Original Article

Estimation of emission rate, social cost, and ecological footprint of greenhouse pollutants caused by fossil fuel consumption in an industrial company

Mohammadmahdi Khalili,* Hamidreza Jafari, Milad Kishani Farahani

Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

Safety and Environment Engineering (HSE), Naghshejahan University, Isfahan, Iran

Introduction: Air pollution has been raised as one of the most important risk factors contributing to the health of citizens and also the emergence of environmental problems in recent years. Determining the amount of emissions and the costs imposed by fossil fuel pollutants on human health is an effective approach that can provide a financial estimation of harmful effects of these compounds for urbanized and industrial managers. Using this beneficial information, decision makers will be able to apply optimal management of fuel sources and a reduction in releasing pollutants to the environment. 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 pollutants 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 this study includes an industrial company in the west of Tehran, Iran. Firstly, primary data about the consumption of three types of fossil fuels namely, natural gas, gasoline, and diesel, was collected in the main consumer sectors of this industry such as engine houses, private and industrial vehicles in 1401.Next, in order to estimate the emission rate of the mentioned pollutants in consumer sectors, the energy balance sheet notified by the Ministry of Energy and Electricity Deputy in 1399 was used in this context. By having the amount of fuel consumed from each source and consideration the basic amount of the social cost of each pollutant published in the energy balance sheet in 1390, an initial estimation of the social cost of pollutants was calculated. Subsequently, a correction factors were assigned for final values and the costs were updated (based on constant prices in 1381). Ultimately, ecological footprint was computed with regard to the estimation of total amount of fossil fuels consumed in 1401.

Results and Discussion: According to the results, totally 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, it was determined that the emission rates of NO_x, SO_2, SO_3, CO, SPM, CO_2, CH_4 and N_2O were 17278/68, 7694/17, 90/34, 25972/46, and 6400/79, 88860.01, 187.43, 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 amount of emission in the year. Based on the

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

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 CO2 and CH4 gases impose the highest and lowest social cost to the environment, respectively. Moreover, total social cost based on exchange rate and inflation rate approach was calculated about 4119381486 and 16383725983 billion Rials, respectively (after 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 hectares and natural gas with 9.33 hectares have created the greatest and the least ecological footprint. In addition, the total ecological footprint was calculated to be approximately 50.93 hectares.

Conclusion: The imposed 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 contributed to produce the largest social cost with the amount of 1808115554 Rials due to the high emission rate of NOx, SPM and SO2 pollutants and also, the higher social cost of these three pollutants in the energy balance sheet 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

نسخه پیش انتشار

مقاله پژوهشی

تخمین میزان انتشار آلاینده‌های گلخانه ای، برآورد هزینه اجتماعی و ردّپای اکولوژیک ناشی از مصرف سوخت فسیلی در یک شرکت صنعتی

محمدمهدی خلیلی†، حمیدرضا جعفری، میلاد کیشانی فراهانی

دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مهندسی سلامت، ایمنی و محیط زیست (HSE)، مؤسسه آموزش عالی نقش جهان، اصفهان، ایران

سابقه و هدف: در سال های اخیر آلودگی هوا به عنوان یکی از مهمترین ریسک فاکتورهای مشارکت کننده در موضوع سلامت شهروندان و بروز مشکلات زیست محیطی مطرح شده است. تعیین میزان انتشار و هزینه ای که آلاینده های سوخت های فسیلی بر سلامت انسان ها تحمیل می کنند رویکردی مؤثر است که می تواند یک برآورد مالی از اثرات زیان بار این ترکیبات در اختیار مدیران و تصمیم گیرندگان شهری و صنعتی قرار داده و آنها را به منظور مدیریت بهینه منابع و انتشار آلودگی کمتر به محیط زیست توانمند سازد. این مطالعه شامل برآورد میزان انتشار، هزینه های اجتماعی و ردّپای اکولوژیک آلاینده های 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 دربرگیرنده یک شرکت صنعتی در غرب تهران است. ابتدا اطلاعات مربوط به مصرف سه نوع سوخت فسیلی شامل گاز طبیعی، بنزین و گازوئیل در بخش های اصلی مصرف کننده این صنعت شامل موتورخانه، خودروهای سواری و صنعتی در سال ۱۴۰۱ جمع آوری گردید. جهت برآورد نرخ انتشار آلاینده های یاد شده، از تراز نامه انرژی ابلاغ شده توسط معاونت انرژی و برق وزارت نیرو در سال ۱۳۹۹ استفاده شد. با در اختیار داشتن میزان سوخت مصرف شده از هر منبع سوخت فسیلی و بر اساس مبلغ پایه هزینه اجتماعی هر آلاینده که در ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۰ منتشر شده است نسبت به برآورد اولیه هزینه اجتماعی آلاینده ها اقدام شده و سپس این هزینه ها با اختصاص ضرایب اصلاحی (با توجه به تغییر قیمت ها از سال ۱۳۸۱ تاکنون)، واقعی سازی شدند. در ادامه نیز مطابق با تخمین صورت گرفته از میزان کل سوخت های فسیلی مصرف شده در سال ۱۴۰۱ ، ردّپای اکولوژیکی آنها محاسبه گردید.

† Corresponding Author Email Aqddress: mm.khalili@ut.ac.ir

نسخه پیش انتشار

نتایج و بحث: مطابق با برآورد به عمل آمده در مجموع ۱۹۴۳۸۸۰/۶۴ مترکعب گاز طبیعی در بخش موتورخانه ها، ۶۴۴۳۵ لیتر بنزین و ۴۶۱۴۸۲ لیتر نفت گاز در حوزه وسایل نقلیه سواری و سنگین در سال ۱۴۰۱ در این شرکت مصرف شده 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 مقدار و آلاینده SO_3 با ۹۰/۳۴ کیلوگرم کمترین میزان انتشار را در این سال داشته اند. بر اساس ضریب انتشار بدست آمده از ترازنامه انرژی سال۹۹، هزینه اجتماعی گازهای آلاینده 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 می دهد گازهای CO_2 و CH_4 به ترتیب بالاترین و کمترین هزینه اجتماعی را به محیط زیست تحمیل می کنند. پس از واقعی سازی قیمت های ثابت سال ۱۳۸۱، کل هزینه اجتماعی ناشی از انتشار آلاینده های اندازه گیری شده بر اساس رویکرد نرخ ارز و نرخ تورم به ترتیب در حدود ۴۱۱۹۳۸۱۴۸۶ و ۱۶۳۸۳۷۲۵۹۸۳ میلیارد ریال در سال ۱۴۰۱ تخمین زده شد. محاسبات مربوط به برآورد ردّپای اکولوژیک سوخت های فسیلی مصرف شده حاکی از آن است که مصرف سوخت بنزین با ۲۲/۸۷ هکتار بیشترین و گاز طبیعی با ۹/۳۳ هکتار کمترین ردپای اکولوژیک را ایجاد کرده اند. ضمن اینکه کل ردّپای اکولوژیک ایجاد شده در حدود ۵۰/۹۳ هکتار محاسبه گردیده است.

نتیجه‌گیری: هزینه اجتماعی تحمیلی آلاینده ها در این مطالعه نتایج متفاوتی را با توجه به حجم انتشار آنها نشان داد. در حالی که بخش موتورخانه با مقدار ۲۶۶۵۵۳۶۴/۶۹ بیشترین سهم را در انتشار گازهای گلخانه ای داشت ولی لیفتراک ها بیشترین هزینه اجتماعی را به میزان ۱۸۰۸۱۱۵۵۵۴ ریال به محیط زیست تحمیل کرده اند که دلیل آن بالا بودن میزان انتشار سه آلاینده NOx، SPM و SO2 از لیفتراک و همچنین بالاتر بودن هزینه اجتماعی این سه آلاینده در تراز نامه انرژی نسبت به سایر آلاینده ها می باشد. این روش می تواند به عنوان یک الگو در محاسبه هزینه های اجتماعی آلاینده های انتشار یافته در مجموعه های صنعتی مورد استفاده قرار گرفته و در سرفصل برنامه ریزی محیط زیستی آنها پایش شود به طوری که با شناسایی کانون های ایجاد آلودگی و اولیت بندی کردن آنها، نسبت به بودجه بندی در راستای کاهش میزان انتشار و هزینه اجتماعی آلاینده ها اقدام شود.

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

مقدمه

امروزه مقابله با آلودگی هوا یکی از مهمترین چالش های کشورهای دنیا در مسیر توسعه و پیشرفت به شمار می آید. در واقع هرگونه پیشرفت و توسعه ای نیازمند توجه به شاخص های بهداشت و محیط زیست سالم است و این موضوع یکی از حقوق شهروندان بوده که دولت ها موظف به محقق کردن آن می باشند (Almetwally *et al*,. 2020; Soleymani

نسخه پیش انتشار

and Cheraghi, 2018). اثرات بلند مدت آلودگی هوا بر شیوع بیماری هایی مانند عفونت های تنفسی و التهابات، آسم، اختلالات قلبی عروقی و سرطان به طور گسترده پذیرفته شده است (Khalili and Nasrabadi, 2023; Manisalidis *et al*., 2020; Ghorani-Azam *et al*., 2016) از طرفی دیگر ترکیباتی مانند O_3، SO_2، NO_2و ذرات معلق به عنوان ترکیبات عمده آلاینده های هوا مطرح بوده که می توانند 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 می شود (Ghannadnia *et al*., 2020). گرمایش زمین از دیگر اثرات نامطلوب پدیده آلودگی هوا است که منجر به تغییرات نامطلوب جوی و اقلیمی می شود (Manisalidis *et al*., 2020; Awanthi and Navaratne, 2018; Kazemi and Saki, 2015). صنعتی شدن، شهرنشینی سریع به همراه رشد جمعیت منجر به افزایش تقاضای انرژی گردیده به طوری که شهرها در حدود دو سوم تقاضای انرژی را به خود اختصاص داده اند و در عین حال ۷۵ درصد از انتشار دی اکسید کربن جهان را نیز شامل می شوند (Couture *et al*,. 2019). بیشترین حجم آلودگی هوا، توسط احتراق سوخت های فسیلی در جو رها می شود و با افزایش جمعیت و روند رو به رشد مصرف سوخت های فسیلی، افزایش آلودگی ها موضوعی است که نیازمند توجه دقیق از سوی مسئولین ذیربط را دارد (Ashena and Hossein Abadi, 2020).

افزایش غلظت گازهای گلخانه ای ، به ویژه CO_2 در جو زمین، منجر به گرمایش جهانی، ایجاد امواج گرمای شدید و طولانی تر، تغییر پذیری دما، آلودگی هوا، آتش سوزی جنگل، خشکسالی و سیلاب شده است (Ghorbani Sepehr, 2020). درحال حاضر مصرف انرژی به دلیل افزایش جمعیت، شهرنشینی، صنعتی شدن و استفاده گسترده از فناوری در حال افزایش است. صنعت یکی از پرمصرف ترین بخش های انرژی در کشور است. مصرف گاز طبیعی و نفت گاز در بخش صنعت بیشترین سهم در انتشار گازهای گلخانه ای را به خود اختصاص داده اند. با توجه به ارزش افزوده بخش صنعت و معدن در سال ۱۳۹۹ که بر اساس قیمت های 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 می شود (Iran Energy Balance, 2019-2020) از سوی دیگر، اثرات منفی مصرف انرژی در صنایع بر محیط زیست هزینه هایی را تحمیل می کند که به دلیل غیر محسوس بودن نادیده گرفته می شوند (Büke and Köne, 2022). موضوع اصلی در این زمینه عدم پرداخت هزینه تحمیلی در راستای جبران خساراتی است که منابع انتشار آلاینده های محیط زیستی ایجاد می کنند.

هزینه های اجتماعی شامل اثرات جبران ناپذیر تولید یا مصرف یک کالا بر یک شخص ثالث غیر دخیل در زمینه آن کالا است. برای مثال هزینه های اجتماعی انتشار آلاینده های هوا ناشی از سوزاندن سوخت های فسیلی در یک نیروگاه اثرات جبران ناپذیری برای سلامت عمومی شهروندان خواهد شد در حالی که در این مورد، اپراتور نیروگاه، موظف به کاهش

نسخه پیش انتشار

انتشار گازهای گلخانه ای یا جبران خسارات شخص ثالث نیست (Dettner and Blohm, 2021). منابع مصرف کننده سوخت فسیلی منجر به انتشار آلاینده در هوا شده که می توانند اثرات زیان آوری بر سلامت ساکنانی باشد که در محدوده این منبع قرار دارند بدون اینکه عامل تولید آلاینده، هزینه ای را بابت انتشار آنها صرف کند (Samadi, 2017; Zahed and Ameri, 2013). در واقع هزینه اجتماعی آن پولی است که بتواند صدمات ناشی از انتشار آلاینده ها در محیط زیست را جبران کند (Esfehanian *et al*,. 2014). هرچند بسیاری از اثرات منفی ناشی از آلاینده ها نامشخص هستند و به صورت محلی و بواسطه پالایش محیطی حذف می شوند و یا با تأخیر زمانی اثرات منفی خود را نشان می دهند (Samadi, 2017). بر این اساس، تولید و مصرف انرژی باید در جهت حمایت از توسعه اقتصادی و اجتماعی، سازگار با محیط زیست و راندمان بالا باشد. در انطباق با این رویکرد، مصرف انرژی باید در کمترین حد ممکن حفظ شود و اقتصادی ترین و کارآمدترین روش برای مصرف انرژی تعیین شود (Büke and Köne, 2022).

مطالعات مختلفی در زمینه هزینه خارجی آلاینده های هوا انجام گرفته است. Ustaoglu در سال ۲۰۲۴ پژوهشی را با هدف تخمین میزان انتشار آلاینده های 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 آلاینده های NOX، N۲O، VOC، NH۳، Pb، CO۲ و PM۲.۵ داشت. در این مطالعه که تنها هزینه اجتماعی CO۲ بر حسب نوع وسایل نقلیه محاسبه شده است رقمی بالغ بر ۳۱ تا ۱۴۲۷ میلیون یورو بر حسب نوع وسایل نقلیه به محیط زیست تحمیل می شود (Ustaoglu, ۲۰۲۴). Rokhmawati و همکاران در سال ۲۰۲۳ پژوهشی را در زمینه هزینه اجتماعی تولید برق در نیروگاه های کشور اندوزی که با ذغال سنگ فعالیت می کنند انجام دادند. نتایج مشخص کرد کل هزینه اجتماعی تحمیلی به ازای هر کیلو وات ساعت تولید برق در حدود ۰/۰۱۵ دلار بوده و آلاینده PM۱۰ مسئول ۹۰ درصد این هزینه است (Rokhmawati et al,. ۲۰۲۳). Yoo و همکاران در سال ۲۰۲۲ به تخمین میزان انتشار آلاینده ها و هزینه های اجتماعی ناشی از آنها در اثر رفت و آمد کشتی ها در بندر بوسان کشور چین پرداختند. داده های این مطالعه طی سال های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ جمع آوری گردید که مشخص شد در این مدت آلاینده CO۲ با ۳۵۴۰۰۰ تن بیشترین نرخ انتشار را داشته و پس از آن آلاینده های NOX، SO۲، VOC، PM۱۰ و PM۲.۵ به ترتیب دارای ۶۶۷۷، ۲۴۸۲، ۲۰۵، ۱۸۰ و ۱۷۱ هزار تن نرخ انتشار بودند. هزینه های اجتماعی این آلاینده ها که بر حسب دلار تخمین زده شد نشان داد سال ۲۰۱۷ با تحمیل ۲۶/۶۸ میلیون دلار بیشترین هزینه اجتماعی آلاینده های مذکور بوده است (Yoo et al,. ۲۰۲۲). در سال ۱۳۹۵ مطالعه ای در زمینه مقایسه هزینه های خارجی حمل و نقل ریلی و جاده ای در محدوده مسیر تهران - قم توسط کاظمی و ساکی انجام گرفت. میزان هزینه های زیست محیطی خارجی برای آزاد راه تهران – قم در سال ۱۳۹۱

نسخه پیش انتشار

بالغ بر ۱۰۰۰ میلیارد ریال برآورد شد و برای حمل و نقل ریلی در مسیر تهران - قم این مبلغ ۲۰ میلیارد ریال تخمین زده شد. مقایسه این هزینه ها در دو بخش راه آهن و جاده نشان داد که با توجه به ظرفیت حمل و نقل مسافر و کالا در بخش حمل و نقل ریلی، توسعه حمل و نقل ریلی می تواند هزینه های محیط زیست خارجی را به میزان قابل توجهی کاهش دهد (Kazemi and Saki, 2015). کلانتر و پناهی در سال ۱۳۹۴ مطالعه ای را در زمینه هزینه های خارجی بخش حمل و نقل 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). مددی و همکاران در سال ۱۳۹۳ مطالعه ای در زمینه هزینه های اجتماعی آلاینده های ناشی از حمل و نقل 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). اصفهانیان و همکاران در سال ۱۳۹۰ اقدام به برآورد هزینه های خارجی ناشی از چهار نوع آلاینده CO، SO_2، NO_X و PM در هوای کلانشهر تهران پرداختند که مشخص شد هزینه یاد شده برای این آلاینده ها مبلغی در حدود ۱۸/۰۶ هزار میلیارد ریال (براساس قیمت های ثابت سال ۱۳۸۱) بود که ۰/۱۸ درصد تولید ناخالص داخلی در آن زمان بوده است (Esfehanian *et al*,. 2014). Zhang و همکاران در سال ۲۰۰۷ پژوهشی را در زمینه محاسبه هزینه محیط زیستی انتشار آلاینده های SO_2، NO_X، CO، PM_{10} از یک نیروگاه های تولید برق به انجام رساندند که مشخص گردید این آلاینده ها به ترتیب درحدود ۶۹ (۴۹/۲۶٪)، ۳۰ (۲۱/۳۳٪)، ۲۸ (۲۰/۵۱٪) و ۱۲ (۸/۹۰٪) میلیارد دلار خسارت به محیط زیست تحمیل می کنند و با توجه به توزیع منطقه ای، هزینه های اجتماعی تولید برق از سوخت فسیلی عمدتاً در نواحی پرجمعیت‌تر و صنعتی‌تر چین، یعنی مناطق شرقی و جنوب شرقی متمرکز است (Zhang, 2007).

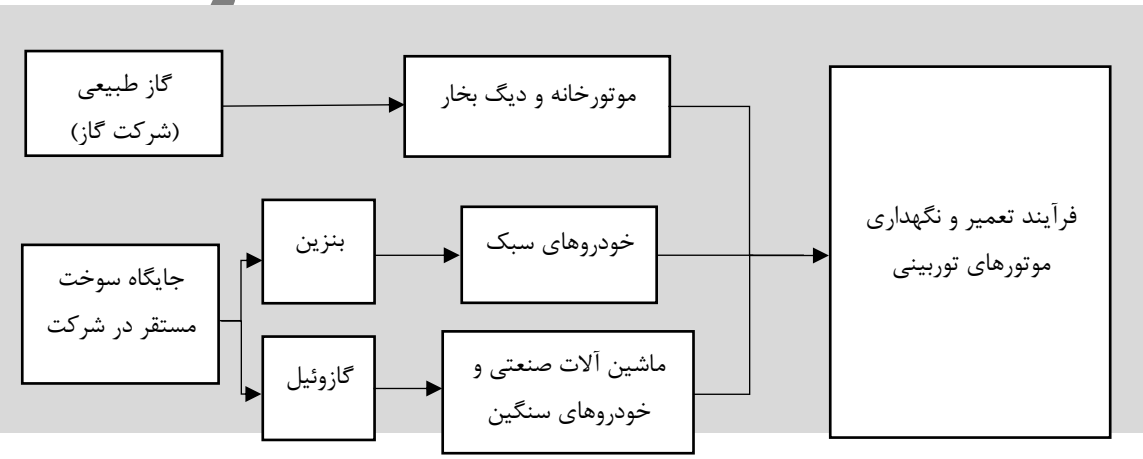
در بیشتر تحقیقات انجام گرفته با عنوان محاسبه هزینه های اجتماعی، به بررسی هزینه های اقتصادی آلاینده های هوا در مناطق شهری که ناشی از تردد وسایل نقلیه سواری می باشند پرداخته شده است. در این مطالعات به دلیل عدم در دسترس بودن نرخ مصرف سوخت تمامی مصرف کنندگان، از رویکرد کلان (از بالا به پایین)، میزان سوخت مصرفی به صورت تخمینی برآورد می شود در حالی که در این مطالعه، با استفاده از رویکرد پایین به بالا میزان مصرف انواع سوخت فسیلی به صورت مجزا در وسایل نقلیه سواری، خودروهای صنعتی و موتورخانه های موجود در یک شرکت صنعتی مشخص و تجزیه و تحلیل شده اند که تأثیر قابل توجهی در برآورد دقیق تر میزان انتشار آلاینده ها و هزینه های اجتماعی آنها دارد. از سویی دیگر، تعداد مطالعات داخلی که با بکارگیری رویکرد این پژوهش نرخ انتشار، هزینه های اجتماعی و ردپای اکولوژیک گازهای گلخانه ای در مجموعه های صنعتی خرد یا کلان را بررسی کرده باشند بسیار محدود هستند و

نسخه پیش انتشار

به نظر می رسد توجه به چنین موضوعاتی در حوزه صنایع که بخش قابل توجهی از مصرف سوخت های فسیلی را تشکیل می دهند مغفول مانده است در حالی که آگاهی از این اطلاعات می تواند 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 گلخانه ای در یک شرکت صنعتی در راستای مدیریت مصرف سوخت فسیلی، برنامه ریزی به منظور کاهش آلودگی هوا و همچنین برآورد اقتصادی ناشی از انتشار این آلاینده ها در هوا است. با توجه به وضعیت کنونی آلودگی هوا در کشور، کنترل و کاهش آلودگی هوا بایستی به عنوان اولویت ملی در نظر گرفته شود و باید فعالیت ارگانها، مسئولان، انجمن ها، نهادها و مردم در این راستا با یکدیگر هماهنگ شوند (Soleymani and Cheraghi, 2018). در ادامه ردّپای اکولوژیک سوخت های فسیلی مصرفی نیز محاسبه می شود تا مشخص گردد به چه ابعادی از زمین برای جذب آلاینده های انتشار یافته از این صنعت نیاز خواهد بود.

روش کار

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 مونتاژ و دی مونتاژ این نوع تجهیزات می باشد. 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 بر حسب ضرورت، آنها را جهت انجام فرآیندهای تعمیراتی برون سپار می کنند. قطعات پس از انجام تعمیرات مجدد به شرکت تحویل شده و مطابق با دستورالعمل های عملیاتی نسبت به اتصال و سوار نمودن قطعات بر روی موتور اقدام می گردد. شکل شماره ۱ فلودیاگرام مربوط به مصرف سوخت های فسیلی شامل گاز طبیعی ، بنزین و گازوئیل را در این شرکت صنعتی را نمایش می دهد. گاز طبیعی برای تأمین انرژی سیستم های گرمایشی، بنزین در وسایل نقلیه سواری جهت جابجایی پرسنل و گازوئیل در ماشین آلات و خودروهای صنعتی به منظور جابجایی تجهیزات و قطعات صنعتی مصرف می شوند.



شکل ۱- فلودیاگرام مصرف سوخت فسیلی

Figure1. Flow diagram of fossil fuels consumption

نسخه پیش انتشار

رویکردهای متنوعی در تخمین میزان انتشار آلاینده های هوا در رفرنس های خارجی بکارگیری شده است که در آنها از داده های موجود در پایگاه های اطلاعاتی سازمان هایی مانند EPA یا استانداردهای اروپایی برای این منظور استفاده شده است (Yoo et al,. 2022; Dettner and Blohm, 2021) روش های دیگر شامل بکارگیری دو رویکرد بوده است: ۱-رویکرد بالا به پایین که در آن اطلاعات کلی مربوط به سوخت جهت محاسبه انتشار نرخ آلاینده ها استفاده می شود. این رویکرد در زمانی که دامنه مطالعاتی وسیع بوده (مثلاً یک منطقه شهری یا کشور) و دستیابی به اطلاعات هر یک از منابع مصرف کننده سوخت فسیلی دشوار است می تواند 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 می باشد. در رویکرد دوم خصوصیات منابع مصرف کننده انرژی از نظر نوع، تعداد و میزان مصرف سوخت مشخص بوده و با تعیین ضریب انتشار برای یک آلاینده، حجم انتشار کل آلاینده ها برای هر منبع به شکل دقیق تری قابل محاسبه می باشد (Ustaoglu, 2024; Yoo et al,. 2022; Cifuentes et al, 2021). در این مطالعه رویکرد دوم جهت برآورد انتشار آلاینده های هوا بکارگیری شده است. معادله شماره ۱ رابطه ای است که برای محاسبه میزان انتشار آلاینده ها استفاده می شود (Cifuentes et al,. 2021; Kalantar et al,. 2016; Esfehanian et al,. 2014):

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

جدول۱- تعریف متغییر های معادله نرخ انتشار آلاینده

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

پارامتر	تفسیر
$ER_{i,j,k}$	میزان انتشار آلاینده i از بخش j با سوخت k
$EF_{i,j,k}$	ضریب انتشار آلاینده i ازبخش j با سوخت k
$FS_{j,k}$	میزان سهم بخش j از سوخت k
FC_k	مصرف سوخت k

جدول شماره ۱ متغییرهای استفاده شده در معادله شماره ۱ را تعریف می کند 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 ازبخش 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 می شود (Kalantar et al,. 2016; Esfehanian et al,. 2014):

نسخه پیش انتشار

معادله شماره (۲) $ERT = \Sigma k\ \Sigma j\ \Sigma i\ ERi,j,k$

جهت محاسبه هزینه اجتماعی آلاینده ها و کمی سازی آنها از معادله شماره ۳ استفاده می شود (Kalantar et al,. 2016; Esfehanian et al,. 2014):

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

جدول۲- تعریف متغییرهای معادله هزینه اجتماعی آلاینده ها

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

پارامتر	تفسیر
$EC_{i,j,k}$	هزینه اجتماعی آلاینده i از بخش j با سوخت k
ERi,j,k	میزان انتشار آلاینده i از بخش j با سوخت k
PC_i	هزینه اجتماعی آلاینده i

جدول شماره ۲ متغییرهای استفاده شده در معادله شماره ۲ را تعریف می کند 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 ازبخش j با سوخت k PC_i هزینه اجتماعی آلاینده i است.

در بخش آخر کل هزینه اجتماعی انتشار آلاینده ها (EC_T) از معادله شماره ۴ قابل محاسبه خواهد بود (Kalantar et al,. 2016; Esfehanian et al,. 2014):

معادله شماره (۴) $ECT = \Sigma k\ \Sigma j\ \Sigma i\ ECi,j,k$

که 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 می دهد. این هزینه ها مطابق با قیمت های ثابت سال ۱۳۸۱ و بر اساس مطالعات انجام شده توسط بانک جهانی، سازمان حفاظت محیط زیست ایران و همچنین مقادیر ارائه شده توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا محاسبه شده است. کلیه این هزینه ها در تراز نامه انرژی انتشار یافته از سوی وزارت نیرو (سال ۱۳۹۰) قابل بهره برداری می باشند و مقادیر آنها در جدول شماره ۳ ارائه شده اند (Esfehanian *et al*,. 2014; Iran Energy Balance 2010-2011):

جدول۳- هزینه اجتماعی آلاینده ها بر اساس قیمت های سال ۱۳۸۱

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

آلاینده	SPM	CO	NO_x	SO_2	CO_2	CH_4
هزینه خارجی (هزار ریال بر تن)	34400	1500	4800	14600	80	1680

جهت به روز رسانی هزینه های خارجی آلاینده ها در سال ۱۴۰۱ روش Cost Plus با دو رویکرد نرخ ارز و نرخ تورم و با استفاده از معادله های شماره ۵ و ۶ بکار رفته اند(Yoo *et al*,. 2022; Esfehanian *et al*,. 2014):

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

نسخه پیش انتشار

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

$$ExCt_{1401} = ExCt_{1381} \times \prod_{1382}^{1401}(1 + InfRate_i) \quad \text{معادله شماره (۶)}$$

در معادله شماره ۶ که با رویکرد نرخ تورم است $ExCt$ هزینه اجتماعی بر حسب هزار ریال بوده و $InfRatei$ 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 می دهد. این مقادیر از ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۹ استخراج شده و به عنوان ورودی در تعیین ضریب انتشار هر آلاینده استفاده شده است (Iran Energy Balance, 2019-2020):

جدول۴- میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه ای بخش صنعت و حمل و نقل مطابق با تراز نامه انرژی سال۱۳۹۹(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)

بخش	سوخت/گاز	NO_x	SO_2	SO_3	CO	SPM	CO_2	CH_4	N_2O
صنعت	بنزین	۵۳۷	۶۰	-	۱۳۹۲۵	۵۲	۹۴۶۵۵	۴	۰/۸۲
	نفت گاز	۱۵۳۲۹	۴۸۱۳۳	۶۱۳	۶۱۳	۱۱۳۴	۳۶۶۳۱۷۷	۱۴۲	۲۸
	گاز طبیعی	۱۷۸۶۶۶	۳۶۵	-	۷۰۹۷	۱۵۰۲۸	۱۱۲۸۴۷۶۴۱	۲۰۱۲	۲۰۱/۲
حمل و نقل	بنزین	۳۷۱۷۳۳	۴۱۳۰۴	-	۹۶۳۷۵۳۵	۳۵۷۹۷	۶۵۵۱۰۸۵۷	۳۱۱۹۶	۳۰۲۵/۰۳
	نفت گاز	۵۲۲۸۳۹	۳۲۵۳۲۲	۳۸۷۳	۱۳۹۴۲۴	۲۵۵۶۱۰	۵۴۵۶۲۸۰۵	۲۸۷۲	۲۸۷۲

مطابق با ترازنامه انرژی سال ۹۹، میزان مصرف گاز طبیعی در بخش صنعت حدود ۸۲/۴۵ میلیارد مترمکعب بوده است در حالی که مصرف بنزین و نفت گاز در بخش حمل و نقل به ترتیب ۲۷,۵۳۵,۲۱۶,۸۰۰ و ۱۹,۷۸۲,۸۲۹,۰۰۰ لیتر گزارش شده است (Iran Energy Balance, 2019-2020) بنابراین ضریب انتشار گازهای گلخانه ای برای صنعت و حمل و نقل بر حسب (Kg/Lit) به شرح جدول شماره ۵ محاسبه شده است. به بیان دیگر ضریب انتشار اعلام شده برای هر آلاینده در جدول شماره ۵ حاصل تقسیم مقدار کل مصرف هر سوخت بر میزان انتشار آلاینده های همان سوخت (جدول ۴) است.

مطابق با مقادیر ارائه شده 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.

نسخه پیش انتشار

جدول ۵- ضریب انتشار گازهای گلخانه ای بر حسب (Kg/Lit) - منبع: ترازنامه انرژی سال۹۹

Table 5. Emission coefficient of greenhouse gases (Kg/Lit) - resource: Iran Energy Balance 2020

بخش	سوخت	NO_x	SO_2	SO_3	CO	SPM	CO_2	CH_4	N_2O
صنعت	گاز طبیعی	0.0021	426.4×10^{-6}	--	8.607×10^{-5}	1.822×10^{-4}	1.368	2.44×10^{-5}	2.44×10^{-6}
حمل و	بنزین	0.0135	0.0015	--	0.35	0.0013	2.379	11.32×10^{-4}	1.09×10^{-4}
نقل	نفت گاز	0.0264	0.0164	1.95×10^{-4}	70.47×10^{-4}	0.0129	2.758	1.45×10^{-4}	1.45×10^{-4}

ردّپای اکولوژیک نشان دهنده اثری است که فعالیت های انسانی با توجه به سبک و شیوه زندگی خود بر طبیعت تحمیل می کنند (Teimouri *et al*,. 2014). در واقع وجود نگرانی هایی در مورد تغییرات آب و هوایی و آینده محیط زیست، نهادهای دولتی و عمومی را وادار نمود تا شاخص هایی را برای اندازه گیری 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 ردّپای کربن (اکولوژیک) مطرح گردید (Harkiolakis, 2013). به عبارت دیگر ردّپای اکولوژیک بیانگر مقدار کل کربن ناشی از یک فعالیت بوده که به طور مستقیم یا غیرمستقیم و انباشته شده از یک محصول در کل مراحل عمر آن منتشر می شود (Han *et al*,. 2022; Awanthi and Navaratne, 2018; Harkiolakis, 2013). در این مطالعه، اثر فعالیت های 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 می دهد:

$$EF_P = (F \times E \times R) / 1.8 \qquad \text{معادله شماره (۷)}$$

که در آن EF_P هکتار زمین مورد نیاز برای جذب کربن سوخت مورد نظر، F مقدار سوخت مصرف شده بر حسب گالن، E انرژی تولیدی در هرگالن سوخت مورد نظر برحسب BTU، R میزان تن کربن آزاد شده در هر میلیارد BTU است. مقادیر پارامتر های E و R از جدول شماره ۶ قابل بهره برداری هستند (Hejazi *et al*,. 2022; Zarghami and Mansoori, 2021; Barari *et al*,. 2016; Teimouri *et al*,. 2014):

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

نوع سوخت	انرژی تولیدی در هر گالن بر حسب BTU	میزان تن کربن آزاد شده در هرمیلیارد BTU
بنزین	125000	19.35
گازوئیل	138700	19.95

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

$$EF_P = (F \times G) / 1.8 \qquad \text{معادله شماره (۸)}$$

نسخه پیش انتشار

که در آن EF_P هکتار زمین مورد نیاز برای جذب کربن ناشی از مصرف گاز طبیعی، F مقدار گاز طبیعی مصرف شده بر حسب فوت مکعب و G مقدار گرم کربن موجود در هر فوت مکعب گاز طبیعی است. مقدار G در مطالعه براری و همکاران ۰/۲۴ محاسبه شده و در این پژوهش نیز همین مقدار جهت محاسبات استفاده شده 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 مورد مطالعه شامل موتورخانه ها، خودروهای صنعتی (جرثقیل های سیار، لیفتراک، خودروهای سنگین) و خودروهای سواری (سمند، پراید، تیبا، مزدا، پیکاپ، پیکان، تندر ۹۰، ون و پژو) در سال ۱۴۰۱ نشان می دهد. مقدار مصرف گاز طبیعی بر حسب متر مکعب و مقدار مصرف بنزین و گازوئیل بر حسب لیتر بیان شده اند:

جدول۷- داده های سوخت فسیلی مصرفی در بخش های مختلف صنعت درسال ۱۴۰۱

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

بخش	سوخت	تجهیز	تعداد	گاز طبیعی بر حسب مترمکعب/ گازوئیل و بنزین بر حسب لیتر				
				کل مصرف	متوسط مصرف	حداقل مصرف	حداکثر مصرف	انحراف از معیار
موتورخانه	گاز طبیعی	دیگ آب گرم	34	1943880.64	114345.92	5925.92	172782.38	±47185.14
خودروی صنعتی	گازوئیل	جرثقیل سیار	11	80568	7324.36	---	---	---
		لیفتراک	27	328986	14303.73	---	---	---
		خودروی سنگین[1]	23	51928	2257.73	36	5595	±2090.60
خودروی سواری	بنزین	سمند	36	11797	327.69	20	973	±237
		پراید[2]	11	1997	181.54	15	480	±146.73
		تیبا	8	2475	309.37	45	675	±216.25
		مزدا	36	14488	402.44	15	1758	±395.18
		پیکاپ	20	12298	614.9	42	2283	±504.78
		پیکان[3]	21	7794	371.14	30	2714	±591.45
		تندر ۹۰	3	421	140.33	49	284	±27.57
		پژو	12	3933	327.75	62	884	±222.55
		ون	9	9232	1025.77	96	3980	±1330.36

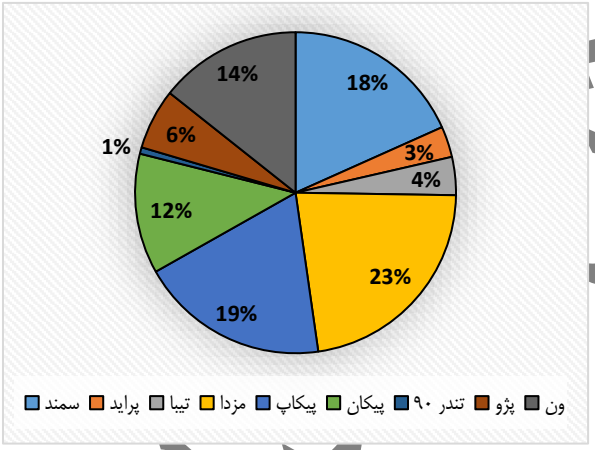
۱: شامل کامیون، نیسان، خاور و مینی بوس

۲: شامل پراید سواری و وانت پراید

۳: شامل پیکان سواری و وانت پیکان

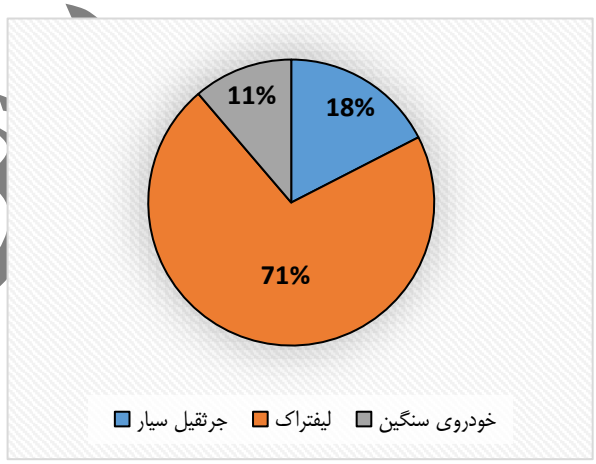
نسخه انتشار

همانطور که در جدول شماره ۷ و شکل های شماره ۱ و۲ قابل مشاهد می باشد در صنعت مورد مطالعه تعداد ۳۴ موتورخانه که برای تأمین آب گرم و بخار در بخش های مختلف صنعت فعال هستند در سال ۱۴۰۱ حدود ۱۹۴۳۸۸۰/۶۴ مترمکعب گاز مصرف کرده اند. در بخش خودروهای صنعتی، 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). جرثقیل های سیار در حدود ۸۰۵۶۸ لیتر گازوئیل، معادل ۱۸٪ از کل گازوئیل شرکت را مصرف کرده اند. خودروهای سنگین در این مطالعه شامل کامیون، نیسان، خاور و مینی بوس بوده که مقدار تقریبی ۵۱۹۲۸ لیتر گازوئیل (حدود ۱۱٪ از کل گازوئیل) را مصرف کرده اند (شکل شماره ۲). خودروی مزدا (وانت) با تعداد ۳۶ دستگاه حدود ۲۳٪ از کل سوخت بنزین را مصرف کرده و پر مصرف کننده ترین 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 ۳ دستگاه



شکل شماره ۱- سهم خودروهای سواری در مصرف سوخت فسیلی (بنزین) در سال ۱۴۰۱

Fig1. The proportion of private car in the consumption of fossil fuel (gasoline) in 2022



شکل شماره ۲- سهم خودروهای صنعتی در مصرف سوخت فسیلی (گازوئیل) در سال ۱۴۰۱

Fig2. The proportion of industrial vehicles in the consumption of fossil fuel (diesel) in 2022

خودروی تندر ۹۰ به میزان تقریبی ۴۲۱ لیتر (۱٪)، ۱۱ دستگاه خودروی پراید (وانت) به مقدار ۱۹۹۷ لیتر (۳٪) و ۸ دستگاه خودروی تیبا به میزان ۲۴۷۵ لیتر (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 و در مجموع ۴۱۴۴۲۷۲/۳۷ کیلوگرم گازهای خانه ای توسط این صنعت در سال ۱۴۰۱ در هوا منتشر شده است.

جدول ۸- میزان گازهای گلخانه ای انتشار یافته به تفکیک نوع سوخت و مصرف کننده (برحسب کیلوگرم)

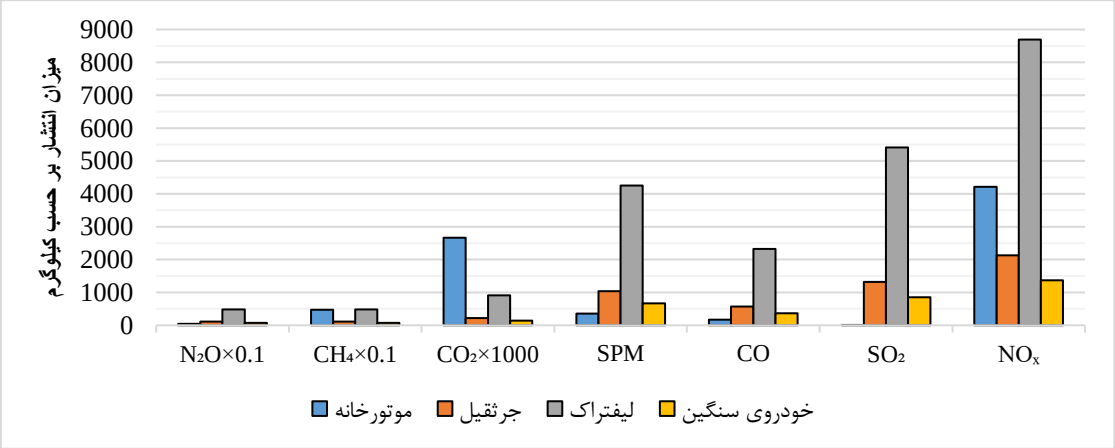
Table 8. The amount of greenhouse gases released by fuel type and consumer (Kg)

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

همانطور که در جدول شماره ۸ نمایش داده شده است در میان تمامی مصرف کنندگان سوخت فسیلی و از ۸ گاز گلخانه ای مورد بررسی در این مطالعه، لیفتراک ها در ۶ آلاینده بیشترین میزان انتشار را نشان داده اند. این ۶ 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 آلاینده های گازی در گازوئیل نسبت به سایر سوخت ها است. مطابق بررسی به عمل آمده از این صنعت، ساعت کار بالای دستگاه های لیفتراک و فرسوده بودن این تجهیزات نیز از دیگر عوامل تأثیر گذار در مصرف بالای سوخت گازوئیل توسط آنها بوده به طوری که در سال ۱۴۰۱ حدود ۳۲۸۹۸۶ لیتر گازوئیل (جدول شماره ۷) بوسیله لیفتراک ها مصرف شده است. انتشار CO_2 از سوخت گاز طبیعی در موتورخانه ها در حدود ۲۶۶۰۵۴۹/۹۶ کیلوگرم (۶۵٪ از کل CO_2) بوده که نسبت به دیگر مصرف کننده ها 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

نسخه پیش انتشار

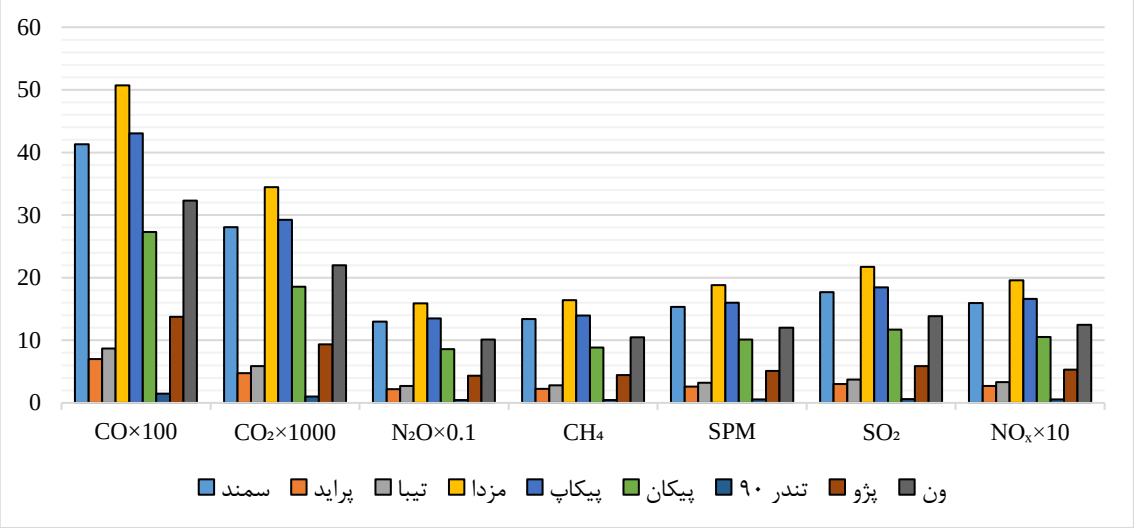
از سوختن گاز طبیعی توجیه پذیر می باشد. مقدار CO انتشار یافته از خوروی های مزدا با حدود ۵۰۷۰/۹۱ کیلوگرم (۱۹٪) محاسبه شد که نسبت به سایر منابع بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. خودروهای تندر ۹۰ با ۱۱۵۶/۳۶ کیلوگرم، کمترین میزان انتشار در میان تمامی آلاینده ها (معادل ۰/۰۲۷٪ از کل میزان انتشار) داشته که دلیل آن کمتر بودن تعداد این خودرو و پائین تر بودن مصرف سوخت آنها نسبت به سایر وسایل نقلیه است. با توجه به میزان کل انتشار آلاینده ها در جدول شماره ۸، موتورخانه ها به دلیل انتشار بیشترین میزان کل گازهای گلخانه ای با مقدار تقریبی ۲۶۶۵۳۶۴/۶۹ کیلوگرم آلاینده زا ترین بخش صنعت هستند. لیفتراک ها نیز بیشترین میزان انتشار در ۶ گاز NO_x، SO_2، SO_3، SPM، CH_4 و N_2O نسبت به سایر منابع داشته اند ضمن اینکه لیفتراک پس از موتورخانه دومین منبع انتشار گازهای گلخانه ای در این صنعت است. شکل شماره ۳ میزان کیلوگرم انتشار یافته 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 کیلوگرم انتشار یافته هفت گاز NO_x، SO_2، SPM، CH_4، N_2O، CO_2، CO در اثر سوختن بنزین در سال ۱۴۰۱ را نمایش می دهد. با توجه به شکل های شماره ۳ و۴ آلاینده های CO_2 و N_2O به ترتیب بیشترین و کمترین سهم را در میزان انتشار و در نتیجه آلودگی هوا داشته اند.



شکل شماره ۳- میزان انتشار آلاینده های NO_x، SO_2، CO، SPM، CO_2، CH_4، N_2O در اثر مصرف گاز طبیعی و گازوئیل در موتورخانه ها و خودروهای صنعتی، سال ۱۴۰۱ (برای نمایش بهتر در نمودار، مقدار انتشار آلاینده های CH_4 و N_2O ۱۰ برابر بزرگ و مقدار انتشارآلاینده CO_2 ۱۰۰۰ برابر کوچک شده است.)

Fig 3. Emission rate of NO_x, SO_2, CO, SPM, CO_2, CH_4, 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 a better visualization.)

نسخه پذیرش



شکل شماره ۴- 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 کوچک شده است.)

Fig 4. Emission rate of NO_x, SO_2, CO, SPM, CO_2, CH_4, N_2O pollutants due to the consumption of gasoline in private vehicles in 2022 (for a 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 قیمت های ثابت اعلام شده در جدول شماره ۳ برای سال ۱۳۸۱ ، به شرح جدول شماره ۹ است:

جدول ۹- هزینه اجتماعی گازهای گلخانه ای به تفکیک نوع سوخت و مصرف کننده (بر حسب ریال: ۱۳۸۱)

Table 9. Social cost of greenhouse gases by fuel type and consumer (Per Rial: 2002)

سوخت	مصرف کننده	NO_x	SO_2	CO	SPM	CO_2	CH_4
گاز طبیعی	موتورخانه ها	20219112	125639	250983	12188171	212843997	79692
نفت گاز	جرثقیل سیار	10220764	1934741	851732	35810506	17777097	19650
	لیفتراک	4173479	78986943	3477905	146226236	72589816	80238
	خودروی سنگین	6587527	12467503	548961	23080726	11457764	12665
بنزین	سمند	764461	258361	6193559	527579	2245361	22453
	پراید	129408	43735	1048447	89308	380095	3800
	تیبا	160383	54204	1299403	110685	471074	4710
	مزدا	938841	317296	7606365	647925	2757548	27575
	پیکاپ	796926	296333	6456590	549985	2340718	23407
	پیکان	505061	170693	4091938	348559	1483457	14834
	تندر ۹۰	27281	9220	221029	18827	80130	801
	پژو	254863	86135	2064869	175889	748580	7485

نسخه پیش انتشار

	ون	598245	202186	4846905	412869	1757156	17571
	جمع	82937667	112334993	38958691	220187273	326932801	314888
	جمع کل	781666316					

هزینه خارجی اعلام شده 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 آلاینده های مذکور در سال ۱۴۰۱ لازم است ضریب اصلاحی برای آنها در نظر گرفته شود. بدین منظور می توان 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 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 گلخانه ای انتشار یافته از این صنعت به شرح جدول شماره ۱۰ خواهد بود:

جدول ۱۰- هزینه اجتماعی گازهای گلخانه ای به تفکیک نوع سوخت و مصرف کننده (بر حسب ریال: ۱۴۰۱)

Table 10. Social cost of greenhouse gases by fuel type and consumer (Per Rial: 2022)

سوخت	مصرف کننده	NO_x	SO_2	CO	SPM	CO_2	CH_4	هزینه کل
گاز طبیعی	موتورخانه ها	106554722	662117	1322682	64231664	1121687865	419978	1294879031
	جرثقیل سیار	53863431	101941516	4488627	188721371	93685305	103556	442803809
نفت گاز	لیفتراک	219942343	416261192	18328563	770612266	382548330	422856	1808115554
	خودروی سنگین	34716267	65703741	2893027	121635430	60382416	66744	285397629
	سمند	4028710	1361565	32640057	2780345	11833057	118331	52762068
	پراید	681981	230486	5525319	470657	2003103	20031	8931580
	تیبا	845219	285655	6847845	583313	2482564	24825	11069434
	مزدا	4947694	1672151	40085543	3414566	14532282	145324	64797563
بنزین	پیکاپ	4199803	1419389	34026229	2898422	12335588	123357	55002790
	پیکان	2661674	899554	21564517	1836908	7817822	78179	34858655
	تندر ۹۰	143772	48590	1164827	99222	422286	4222	1882922
	پژو	1343131	453932	10881863	926938	3945021	39450	17590337
	ون	3152755	1065523	25543190	2175820	9260217	92603	41290109
	جمع	437081507	592005417	205312306	1160386931	1722935861	1659463	4119381486

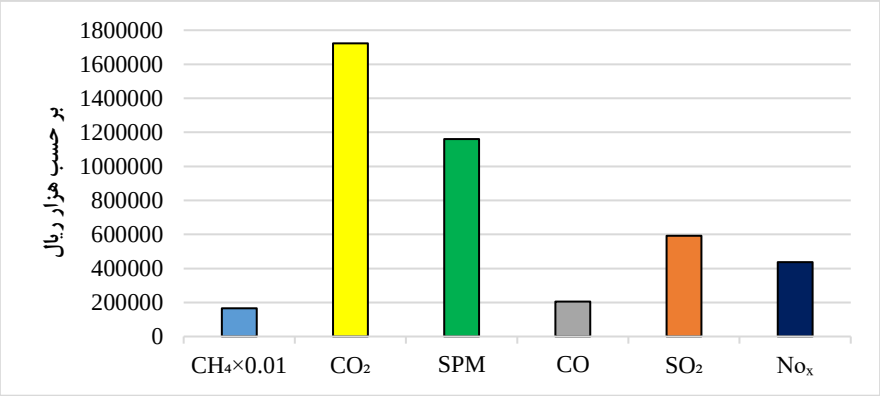
با توجه به جدول شماره ۱۰ هزینه کل اجتماعی انتشار گازهای گلخانه ای در این صنعت برای سال ۱۴۰۱ در حدود ۴/۱۲ میلیارد ریال تخمین زده شده است. انتشار گاز CO_2 بیشترین نرخ هزینه اجتماعی به مبلغ تقریبی ۱/۷۲ میلیارد ریال را به صنعت تحمیل می کند. نرخ انتشار بالای این آلاینده به میزان تقریبی ۴۰۰۰ تن در سال ۱۴۰۱(جدول شماره

نسخه پیش انتشار

۸) منجر به بالا رفتن نرخ هزینه اجتماعی آن نسبت به سایر آلاینده ها شده است به طوری که حدود ۴۱٪ کل هزینه های 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 می شود دارا می باشد. این در حالی 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 آلاینده های گلخانه ای که در جدول شماره ۱۰ در دسترس می باشد دستگاه های لیفتراک با مبلغ تقریبی ۱/۸ میلیارد ریال (حدود ۴۴٪) بیشترین خسارت را در بعد هزینه اجتماعی دارا می باشند و موتورخانه ها با مبلغ خسارتی در حدود ۱/۳ میلیارد ریال (حدود ۳۱٪) پس از لیفتراک ها بیشترین خسارت اجتماعی را ایجاد می کنند (شکل شماره۶). این در حالی است که موتورخانه ها نسبت به لیفتراک ها در مجموع گاز گلخانه ای بیشتری را در جو رها کرده اند؛ کل گاز رها شده از موتورخانه ها ۲۶۶۵۳۶۴/۶۹ کیلوگرم بوده اما کل گاز انتشار یافته توسط لیفتراک ها ۹۲۸۱۴۲/۴۰ بوده است. دلیل اصلی این موضوع بالاتر بودن میزان انتشار ۳ گاز NO_x (۸۶۹۴/۷۴ کیلوگرم)، SO_2 (۵۴۱۰/۰۶کیلوگرم) و SPM (۴۲۵۰/۷۶کیلوگرم) و نرخ بالای هزینه های اجتماعی این ۳ آلاینده نسبت به سایر آلاینده ها است (جداول شماره ۸ و ۹). از طرفی CO_2 بیشتری از موتورخانه ها در مقایسه با لیفتراک ها انتشار یافته اما پائین بودن هزینه اجتماعی این گاز (جدول شماره ۳) در کنار هزینه اجتماعی بالای SPM که میزان انتشار آن در لیفتراک ها بیشتر از موتورخانه ها بوده (جدول شماره ۸) از عوامل اصلی در کاهش یافتن هزینه اجتماعی موتورخانه در برابر لیفتراک است. نتایج نشان می دهد لیفتراک ها و موتورخانه ها در صنعت مورد مطالعه دو منبع اصلی انتشار گازهای گلخانه ای بوده که بیشترین هزینه اجتماعی را برای صنعت ایجاد می کنند.

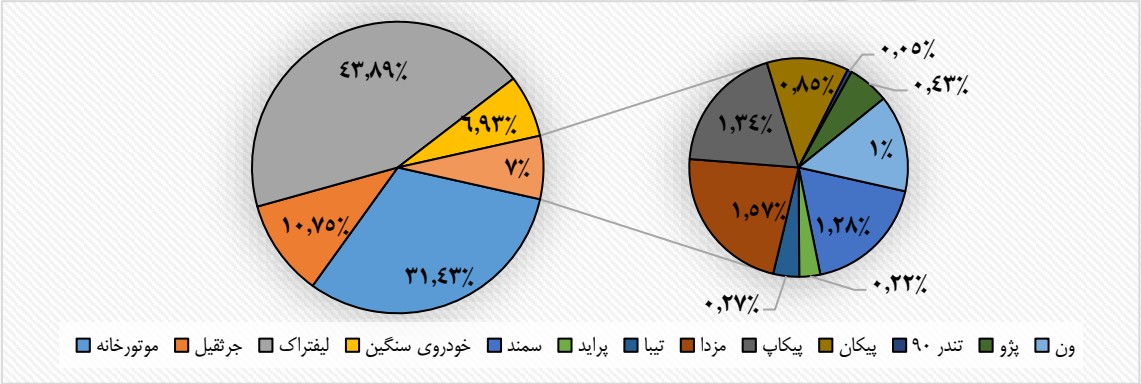
با استفاده از معادله شماره ۶ در محاسبه هزینه اجتماعی با رویکرد نرخ تورم، مقدار ضریب اصلاحی بر اساس نرخ تورم اعلام شده توسط بانک مرکزی از سال ۱۳۸۱-۱۴۰۱، عدد ۲۰/۹۶ خواهد بود و در این شرایط هزینه اجتماعی کل آلاینده ها در حدود ۱۶۳۸۳۷۲۵۹۸۳/۳۶ میلیارد ریال محاسبه می شود که در حدود ۴ برابر رویکرد نرخ ارز خواهد بود (Central Bank of Iran, 2002-2022).

نسخه پیش انتشار



شکل شماره ۵- هزینه اجتماعی آلاینده های 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 5. The social cost of NOx, SO_2, CO, SPM, CO_2, CH_4 pollutants with consideration of correction factor in 2022 (social cost of CH_4 was multiplied in 100 for better visualization)



شکل شماره ۵- سهم منابع مختلف در تحمیل هزینه های اجتماعی (درصد)

Fig 5. The proportion of different sources in social cost (percentage)

محاسبه ردّپای کربن

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 مصرف شده نیز ۱۹۴۳۸۸۰/۶۴ مترمکعب (معادل ۶۸۶۹۸۶۸۵/۶۹ فوت مکعب) در سال ۱۴۰۱ بوده است. با توجه به فرمول های معادلات ۷ و ۸ مقدار ردّپای کربن برای این سه سوخت در جدول شماره ۱۱ خلاصه شده است:

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

Table 11. Ecological foot print of gasoline, diesel, and natural gas (Hectar)

سوخت	مقدار ردپای اکولوژیک (هکتار)
بنزین	22.87
گازوئیل	18.73
گاز طبیعی	9.33

همانطور که در جدول شماره ۱۱ نیز مشاهده می شود برای جذب کربن ناشی از مصرف بنزین ۲۲/۸۷ هکتار زمین نیاز بوده که بیشترین ردّپای اکولوژیک را در میان سوخت های 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.

نتیجه گیری

این مطالعه در برگیرنده سه هدف اصلی شامل برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه ای، تخمین هزینه اجتماعی و برآورد ردّپای اکولوژیک آنها در یک مجموعه صنعتی در سال ۱۴۰۱ که فعالیت آن تعمیر و نگهداری موتورهای توربینی است انجام گرفت. منابع اصلی انتشار گازهای گلخانه ای از سوخت های فسیلی شامل بنزین، گازوئیل و گاز طبیعی بوده است که در خودروهای سواری و صنعتی و موتورخانه های موجود در این شرکت مصرف می شوند. کل میزان آلاینده گلخانه ای انتشار یافته در این سال ۴۱۴۴۲۷۲/۳۷ کیلوگرم و کل هزینه اجتماعی نیز ۴۱۱۹۳۸۱۴۸۶ ریال بدست 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. سنگین ترین 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. موتورخانه ها با احتساب ۲۶۶۵۳۶۴/۶۹ کیلوگرم در سال، بیشترین سهم را در انتشار گازهای گلخانه ای دارا بودند. این در حالی است که دستگاه های لیفتراک با تحمیل ۱۸۰۸۱۱۵۵۵۴ ریال، بیشترین هزینه اجتماعی را منجر شده اند. از طرفی محاسبات نشان داد ردّپای کربن بنزین (۲۲/۸۷ هکتار) بیشتر از ردّپای کربن گازوئیل (۱۸/۷۳ هکتار) و گاز طبیعی (۹/۳۳ هکتار) است و مقدار کل این شاخص ۵۰/۹۳ هکتار بدست آمد. هزینه های محاسبه شده ضرورت برنامه ریزی برای کاهش آلودگی تحمیلی از منابع بررسی شده را نشان می دهد. در این راستا تعویض یا از رده خارج کردن دستگاه ها و خودروهای فرسوده، انجام تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه جهت کارکرد بهینه تجهیزات و مصرف بهینه سوخت در کاهش انتشار آلاینده ها و هزینه اجتماعی آنها بسیار حائز اهمیت می باشد. علیرغم اینکه تاکنون مطالعات مختلفی در حوزه شهری با موضوع تخمین هزینه اجتماعی و ردّپای کربن صورت گرفته است اما مطابق با بررسی های بعمل آمده توسط نویسندگان این مقاله، مطالعه ای که این شاخص ها 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 طبیعی انجام گرفته است و به دلیل فقدان داده های مصرف سوخت در برخی از قسمت های این شرکت صنعتی ممکن است که مقادیر محاسبه شده با ضریب خطا همراه باشند. به عنوان پیشنهاد برای مطالعات بعدی، پژوهشگران می توانند نسبت به پیاده سازی روش بیان شده در این مقاله

نسخه پیش انتشار

در صنایع دیگر اقدام نموده و نتایج خود را با اطلاعات موجود در این مطالعه مقایسه کنند همچنین توصیه می شود پژوهشگران در تحقیقات آتی نقش انرژی برق مصرفی را نیز در محاسبه میزان ردّپای اکولوژیک لحاظ کنند تا امکان مقایسه جامع عرضه و تقاضای تمامی منابع انرژی در ارتباط با ردّپای اکولوژیک فراهم گردد که این موضوع به دلیل عدم دسترسی به داده های انرژی برق مصرفی در شرکت مطالعاتی مقدور نبود. اما اطلاعات موجود در این پژوهش می تواند به عنوان خطوط راهنما به منظور برآورد ردّپای اکولوژیک و تخمین هزینه اجتماعی گازهای گلخانه ای انتشار یافته در مجموعه های صنعتی مورد استفاده قرار بگیرد ضمن اینکه شاخص های مذکور باید در سر فصل برنامه ریزی محیط زیستی شرکت های صنعتی مورد پایش سالانه قرار گرفته و بودجه بندی صحیح به منظور بهبود مستمر آنها فراهم گردد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از شرکت مذکور به دلیل همکاری در زمینه ارائه مستندات مورد نیاز تشکر می نمایند.

منابع

Almetwally A.A., Bin-Jumah M., 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., 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., 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., 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., Köne A Ç., 2022. External cost of pollutant emissions in Turkey. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 1123(2022) 012066. 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.

نسخه پیش انتشار

Central Bank of Iran, 2002-2022. Inflation rate report. Available online at: https://www.cbi.ir/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., 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, 1372. https://doi.org/10.3390/atmos12111372.

Couture T., Busch H., Hansen T., 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., Blohm M., 2021. External cost of air pollution from energy generation in Morocco. Renewable and Sustainable Energy Transition. 1, 100002. https://doi.org/10.1016/j.rset.2021.100002.

Esfehanian, V., Momeni, M.R., Mahoutchi, S., Ashrafi, K., 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., 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., 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, 65. https://doi.org/10.4103/1735-1995.189646.

Ghorbani Sepehr A., Amraie M., Ghaloojeh M., 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., 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, 11343. 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. https://doi.org/10.1007/978-3-642-28036-8_38.

نسخه پیش انتشار

Hejazi R., Shahnoor M., Jozi S A, 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., 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., 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., 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., 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. (In Persian with English abstract).

Manisalidis I., Stavropoulou E., Stavropoulos A., Bezirtzoglou E., 2020. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. Frontiers. Public Health. 8, 14. 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. https://moe.gov.ir. [Persian]

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

Rokhmawati S., Sugiyono A., Efni Y., 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), 356. https://doi.org/10.3390/en10030356.

نسخه پیش انتشار

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., 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., 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, 648. https://doi.org/10.3390/jmse10050648.

Zahed F., 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., 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 Q., WEI Y., CHEN Y., GUO H., 2007. Environmental damage costs from fossil electricity generation in China, 2000~2003. Journal of Zhejiang University SCIENCE A. 8, 1816-1825

نسخه پیش انتشار

نسخه پیش انتشار