

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 Farahani²

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, SO₂, SO₃, CO, SPM, CO₂, CH₄, and N₂O 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, SO₂, SO₃, CO, SPM, CO₂, CH₄ and N₂O was 17278.68, 7694.17, 90.34, 25972.46, 6400.79, 88860.01, 187.43, and 78.81, respectively. CO₂ pollutant with 4088860.01 kg took into account the highest and SO₃ 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, SO₂, CO, SPM, CO₂, CH₄ were calculated 437081507, 592005417, 205312306, 1160386931, 1722935861, 1659463 Rials per year, respectively, which shows CO₂ and CH₄ 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 SO₂ 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/>).

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

محمد مهدی خلیلی^{۱*}، حمیدرضا جعفری^۱، میلاد کیشانی فراهانی^۲^۱ گروه برنامه‌ریزی، مدیریت

محیط‌زیست و HSE، دانشکده

محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران،

ایران

^۲ 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 مطرح شده است. تعیین میزان انتشار و هزینه‌های 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 ، 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 اکولوژیک آن‌ها محاسبه گردید. **نتایج و بحث:** مطابق با برآورد به‌عمل آمده، در مجموع $۱۹۴۳۸۸۰/۶۴$ 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 ، 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 به‌دست آمده از ترازنامه انرژی سال ۹۹، هزینه اجتماعی آلاینده‌های NO_x ، SO_2 ، CO ، SPM ، CH_4 به ترتیب ۴۳۷۰۸۱۵۰۷ ، ۵۹۲۰۰۵۴۱۷ ، ۲۰۵۳۱۲۳۰۶ ، ۱۱۶۰۳۸۶۹۳۱ ، ۱۷۲۲۹۳۵۸۶۱ 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 هزینه‌های اجتماعی آلاینده‌های انتشار یافته در مجموعه‌های صنعتی مورد استفاده قرار گرفته و در سرفصل برنامه‌ریزی محیط‌زیستی آن‌ها پایش شود به طوری که 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.

جعفری و م. کیشانی فراهانی.

۱۴۰۳. تخمین میزان انتشار آلاینده

های گلخانه‌ای، برآورد هزینه

اجتماعی و ردپای اکولوژیک ناشی از

مصرف سوخت فسیلی در یک

شرکت صنعتی. فصلنامه علوم

محیطی. ۵۱۷-۵۳۶: (۳) ۲۲

* Corresponding Author Email Address: mm.khalili@ut.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2024.1376



مقدمه

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 محیط‌زیست 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 مصرف‌کننده 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

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 درعین حال ۷۵ درصد از انتشار دی‌اکسید کربن جهان را نیز شامل می‌شوند (Couture *et al.*, 2019). بیشترین حجم آلودگی هوا، توسط احتراق سوخت‌های فسیلی در جو‌ها 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،

مدت آلاینده CO₂ با ۳۵۴۰۰۰ تن بیشترین نرخ انتشار را داشته و پس از آن آلاینده‌های NO_x، SO₂، VOC، PM₁₀ 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 آزاد-راه تهران - قم در سال ۱۳۹۱ بالغ بر 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 محیط-زیست 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، SO₂، 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، SO₂، NO_x و PM در هوای کلان‌شهر تهران پرداختند که مشخص شد هزینه یادشده برای این آلاینده‌ها مبلغی در حدود ۱۸/۰۶ هزار

(Samadi, 2017; Zahed and Ameri, 2013). در واقع 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، سازگار با محیط‌زیست 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، N₂O، VOC، NH₃، Pb و CO₂ داشت. در این مطالعه که تنها هزینه اجتماعی CO₂ برحسب نوع وسایل نقلیه محاسبه‌شده است رقمی بالغ بر 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 ۰/۱۵ دلار بوده و آلاینده PM₁₀ 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

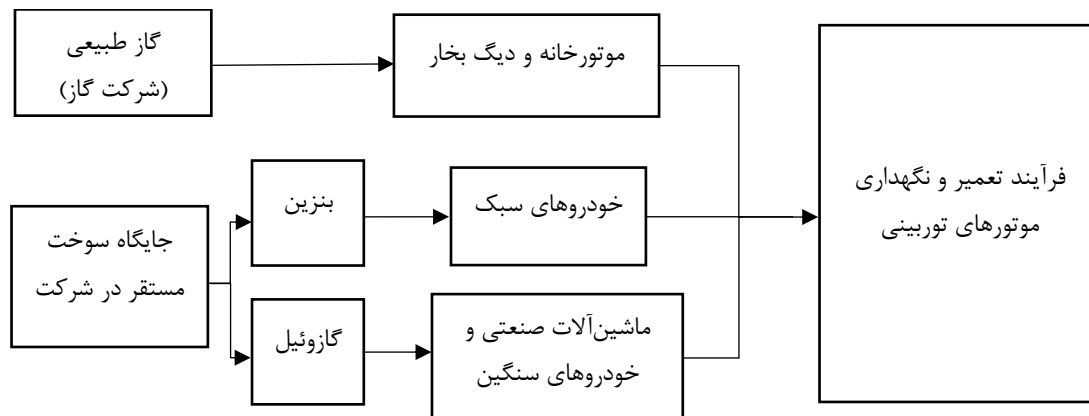
دهد. هدف از انجام این مطالعه تخمینی از میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای در یک شرکت صنعتی در راستای مدیریت مصرف سوخت فسیلی، برنامه‌ریزی به‌منظور کاهش آلودگی هوا و همچنین برآورد اقتصادی ناشی از انتشار این آلاینده‌ها در هوا است. با توجه به وضعیت کنونی آلودگی هوا در کشور، کنترل و کاهش آلودگی هوا بایستی 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 ابعدی 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 انجام گرفته است. فعالیت اصلی این شرکت تعمیرات و نگهداری انواع موتورهای توربینی شامل مونتاز و دی مونتاز 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 تحویل شده 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.

میلیارد ریال (بر اساس قیمت‌های ثابت سال 1381) بود که ۰/۱۸ درصد تولید ناخالص داخلی در آن زمان بوده است (Zhang et al., 2014). (Esfehanian et al., 2014). 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 انجام گرفته با عنوان محاسبه هزینه‌های اجتماعی، به بررسی هزینه‌های اقتصادی آلاینده‌های هوا در مناطق شهری که ناشی از تردد وسایل نقلیه سواری می‌باشند پرداخته شده است. در این مطالعات به دلیل عدم 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 سوخت فسیلی به‌صورت مجزا در وسایل نقلیه سواری، خودروهای صنعتی و موتورخانه‌های موجود در یک شرکت صنعتی مشخص و تجزیه و تحلیل شده‌اند که تأثیر قابل توجهی در برآورد دقیق‌تر میزان انتشار آلاینده‌ها و هزینه‌های اجتماعی آن‌ها دارد. از سویی دیگر، تعداد مطالعات داخلی که 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 قابل توجهی 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



شکل ۱- فلودیاگرام مصرف سوخت فسیلی
Fig. 1- Flow diagram of fossil fuels consumption

سوخت از هر منبع محدوده مطالعاتی در دسترس می‌باشد. در رویکرد دوم خصوصیات منابع مصرف‌کننده انرژی از نظر 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 قابل محاسبه 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.*, 2014; Esfahanian *et al.*, 2014).

$$ER_{i,j,k} = EF_{i,j,k} \times FS_{j,k} \times FC_k \quad (1)$$

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 استفاده شده است (Yoo *et al.*, 2021; 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 در زمانی 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 (Esfahanian *et al.*, 2014). ۲- رویکرد پائین به بالا که در این حالت اطلاعات مصرف

جدول ۱- تعریف متغیرهای معادله نرخ انتشار آلاینده

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

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

(2014):

$$ER_T = \sum k \sum j \sum i ER_{i,j,k} \quad (2)$$

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

$$EC_{i,j,k} = ER_{i,j,k} \times PC_i \quad (3)$$

جدول شماره ۱ متغیرهای استفاده شده در معادله شماره ۱ را تعریف می‌کند که در آن $ER_{i,j,k}$ میزان انتشار آلاینده i از بخش z با سوخت k ، $EF_{i,j,k}$ ضریب انتشار آلاینده i از بخش z با سوخت k ، $FS_{j,k}$ میزان سهم بخش z 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; Esfahanian et al., 2014):

جدول ۲- تعریف متغیرهای معادله هزینه اجتماعی آلاینده‌ها

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

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

جدول شماره ۳ هزینه اجتماعی شش آلاینده CO ، SPM ، CH_4 و CO_2 ، SO_2 ، NO_x را نمایش می‌دهد. این هزینه‌ها مطابق با قیمت‌های ثابت سال ۱۳۸۱ و بر اساس مطالعات انجام شده توسط بانک جهانی، سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران و همچنین مقادیر ارائه شده توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا محاسبه شده است. کلیه این هزینه‌ها در ترازنامه انرژی انتشار یافته از سوی وزارت نیرو (سال ۱۳۹۰) قابل بهره‌برداری می‌باشند و مقادیر آن‌ها در جدول شماره ۳ ارائه شده‌اند (Esfahanian et al., 2014; Iran Energy Balance 2010-2011):

جدول شماره ۲ متغیرهای استفاده شده در معادله شماره ۳ را تعریف می‌کند که در آن $EC_{i,j,k}$ میزان انتشار آلاینده i از بخش z با سوخت k ، $ER_{i,j,k}$ ضریب انتشار آلاینده i از بخش z 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 قابل محاسبه خواهد بود (Kalantar et al., 2016; Esfahanian et al., 2014):

$$EC_T = \sum k \sum j \sum i EC_{i,j,k} \quad (4)$$

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

جدول ۳- هزینه اجتماعی آلاینده‌ها بر اساس قیمت‌های سال ۱۳۸۱

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

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

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 هر سال از اطلاعات مندرج در سایت بانک مرکزی استفاده شده است (Central Bank of Iran, 2002-). (2022).

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

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 (Esfefhanian et al., 2014; et al., 2022).

$$ExCt_{1401} = ExCt_{1381} \times \frac{\$ Rate 1401}{\$ Rate 1381} \quad (5)$$

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

$$ExCt_{1401} = ExCt_{1381} \times \prod_{1382}^{1401} (1 + InfRate_i) \quad (6)$$

در معادله شماره ۶ که با رویکرد نرخ تورم است $ExCt$

جدول ۴- 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 ₂ O	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	
28	142	3663177	1134	613	633	48133	15329	نفت گاز Diesel	صنعت Industry
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	

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 ارائه شده در این جدول، بیشترین ضریب انتشار مربوط به آلاینده CO₂ است. ضریب انتشار CO₂ 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.

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 گزارش شده است (Iran Energy Balance, 2019-2020). بنابراین ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای برای صنعت و حمل‌ونقل برحسب (Kg/L) به شرح جدول شماره ۵ محاسبه شده است. به بیان دیگر ضریب انتشار اعلام شده برای

جدول ۵- ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای برحسب (Kg/L) - منبع: ترازنامه انرژی سال ۹۹
 Table 5. Emission coefficient of greenhouse gases (Kg/L) - resource: Iran Energy Balance 2020

N ₂ O	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	حمل و نقل 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	

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

$$EC_p = F \times E \times R / 1.8 \quad (7)$$

که در آن EF_p هکتار زمین موردنیاز برای جذب کربن سوخت موردنظر، F مقدار سوخت مصرف شده برحسب گالن، E انرژی تولیدی در هر گالن سوخت موردنظر برحسب BTU، R میزان تن کربن آزاد شده 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).

ردپای اکولوژیک نشان‌دهنده اثری است که فعالیت‌های انسانی با توجه به سبک و شیوه زندگی خود بر طبیعت تحمیل می‌کنند (Teimouri et al., 2014). در واقع 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). به عبارت دیگر ردپای اکولوژیک بیانگر مقدار کل کربن ناشی از یک فعالیت بوده که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم و انباشته شده از یک محصول در کل مراحل عمر آن منتشر می‌شود (Han et al., 2022; Awanthi and Navaratne, 2018; Harkiolakis, 2013).

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

میزان تن کربن آزاد شده 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

از مصرف گاز طبیعی، F مقدار گاز طبیعی مصرف شده برحسب فوت مکعب و G مقدار گرم کربن موجود در هر فوت مکعب گاز طبیعی است. مقدار G در مطالعه Barari et al. (2016) محاسبه شده و در این پژوهش نیز همین

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

$$EC_p = F \times E / 1.8 \quad (8)$$

که در آن EF_p هکتار زمین موردنیاز برای جذب کربن ناشی

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 بیان شده‌اند:

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

نتایج و بحث

جدول شماره ۷ میزان مصرف گاز طبیعی، گازوئیل و بنزین را در سه بخش صنعت مورد مطالعه شامل موتورخانه‌ها،

جدول ۷- 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

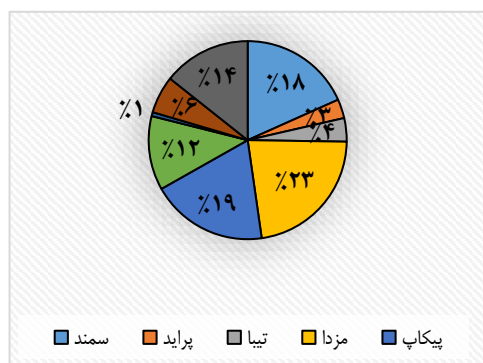
گاز طبیعی برحسب مترمکعب/ گازوئیل و بنزین برحسب لیتر Natural gas (m3)/ Diesel (Lit)					تعداد Number	نوع تجهیز Type of equipment	سوخت Fuel	بخش Section
انحراف از معیار Standard deviation	حداکثر مصرف Maximum Consumption	حداقل مصرف Minimum Consumption	متوسط مصرف Average Consumption	کل مصرف Total consumption				
±47185.14	172782.38	5925.92	114345.92	1943880.64	34	دیگ آب گرم Boiler	گاز طبیعی Natural gas	موتورخانه Engine room
---	---	---	7324.36	80568	11	جرثقیل سیار Mobile crane		خودروی صنعتی Industrial vehicle
---	---	---	14303.73	328986	27	لیفتراک Forklift	گازوئیل Diesel	
±2090.60	5595	36	2257.73	51928	23	خودروی سنگین ^۱ Heavy vehicle		
±237	973	20	327.69	11797	36	سمند Samand		
±146.73	480	15	181.54	1997	11	پراید ^۲ Pride		
±216.25	675	45	309.37	2475	8	تیبا Tiba		
±395.18	1758	15	402.44	14488	36	مزدا Mazda		
±504.78	2283	42	614.9	12298	20	نیسان (پی کاپ) Nissan	بنزین Gasoline	خودروی سواری Passenger vehicle
±591.45	2714	30	371.14	7794	21	پیکان ^۳ Paykan		
±27.57	284	49	140.33	421	3	تندر ۹۰ Tondar 90		
±222.55	884	62	327.75	3933	12	پژو Peugeot		
±1330.36	3980	96	1025.77	9232	9	ون Van		

۱: شامل کامیون، نیسان، خاور و مینی‌بوس

۲: شامل پراید سواری و وانت پراید

۳: شامل پیکان سواری و وانت پیکان

لیفتراک بیشترین میزان مصرف گازوئیل را به میزان ۳۲۸۹۸۶ لیتر در سال ۱۴۰۱ به 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.

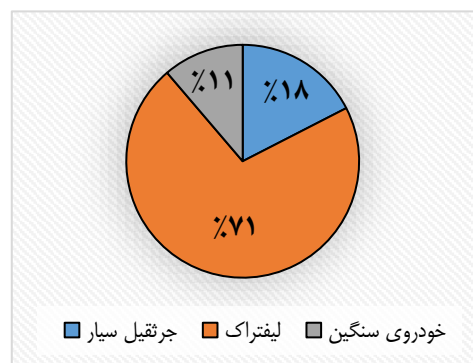


شکل ۲- سهم خودروهای سواری در مصرف سوخت فسیلی (بنزین) در سال ۱۴۰۱

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

و در مجموع ۴۱۴۴۲۷۲/۳۷ کیلوگرم گازهای گلخانه‌ای توسط این صنعت در سال ۱۴۰۱ در هوا منتشر شده است. همان‌طور که در جدول شماره ۸ نمایش داده شده است در میان تمامی مصرف‌کنندگان سوخت فسیلی و از هشت گاز گلخانه‌ای مورد بررسی 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 به عمل آمده 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 به طوری که در سال ۱۴۰۱ حدود ۳۲۸۹۸۶ لیتر گازوئیل (جدول شماره ۷) به وسیله لیفتراک‌ها مصرف شده است. انتشار CO_2 از سوخت گاز طبیعی در موتورخانه‌ها در

همان‌طور که در جدول شماره ۷ و شکل‌های شماره ۱ و ۲ قابل مشاهده می‌باشد در صنعت مورد مطالعه 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 پی‌کاپ (وانت) حدود ۱۲۲۹۸ لیتر بنزین (۱۹٪ از کل) بنزین را به عنوان 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 (۰/۱٪)، ۱۱ دستگاه خودروی پراید (وانت) به مقدار ۱۹۹۷ لیتر (۰/۳٪) و هشت دستگاه خودروی تیبا به میزان ۲۴۷۵ لیتر (۰/۴٪) بوده است (شکل شماره ۱). بر اساس معادله شماره (۱) و ضریب انتشار گازهای گلخانه‌-ای 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

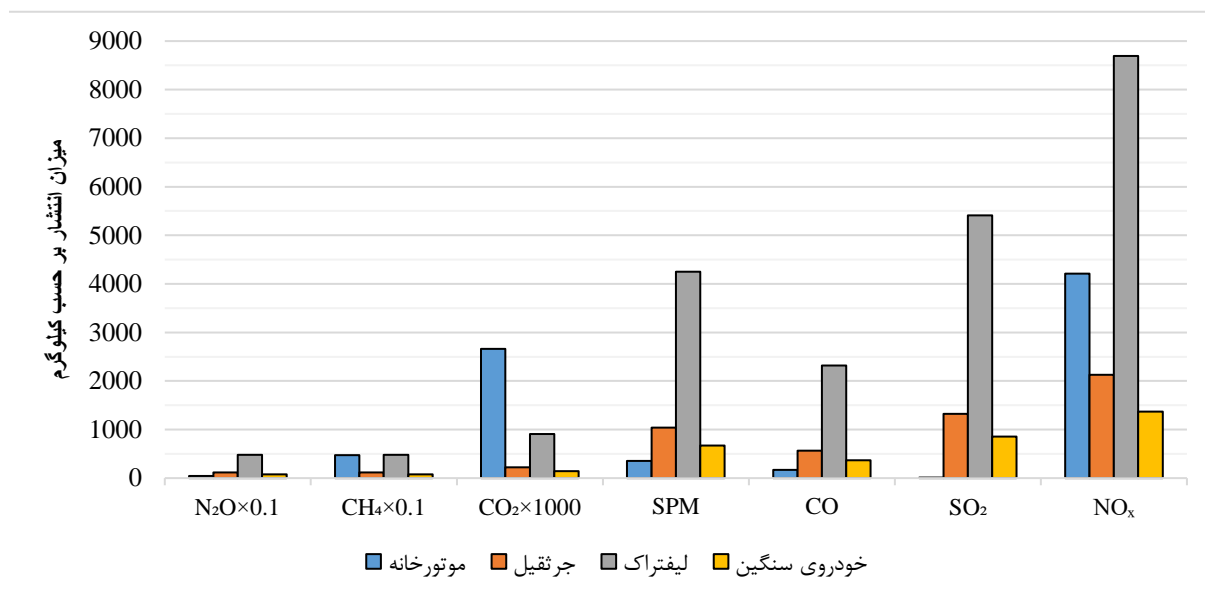
میزان کل انتشار آلاینده‌ها در جدول شماره ۸، موتورخانه‌ها به دلیل انتشار بیشترین میزان کل گازهای گلخانه‌ای با مقدار تقریبی ۲۶۶۵۳۶۴/۶۹ کیلوگرم آلاینده‌زاترین بخش صنعت هستند. لیفتراک‌ها نیز بیشترین میزان انتشار در شش گاز NO_x ، SO_2 ، SO_3 ، SPM، CH_4 و N_2O نسبت به سایر منابع داشته‌اند ضمن اینکه لیفتراک 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 انتشار یافته 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 و ۴ آلاینده‌های CO_2 و N_2O به ترتیب بیشترین و کمترین سهم را در میزان انتشار و در نتیجه آلودگی هوا داشته‌اند.

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 انتشار یافته 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 تندر ۹۰ 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

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

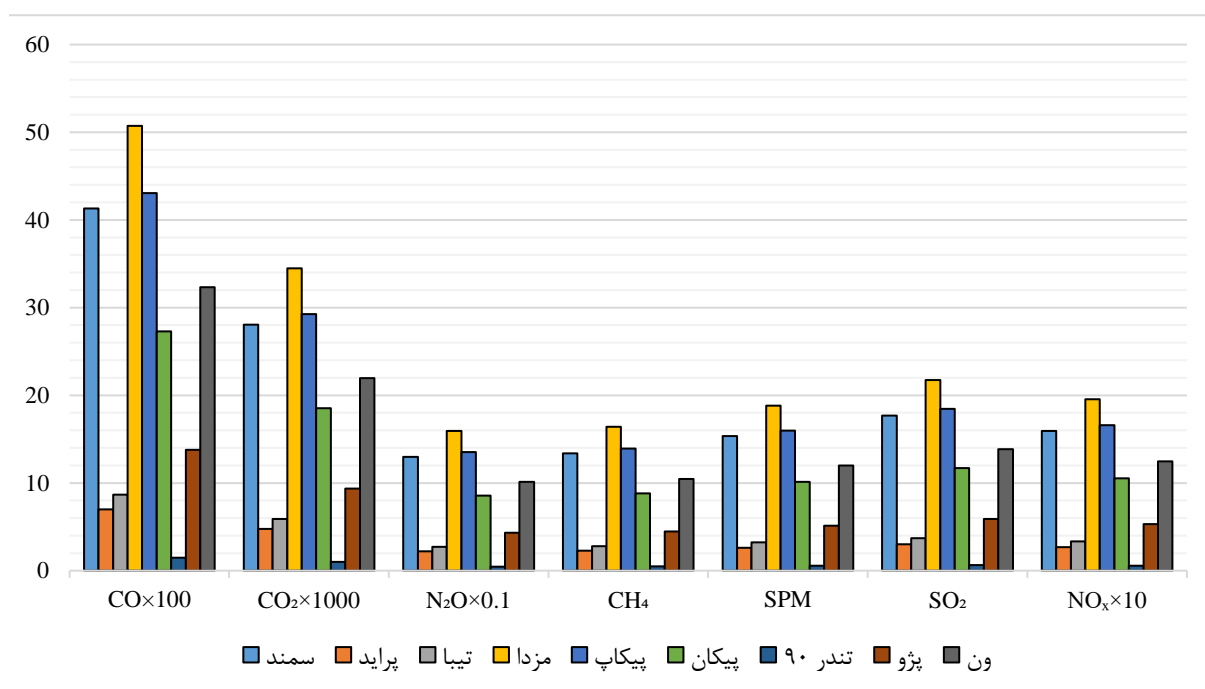
Table 8. The amount of greenhouse gases released by fuel type and consumer (Kg)

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



شکل ۴- میزان انتشار آلاینده‌های NO_x، SO₂، CO، SPM، CO₂، CH₄، N₂O در اثر مصرف گاز طبیعی و گازوئیل در موتورخانه‌ها و خودروهای صنعتی، سال ۱۴۰۱ (برای نمایش بهتر در نمودار، مقدار انتشار آلاینده‌های CH₄ و N₂O برابر بزرگ و مقدار انتشار آلاینده CO₂ ۱۰۰۰ برابر کوچک شده است)

Fig. 4- Emission rate of NO_x, SO₂, CO, SPM, CO₂, CH₄, and N₂O pollutants due to the consumption of natural gas and diesel in engine rooms and industrial vehicles in 2022 (the amount of emissions of CH₄ and N₂O were multiplied in 0.1 and CO₂ emissions was multiplied in 1000 for better visualization)



شکل ۵- میزان انتشار هفت آلاینده NO_x، SO₂، CO، SPM، CH₄، N₂O، CO₂ در اثر سوختن بنزین در خودروهای سواری، سال ۱۴۰۱ (برای نمایش بهتر در نمودار، مقدار انتشار آلاینده N₂O برابر بزرگ و مقادیر مربوط به CO، NO_x و CO₂ به ترتیب ۱۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ برابر کوچک شده است)

Fig. 5- Emission rate of NO_x, SO₂, CO, SPM, CO₂, CH₄, and N₂O pollutants due to the consumption of gasoline in private vehicles in 2022 (for better visualization in the diagram, the amount of emissions of CO, CO₂, N₂O and CH₄ 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 و 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)

CH ₄	CO ₂	SPM	CO	SO ₂	NO _x	مصرف‌کننده Consumer	سوخت Fuel
79692	212843997	12188171	250983	125639	20219112	موتورخانه Engine room	گاز طبیعی Natural gas
19650	17777097	35810506	851732	1934741	10220764	جرثقیل سیار Mobile crane	نفت گاز Diesel
80238	72589816	146226236	3477905	78986943	4173479	لیفتراک Forklift	
12665	11457764	23080726	548961	12467503	6587527	خودروی سنگین Heavy vehicle	
22453	2245361	527579	6193559	258361	764461	سمند Samand	
3800	380095	89308	1048447	43735	129408	پراید Pride	بنزین Gasoline
4710	471074	110685	1299403	54204	160383	تیبیا Tiba	
27575	2757548	647925	7606365	317296	938841	مزدا Mazda	
23407	2340718	549985	6456590	296333	796926	نيسان (بی کاپ) Nissan	
14834	1483457	348559	4091938	170693	505061	پیکان Paykan	
801	80130	18827	221029	9220	27281	تندر ۹۰ Tondar 90	
7485	748580	175889	2064869	86135	254863	پژو Peugeot	
17571	1757156	412869	4846905	202186	598245	ون Van	
314888	326932801	220187273	38958691	112334993	82937667	جمع Total	
781666316							جمع کل Sum total

مطابق اعلام بانک مرکزی ایران متوسط قیمت دلار در سال -های 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:

هزینه خارجی اعلام‌شده برای شش آلاینده CH_4 ، CO_2 ، SO_2 ، NO_x و 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:

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

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

هزینه کل Total cost	CH ₄	CO ₂	SPM	CO	SO ₂	NO _x	مصرف‌کننده Consumer	سوخت Fuel
1294879031	419978	1121687865	64231664	1322682	662117	106554722	موتورخانه Engine room	گاز طبیعی Natural gas
442803809	103556	93685305	188721371	4488627	101941516	53863431	جرتقیل سیار Mobile crane	
1808115554	422856	382548330	770612266	18328563	416261192	219942343	لیفتراک Forklift	نفت گاز Diesel
285397629	66744	60382416	121635430	2893027	65703741	34716267	خودروی سنگین Heavy vehicle	
52762068	118331	11833057	2780345	32640057	1361565	4028710	سمند Samand	
8931580	20031	2003103	470657	5525319	230486	681981	پراید Pride	
11069434	24825	2482564	583313	6847845	285655	845219	تیا Tiba	
64797563	145324	14532282	3414566	40085543	1672151	4947694	مزدا Mazda	
55002790	123357	12335588	2898422	34026229	1419389	4199803	نيسان (پی کاپ) Nissan	بنزین Gasoline
34858655	78179	7817822	1836908	21564517	899554	2661674	پیکان Paykan	
1882922	4222	422286	99222	1164827	48590	143772	تندر ۹۰ Tondar 90	
17590337	39450	3945021	926938	10881863	453932	1343131	پژو Peugeot	
41290109	92603	9260217	2175820	25543190	1065523	3152755	ون Van	
4119381486	1659463	1722935861	1160386931	205312306	592005417	437081507	جمع Total	

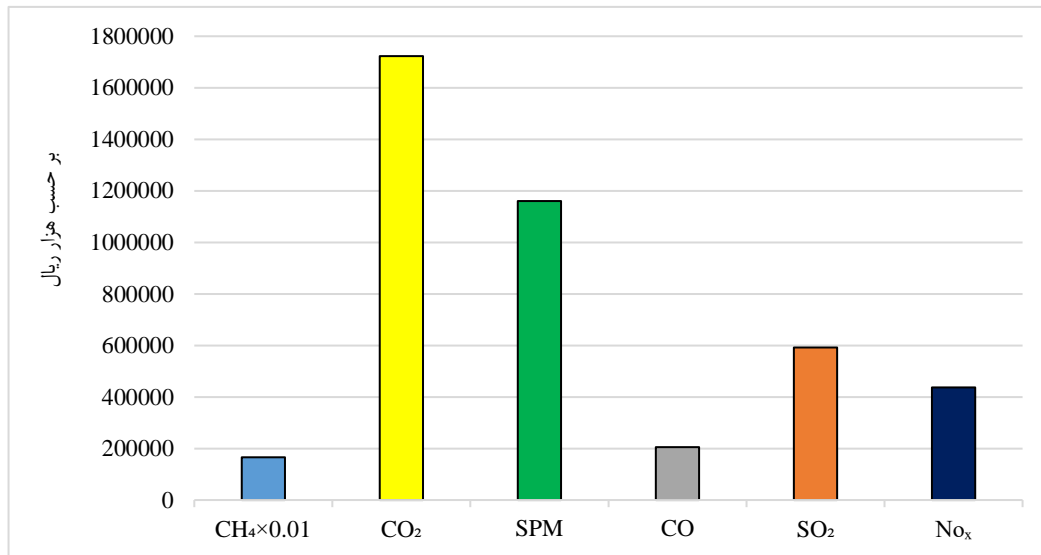
از کل هزینه اجتماعی تحمیلی بوده است (شکل شماره ۵). با مشاهده مقدار هزینه اجتماعی انتشار آلاینده‌های گلخانه‌ای که در جدول شماره ۱۰ در دسترس می‌باشد دستگاه‌های لیفتراک با مبلغ تقریبی ۱/۸ میلیارد ریال (حدود ۰/۴۴٪) بیشترین خسارت را در بعد هزینه اجتماعی دارا می‌باشند و موتورخانه‌ها با مبلغ خسارتی در حدود ۱/۳ میلیارد ریال (حدود ۰/۳۱٪) پس از لیفتراک‌ها بیشترین خسارت اجتماعی را ایجاد می‌کنند (شکل شماره ۶). این در حالی است که موتورخانه‌ها نسبت به لیفتراک‌ها در مجموع گاز گلخانه‌ای بیشتری را در جو رها کرده‌اند؛ کل گاز رها شده از موتورخانه‌ها ۲۶۶۵۳۶۴/۶۹ کیلوگرم بوده اما کل گاز انتشار یافته توسط لیفتراک‌ها ۹۲۸۱۴۲/۴۰ بوده است. دلیل اصلی این موضوع بالاتر بودن میزان انتشار سه گاز

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 زده شده است. انتشار گاز CO₂ 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 به طوری که حدود ۰/۴۱٪ کل هزینه‌های اجتماعی را به خود اختصاص داده است. SPM پس از CO₂ بیشترین هزینه اجتماعی را با مقدار تقریبی ۱/۱۶ میلیارد ریال که ۰/۲۸٪ از کل هزینه اجتماعی می‌شود دارا می‌باشد. این در حالی است که هزینه اجتماعی ناشی از انتشار CH₄ در حدود ۱/۶۶ میلیون ریال، معادل ۰/۰۴٪

موتورخانه‌ها در صنعت مورد مطالعه دو منبع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای بوده که بیشترین هزینه اجتماعی را برای صنعت ایجاد می‌کنند.

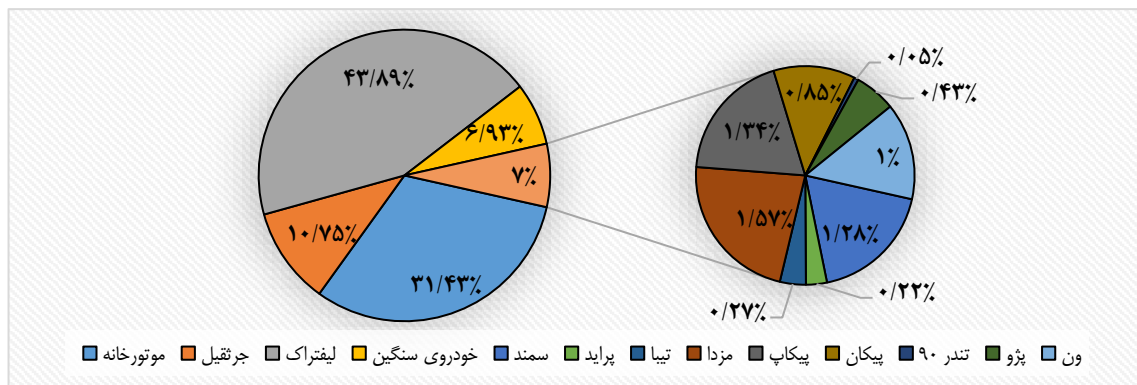
با استفاده از معادله شماره ۶ در محاسبه هزینه اجتماعی با رویکرد نرخ تورم، مقدار ضریب اصلاحی بر اساس نرخ تورم اعلام شده توسط بانک مرکزی از سال ۱۳۸۱-۱۴۰۱، عدد ۲۰/۹۶ خواهد بود و در این شرایط هزینه اجتماعی کل آلاینده‌ها در حدود ۱۶۳۸۳۷۲۵۹۸۳/۳۶ میلیارد ریال محاسبه می‌شود که در حدود چهار برابر رویکرد نرخ ارز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

NO_x (۸۶۹۴/۷۴ کیلوگرم)، SO_2 (۵۴۱۰/۰۶ کیلوگرم) و SPM (۴۲۵۰/۷۶ کیلوگرم) و نرخ بالای هزینه‌های اجتماعی این سه آلاینده نسبت به سایر آلاینده‌ها است (جدول شماره ۸ و ۹). از طرفی CO_2 بیشتری از موتورخانه‌ها در مقایسه با لیفتراک‌ها انتشار یافته 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



شکل ۶- هزینه اجتماعی آلاینده‌های CH_4 ، CO_2 ، SPM، CO، SO_2 ، NO_x 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 NO_x ، 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

مصرف شده 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 خلاصه شده است:

کل بنزین مصرف شده در صنعت مورد مطالعه ۶۴۴۳۵ لیتر (معادل ۱۷۰۲۲/۴۲۸ گالن)، کل گازوئیل مصرفی ۴۶۱۴۸۲ لیتر (معادل ۱۲۱۹۱۴/۲۴۷ گالن) و میزان کل گاز طبیعی

جدول ۱۱- ردپای اکولوژیک بنزین، گازوئیل و گاز طبیعی (هکتار)

Table 11. Ecological footprint of 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

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 محاسبه شده ضرورت برنامه‌ریزی برای کاهش آلودگی تحمیلی از منابع بررسی شده 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 به عمل آمده 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 انجام شده در این مقاله بر اساس مقادیر سوخت مصرفی قابل دسترس برای بنزین، گازوئیل و گاز

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 پس از آن به ترتیب گازوئیل با ۱۸/۷۳ هکتار و گاز طبیعی با ۹/۳۳ هکتار قرار دارند. برای جذب کربن انتشار یافته از سه سوخت فسیلی بنزین، گازوئیل و گاز طبیعی در سال ۱۴۰۱، در مجموع 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 انتشار یافته 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

موجود در این پژوهش می‌تواند به‌عنوان خطوط راهنما به- منظور برآورد ردپای اکولوژیک و تخمین هزینه اجتماعی گازهای گلخانه‌ای انتشاریافته در مجموعه‌های صنعتی مورد- استفاده قرار بگیرد ضمن اینکه شاخص‌های مذکور باید در سر- فصل برنامه‌ریزی زیست‌محیطی شرکت‌های صنعتی مورد پایش سالانه قرار گرفته و بودجه‌بندی صحیح به‌منظور بهبود مستمر آن‌ها فراهم گردد.

سیاسگزاری

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

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. *Environmental 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., Esmail 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/>

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

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>.
- Esfahanian, 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,

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. *GEOGRAPHY 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 the 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 Ziari 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.*