گرمایشی، بنزین در وسایل نقلیه سواری جهت جابجایی پرسنل و گازوئیل در ماشین‌آلات و خودروهای صنعتی به‌منظور جابجایی تجهیزات و قطعات صنعتی مصرف می‌شوند.



شکل ۱- فلودیاگرام مصرف سوخت فسیلی

Fig. 1- Flow diagram of fossil fuels consumption

رویکردهای متنوعی در تخمین میزان انتشار آلاینده‌های هوا در رفرنس‌های خارجی به‌کارگیری شده است که در آن‌ها از داده‌های موجود در پایگاه‌های اطلاعاتی سازمان‌هایی مانند EPA یا استانداردهای اروپایی برای این منظور استفاده‌شده است (Yoo *et al*., 2022; Dettner and Blohm, 2021). روش‌های دیگر شامل به‌کارگیری دو رویکرد بوده است: ۱-رویکرد بالا به پایین که در آن اطلاعات کلی مربوط به سوخت جهت محاسبه انتشار نرخ آلاینده‌ها استفاده می‌شود. این رویکرد درزمانی که دامنه مطالعاتی وسیع بوده (مثلاً یک منطقه شهری یا کشور) و دستیابی به اطلاعات هر یک از منابع مصرف‌کننده سوخت فسیلی دشوار است می‌تواند مفید باشد (Esfehanian *et al*,. 2014). ۲- رویکرد پائین به بالا که در این حالت اطلاعات مصرف سوخت از هر منبع محدوده مطالعاتی در دسترس می‌باشد. در رویکرد دوم خصوصیات منابع مصرف‌کننده انرژی ازنظر نوع، تعداد و میزان مصرف سوخت مشخص بوده و با تعیین ضریب انتشار برای یک آلاینده، حجم انتشار کل آلاینده‌ها برای هر منبع به شکل دقیق‌تری قابل‌محاسبه می‌باشد (Ustaoglu, 2024; Yoo *et al*,. 2022; Cifuentes *et al*, 2021). در این مطالعه رویکرد دوم جهت برآورد انتشار آلاینده‌های هوا به‌کارگیری شده است. معادله شماره ۱ رابطه‌ای است که برای محاسبه میزان انتشار آلاینده‌ها استفاده می‌شود (Cifuentes *et al*,. 2021; Kalantar *et al*,. 2016; Esfehanian *et al*,. 2014):

$$ER_{i,j,k} = EF_{i,j,k} \times FS_{j,k} \times FC_k \qquad (۱)$$

جدول ۱- تعریف متغیرهای معادله نرخ انتشار آلاینده

Table 1. Definition of variables in the equation of pollutant emission rate

پارامتر Parameter	تفسیر Definition
$ER_{i,j,k}$	میزان انتشار آلاینده i از بخش j با سوخت k Emission rate of pollutant type i from section type j with fuel type k
$EF_{i,j,k}$	ضریب انتشار آلاینده i از بخش j با سوخت k Emission coefficient of pollutant type i from section type j with fuel type k
$FS_{j,k}$	میزان سهم بخش j از سوخت k The proportion of section type j in fuel type k
FC_k	مصرف سوخت k The consumption of fuel type k

جدول شماره ۱ متغیرهای استفاده‌شده در معادله شماره ۱ را تعریف می‌کند که در آن $ER_{i,j,k}$ میزان انتشار آلاینده i از بخش j با سوخت k، $EF_{i,j,k}$ ضریب انتشار آلاینده i از بخش j با سوخت k، $FS_{j,k}$ میزان سهم بخش j از سوخت k و FC_k مصرف سوخت k است.

میزان کل انتشار (ER_T) از طریق معادله شماره ۲ محاسبه می‌شود (Kalantar *et al*,. 2016; Esfehanian *et al*,. 2014):

$$ER_T = \Sigma k\ \Sigma j\ \Sigma i ER_{i,j,k} \quad (۲)$$

جهت محاسبه هزینه اجتماعی آلاینده‌ها و کمی سازی آن‌ها از معادله شماره ۳ استفاده می‌شود (Kalantar *et al*,. 2016; Esfehanian *et al*,. 2014):

$$EC_{i,j,k} = ER_{i,j,k} \times PC_i \quad (۳)$$

جدول۲- تعریف متغیرهای معادله هزینه اجتماعی آلاینده‌ها

Table 2. Definition of variables in the equation of pollutant's social cost

پارامتر Parameter	تفسیر Definition
$EC_{i,j,k}$	هزینه اجتماعی آلاینده i از بخش j با سوخت k Social cost of pollutant type i from section type j with fuel type k
$ER_{i,j,k}$	میزان انتشار آلاینده i از بخش j با سوخت k The emission rate of pollutant type I from section type j with fuel type k
PC_i	هزینه اجتماعی آلاینده i Social cost of pollutant type i

جدول شماره ۲ متغیرهای استفاده‌شده در معادله شماره ۳ را تعریف می‌کند که در آن $EC_{i,j,k}$ میزان انتشار آلاینده i از بخش j با سوخت k، $ER_{i,j,k}$ ضریب انتشار آلاینده i از بخش j با سوخت k و PC_i هزینه اجتماعی آلاینده i است.

در بخش آخر کل هزینه اجتماعی انتشار آلاینده‌ها (EC_T) از معادله شماره ۴ قابل‌محاسبه خواهد بود (Kalantar *et al*,. 2016; Esfehanian *et al*,. 2014):

$$EC_T = \Sigma k\ \Sigma j\ \Sigma i EC_{i,j,k} \quad (۴)$$

در معادله شماره ۴، $EC_{i,j,k}$ هزینه اجتماعی هر آلاینده می باشد.

جدول شماره ۳ هزینه اجتماعی شش آلاینده SPM، CO، NO_x، SO_2، CO_2 و CH_4 را نمایش می‌دهد. این هزینه‌ها مطابق با قیمت‌های ثابت سال ۱۳۸۱ و بر اساس مطالعات انجام‌شده توسط بانک جهانی، سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران و همچنین مقادیر ارائه‌شده توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات‌متحده آمریکا محاسبه‌شده است. کلیه این هزینه‌ها در ترازنامه انرژی انتشاریافته از سوی وزارت نیرو (سال ۱۳۹۰) قابل بهره‌برداری می‌باشند و مقادیر آن‌ها در جدول شماره ۳ ارائه‌شده‌اند (Esfehanian *et al*., 2014; Iran Energy Balance 2010-2011):

جدول۳- هزینه اجتماعی آلاینده‌ها بر اساس قیمت‌های سال ۱۳۸۱

Table 3. Social cost of pollutant based on prices in 2013

آلاینده Pollutant	SPM	CO	NO_x	SO_2	CO_2	CH_4
هزینه اجتماعی (هزار ریال بر تن) Social cost (One thousand Rials per ton)	34400	1500	4800	14600	80	1680

جهت بروز رسانی هزینه‌های خارجی آلاینده‌ها در سال ۱۴۰۱، روش Cost Plus با دو رویکرد نرخ ارز و نرخ تورم و با استفاده از معادله‌های شماره ۵ و ۶ بکار رفته است (Yoo *et al.*, 2022; Esfehanian *et al.*, 2014):

$$ExCt_{1401} = ExCt_{1381} \times \frac{\$\ Rate\ 1401}{\$\ Rate\ 1381} \qquad (۵)$$

در معادله شماره ۵ که با رویکرد نرخ ارز است ExCt هزینه اجتماعی برحسب هزار ریال و $ Rate متوسط قیمت دلار است.

$$ExCt_{1401} = ExCt_{1381} \times \prod_{1382}^{1401}(1 + InfRate_i) \qquad (۶)$$

در معادله شماره ۶ که با رویکرد نرخ تورم است ExCt هزینه اجتماعی برحسب هزار ریال بوده و $InfRate_i$ نرخ تورم در سال i ام است. جهت دسترسی به مقادیر متوسط نرخ ارز و تورم در هرسال از اطلاعات مندرج در سایت بانک مرکزی استفاده‌شده است (Central Bank of Iran, 2002-2022).

جدول شماره ۴ میزان کل انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای بخش صنعت به تفکیک نوع سوخت فسیلی در سال ۱۳۹۹ را نشان می‌دهد. این مقادیر از ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۹ استخراج‌شده و به‌عنوان ورودی در تعیین ضریب انتشار هر آلاینده استفاده‌شده است (Iran Energy Balance, 2019-2020):

جدول۴- میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای بخش صنعت و حمل‌ونقل مطابق با ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۹ (برحسب تن)

Table 4. The amount of pollutant and greenhouse gas emissions from industry and transportation sector according to the Iran Energy Balance 2020 (Ton)

N_2O	CH_4	CO_2	SPM	CO	SO_3	SO_2	NO_x	سوخت/گاز Gas/Fuel	بخش Section
0.82	4	94655	52	13925	-	60	537	بنزین Gasoline	صنعت Industry
28	142	3663177	1134	613	633	48133	15329	نفت گاز Diesel	
201.2	2012	112847641	15028	7097	-	365	178666	گاز طبیعی Natural gas	
3025.03	31196	65510857	35797	9637535	-	41304	371733	بنزین Petroleum	حمل‌ونقل Transportation
2872	2872	54562805	255610	139424	3873	325322	522839	نفت گاز Diesel	

مطابق با ترازنامه انرژی سال ۹۹، میزان مصرف گاز طبیعی در بخش صنعت حدود ۸۲/۴۵ میلیارد مترمکعب بوده است درحالی‌که مصرف بنزین و نفت گاز در بخش حمل‌ونقل به ترتیب ۲۷,۵۳۵,۲۱۶,۸۰۰ و ۱۹,۷۸۲,۸۲۹,۰۰۰ لیتر گزارش‌شده است (Iran Energy Balance, 2019-2020) بنابراین ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای برای صنعت و حمل‌ونقل برحسب (Kg/L) به شرح جدول شماره ۵ محاسبه‌شده است. به‌بیان‌دیگر ضریب انتشار اعلام‌شده برای هر آلاینده در جدول شماره ۵ حاصل تقسیم مقدار کل مصرف هر سوخت بر میزان انتشار آلاینده‌های همان سوخت (جدول ۴) است.

مطابق با مقادیر ارائه‌شده در این جدول، بیشترین ضریب انتشار مربوط به آلاینده CO_2 است. ضریب انتشار CO_2 برای گاز طبیعی ۱/۳۶۸ کیلوگرم به ازای هر لیتر است و به ازای سوختن هر لیتر بنزین و نفت گاز (گازوئیل) به ترتیب ۲/۳۷۹ و ۲/۷۵۸ کیلوگرم است.

جدول ۵- ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای برحسب (Kg/L) - منبع: ترازنامه انرژی سال۹۹
Table 5. Emission coefficient of greenhouse gases (Kg/L) - resource: Iran Energy Balance 2020

N_2O	CH_4	CO_2	SPM	CO	SO_3	SO_2	NO_x	سوخت Fuel	بخش Section
2.44×10^{-6}	2.44×10^{-5}	1.368	1.822×10^{-4}	8.607×10^{-5}	--	426.4×10^{-6}	0.0021	گاز طبیعی Natural gas	صنعت Industry
1.09×10^{-4}	11.32×10^{-4}	2.379	0.0013	0.35	--	0.0015	0.0135	بنزین Gasoline	حمل‌ونقل Transportation
1.45×10^{-4}	1.45×10^{-4}	2.758	0.0129	70.47×10^{-4}	1.95×10^{-4}	0.0164	0.0264	نفت گاز Diesel	

ردپای اکولوژیک نشان‌دهنده اثری است که فعالیت‌های انسانی با توجه به سبک و شیوه زندگی خود بر طبیعت تحمیل می‌کنند (Teimouri *et al*., 2014). درواقع وجود نگرانی‌هایی در مورد تغییرات آب و هوایی و آینده محیط-زیست، نهادهای دولتی و عمومی را وادار نمود تا شاخص-هایی را برای اندازه‌گیری چنین تأثیراتی ایجاد کنند تا قادر باشند به روشی جامع به مشکل رسیدگی کرده و بار مسئولیت این اثرات را به نهادهای دیگر تحمیل نکنند که بر این اساس شاخص ردپای کربن (اکولوژیک) مطرح گردید (Harkiolakis, 2013). به‌عبارت‌دیگر ردپای اکولوژیک بیانگر مقدار کل کربن ناشی از یک فعالیت بوده که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم و انباشته‌شده از یک محصول در کل مراحل عمر آن منتشر می‌شود (Han *et al*., 2022; Awanthi and Navaratne, 2018; Harkiolakis, 2013).

در این مطالعه، اثر فعالیت‌های انسانی در رابطه با مصرف سه نوع سوخت فسیلی شامل بنزین، گازوئیل و گاز طبیعی نیز محاسبه‌شده است. معادله شماره ۷ نحوه محاسبه ردپای اکولوژیک برای مصرف بنزین و گازوئیل را نشان می‌دهد:

$$EC_P = F \times E \times R / 1.8 \qquad (۷)$$

که در آن EF_P هکتار زمین موردنیاز برای جذب کربن سوخت موردنظر، F مقدار سوخت مصرف‌شده برحسب گالن، E انرژی تولیدی در هر گالن سوخت موردنظر برحسب BTU، R میزان تن کربن آزادشده در هر میلیارد BTU است. مقادیر پارامترهای E و R از جدول شماره ۶ قابل بهره‌برداری هستند (Hejazi *et al*., 2022; Zarghami and Mansoori, 2021; Barari *et al*., 2016; Teimouri *et al*., 2014):

جدول ۶- نرخ انرژی و کربن آزادشده در بنزین و گازوئیل
Table 6. The rate of energy and carbon released in gasoline and diesel

میزان تن کربن آزادشده در هر میلیارد BTU The amount of carbon emission per one billion BTU (Ton)	انرژی تولیدی در هر گالن برحسب BTU Energy generation per gallon (BTU)	نوع سوخت Fuel
19.35	125000	بنزین Gasoline
19.95	138700	گازوئیل Diesel

در محاسبه ردپای اکولوژیک گاز طبیعی از معادله شماره ۸ استفاده‌شده است:

$$EC_P = F \times E / 1.8 \qquad (۸)$$

که در آن EF_P هکتار زمین موردنیاز برای جذب کربن ناشی از مصرف گاز طبیعی، F مقدار گاز طبیعی مصرف‌شده برحسب فوت مکعب و G مقدار گرم کربن موجود در هر فوت مکعب گاز طبیعی است. مقدار G در مطالعه Barari *et al*. (2016) ۰/۲۴ محاسبه‌شده و در این پژوهش نیز همین

مقدار جهت محاسبات استفاده‌شده است (Hejazi *et al*., 2022; Zarghami and Mansoori, 2021; Barari *et al*., 2016; Teimouri *et al*., 2014).

نتایج و بحث

جدول شماره ۷ میزان مصرف گاز طبیعی، گازوئیل و بنزین را در سه بخش صنعت موردمطالعه شامل موتورخانه‌ها، خودروهای صنعتی (جرثقیل‌های سیار، لیفتراک، خودروهای سنگین) و خودروهای سواری (سمند، پراید، تیبا، مزدا، پی- کاپ، پیکان، تندر ۹۰، ون و پژو) در سال ۱۴۰۱ نشان می‌دهد. مقدار مصرف گاز طبیعی برحسب مترمکعب و مقدار مصرف بنزین و گازوئیل برحسب لیتر بیان‌شده‌اند:

جدول۷- داده‌های سوخت فسیلی مصرفی در بخش‌های مختلف صنعت در سال ۱۴۰۱

Table 7. Fossil fuel data consumed in different sectors of the industry in 2022

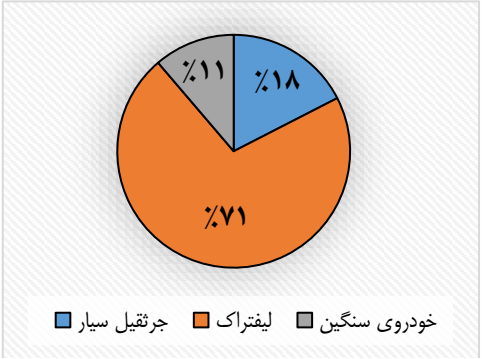
بخش **Section**	سوخت **Fuel**	نوع تجهیز **Type of equipment**	تعداد **Number**	گاز طبیعی برحسب مترمکعب/ گازوئیل و بنزین برحسب لیتر **Natural gas (m3)/ Diesel (Lit)**				
				کل مصرف **Total consumption**	متوسط مصرف **Average Consumption**	حداقل مصرف **Minimum Consumption**	حداکثر مصرف **Maximum Consumption**	انحراف از معیار **Standard deviation**
موتورخانه Engine room	گاز طبیعی Natural gas	دیگ آب گرم Boiler	34	1943880.64	114345.92	5925.92	172782.38	±47185.14
خودروی صنعتی Industrial vehicle	گازوئیل Diesel	جرثقیل سیار Mobile crane	11	80568	7324.36	---	---	---
		لیفتراک Forklift	27	328986	14303.73	---	---	---
		خودروی سنگین[1] Heavy vehicle	23	51928	2257.73	36	5595	±2090.60
خودروی سواری Passenger vehicle	بنزین Gasoline	سمند Samand	36	11797	327.69	20	973	±237
		پراید[2] Pride	11	1997	181.54	15	480	±146.73
		تیبا Tiba	8	2475	309.37	45	675	±216.25
		مزدا Mazda	36	14488	402.44	15	1758	±395.18
		نیسان (پی کاپ) Nissan	20	12298	614.9	42	2283	±504.78
		پیکان[3] Paykan	21	7794	371.14	30	2714	±591.45
		تندر ۹۰ Tondar 90	3	421	140.33	49	284	±27.57
		پژو Peugeot	12	3933	327.75	62	884	±222.55
		ون Van	9	9232	1025.77	96	3980	±1330.36

۱: شامل کامیون، نیسان، خاور و مینی‌بوس

۲: شامل پراید سواری و وانت پراید

۳: شامل پیکان سواری و وانت پیکان

همان‌طور که در جدول شماره ۷ و شکل‌های شماره ۱ و۲ قابل‌مشاهده می‌باشد در صنعت موردمطالعه تعداد ۳۴ موتورخانه که برای تأمین آبگرم و بخار در بخش‌های مختلف صنعت فعال هستند در سال ۱۴۰۱ حدود ۱۹۴۳۸۸۰/۶۴ مترمکعب گاز مصرف کرده‌اند. در بخش خودروهای صنعتی،



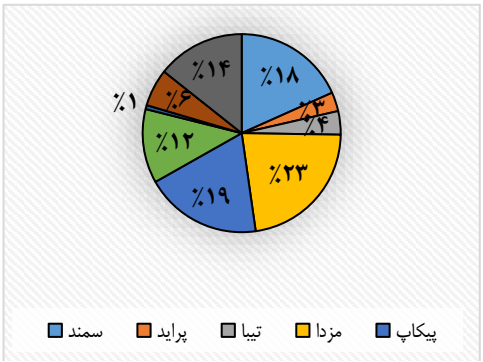
شکل ۳- سهم خودروهای صنعتی در مصرف سوخت فسیلی (گازوئیل) در سال ۱۴۰۱

Fig. 2- The proportion of industrial vehicles in the consumption of fossil fuel (diesel) in 2022

خودروهای سنگین در این مطالعه شامل کامیون، نیسان، خاور و مینی‌بوس بوده که مقدار تقریبی ۵۱۹۲۸ لیتر گازوئیل (حدود ۱۱٪ از کل گازوئیل) را مصرف کرده‌اند (شکل شماره ۲). خودروی مزدا (وانت) با تعداد ۳۶ دستگاه حدود ۲۳٪ از کل سوخت بنزین را مصرف کرده و پرمصرف‌ترین خودروی بنزین سوز بوده است. خودروی پی کاپ (وانت) حدود ۱۲۲۹۸ لیتر بنزین (۱۹٪از کل) بنزین را به‌عنوان سوخت استفاده کرده است. علیرغم تعداد برابر با خودروهای مزدا، خودروی سمند ۱۸٪ از کل بنزین را مصرف کرده است. کمترین میزان مصرف بنزین به ترتیب مربوط به سه دستگاه خودروی تندر ۹۰ به میزان تقریبی ۴۲۱ لیتر (۱٪)، ۱۱ دستگاه خودروی پراید (وانت) به مقدار ۱۹۹۷ لیتر (۳٪) و هشت دستگاه خودروی تیبا به میزان ۲۴۷۵ لیتر (۴٪) بوده است (شکل شماره ۱).

بر اساس معادله شماره (۱) و ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای که در جدول شماره ۵ محاسبه گردید میزان انتشار گازهای آلاینده NO_x، SO_2، SO_3، CO، SPM، CO_2، CH_4 و N_2O به ترتیب ۱۷۲۷۸/۶۸، ۷۶۹۴/۱۷، ۹۰/۳۴، ۲۵۹۷۲/۴۶، ۶۴۰۰/۷۹، ۴۰۸۸۸۶۰/۰۱، ۱۸۷/۴۳، ۷۸/۸۱

لیفتراک بیشترین میزان مصرف گازوئیل را به میزان ۳۲۸۹۸۶ لیتر در سال ۱۴۰۱به خود اختصاص داده است که حدود ۷۱٪ از کل میزان مصرف گازوئیل بوده است (شکل شماره ۲). جرثقیل‌های سیار در حدود ۸۰۵۶۸ لیتر گازوئیل، معادل ۱۸٪ از کل گازوئیل شرکت را مصرف کرده‌اند.



شکل ۲- سهم خودروهای سواری در مصرف سوخت فسیلی (بنزین) در سال ۱۴۰۱

Fig. 2- The proportion of private car in the consumption of fossil fuel (gasoline) in 2022

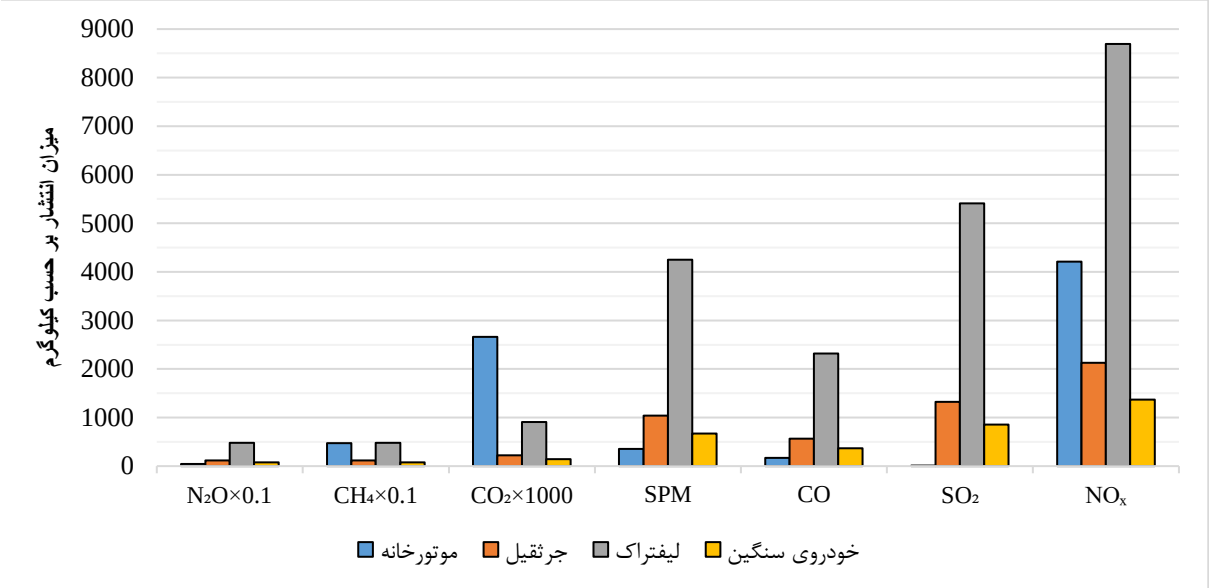
و درمجموع ۴۱۴۴۲۷۲/۳۷ کیلوگرم گازهای گلخانه‌ای توسط این صنعت در سال ۱۴۰۱ در هوا منتشرشده است. همان‌طور که در جدول شماره ۸ نمایش داده‌شده است در میان تمامی مصرف‌کنندگان سوخت فسیلی و از هشت گاز گلخانه‌ای موردبررسی در این مطالعه، لیفتراک‌ها در شش آلاینده بیشترین میزان انتشار را نشان داده‌اند. این شش آلاینده شامل NO_x به میزان ۸۶۹۴/۷۴ کیلوگرم، SO_2 به میزان ۵۴۱۰/۰۶ کیلوگرم، SO_3 به میزان ۶۴/۴۰ کیلوگرم، SPM به میزان ۴۲۵۰/۷۶ کیلوگرم، CH_4 به میزان ۴۷/۷۴ کیلوگرم و N_2O به میزان ۴۷/۷۴ کیلوگرم بوده است. یکی از دلایل اصلی این موضوع بالاتر بودن ضریب انتشار این آلاینده‌های گازی در گازوئیل نسبت به سایر سوخت‌ها است. مطابق بررسی به‌عمل‌آمده از این صنعت، ساعت کار بالای دستگاه‌های لیفتراک و فرسوده بودن این تجهیزات نیز از دیگر عوامل تأثیرگذار در مصرف بالای سوخت گازوئیل توسط آن‌ها بوده به‌طوری‌که در سال ۱۴۰۱ حدود ۳۲۸۹۸۶ لیتر گازوئیل (جدول شماره ۷) به‌وسیله لیفتراک‌ها مصرف‌شده است. انتشار CO_2 از سوخت گاز طبیعی در موتورخانه‌ها در

حدود ۲۶۶۰۵۴۹/۹۶ کیلوگرم (۶۵٪ از کل CO_2) بوده که نسبت به دیگر مصرف‌کننده‌ها بیشترین مقدار را نشان داده است. علیرغم اینکه ضریب انتشار CO_2 در گاز طبیعی نسبت به بنزین و گازوئیل کمتر است (جدول شماره ۵) ولی به دلیل اینکه میزان مصرف گاز طبیعی در این صنعت بسیار بیشتر از مصرف بنزین و گازوئیل بوده، بالاتر شدن میزان انتشار آن از سوختن گاز طبیعی توجیه‌پذیر می‌باشد. مقدار CO انتشاریافته از خودروهای مزدا در حدود ۵۰۷۰/۹۱ کیلوگرم (۱۹٪) محاسبه شد که نسبت به سایر منابع بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. خودروهای تندر۹۰ با ۱۱۵۶/۳۶ کیلوگرم، کمترین میزان انتشار در میان تمامی آلاینده‌ها (معادل ۰/۰۲۷٪ از کل میزان انتشار) داشته که دلیل آن کمتر بودن تعداد این خودرو و پایین‌تر بودن مصرف سوخت آن‌ها نسبت به سایر وسایل نقلیه است. با توجه به میزان کل انتشار آلاینده‌ها در جدول شماره ۸، موتورخانه‌ها به دلیل انتشار بیشترین میزان کل گازهای گلخانه‌ای با مقدار تقریبی ۲۶۶۵۳۶۴/۶۹ کیلوگرم آلاینده‌زاترین بخش صنعت هستند. لیفتراک‌ها نیز بیشترین میزان انتشار در شش گاز NO_x، SO_2، SO_3، SPM، CH_4 وN_2O نسبت به سایر منابع داشته‌اند ضمن اینکه لیفتراک پس از موتورخانه دومین منبع انتشار گازهای گلخانه‌ای در این صنعت است. شکل شماره ۳ میزان انتشار هفت گاز NO_x، SO_2، CO، SPM، CO_2، CH_4، N_2O در اثر سوخت گاز طبیعی و گازوئیل و شکل شماره ۴ میزان انتشاریافته گازهای NO_x، SO_2، SPM، CH_4، N_2O، CO_2، CO در اثر سوختن بنزین در سال ۱۴۰۱ را برحسب کیلوگرم نمایش می‌دهد. با توجه به شکل‌های شماره ۳ و۴ آلاینده‌های CO_2 و N_2O به ترتیب بیشترین و کمترین سهم را در میزان انتشار و درنتیجه آلودگی هوا داشته‌اند.

جدول ۸- میزان گازهای گلخانه‌ای انتشاریافته به تفکیک نوع سوخت و مصرف‌کننده (برحسب کیلوگرم)

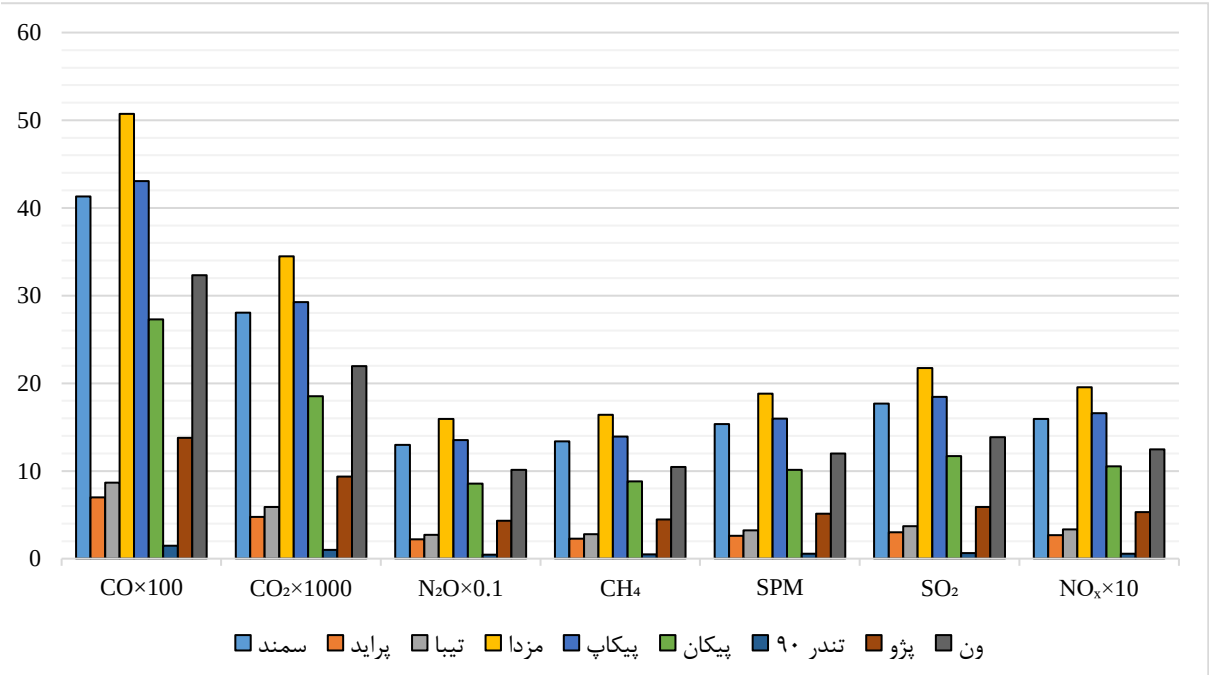
Table 8. The amount of greenhouse gases released by fuel type and consumer (Kg)

سوخت Fuel	مصرف‌کننده Consumer	NO_x	SO_2	SO_3	CO	SPM	CO_2	CH_4	N_2O	کل انتشار Total emission
گاز طبیعی Natural gas	موتورخانه Engine room	4212.31	8.605	-	167.32	354.3	2660549.96	47.43	4.74	2665364.69
نفت گاز Diesel	جرثقیل سیار Mobile crane	2129.32	1324.91	15.77	567.82	1041	222213.72	11.69	11.69	227300.17
	لیفتراک Forklift	8694.74	5410.06	64.40	2318.60	4250.76	907372.70	47.74	47.74	928142.40
	خودروی سنگین Heavy vehicle	1372.40	853.93	10.16	365.97	670.95	143222.0.5	7.53	7.53	146500.39
بنزین Gasoline	سمند Samand	159.26	17.69	-	4129.03	15.33	28067.02	13.36	1.29	32403.02
	پراید Pride	26.96	2.99	-	698.96	2.59	4751.19	2.26	0.21	5482.19
	تیبا Tiba	33.41	3.71	-	866.26	3.21	5888.43	2.80	0.27	6798.12
	مزدا Mazda	195.59	21.73	-	5070.91	18.83	34469.35	16.41	1.59	39794.43
	نیسان (پی کاپ) Nissan	166.02	1844	-	4304.39	15.98	29258.98	13.93	1.35	33779.12
	پیکان Paykan	105.22	11.69	-	2727.95	10.13	18543.22	8.83	0.85	21407.91
	تندر ۹۰ Tondar 90	5.68	0.63	-	147.35	0.54	1001.62	0.47	0.04	1156.36
	پژو Peugeot	53.09	5.89	-	1376.57	5.11	9357.26	4.45	0.43	10802.83
	ون Van	124.63	13.84	-	3231.27	12	21964.46	10.45	1.01	25357.69
	جمع Total	17278.68	7694.17	90.34	25972.46	6400.79	4088860.01	187.43	78.81	4144272.37



شکل ۴- میزان انتشار آلاینده‌های NO_x، SO_2، CO، SPM، CO_2، CH_4، N_2O در اثر مصرف گاز طبیعی و گازوئیل در موتورخانه‌ها و خودروهای صنعتی، سال ۱۴۰۱ (برای نمایش بهتر در نمودار، مقدار انتشار آلاینده‌های CH_4 و N_2O ۱۰ برابر بزرگ و مقدار انتشار آلاینده CO_2 ۱۰۰۰ برابر کوچک‌شده است)

Fig. 4- Emission rate of NO_x, SO_2, CO, SPM, CO_2, CH_4, and N_2O pollutants due to the consumption of natural gas and diesel in engine rooms and industrial vehicles in 2022 (the amount of emissions of CH_4 and N_2O were multiplied in 0.1 and CO_2 emissions was multiplied in 1000 for better visualization)



شکل ۵- میزان انتشار هفت آلاینده NO_x، SO_2، SPM، CH_4، N_2O، CO_2، CO در اثر سوختن بنزین در خودروهای سواری، سال ۱۴۰۱ (برای نمایش بهتر در نمودار، مقدار انتشار آلاینده N_2O ۱۰ برابر بزرگ و مقادیر مربوط به NO_x، CO و CO_2 به ترتیب ۱۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ برابر کوچک‌شده است)

Fig. 5- Emission rate of NO_x, SO_2, CO, SPM, CO_2, CH_4, and N_2O pollutants due to the consumption of gasoline in private vehicles in 2022 (for better visualization in the diagram, the amount of emissions of CO, CO_2, N_2O and CH_4 were multiplied in 100, 1000, 0.1 and 10, respectively)

با استفاده از معادله شماره ۴، هزینه خارجی شش آلاینده CH_4، CO_2، SO_2، NO_x، CO و SPM برحسب قیمت‌های ثابت اعلام‌شده در جدول شماره ۳ برای سال ۱۳۸۱، به شرح جدول شماره ۹ است:

جدول ۹- هزینه اجتماعی گازهای گلخانه‌ای به تفکیک نوع سوخت و مصرف‌کننده (برحسب ریال: ۱۳۸۱)

Table 9. The social cost of greenhouse gases by fuel type and consumer (per Rial: 2002)

سوخت Fuel	مصرف‌کننده Consumer	NO_x	SO_2	CO	SPM	CO_2	CH_4
گاز طبیعی Natural gas	موتورخانه Engine room	20219112	125639	250983	12188171	212843997	79692
نفت گاز Diesel	جرثقیل سیار Mobile crane	10220764	1934741	851732	35810506	17777097	19650
	لیفتراک Forklift	4173479	78986943	3477905	146226236	72589816	80238
	خودروی سنگین Heavy vehicle	6587527	12467503	548961	23080726	11457764	12665
بنزین Gasoline	سمند Samand	764461	258361	6193559	527579	2245361	22453
	پراید Pride	129408	43735	1048447	89308	380095	3800
	تیبا Tiba	160383	54204	1299403	110685	471074	4710
	مزدا Mazda	938841	317296	7606365	647925	2757548	27575
	نیسان (پی کاپ) Nissan	796926	296333	6456590	549985	2340718	23407
	پیکان Paykan	505061	170693	4091938	348559	1483457	14834
	تندر ۹۰ Tondar 90	27281	9220	221029	18827	80130	801
	پژو Peugeot	254863	86135	2064869	175889	748580	7485
	ون Van	598245	202186	4846905	412869	1757156	17571
جمع Total		82937667	112334993	38958691	220187273	326932801	314888
جمع کل Sum total		781666316					

هزینه خارجی اعلام‌شده برای شش آلاینده CH_4، CO_2، SO_2، NO_x، CO و SPM در جدول شماره ۹، بر اساس قیمت دلار در سال ۱۳۸۱ در حدود ۷۸۲ میلیون ریال محاسبه گردیده است لذا برای محاسبه هزینه اجتماعی آلاینده‌های مذکور در سال ۱۴۰۱ لازم است ضریب اصلاحی برای آن‌ها در نظر گرفته شود. بدین منظور می‌توان از معادله شماره (۵) هزینه اجتماعی را برای سال ۱۴۰۱ با رویکرد نرخ ارز محاسبه کرد:

مطابق اعلام بانک مرکزی ایران متوسط قیمت دلار در سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ به ترتیب برابر ۷۹۵۸ و ۴۲۰۰۰ تومان بوده است (Central Bank of Iran, 2002-2022). بنابراین نسبت قیمت دلار در سال ۱۴۰۱ به سال ۱۳۸۱ حدود ۵/۲۷ خواهد بود که با تأثیر دادن این ضریب در مقادیر جدول شماره ۹، هزینه اجتماعی سال ۱۴۰۱ گازهای گلخانه‌ای انتشاریافته از این صنعت به شرح جدول شماره ۱۰ خواهد بود:

جدول ۱۰- هزینه اجتماعی گازهای گلخانه‌ای به تفکیک نوع سوخت و مصرف‌کننده (برحسب ریال: ۱۴۰۱)

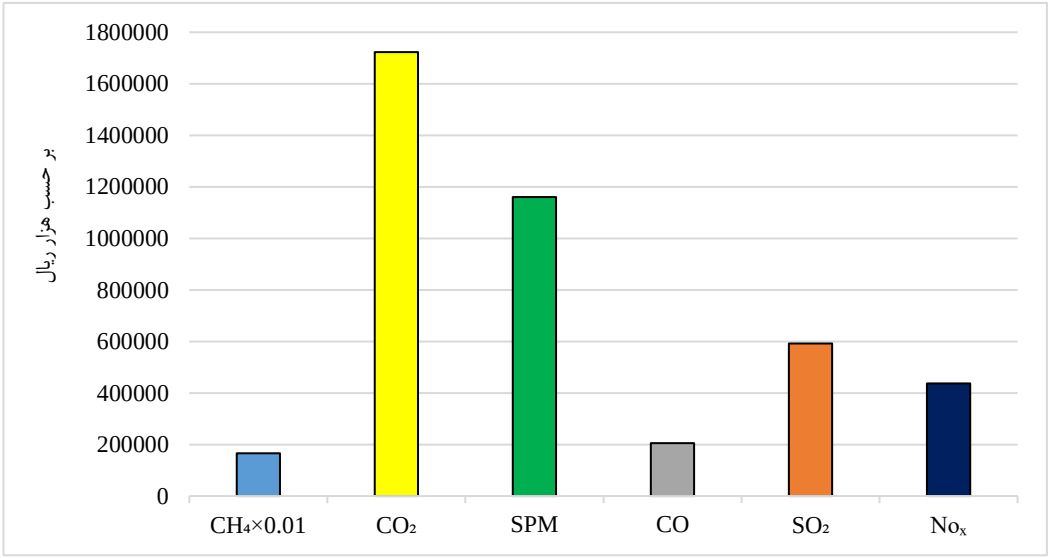
Table 10. The social cost of greenhouse gases by fuel type and consumer (per Rial: 2022)

سوخت Fuel	مصرف‌کننده Consumer	NO_x	SO_2	CO	SPM	CO_2	CH_4	هزینه کل Total cost
گاز طبیعی Natural gas	موتورخانه Engine room	106554722	662117	1322682	64231664	1121687865	419978	1294879031
نفت گاز Diesel	جرثقیل سیار Mobile crane	53863431	101941516	4488627	188721371	93685305	103556	442803809
	لیفتراک Forklift	219942343	416261192	18328563	770612266	382548330	422856	1808115554
	خودروی سنگین Heavy vehicle	34716267	65703741	2893027	121635430	60382416	66744	285397629
بنزین Gasoline	سمند Samand	4028710	1361565	32640057	2780345	11833057	118331	52762068
	پراید Pride	681981	230486	5525319	470657	2003103	20031	8931580
	تیبا Tiba	845219	285655	6847845	583313	2482564	24825	11069434
	مزدا Mazda	4947694	1672151	40085543	3414566	14532282	145324	64797563
	نیسان (پی کاپ) Nissan	4199803	1419389	34026229	2898422	12335588	123357	55002790
	پیکان Paykan	2661674	899554	21564517	1836908	7817822	78179	34858655
	تندر ۹۰ Tondar 90	143772	48590	1164827	99222	422286	4222	1882922
	پژو Peugeot	1343131	453932	10881863	926938	3945021	39450	17590337
	ون Van	3152755	1065523	25543190	2175820	9260217	92603	41290109
جمع Total		437081507	592005417	205312306	1160386931	1722935861	1659463	4119381486

با توجه به جدول شماره ۱۰ هزینه کل اجتماعی انتشار گازهای گلخانه‌ای در این صنعت برای سال ۱۴۰۱ در حدود ۴/۱۲ میلیارد ریال تخمین زده‌شده است. انتشار گاز CO_2 بیشترین نرخ هزینه اجتماعی به مبلغ تقریبی ۱/۷۲ میلیارد ریال را به صنعت تحمیل می‌کند. نرخ انتشار بالای این آلاینده به میزان تقریبی ۴۰۰۰ تن در سال ۱۴۰۱ (جدول شماره ۸) منجر به بالا رفتن نرخ هزینه اجتماعی آن نسبت به سایر آلاینده‌ها شده است به‌طوری‌که حدود ۴۱٪ کل هزینه‌های اجتماعی را به خود اختصاص داده است. SPM پس از CO_2 بیشترین هزینه اجتماعی را با مقدار تقریبی ۱/۱۶ میلیارد ریال که ۲۸٪ از کل هزینه اجتماعی می‌شود دارا می‌باشد. این درحالی‌که است که هزینه اجتماعی ناشی از انتشار CH_4 در حدود ۱/۶۶ میلیون ریال، معادل ٪ ۰/۰۴ از کل هزینه اجتماعی تحمیلی بوده است (شکل شماره ۵). با مشاهده مقدار هزینه اجتماعی انتشار آلاینده‌های گلخانه‌ای که در جدول شماره ۱۰ در دسترس می‌باشد دستگاه‌های لیفتراک با مبلغ تقریبی ۱/۸ میلیارد ریال (حدود ۴۴٪) بیشترین خسارت را در بعد هزینه اجتماعی دارا می‌باشند و موتورخانه‌ها با مبلغ خسارتی در حدود ۱/۳ میلیارد ریال (حدود ۳۱٪) پس از لیفتراک‌ها بیشترین خسارت اجتماعی را ایجاد می‌کنند (شکل شماره۶). این در حالی است که موتورخانه‌ها نسبت به لیفتراک‌ها درمجموع گاز گلخانه‌ای بیشتری را در جو رها کرده‌اند؛ کل گاز رهاشده از موتورخانه‌ها ۲۶۶۵۳۶۴/۶۹ کیلوگرم بوده اما کل گاز انتشاریافته توسط لیفتراک‌ها ۹۲۸۱۴۲/۴۰ بوده است. دلیل اصلی این موضوع بالاتر بودن میزان انتشار سه گاز

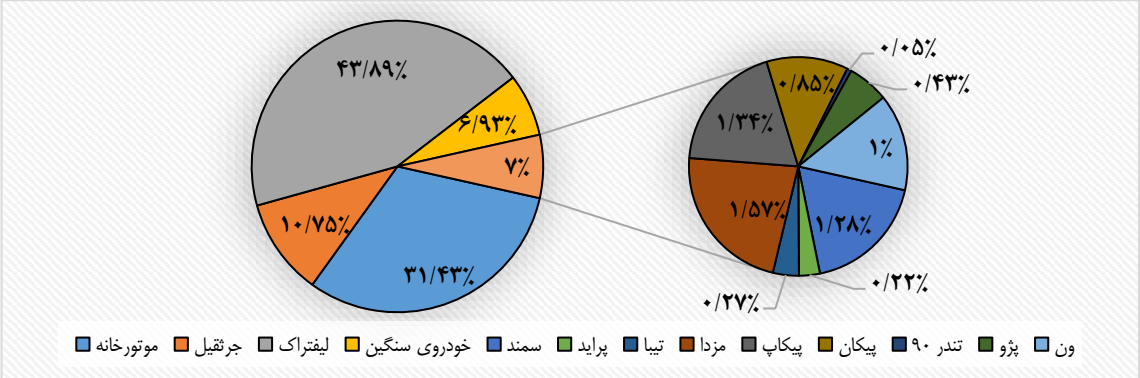
NO_x (۸۶۹۴/۷۴ کیلوگرم)، SO_2 (۵۴۱۰/۰۶کیلوگرم) و SPM (۴۲۵۰/۷۶کیلوگرم) و نرخ بالای هزینه‌های اجتماعی این سه آلاینده نسبت به سایر آلاینده‌ها است (جداول شماره ۸ و ۹). از طرفی CO_2 بیشتری از موتورخانه‌ها در مقایسه با لیفتراک‌ها انتشاریافته اما پائین بودن هزینه اجتماعی این گاز (جدول شماره ۳) در کنار هزینه اجتماعی بالای SPM که میزان انتشار آن در لیفتراک‌ها بیشتر از موتورخانه‌ها بوده (جدول شماره ۸) از عوامل اصلی در کاهش یافتن هزینه اجتماعی موتورخانه در برابر لیفتراک است. نتایج نشان می‌دهد لیفتراک‌ها و موتورخانه‌ها در صنعت موردمطالعه دو منبع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای بوده که بیشترین هزینه اجتماعی را برای صنعت ایجاد می‌کنند.

با استفاده از معادله شماره ۶ در محاسبه هزینه اجتماعی با رویکرد نرخ تورم، مقدار ضریب اصلاحی بر اساس نرخ تورم اعلام‌شده توسط بانک مرکزی از سال ۱۳۸۱-۱۴۰۱، عدد ۲۰/۹۶ خواهد بود و در این شرایط هزینه اجتماعی کل آلاینده‌ها در حدود ۱۶۳۸۳۷۲۵۹۸۳/۳۶ میلیارد ریال محاسبه می‌شود که در حدود چهار برابر رویکرد نرخ ارز خواهد بود (Central Bank of Iran, 2002-2022).



شکل ۶- هزینه اجتماعی آلاینده‌های NO_x، SO_2، CO، SPM، CO_2، CH_4 با در نظر گرفته شدن ضریب اصلاحی سال ۱۴۰۱ (برای نمایش بهتر در نمودار، هزینه خارجی آلاینده CH_4 ۱۰۰ برابر بزرگ‌تر شده است)

Fig. 6- The social cost of NOx, SO_2, CO, SPM, CO_2, and CH_4 pollutants with consideration of correction factor in 2022 (social cost of CH_4 was multiplied by 100 for better visualization)



شکل ۷- سهم منابع مختلف در تحمیل هزینه‌های اجتماعی (درصد)

Fig. 7- The proportion of different sources in social cost (percentage)

محاسبه ردپای کربن

کل بنزین مصرف‌شده در صنعت موردمطالعه ۶۴۴۳۵ لیتر (معادل ۱۷۰۲۲/۴۲۸ گالن)، کل گازوئیل مصرفی ۴۶۱۴۸۲ لیتر (معادل ۱۲۱۹۱۴/۲۴۷ گالن) و میزان کل گاز طبیعی مصرف‌شده نیز ۱۹۴۳۸۸۰/۶۴ مترمکعب (معادل ۶۸۶۹۸۶۸۵/۶۹ فوت مکعب) در سال ۱۴۰۱ بوده است. با توجه به فرمول‌های معادلات ۷ و ۸ مقدار ردپای کربن برای این سه سوخت در جدول شماره ۱۱ خلاصه‌شده است:

جدول ۱۱- ردپای اکولوژیک بنزین، گازوئیل و گاز طبیعی (هکتار)
Table 11. Ecological footprintof gasoline, diesel, and natural gas (Hectar)

سوخت Fuel	مقدار ردپای اکولوژیک (هکتار) Carbon footprint (Hectare)
بنزین Gasoline	22.87
گازوئیل Diesel	18.73
گاز طبیعی Natural gas	9.33

همان‌طور که در جدول شماره ۱۱ نیز مشاهده می‌شود برای جذب کربن ناشی از مصرف بنزین ۲۲/۸۷ هکتار زمین نیاز بوده که بیشترین ردپای اکولوژیک را در میان سوخت‌های فسیلی ایجاد کرده است و پس‌ازآن به ترتیب گازوئیل با ۱۸/۷۳ هکتار و گاز طبیعی با ۹/۳۳ هکتار قرار دارند. برای جذب کربن انتشاریافته از سه سوخت فسیلی بنزین، گازوئیل و گاز طبیعی در سال ۱۴۰۱، درمجموع ۵۰/۹۳ هکتار زمین نیاز است.

نتیجه‌گیری

این مطالعه دربرگیرنده سه هدف اصلی شامل برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، تخمین هزینه اجتماعی و برآورد ردپای اکولوژیک آن‌ها در یک مجموعه صنعتی در سال ۱۴۰۱ بوده که فعالیت آن تعمیر و نگهداری موتورهای توربینی است. منابع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای از سوخت‌های فسیلی شامل بنزین، گازوئیل و گاز طبیعی بوده است که در خودروهای سواری و صنعتی و موتورخانه‌های موجود در این شرکت مصرف می‌شوند. کل میزان آلاینده گلخانه‌ای انتشاریافته در این سال ۴۱۴۴۲۷۲/۳۷ کیلوگرم و کل هزینه اجتماعی نیز ۴۱۱۹۳۸۱۴۸۶ ریال به دست آمد. بیشترین انتشار، مربوط به گاز CO_2 به میزان ۴۰۸۸۸۶۰/۰۱ کیلوگرم و کمترین مقدار مربوط به گاز SO_3 با ۹۰/۳۴ کیلوگرم در سال بوده است. سنگین‌ترین هزینه اجتماعی مربوط به گاز CO_2 به مبلغ ۱۷۲۲۹۳۵۸۶۱ ریال و کمترین هزینه اجتماعی نیز متعلق به گاز CH_4 به مبلغ ۱۶۵۹۴۶۳ ریال است. موتورخانه‌ها با احتساب ۲۶۶۵۳۶۴/۶۹ کیلوگرم در سال، بیشترین سهم را در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارا بودند. این در حالی است که دستگاه‌های لیفتراک با تحمیل ۱۸۰۸۱۱۵۵۵۴ ریال، بیشترین هزینه اجتماعی را منجر شده‌اند. از طرفی محاسبات نشان داد ردپای کربن در بنزین (۲۲/۸۷ هکتار) بیشتر از ردپای کربن برای گازوئیل (۱۸/۷۳ هکتار) و گاز طبیعی (۹/۳۳ هکتار) است و مقدار کل این شاخص ۵۰/۹۳ هکتار به دست آمد. هزینه‌های محاسبه‌شده ضرورت برنامه‌ریزی برای کاهش آلودگی تحمیلی از منابع بررسی‌شده را نشان می‌دهد. در این راستا تعویض یا از رده خارج کردن دستگاه‌ها و خودروهای فرسوده، انجام تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه جهت کارکرد بهینه تجهیزات و مصرف بهینه سوخت در کاهش انتشار آلاینده‌ها و هزینه اجتماعی آن‌ها بسیار حائز اهمیت می‌باشد. علیرغم اینکه تاکنون مطالعات مختلفی در حوزه شهری با موضوع تخمین هزینه اجتماعی و ردپای کربن صورت گرفته است اما مطابق با بررسی‌های به‌عمل‌آمده توسط نویسندگان این مقاله، مطالعه‌ای که این شاخص‌ها را در یک شرکت صنعتی انجام داده باشد یافت نگردید. لازم به توضیح است که تمامی محاسبات انجام‌شده در این مقاله بر اساس مقادیر سوخت مصرفی قابل‌دسترس برای بنزین، گازوئیل و گاز

طبیعی انجام‌گرفته است و به دلیل فقدان داده‌های مصرف سوخت در برخی از قسمت‌های این شرکت صنعتی ممکن است که مقادیر محاسبه‌شده با ضریب خطا همراه باشند. به‌عنوان پیشنهاد برای مطالعات بعدی، پژوهشگران می‌توانند نسبت به پیاده‌سازی روش بیان‌شده در این مقاله در صنایع دیگر اقدام نموده و نتایج خود را با اطلاعات موجود در این مطالعه مقایسه کنند همچنین توصیه می‌شود پژوهشگران در تحقیقات آتی نقش انرژی برق مصرفی را نیز در محاسبه میزان ردپای اکولوژیک لحاظ کنند تا امکان مقایسه جامع عرضه و تقاضای تمامی منابع انرژی در ارتباط با ردپای اکولوژیک فراهم گردد که این موضوع به دلیل عدم دسترسی به داده‌های انرژی برق مصرفی در شرکت مطالعاتی مقدور نبود. اما اطلاعات موجود در این پژوهش می‌تواند به‌عنوان خطوط راهنما به‌منظور برآورد ردپای اکولوژیک و تخمین هزینه اجتماعی گازهای گلخانه‌ای انتشاریافته در مجموعه‌های صنعتی مورد استفاده قرار بگیرد ضمن اینکه شاخص‌های مذکور باید در سرفصل برنامه‌ریزی زیست‌محیطی شرکت‌های صنعتی مورد پایش سالانه قرارگرفته و بودجه‌بندی صحیح به‌منظور بهبود مستمر آن‌ها فراهم گردد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از شرکت مذکور به دلیل همکاری در زمینه ارائه مستندات موردنیاز تشکر می‌نمایند.

منابع

Inflation/Inflation_FA.aspx.

Cifuentes, F., González, C.M., Trejos, E.M., López, L.D., Sandoval, F.J., Cuellar, O.A., Mangones, S.C., Rojas, N.Y. and Aristizábal, B.H., 2021. Comparison of Top-Down and Bottom-Up Road Transport Emissions through High-Resolution Air Quality Modeling in a City of Complex Orography. Atmosphere. 12, 1-16. https://doi.org/10.3390/atmos12111372.

Couture, T., Busch, H., Hansen, T. and Leidreiter, A., 2019. REN21-Renewables in Cities 2019 Global Status Report-Preliminary Findings. Available online at: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf.

Dettner, F. and Blohm, M., 2021. External cost of air pollution from energy generation in Morocco. Renewable and Sustainable Energy Transition. 1, 1-13. https://doi.org/10.1016/j.rset.2021.100002.

Esfehanian, V., Momeni, M.R., Mahoutchi, S., Ashrafi, K. and Khosrobadiee, S.A., 2014. Estimation of External Costs Due to the Air Pollution in Tehran City. Environmental Science. 12, 85-92. (In Persian with English abstract).

Ghannadnia, M., Zarrabi, M.M. and Habibi, N., 2020. The effect of vehicular air pollution on leaf anatomical characters of some fruit-bearing trees (Case study: traditional Qazvin gardens). Iranian Journal of Health and Environment. 12(4), 593-606. (In Persian with English abstract).

Ghorani-Azam, A., Riahi-Zanjani, B. and Balali-Mood, M., 2016. Effects of air pollution on human health and practical measures for prevention in Iran. Journal of Research in Medical Science. 21,

References

Almetwally A.A., Bin-Jumah, M. and Allam, A.A, 2020. Ambient air pollution and its influence on human health and welfare: an overview. Environmantal Science and Pollution Research. 27(20), 24815–24830. https://doi.org/10.1007/s11356-020-09042-2.

Ashena, M. and Hossein Abadi, S., 2020. Factors influencing CO2 emission changes in Iran with emphasis on the role of urbanization; A decomposition analysis. Journal of Geography and Environmental Hazards. 9(2), 145-163. https://doi.org/10.22067/geo.v9i1.84249. (In Persian with English abstract).

Awanthi M.G.G. and Navaratne, C.M., 2018. Carbon footprint of an organization: a tool for monitoring impacts on global warming. Procedia Engineering. 212, 729–735. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.094.

Barari, M., Esmaeil Zadeh, H., Rahmati, A. and Kalantari, M., 2016. Ecological footprint index in measuring the sustainability of urban development (case study: Sari city). Environment and Interdisciplinary Development. 57, 281-290. (In Persian with English abstract).

Büke, T. and Köne, A Ç., 2022. External cost of pollutant emissions in Turkey. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 1123, 1-7. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1123/1/012066

Central Bank of Iran, 2002-2022. Exchange conversion rate report. Available online at: https://www.cbi.ir/exrates/rates_fa.aspx.

Central Bank of Iran, 2002-2022. Inflation rate report. Available online at: https://www.cbi.ir/

1-16. https://doi.org/10.4103/1735-1995.189646.

Ghorbani Sepehr, A., Amraie, M., Ghaloojeh, M. and Daneshvar, P., 2020. Investigating the effect of climate change on air pollution in metropolises. GEOGHTAPHY AND HUMAN RELATIONSHIP. 3, 330-351. https://doi.org/10.22034/gahr.2020. 253389.1459. (In Persian with English abstract).

Han, J., Tan, Z., Chen, M., Zhao, L., Yang, L. and Chen, S., 2022. Carbon Footprint Research Based on Input–Output Model—A Global Scientometric Visualization Analysis. International Journal of Environmental Research and Public Health. 19, 1-23. https://doi.org/10.3390/ijerph191811343.

Harkiolakis, N., 2013. Carbon Footprint. In: Idowu, S.O., Capaldi, N., Zu, L., Gupta, A.D. (Eds.), Encyclopedia of Corporate Social Responsibility. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 309-313. https://doi.org/10.1007/978-3-642-28036-8_38.

Hejazi, R., Shahnoor, M., Jozi, S.A. and Ziari, Y.A., 2022. Analysis of Ecological Footprint Resulting from Gasoline and Diesel Consumption in th Transportation Sector of Bandar Abbas. Journal of Environmental Science and Technology. 24, 131-142. (In Persian with English abstract).

Kalantar, K., Panahi, M. and Mansouri, N., 2016. Economic Assessment of Environmental Implication and Social Costs of Energy Use in Iran Road Transport Sector. Quarterly Energy Economics Review. 11, 181-204. (In Persian with English abstract).

Kazemi, R. and Saki R., 2015. Comparison Of Environmental External Costs Of Rail Transport And Road Transport (Sample Study Of Tehran – Qom Route). International Journal of Management and Applied Science. 1, 49-55.

Khalili, M. and Nasrabadi T., 2023. Assessment of occupational health risk due to inhalation of chemical compounds in an aircraft maintenance, repair, and overhaul company. Environmental Science and Pollution Research. 30(20), 57558-57570. https://doi.org/10.1007/s11356-023-26572-7.

Madadi, P., Ashrafi, KH. and Shafie-Pour Motlagh M., 2014. Estimating the social cost of pollutant emissions caused by public transportation (Case study in Tehran). 1st national conference on architecture, civil engineering and urban environment, 22th May, Hamedan, Iran. (In Persian with English abstract).

Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A. and Bezirtzoglou, E., 2020. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. Frontiers. Public Health. 8, 1-13. https://doi.org/ 10.3389/fpubh.2020.00014.

Office of Electricity and Energy metropolitan planning, Ministry of Petroleum of Islamic Republic of Iran, Iran Energy Balance 2010-2011. Available online at: https://moe.gov.ir.

Office of Electricity and Energy metropolitan planning, Ministry of Petroleum of Islamic Republic of Iran, Iran Energy Balance 2019-2020. Available online at: https://moe.gov.ir.

Rokhmawati, S., Sugiyono, A., Efni, Y. and Wasnury, R., 2023. Quantifying social costs of coal-fired power plant generation. Geography and Sustainability. 4(1), 39-48. https://doi.org/10.1016/ j.geosus.2022.12.004.

Samadi S., 2017. The Social Costs of Electricity Generation—Categorising Different Types of Costs and Evaluating Their Respective Relevance. Energies. 10(3), 1-37. https://doi.org/10.3390/ en10030356.

Soleymani, E., and Cheraghi, M., 2018. A comparative study of the governance structures of countries in reducing and controlling air pollution and providing solutions for Iran 2018. Available online at: https://rc.majlis.ir/fa/report/show/1036809.

Teimouri, I., Salarvandian, F. and Ziarii K.,2014. The Ecological Foot Print of Carbon Dioxide for Fossil Fuels in the Shiraz. Geographical Research. 29, 193-204. (In Persian with English abstract).

Ustaoglu E., 2024. Estimation of economic costs of air pollution from road vehicle transportation in Turkey. Journal of Engineering Sciences. 13(1), 156-168. https://doi.org/10.28948/ngumuh.1336117.

Yoo, Y., Moon, B. and Kim, T.G., 2022. Estimation of Pollutant Emissions and Environmental Costs Caused by Ships at Port: A Case Study of Busan Port. Journal of Marine Science and Engineering. 10, 1-21. https://doi.org/10.3390/jmse10050648.

Zahed, F. and Ameri, M., 2013. Estimating Global Warming External Costs Due to Road Transportation in Iran (Case study: Expressways). JOURNAL OF ENVIRONMENTAL STUDIES. 39, 201-213.

https://doi.org/10.22059/jes.2013.35903. (In Persian with English abstract).

Zarghami, S. and Tajedin Mansoori, S., 2021. Ecological footprint assessment of the use of fossil fuels in the City of Ahvaz. Scientific and Research Journal Management System. 23, 281-290. https://doi.org/10.30495/jest.2022.55251.5156. (In Persian with English abstract).

Zhang, Qy., Wei, Ym., Chen, Yx. and Guo, H., 2007. Environmental damage costs from fossil electricity generation in China, 2000~2003. Journal of Zhejiang University-SCIENCE A. 8, 1816-18

This page is intentionally left blank.