ماه‌نامه علمی پژوهشی

مهندسی ساخت و تولید ایران

www.smeir.org

10.22034/ijme.2024.476324.2003

الزامات لازم در طراحی و ساخت سیستم اگزوز لیفتراک

الیاس حدادی*

استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: ehadadi@nus.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

دریافت: ۱۰ شهریور ۱۴۰۳

پذیرش: ۱۲ آبان ۱۴۰۳

کلیدواژگان:

سیستم اگزوز

لیفتراک

آلایندگی

طراحی

ساخت

چکیده

سیستم اگزوز یک قطعه یدکی مهم در هر خودرو از جمله لیفتراک برای کاهش صدا، آلایندگی و دما است. واکنش‌های شیمیایی ایجاد شده در سیلندرهای تمامی وسیله‌های نقلیه موتوری مثل لیفتراک‌ها باید به‌گونه‌ای، به خارج از موتور هدایت شوند. سیستم اگزوز صدای ایجاد شده را کاهش می‌دهد. صدا یک عامل غیرمنتظره از غرش موتور است که باعث ایجاد آلودگی صوتی شده و مشکل شنوایی ایجاد می‌کند. انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز از احتراق یک موتور، که باعث آلودگی هوا می‌شود، منشأ می‌گیرد. برای اندازه‌گیری شدت صدا از دستگاه و استاندارد مربوطه و نیز برای اندازه‌گیری آلایندگی و دما هم از دستگاه‌ها و استانداردهای مربوطه بهره گرفته شد. مطابق استاندارد شدت صدای اندازه‌گیری شده در حدود ۹۰ الی ۱۱۰ دسی‌بل باید باشد (استانداردهای ۱۳۱۳۳، ۱۳۱۴۴ و استاندارد آلایندگی یورو). نتایج به‌دست‌آمده از آزمون سیستم اگزوز طراحی و ساخته‌شده در این مقاله نشان داد که سطح شدت صدای ایجاد شده، در حالت دور کند موتور لیفتراک (موتور دیزلی 4TNV98)، در حدود ۷۹ دسی‌بل، البته در خروجی لوله اگزوز بود. در حالت دور تند موتور لیفتراک نیز، سطح شدت صدای ایجادشده در لوله خروجی اگزوز، در حدود ۸۷ دسی‌بل بود. گازهای سمی مثل مونواکسید کربن، دی‌اکسید کربن و هیدروکربن نیز به ترتیب حدوداً برابر با ۵/۵، ۷/۵ درصد و ۲۸۰۰پی‌پی‌ام در مدت ۱۰ دقیقه بود. دمای خروجی لوله اگزوز نیز در حدود ۸۰ درجه سانتی‌گراد بود. نتایج، کاهش حدود ۵ درصدی شدت صدای ایجاد شده و دما را نشان داد.

Necessary requirements in the design and manufacturing of forklift exhaust system

Elyas Haddadi*

Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, National University of Skills (NUS), Tehran, Iran

* Corresponding Author's Email: ehadadi@nus.ac.ir

Article Information

Original Research Paper

Received: 31 August 2024

Accepted: 2 November 2024

Keywords:

Exhaust System

Forklift

Emissions

Design

Manufacturing

Abstract

The exhaust system is an important spare part in every vehicle including a forklift to reduce noise, pollution, and temperature. The chemical reactions created in the cylinders of all motor vehicles, such as forklifts, must be directed out of the engine in some way. The exhaust system reduces the noise created. Noise is an unexpected sound from an engine roar that causes noise pollution and causes hearing problems. Emission of greenhouse gases also originates from the combustion of an engine, which causes air pollution. To measure the noise, the device and the relevant standards were used, and to measure the pollution and temperature, the devices and the relevant standards were used. According to the standard, the measured sound intensity should be around 90 to 110 decibels (13133, 13144 and European emission standards). The results obtained from the test of the exhaust system designed and built in this article showed that the sound intensity level created in the slow idle mode of the forklift engine (diesel engine 4TNV98) was around 79 dB, of course, at the outlet of the exhaust pipe. In the high-speed mode of the forklift engine, the sound intensity level created in the exhaust outlet pipe was around 87 decibels. Toxic gases such as carbon monoxide, carbon dioxide, and hydrocarbons were approximately equal to 5.5, 7.5%, and 2800 ppm in 10 minutes, respectively. The outlet temperature of the exhaust was around 80 degrees Celsius. The results showed a decrease of about 5% in the sound intensity and temperature.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

Haddadi E. Necessary requirements in the design and manufacturing of forklift exhaust system. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2024 Nov 21;11(9):49-59. doi: 10.22034/ijme.2024.476324.2003 [In Persian]

۱– مقدمه

قطعه‌ای به نام سیستم اگزوز در هر وسیله نقلیه موتوری، به جزء در وسایل نقلیه موتوری برقی به چشم می‌خورد [۱-۳]. بنابراین این قطعه با توجه به نوع وسیله نقلیه مانند لیفتراک، بسیار متنوع بوده و جزء لاینفک هر وسیله موتوری است. سیستم اگزوز در لیفتراک مسئول هدایت گازهای خروجی از موتور و دور کردن آن‌ها از اپراتور، کاهش صدا و دما و کنترل انتشار آلاینده‌ها است [۴، ۵]. گازهای حاصل از واکنش‌های شیمیایی، در موتورها که دمایی در حدود ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد را دارند، اگر همان‌طور وارد هوا بشوند، می‌توان تصور کرد که چه وضعیتی برای وسایل نقلیه موتوری و عابران پشت سر آن‌ها و محیط‌زیست ایجاد می‌شود. این قطعه پرکاربرد معمولاً از پنج قسمت اصلی و عمده از جمله، منیفولد خروجی، لوله‌های رابط، لوله سیستم اگزوز، منبع سیستم اگزوز یا انباره سیستم اگزوز (صدا خفه‌کن) و لوله پخش‌کننده دود تشکیل‌شده است. لیفتراک‌ها هم با توجه به ماهیت کاربرد و ویژگی‌های محل مورداستفاده تنوع فراوانی دارند (لیفتراک‌هایی با تناژهای ۲ تنی، ۳، ۵، ۷، ۱۰، ۱۲ و ۱۶ تنی دیزلی، دوگانه‌سوز و LPG[1]). لذا قسمت‌های بیان‌شده نیز در انواع مختلف لیفتراک‌ها متفاوت خواهند بود [۶، ۷].

به‌عنوان نمونه، منیفولد لیفتراک‌هایی با موتورهای خطی، در یک‌طرف موتور و در لیفتراک‌هایی با موتورهای خورجینی V شکل هم، در دو طرف موتور قرار دارند [۸، ۹]. منیفولد وظیفه دارد تا دود و گاز تولیدشده در سرسیلندرها را، به سمت لوله سیستم اگزوز راهنمایی کند. پس منیفولدها، وظیفه‌ی دریافت دود و گاز ناشی از احتراق در موتور و سیلندرها و هدایت آن‌ها به سمت لوله اگزوز را دارند. لوله‌های رابط اگزوز که در داخل سیستم اگزوز لیفتراک قرار دارند، قطعاتی هستند که منیفولد، انباره و سر اگزوز را به هم مرتبط می‌کنند. طراحان و سازندگان معمولاً سعی دارند، در این حوزه سخت‌گیری زیادی کرده و برای این لوله‌ها از استانداردهای بالایی استفاده کنند. کارایی و عمر مفید این بخش را جنس، ضخامت، طول، شعاع قوس‌ها، قطر اسمی لوله و شکل کلی تعیین می‌کنند. منبع یا انباره سیستم اگزوز (صدا خفه‌کن)، وظیفه کاهش صدای گازهایی است که، در اثر احتراق در موتور لیفتراک‌ها تولید می‌شوند [۱۰]. در داخل منبع یا انباره سیستم اگزوز، مجموعه‌ای از لوله‌های سوراخ‌دار تعبیه‌شده است که این وظیفه را به عهده‌دارند (کاهش صدای تولیدشده توسط گازهای خروجی). به این صورت مانند اتاق‌ها و استودیوهای آکوستیک‌شده (علاوه بر پوشاندن درها و دیوارها، سعی می‌کنند سطوح غیر همگونی هم در دیوارها ایجاد کنند) صدا را مدیریت می‌کنند. در منبع سیستم اگزوز هم، چنین اتفاقی می‌افتد، یعنی امواج صدای تولیدشده در موتور، منعکس‌شده و در نهایت کمتر می‌شود تا صدای خروج گازها، گوش‌خراش نباشد [۱۱]. در آخر لوله خروجی، هدایت گازهای خروجی به بیرون از لیفتراک را به عهده دارد. همان‌طور که اشاره شد، باید طراحی سیستم اگزوز و جزئیاتی که باعث انتقال گازها و دودها به بخش‌های انتهایی آن می‌شود، باید با دقت تمام انجام شود. چرا که سهل‌انگاری در طراحی هرکدام از اجزاء، شاید باعث کم شدن فشار گازها و در نتیجه ممانعت از خروج متعادل آن‌ها از سیستم اگزوز لیفتراک و در نهایت کم شدن از قدرت مفید پیشرانه شود [۱۲، ۱۳]؛ اما برای این‌که مشکلی در ایجاد قدرت لیفتراک وجود نداشته باشد، سعی می‌کنند نکاتی را در طراحی پیشرانه و سیستم اگزوز رعایت کنند، از جمله این‌که سعی می‌کنند پیشرانه را طوری طراحی کنند که هوا به‌راحتی واردش شود؛ چراکه اگر این اتفاق به‌راحتی نیفتد، برای غلبه بر مقاومت هوا بخشی از قدرت موتور لیفتراک مصرف می‌شود. در بعضی از لیفتراک‌ها، برای این‌که چنین مشکلی پیش نیاید، از ورودی منیفولدهای صیقلی استفاده می‌کنند. همچنین کم کردن لوله‌های ورودی و بزرگ‌تر کردن فیلتر هوا هم تأثیرگذار است [۱۴-۱۷].

لذا طراحی فرایند سیستم اگزوز لیفتراک باید به‌گونه‌ای باشد که بتواند کارایی لیفتراک را افزایش دهد. برای انجام این کار باید سیستم اگزوز لیفتراک طوری طراحی شود که بتواند صدای تولید شده توسط گازهای شیمیایی تولیدی را به استاندارد برساند، آلودگی را کاهش داده و دمای تولیدی را در حد استاندارد نگه دارد. لذا این تحقیق به دنبال الزامات لازم برای طراحی و ساخت سیستم اگزوز لیفتراکی است که بتواند از آلایندگی محیط جلوگیری نماید (مطابق استانداردهای ۱۳۱۳۳، ۱۳۱۴۴ و استاندارد آلایندگی یورو).

در گازهای خروجی از موتور لیفتراک‌ها که حاصل احتراق در سیلندرها است، گازهای سمی مثل مونواکسید کربن، دی‌اکسید کربن، هیدروکربن‌ها و اکسیدهای نیتروژن وجود دارد [۱۸-۲۲]. خروج همه این گازهای آلوده، باعث آلودگی بیش‌ازحد هوا می‌شوند [۲۳]. البته لازم به ذکر است که این آلودگی در نهایت باعث آلودگی آب نیز می‌شود. این آلودگی‌ها اثرات مضری بر روی زندگی انسان‌ها، گیاهان و حیوانات دارند [۲۴].

[1] Liquid Petroleum Gas

کاهش صدا، یکی از وظایفی است که سیستم اگزوز هر لیفتراکی باید آن را به نحو احسن انجام دهد [۱۹-۲۲]. آلودگی صوتی در محیط‌های صنعتی که عموماً لیفتراک‌ها در آن مراکز به کار گرفته می‌شوند، اجتناب‌ناپذیر است. قرار گرفتن در معرض صدایی با شدت ۹۰ دسی‌بل که در حد یک ترافیک کارگاهی است، به گوش انسان صدمه جدی وارد می‌کند. همچنین قرار گرفتن بیش از ۲ دقیقه در معرض صدایی با شدت ۱۰۹ دسی‌بل ممکن است به کری موقتی منجر شود. با این تعریف کاهش صدا در سیستم اگزوز لیفتراک‌ها از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار بوده و در طراحی و ساخت آن باید دقت لازم را به کار برد. در داخل منبع یا انباره سیستم اگزوز، مجموعه‌ای از لوله‌های سوراخ‌دار تعبیه‌شده تا صدای تولیدشده توسط گازهای خروجی را کاهش دهد. البته لازم است به ذکر است که کاهش آلودگی صدا در منبع تولید صدا، که همان موتور لیفتراک است از مؤثرترین راه‌کارهای عملی کاهش آلودگی صوتی است. با آلودگی صوتی، به‌عنوان یک مشکل اجتماعی، می‌توان با یک شیوه ورودی و خروجی و یا هر دو مقابله کرد. طبق نظر وات[1] هم، روش ورودی مؤثرتر است [۲۵]. استانداردهایی در این زمینه توسط منابع مختلف بیان‌شده است و در این تحقیق نیز سعی شده است تا آن استانداردها به نحو احسن به کار گرفته شود و سیستم اگزوزی طراحی و ساخت شود که کمترین آلودگی صوتی را به همراه داشته باشد [۱، ۳].

حرارت آزادشده از موتور لیفتراک‌ها نیز می‌تواند باعث آلودگی محیط‌زیست شود. این حرارت ممکن است، علاوه بر صدمه به سیستم لیفتراک‌ها، همچنین باعث بالا رفتن دمای هوای محیط و همچنین درجه حرارت آب شود. با بالا رفتن درجه حرارت آب میزان اکسیژن جذب‌شده و نگهداری شده در آن بالا می‌رود، که می‌تواند برای موجودات زنده بسیار مخرب باشد [۲۴]. طراحی درست سیستم اگزوز لیفتراک‌ها می‌تواند از تخریب محیط‌زیست به روش‌های مختلف جلوگیری کند. گازهای حاصل از واکنش‌های شیمیایی موجود در موتور لیفتراک‌های دیزلی، که دمایی در حدود ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد را تولید می‌کند، باید توسط اجزاء سیستم اگزوز لیفتراک طوری مدیریت شود که در قسمت خروجی سیستم اگزوز به دمایی حدود ۸۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یابد، تا صدمه‌ای به محیط اطراف خود نرساند. فعالیت‌های اصلی این پژوهش را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱- کاهش شدت صدای ایجادشده در حالت دور کند موتور لیفتراک (موتور دیزلی 4TNV98) به حدود ۷۹ دسی‌بل و در حالت دور تند موتور لیفتراک نیز به حدود ۸۷ دسی‌بل

۲- گازهای سمی مثل مونواکسید کربن، دی‌اکسید کربن و هیدروکربن نیز به ترتیب حدوداً برابر با ۵/۵، ۷/۵ درصد و ۲۸۰۰ پی‌پی‌ام[2] در مدت ۱۰ دقیقه

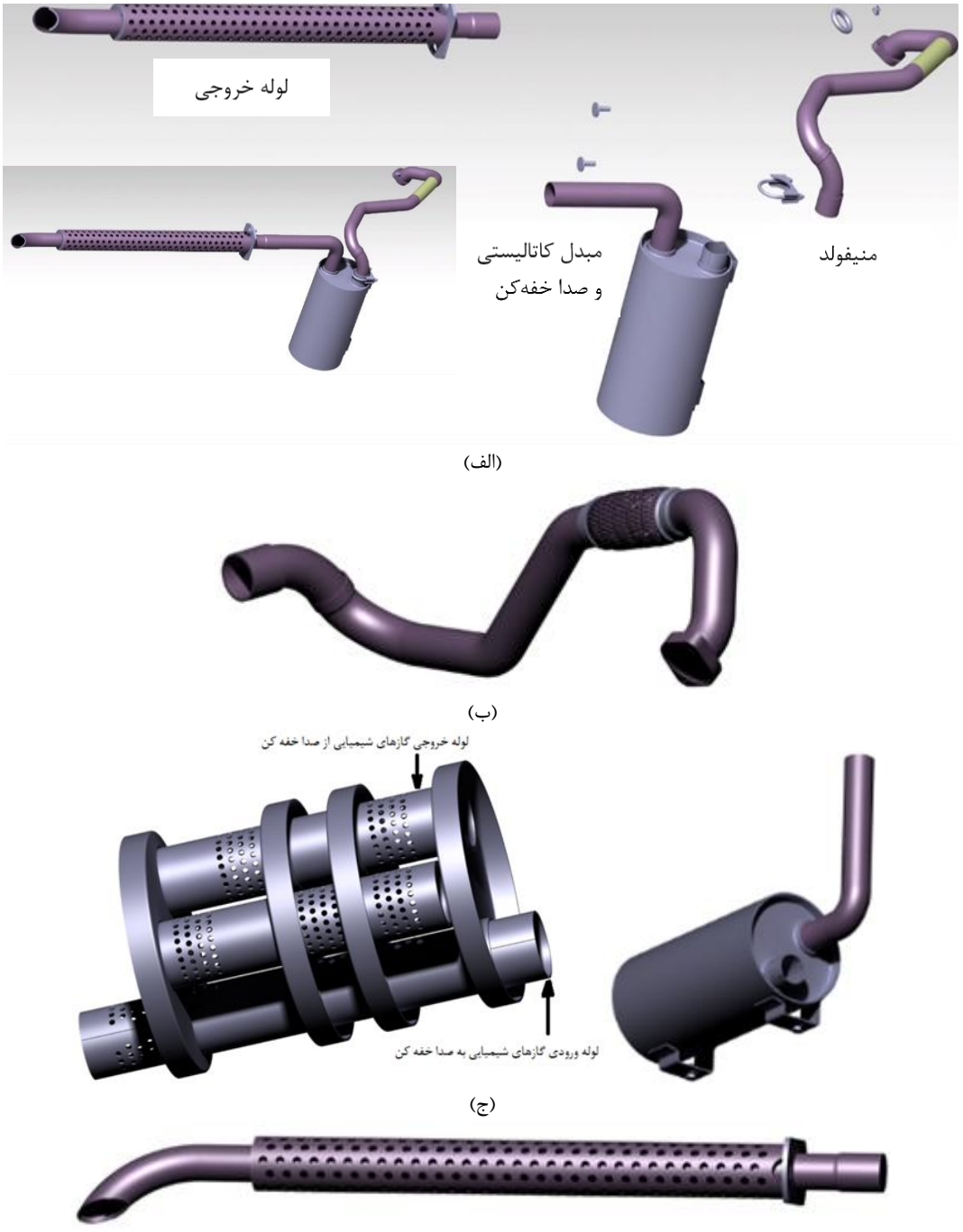
۳- کاهش دمای خروجی لوله سیستم اگزوز به حدود ۸۰ درجه سانتی‌گراد

۲- طراحی و ساخت سیستم اگزوز لیفتراک

با توجه به مأموریت سیستم اگزوز، که وظایف هدایت گازهای خروجی از موتور و دور کردن آن‌ها از اپراتور، کاهش صدا و دما و کنترل انتشار آلاینده‌ها را به عهده دارد، لذا این قطعه پرکاربرد، معمولاً از پنج قسمت اصلی و عمده از جمله منیفولد، لوله‌های رابط، لوله اگزوز، منبع سیستم اگزوز یا انباره سیستم اگزوز (صدا خفه‌کن) و لوله پخش‌کننده دود (لوله خروجی) تشکیل می‌شود (شکل ۱-الف). هرکدام از این اجزاء مسئولیت‌هایی را به عهده‌دارند. بر اساس آن وظیفه و بر اساس استانداردهای مربوطه اجزاء مختلف طراحی و ساخته می‌شوند. دما در انتهای خروجی دود موتورهای لیفتراک (موتور دیزلی 4TNV98) و مقدار دبی آن قطر، شکل و طول قسمت‌های مختلف منیفولد را ارائه می‌کند (شکل ۱-ب). گازهای حاصل از احتراق موتور لیفتراک از طریق منیفولد وارد صدا خفه‌کن شده و سپس در آن قسمت گازهای شیمیایی، آلایندگی‌اش کاهش‌یافته و صدای آن گرفته و دما نیز کاهش پیدا می‌کند (شکل ۱-ج). در آخر، گازهای شیمیایی وارد لوله خروجی اگزوز شده و با کاهش مجدد دما به‌دوراز اپراتور هدایت می‌شود (شکل ۱-د). در عین اینکه این لوله باید طوری واقع شود که گازهای اگزوز نتوانند به درون اتاق نفوذ کنند. ابعاد، اندازه و شکل قسمت‌های مختلف سیستم اگزوز لیفتراک بر اساس ورودی‌ها و نیز بر اساس استانداردهای تدوین‌شده طراحی و ساخته شدند. یکی از این استانداردهایی که در مورد ماشین‌آلات صنعتی در ایران مورداستفاده قرار می‌گیرد، استاندارد شماره ۱۳۱۴۴ استاندارد ملی ایران تجدیدنظر اول سال ۱۴۰۱ است [۲۶]. حرارت ایجادشده در سیستم اگزوز ماشین‌آلات صنعتی نیز توسط استاندارد شماره ۱۳۱۳۳ استاندارد ملی ایران مورد ارزیابی

[1] Watt
[2] Part Per Million

قرار می‌گیرد [۲۷]. این ارزیابی معمولاً در اطراف سیستم و در محدوده‌های مختلف موردسنجش قرار می‌گیرد تا اطمینان حاصل شود که حرارتی اپراتور سیستم را تحدید نمی‌کند و علاوه بر این به خود سیستم هم صدمه نمی‌زند. لازم به ذکر است که موقعیت قرارگیری لوله خروجی اگزوز نیز در این بحث اهمیت ویژه‌ای دارد. جهت، ارتفاع، ابعاد و شکل ظاهری این لوله نیز بسیار اهمیت دارد. این تحقیق بیشتر روی کنترل و کاهش صدای سیستم اگزوز متمرکز شده است. کاهش صدا در این سیستم به‌صورت مکانیکی صورت گرفته است. کاهش صدای سیستم اگزوز ناشی از زوایای لوله‌ها و همچنین مشخصات سوراخ‌های تعبیه‌شده در آن، به همراه ابعاد و اندازه قسمت‌های مختلف است. البته لازم به ذکر است که، این طراحی باید به صورتی باشد که باعث کاهش توان موتور نشود.

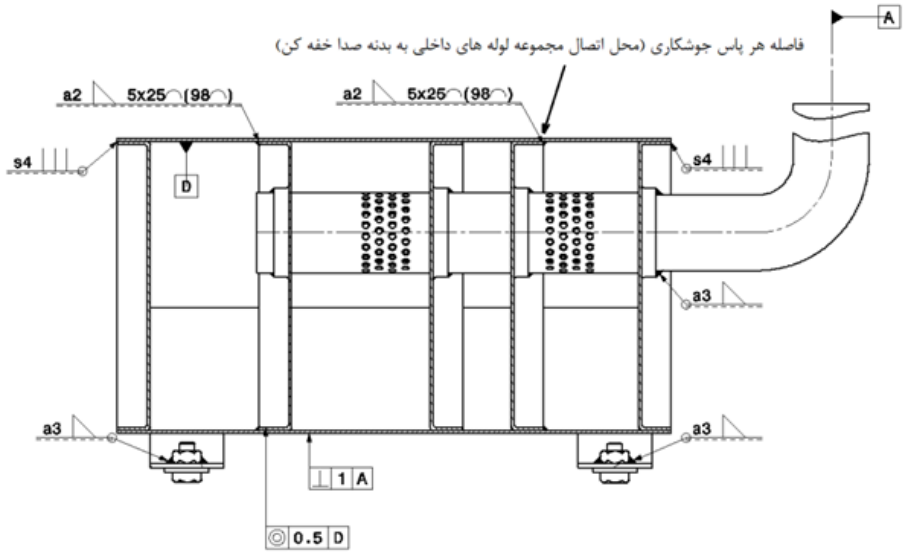


شکل ۱ الف) مجموعه سیستم اگزوز لیفتراک، ب) مجموعه منیفولد، ج) مجموعه صدا خفه‌کن، لوله وسطی (لوله سوم) لوله صدا خفه‌کن و د) مجموعه لوله خروجی

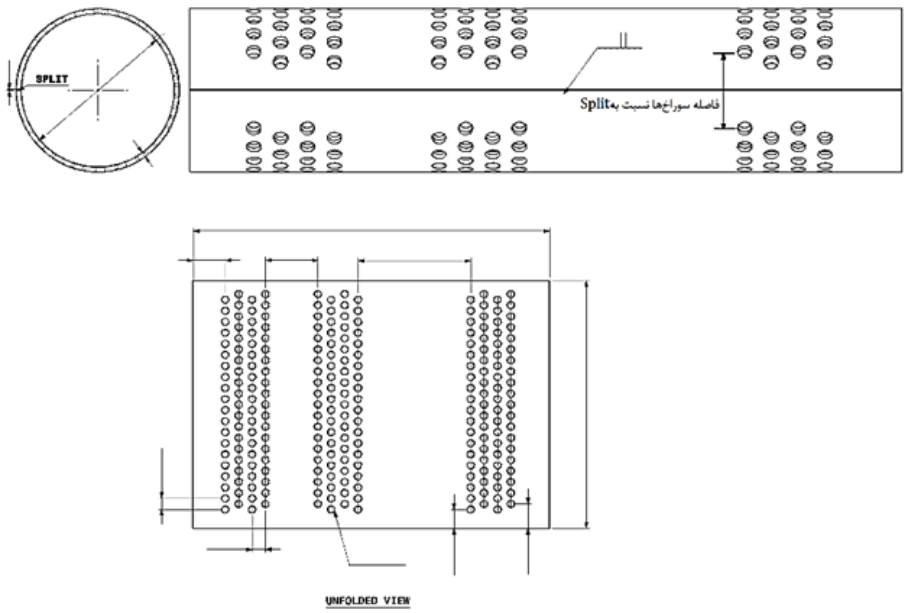
در ادامه، جهت جلوگیری از اطاله کلام، به‌عنوان نمونه یک سری محاسبات لازم در طراحی و ساخت سیستم اگزوز لیفتراک به همراه مستندات لازم آورده شده است.

برای محاسبه فواصل پاس‌های جوش مجموعه داخلی صدا خفه‌کن به بدنه انباره سیستم اگزوز نسبت به یکدیگر، در طول کمان ۳۶۰ درجه با تعداد پاس ۵ و طول پاس ۲۵ میلی‌متر، از رابطه ۱ استفاده می‌شود. این جوشکاری باید طوری صورت پذیرد که علاوه بر اتصال مجموعه داخلی به بدنه صدا خفه‌کن، صداهای ایجادشده را هم گرفته و کاهش دهد (شکل ۲-الف). محیط لوله با توجه به نوع لیفتراک متغیر بوده و بر اساس آن و استاندارد مربوطه طراحی و ساخته می‌شوند.

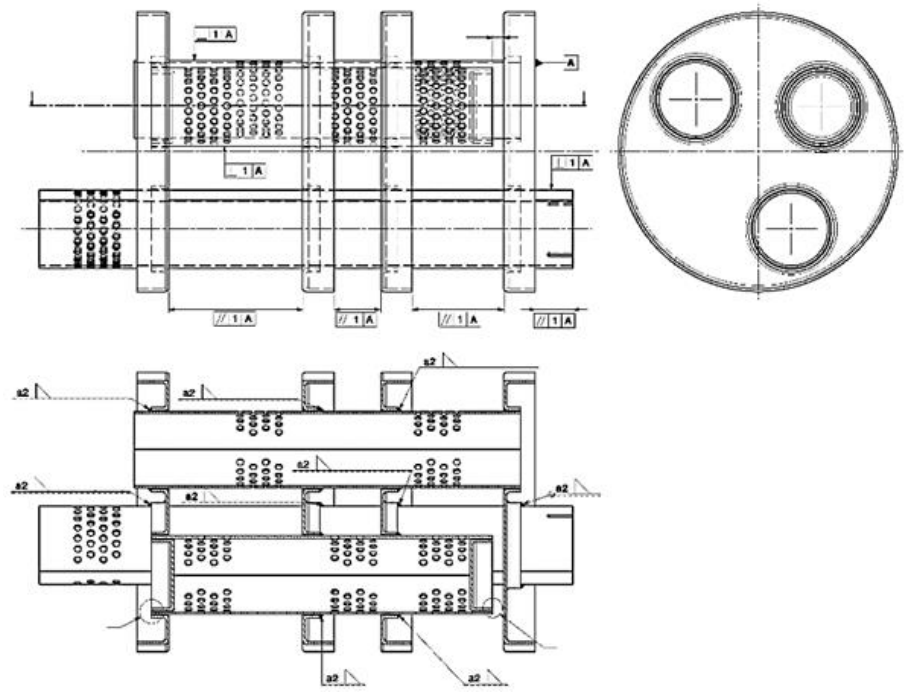
$$\text{فاصله هر پاس} = \frac{\text{محیط لوله}-\text{طول پاس} \times \text{تعداد پاس}}{5} \qquad (۱)$$



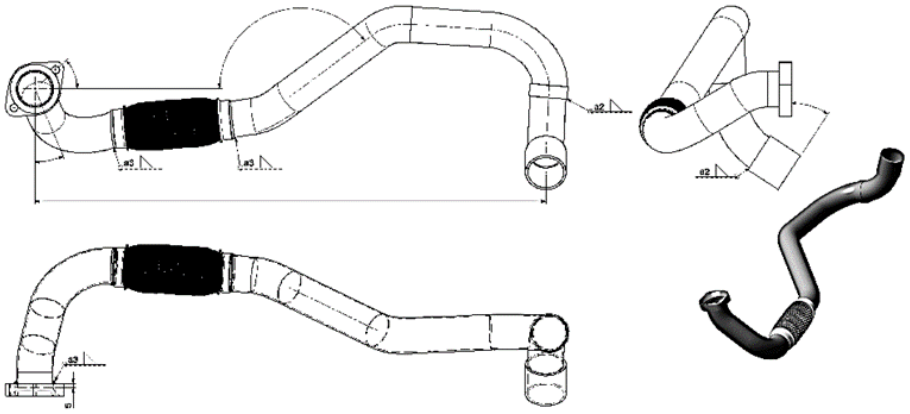
(الف)



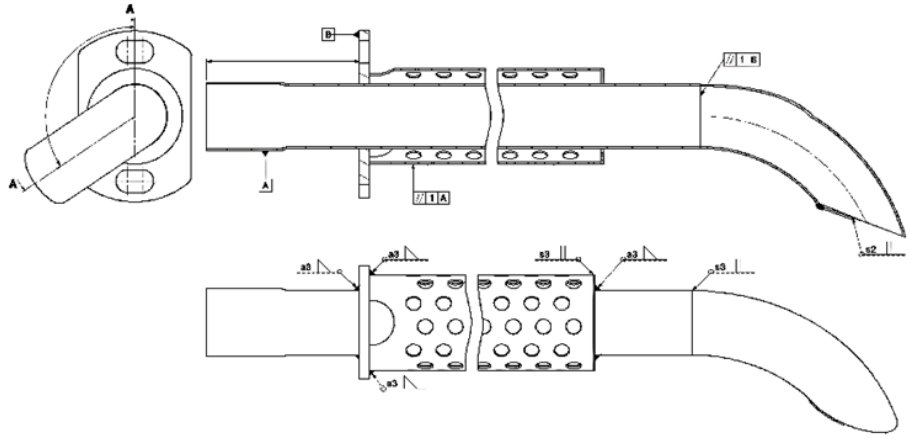
(ب)



(ج)



(د)



(ه)

شکل ۲ الف) مجموعه صدا خفه‌کن، اتصال اجزاء داخلی نسبت به هم و به بدنه صدا خفه‌کن و فاصله بین هر پاس جوشکاری در بدنه صدا خفه‌کن، ب) چیدمان سوراخ‌ها در لوله‌های داخل صدا خفه‌کن و فاصله سوراخ‌ها نسبت به Split، ج) موقعیت لوله‌های داخل صدا خفه‌کن و اجزاء مختلف لوله خروجی سیستم اگزوز و ه) اجزاء مختلف لوله خروجی سیستم اگزوز

برای محاسبه موقعیت سوراخ‌ها نسبت به Split از شکل‌های ۱-ج و ۱-د بهره برده و با استفاده از رابطه ۲ مقدار آن به دست می‌آید (شکل ۲-ب). طوری که تعداد سوراخ در هر ردیف برابر با۲۰ عدد و فاصله سوراخ‌ها نسبت به مرکز برابر با ۷٫۴ میلی‌متر است. بنابراین می‌توان نوشت:

(۲) فاصله مرکزی سوراخ‌ها × تعداد سوراخ در هر ردیف - محیط لوله = فاصله سوراخ‌ها نسبت به Split

محاسبه موقعیت لوله‌های داخل صدا خفه‌کن از دیگر بحث‌های مهم اگزوز لیفتراک بوده و از اهمیت زیادی برخوردار است. در این تحقیق با توجه به حجم ورودی گازهای شیمیایی و حداکثر صدای ایجادشده و نیز مقدار کاهش آن مطابق استاندارد کمک خواهد کرد تا بتوان جنس، ابعاد، موقعیت، شکل و اجزاء مختلف آن را طراحی و ساخت (شکل ۲-ج). جنس اجزاء مختلف این قسمت از سیستم اگزوز عموماً از نوع En 10130, DC01 و DIN 1623, st 14-03 است. همچنین ضخامت آن‌ها معمولاً از یک میلی‌متر تا ۲ میلی‌متر در حال متغیر بوده و معمولاً شکل آن‌ها به‌صورت گرد بوده و موقعیت آن‌ها نیز با توجه به ابعاد هر یک از لوله‌های ورودی، خروجی و صدا خفه‌کن متغیر خواهد بود. این موقعیت‌ها باید طوری طراحی و ساخته شوند که علاوه بر اینکه انواع گازهای شیمیایی تولیدشده توسط موتور لیفتراک به‌راحتی بتوانند در داخل لوله‌ها عبور کنند، بایستی عمل خفه کردن صدا نیز به‌طور هم‌زمان صورت گیرد. این عمل توسط موقعیت لوله‌ها نسبت به هم، ابعاد و شکل لوله‌ها، باز یا بسته بودن انتهای هر یک از لوله‌ها و در نهایت ابعاد، شکل، موقعیت و تعداد سوراخ‌های روی هر یک از لوله‌ها انجام می‌شود (شکل ۲-ج). در کنار خفه شدن صدا در سیستم اگزوز لیفتراک عمل کاهش آلودگی هم انجام می‌شود. این عمل در اثر عبور گازهای شیمیایی از پیچ‌وخم لوله‌ها انجام‌شده و آلودگی کاهش می‌یابد.

شکل ۲-د قسمت‌های مختلف منیفولد سیستم اگزوز لیفتراک را نشان می‌دهد. این قطعه یکی از پیچیده‌ترین قسمت سیستم اگزوز بوده و طراحی آن باید دقت لازم را داشته باشد. این قطعه به‌نوعی سرعت دود خروجی موتور را مدیریت کرده و توسط حصیری که در وسط آن قرارگرفته ضربه و صدای گازهای شیمیایی خروجی موتور را گرفته و باعث کاهش آن شده و به‌این‌ترتیب کاهش اولیه صدا، قبل از صدا خفه‌کن در منیفولد صورت گرفته و کاهش بیشتر آن را برای صدا خفه‌کن مهیا می‌سازد. زوایای زیاد موجود در منیفولد این مسئولیت را به عهده‌دارند. قطعه حصیری و یا ضربه‌گیر یک قطعه بسیار مهمی است که وسط منیفولد مسئولیت بزرگی را انجام می‌دهد. این قطعه استاندارد در اکثر سیستم اگزوزهای وسایل نقلیه موتوری وجود داشته و مورداستفاده قرار می‌گیرد.

همان‌طوری که گفته شد، لوله خروجی سیستم اگزوز وظیفه دور کردن دود از سیستم لیفتراک و اپراتور را به عهده دارد. این قطعه علاوه بر هدایت دود ایجادشده توسط موتور لیفتراک، باعث خنک شدن آن نیز می‌شود. همان‌طوری که در شکل ۲-ه نیز مشاهده می‌شود، دارای محافظ سوراخ‌دار است که این عمل را تسریع می‌بخشد. عمل آزمون آلایندگی نیز توسط حسگرهای اکسیژن از این قسمت سیستم اگزوز صورت می‌گیرد.

۳- عیب‌یابی سیستم اگزوز لیفتراک

پس از تولید سیستم اگزوز، لازم است که سیستم اگزوز توسط دستگاه‌های مختلف و مطابق با استانداردها آزموده شود. در صورت بروز مشکل بتوان با راه‌کارهای لازم آن را حل کرد. در بسیاری از منابع این راه‌کارها بیان‌شده و به‌راحتی می‌توان از آن مستندات برای رفع مشکل استفاده نمود [۲۸، ۲۹]. با استفاده از کنترل‌های جاری تشخیص، همچنین استفاده از استانداردهای ۱۳۱۴۴ و ۱۳۱۳۳ بیان‌شده، المان‌های مختلف سیستم اگزوز مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای پایش سطح آلاینده‌ها از حسگرهای اکسیژن استفاده می‌شود. برای تشخیص صداهای غیرعادی از دستگاه‌های مانیتورینگ صدا استفاده می‌شود. بررسی دوره‌ای تمامی اتصالات و قطعات برای تشخیص نشت‌ها و آسیب‌ها از ابزارهای مختلف مربوطه استفاده می‌شود [۱]. به‌طورکلی استفاده از ابزارهای تخصصی برای آزمودن کارایی سیستم اگزوز لازم و ضروری است. جدول ۱ فرم DFMEA را ارائه می‌کند که، در آن اقداماتی که باید مسئولین امر جهت بررسی عملکرد سیستم اگزوز لیفتراک انجام دهند را نشان می‌دهد. جدول ۲ نیز پاره‌ای از عیوب ایجادشده در سیستم اگزوز لیفتراک و نحوه برطرف کردن آن را مورد ارزیابی قرار داده است. مطابق این جدول و دستورالعمل‌های مختلف می‌توان کارایی سیستم اگزوز را افزایش داد.

جدول ۱ فرم DFMEA [۲۸، ۲۹]

شرکت:	فرم DFMEA			کد طرح: تاریخ: شماره صدور:
نام طرح: منبع اگزوز_ EXHAUST SYSTEM		تهیه‌کننده:		
مسئول طرح:		مدل یا محصول: منبع اگزوز_ EXHAUST SYSTEM		

عملکرد طرح	شکست بالقوه (حالات خرابی)	اثر شکست بالقوه	شدت S	کلاس	علل شکست بالقوه	وقوع O	کنترل‌های جاری تشخیص	تشخیص D	RPN	اقدامات پیشنهادی	مسئول اجرا و تاریخ	نتیجه اقدامات: اقدامات انجام‌شده	S	O	D	RPN
کاهش صدا (Noise Reduction)	افزایش صدای موتور به‌خصوص هنگام تسریع و تحت بارهای سنگین و صدای غیرمعمولی از قسمت زیرین لیفتراک شنیده می‌شود	افزایش صدا، نقض مقررات زیست‌محیطی و خستگی و استرس راننده	6	D	خرابی صدا خفه کن (Muffler) و ترک یا سوراخ در لوله‌های اگزوز	3	اندازه‌گیری میزان صدا	2	36	محکم کردن اتصالات، رعایت تلورانس‌های ابعادی و هندسی			5	2	1	10
کنترل انتشار گازهای آلاینده (Emissions Control)	بوی بد و شدید از اگزوز که نشان‌دهنده عملکرد نادرست کاتالیزورها است، مصرف سوخت بیشتر از حد معمول و روشن شدن چراغ چک موتور در داشبورد	افزایش آلودگی هوا، نقض مقررات محیط زیستی و مشکلات سلامتی برای کارکنان	8	A	خرابی کاتالیزور Catalytic Converter، خرابی حسگرهای اکسیژن و انسداد در سیستم اگزوز	6	بررسی قسمت‌های جوشکاری شده	2	96	محکم کردن اتصالات			6	3	2	36
انتقال گرما (Heat Dissipation)	داغ شدن غیرمعمول موتور یا سیستم اگزوز و بوی سوختگی از قسمت اگزوز	گرمای بیش‌ازحد موتور، آسیب به قطعات نزدیک به اگزوز و خطر آتش‌سوزی	8	A	انسداد در سیستم اگزوز و خرابی عایق‌های حرارتی	6	بازرسی‌های حرارتی نظارت بر دمای موتور	3	144	رعایت میزان فاصله لوله‌ها از سایر قطعات			5	4	2	40

امضا تهیه‌کننده:	امضا بازنگری کننده:
شماره فرم: FM-381	شماره بازنگری:	تاریخ بازنگری:

* RPN=D×O×S

جدول ۲ عیب‌یابی اگزوز لیفتراک [۲۸-۳۰]

شماره	مشکل	اثر شکست بالقوه	راه‌حل
۱	صدای بیش‌ازحد	افزایش سطح صدای تولیدی	بررسی صدا خفه‌کن برای آسیب یا سایش و تعویض در صورت نیاز
۲	افزایش آلاینده‌ها	کاهش کارایی موتور و آلودگی محیط‌زیست	بررسی مبدل کاتالیزوری و حسگرهای اکسیژن و تعویض قطعات معیوب
۳	نشت اگزوز	کاهش عملکرد موتور و افزایش آلودگی	بررسی منیفولد اگزوز، لوله‌ها و اتصالات برای نشت و تعمیر یا تعویض قطعات آسیب‌دیده
۴	عملکرد ضعیف	کاهش کارایی موتور و افزایش مصرف سوخت	اطمینان از عدم وجود موانع در سیستم اگزوز و بررسی تمامی اجزاء برای عملکرد صحیح

۴- نتایج و بحث

منابع بسیار زیادی در مورد جلوگیری از آلایندگی سیستم اگزوز لیفتراک‌ها و ماشین‌آلات غیر جاده‌ای تحقیقاتی را انجام داده‌اند [۱، ۲، ۱۵-۲۲] و به نتایج خوبی رسیده‌اند. از اینکه قطعه سیستم اگزوز یکی از قطعات بسیار مهم هر وسیله موتوری غیر برقی است، شکی نیست. لذا حتماً باید جهت جلوگیری از هر خطر احتمالی، از آلایندگی محیط‌زیست گرفته تا صدمه به اپراتور و خود سیستم موتوری، اقدامات لازم را اندیشید. الزاماتی که باید در طراحی و ساخت سیستم اگزوز لیفتراک در نظر گرفت، پارامترهای زیادی است که، از جمله می‌توان به جنس قطعات قسمت‌های مختلف آن، ابعاد و شکل آن‌ها اشاره نمود. هرکدام از این پارامترها بر اساس نوع لیفتراک و مشخصات آن و نیز بر اساس استاندارد مربوطه طراحی و ساخته می‌شوند. ابعاد قسمت‌های مختلف سیستم اگزوز که عموماً گرد هستند (شکل‌های ۱-الف تا ۱-د) دارای جنس، طول و قطرهای مختلف در قسمت‌های مختلف سیستم اگزوز بر اساس نوع لیفتراک و استاندارد مربوطه، طراحی و ساخته شدند. سیستم اگزوز حاضر مطابق استانداردهای مربوطه طراحی و ساخته‌شده و آزمون‌های لازم نیز روی آن صورت گرفت. علاوه بر کاهش هزینه تولید آزمون‌های مربوطه نیز نشان دادند که این سیستم اگزوز به‌خوبی توانسته آلایندگی محیط را کاهش دهد. نظر به اینکه این تحقیق بیشتر دنبال کاهش صدا به همراه دما در سیستم اگزوز لیفتراک بود، لذا در جدول ۳ نتایج به‌دست‌آمده از آزمون سطح شدت صدا در سیستم اگزوز نشان داده‌شده است. شکل ۳ یک نمونه از سیستم اگزوز ساخته‌شده را نشان می‌دهد.

جدول ۳ اندازه‌گیری و آزمون سطح شدت صدا

قسمت	سطح شدت صدا در دور کند (dB)	سطح شدت صدا در دور تند (dB)
منیفولد	۸۱	۹۵
صدا خفه‌کن	۸۰	۹۰
لوله خروجی	۷۹	۸۷

شکل ۳ سیستم اگزوز طراحی و ساخته‌شده

نتایج حاصل از آزمون اندازه‌گیری، شدت صدای ایجادشده و دمای سیستم اگزوز طراحی و ساخته‌شده نسبت به یک سیستم اگزوز معمولی در جدول ۴ نشان داده شده است. روشن است که نتایج، کاهش حدود ۵ درصدی را نشان داد.

جدول ۴ مقایسه نتایج حاصل از سیستم اگزوز طراحی و ساخته‌شده نسبت به یک سیستم اگزوز معمولی

نوع سیستم اگزوز	سطح شدت صدا (dB)		دما (°C)
	دور کند موتور	دور تند موتور	
سیستم اگزوز طراحی و ساخته‌شده	۷۹	۸۷	۸۰
سیستم اگزوز معمولی	۸۳	۹۲	۸۵

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق طراحی و ساخت سیستم اگزوز لیفتراک مورد بررسی قرار گرفت. هدف این مطالعه طراحی و ساخت سیستم اگزوز لیفتراک با محوریت کاهش سروصدای گازهای شیمیایی ناشی از غرش و احتراق موتور و دما است. اجزاء این قطعه مهم لیفتراک بر اساس خروجی موتور لیفتراک در وضعیت‌های مختلف و مطابق استانداردها مورد ارزیابی قرار گرفت. جنس، ابعاد، شکل و نحوه قرارگیری این اجزاء در کنار هم با استفاده از استانداردهای مربوطه و شرایط موجود انتخاب و طراحی و ساخت شد. با در نظر گرفتن اینکه این قطعه در عین اینکه به سیستم لیفتراک، اپراتور و محیط اطراف صدمه‌ای نرساند، مورد ارزیابی و طراحی قرار گرفت. آزمون‌های انجام‌گرفته نشان داد که این سیستم اگزوز توانست آلایندگی صوتی را در حد متوسط ۸۳ دسی‌بل نگه دارد. همچنین دستگاه‌های حسگر اکسیژن، گازهای سمی مثل مونواکسید کربن، دی‌اکسید کربن و هیدروکربن نیز به ترتیب حدوداً برابر با ۵/۵، ۷/۵ درصد و ۲۸۰۰ پی‌پی‌ام در مدت ۱۰ دقیقه را ثبت کردند که نشان از وضعیت خوب این سیستم اگزوز بود. دمای ثبت شده در خروجی لوله سیستم اگزوز نیز در حدود ۸۰ درجه سانتی‌گراد بود. نتایج، کاهش حدود ۵ درصدی شدت صدای ایجادشده و دما را نشان داد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سیستم اگزوز حاضر بهبود نسبی را در کنترل تمامی آلایندگی‌ها از خود نشان داده است.

تقدیر و تشکر

از شرکت محترم تراکتورسازی ایران به خاطر همکاری صورت گرفته تقدیر و تشکر می‌شود.

References

[1] Aminuddin J, Rauf N. Designing of muffler part for car exhaust system with low emission and noise using conjugate gradient method. InJournal of Physics: Conference Series 2020 Mar 1 (Vol. 1494, No. 1, p. 012041). IOP Publishing. doi: 10.1088/1742-6596/1494/1/012041

[2] Saadabi AM, El-Amin A. Effects of environmental pollution (auto-exhaust) on the micro-morphology of some ornamental plants from Sudan. Environmental Research Journal. 2011;5(2):38-41. doi: 10.3923/erj.2011.38.41

[3] Tarigan A. Estimation of Motor Vehicle Emission at Several Road in Medan City Master [master's thesis]. Medan: Universitas Sumatera Utara; 2009.

[4] Ikron I, Djaja I, Wulandari RA. The Effect of Road Traffic Noise on Psychological Health Disorders of School Children at Cipinang Muara Elementary School, Jatinegara Sub District, East Jakarta City, DKI Jakarta Province, 2005. Makara Journal of Health Research. 2010 Oct 14:32-7.

[5] Borak J, Sirianni G. Studies of self-pollution in diesel school buses: methodological issues. Journal of occupational and environmental hygiene. 2007 Jul 23;4(9):660-8.

[6] Zajac P, Rozic T. Energy consumption of forklift versus standards, effects of their use and expectations. Energy. 2022 Jan 15;239:122187. doi: 10.1016/j.energy.2021.122187

[7] I.S. EN 16001:2009 Energy management systems requirements with guidance for use. Sustainable Energy Ireland; 2009.

[8] Gudehus T, Kotzab H. Logistic costs and controlling. In: Comprehensive logistics. Berlin, Heidelberg: Springer; 2012. doi: 10.1007/978-3-642-24367-7_6

[9] Zajac P. Model of forklift truck work efficiency in logistic warehouse system. In: Golinska P, editor. Logistics operations, supply chain management and sustainability. EcoProduction (environmental issues in logistics and manufacturing). Cham: Springer; 2014. doi: 10.1007/978-3-319-07287-6_33
[10] Watson RT, Boudreau MC, Chen AJ. Information systems and environmentally sustainable development: energy informatics and new directions for the IS community. MIS quarterly. 2010 Mar 1:23-38. doi: 10.2307/20721413
[11] Basuki KT. Decreasing of CO and NO2 Concentrations from Emission by using TiO2 Local Filler of Active Carbon. Journal of Nuclear Physics. 2007;1(1). [In Indonesian]
[12] Gehrig R, Hill M, Buchmann B, Imhof D, Weingartner E, Baltensperger U. Separate determination of PM10 emission factors of road traffic for tailpipe emissions and emissions from abrasion and resuspension processes. International Journal of Environment and Pollution. 2004 Jan 1;22(3):312-25.
[13] Wu Z, Zhu M, Wu Y, Tu Z, Huang Z, Li C, Zhou W, Gui X, Zheng X, Zheng J. Characterizing formaldehyde emissions from forklifts in China based on real-world online measurements. Atmospheric Environment. 2024 Oct 1;334:120685. doi: 10.1016/j.atmosenv.2024.120685
[14] Pang K, Zhang K, Ma S. Tailpipe emission characterizations of diesel-fueled forklifts under real-world operations using a portable emission measurement system. Journal of Environmental Sciences. 2021 Feb 1;100:34-42. doi: 10.1016/j.jes.2020.07.011
[15] Caceres D, Reisel JR, Sklyarov A, Poehlman A. Exhaust emission deterioration and combustion chamber deposit composition over the life cycle of small utility engines. J. Eng. Gas turbines power. 2003 Jan 1;125(1):358-64.
[16] Fan W, Jiang W, Chen J, Yang F, Qian J, Ye H. Exhaust emission inventory of typical construction machinery and its contribution to atmospheric pollutants in Chengdu, China. Journal of Environmental Sciences. 2023 Mar 1;125:761-73. doi: 10.1016/j.jes.2022.02.018
[17] Ho SS, Ho KF, Lee SC, Cheng Y, Yu JZ, Lam KM, Feng NS, Huang Y. Carbonyl emissions from vehicular exhausts sources in Hong Kong. Journal of the Air & Waste Management Association. 2012 Feb 1;62(2):221-34. doi: 10.1080/10473289.2011.642952
[18] Lee SH, Kwak JH, Lee SY, Lee JH. On-road chasing and laboratory measurements of exhaust particle emissions of diesel vehicles equipped with aftertreatment technologies (DPF, urea-SCR). International Journal of Automotive Technology. 2015 Aug;16(4):551-9.
[19] Shancita I, Masjuki HH, Kalam MA, Fattah IR, Rashed MM, Rashedul HK. A review on idling reduction strategies to improve fuel economy and reduce exhaust emissions of transport vehicles. Energy conversion and management. 2014 Dec 1;88:794-807. doi: 10.1016/j.enconman.2014.09.036
[20] Suarez-Bertoa R, Clairotte M, Arlitt B, Nakatani S, Hill L, Winkler K, Kaarsberg C, Knauf T, Zijlmans R, Boertien H, Astorga C. Intercomparison of ethanol, formaldehyde and acetaldehyde measurements from a flex-fuel vehicle exhaust during the WLTC. Fuel. 2017 Sep 1;203:330-40. doi: 10.1016/j.fuel.2017.04.131
[21] Yu F, Li C, Liu J, Liao S, Zhu M, Xie Y, Sha Q, Huang Z, Zheng J. Characterization of particulate smoke and the potential chemical fingerprint of non-road construction equipment exhaust emission in China. Science of the Total Environment. 2020 Jun 25;723:137967. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137967
[22] Pirjola L, Rönkkö T, Saukko E, Parviainen H, Malinen A, Alanen J, Saveljeff H. Exhaust emissions of non-road mobile machine: Real-world and laboratory studies with diesel and HVO fuels. Fuel. 2017 Aug 15;202:154-64. doi: 10:1016/j.fuel.2017.04.029
[23] Ghorbani A. Investigating the amount of pollutants emitted from the exhaust of diesel cars in the city of Mashhad using statistical analysis. Journal of Environmental Science Studies. 2023 Jul 23;8(2):6626-36. [In Persian]
[24] Jafarnejad A. Production/operation management. 2nd ed. Tehran: Tehran University; 2001. [In Persian]
[25] Watt KEF. The Titanic Effect: Planning for the Unthinkable. New York: Sinauer Associates; 1974.
[26] Iranian National Standard No. 13144, first revision of 2022. [In Persian]
[27] Iranian National Standard No. 13133. [In Persian]
[28] Ghanaei F. Forklift repair, inspection, safety and operation. Iran Industrial Research and Education Center; 2014. [In Persian]
[29] ISO3691-1:2011 Industrial trucks-Safety requirements and verification- Part 1: Self-propelled industrial trucks, other than driverless trucks, variable – reach trucks and burden-carrier trucks. 2011.
[30] Iranian National Standard No. 13292-1, first revision of 2013. [In Persian]