فصلنامه علوم محیطی، دوره بیستم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱

۱-۱۶

مقاله پژوهشی

انتخاب مدل بهینه جهت برآورد آلاینده‌های خودروهای گازسوز در شهر تهران

هاشم صادق‌زاده و بیژن یگانه*

گروه مهندسی آب، فاضلاب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۲۳

صادق‌زاده، ه. و ب. یگانه. ۱۴۰۱. انتخاب مدل بهینه جهت برآورد آلاینده‌های خودروهای گازسوز در شهر تهران. فصلنامه علوم محیطی. ۲۰(۴): ۱-۱۶.

سابقه و هدف: هدف کلی این پژوهش، انتخاب مدل بهینه جهت تخمین انتشار آلاینده‌های خودروهای گازسوز (CNG) شهر تهران به‌منظور شناسایی، ارزیابی و برنامه‌ریزی برای کنترل انتشار از طریق خودروهای گازسوز، همچنین تعیین میزان آلایندگی خودروهای سواری تولیدی صنایع خودروسازی ایران و مقایسه آن با استانداردهای آلایندگی است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش به‌منظور برآورد انتشار آلاینده‌ها از خودروهای گازسوز تولید داخل، با استفاده از اطلاعات ورودی ناوگان خودرویی کشور و با بکارگیری نرم‌افزارهای مدلسازی IVE و COPERT محاسبات مربوطه صورت گرفته و در نهایت با نتایج حاصل از آزمون آلایندگی ISQI مقایسه گردید.

نتایج و بحث: بررسی‌ها نشان داد که برخلاف فرض اولیه که بکارگیری نرم‌افزار IVE را مناسب با پیشبرد اهداف پژوهش پیش‌بینی کرده بود، عملکرد این نرم‌افزار در رابطه با خودروهای گازسوز مناسب نبوده و نتایج حاصل از محاسبات نرم‌افزار COPERT برای خودروهای گازسوز به مراتب نزدیک‌تر به مقادیر آزمون آلایندگی ISQI است. بر اساس نتایج این پژوهش نرم‌افزار COPERT درخصوص آلاینده منوکسید کربن (CO) ۶۵ درصد و درمورد اکسیدهای نیتروژن (NO_x) نیز ۷۸درصد دقیق‌تر عمل کرده اما در برآورد میزان دی اکسید کربن (CO_2) ۱۳درصد ضعیف‌تر عمل کرده است.

نتیجه‌گیری: پیشنهاد می‌گردد مدل سازی انتشار برای سوخت CNG از طریق نرم‌افزار COPERT صورت پذیرد که مشخصاً در رابطه با این سوخت و بخصوص در مورد آلاینده‌های CO و NO_x دقیق‌تر از نرم‌افزار IVE عمل می‌کند. بر اساس یافته‌های این پژوهش لازم است در خصوص مرجعیت و کاربرد نرم‌افزار IVE در زمینه تعیین سیاهه انتشار و تخمین میزان آلایندگی ناوگان خودروهای گازسوز در کشور تجدیدنظر گردد.

واژه های کلیدی: مدل‌های انتشار، خودروی گازسوز، IVE، COPERT، ISQI، تهران.

* Corresponding Author*: Em*ail *Address*. b_yeganeh@sbu.ac.ir
http://dx.doi.org/10.48308/envs.2022.1189
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.4.14.9

مقدمه

در زندگی مدرن امروزی آلودگی هوا امری اجتناب ناپذیر بوده و روزانه صدها تن از انواع آلاینده‌ها تولید و در هوا منتشر می‌شوند. این آلاینده‌ها می‌توانند محصول جانبی ساخت و ساز شهری و یا حاصل فعالیت‌هایی مانند تولیدات کالا، فعالیت صنایع، حمل و نقل و تولید انرژی باشند. طبق تعریف (Shafiepour and Khamseie, 2008) هرگاه ویژگی‌های طبیعی اتمسفر زمین توسط عوامل مختلف از جمله آلاینده‌های جامد، مایع، گاز، انواع پرتوها، بو و حتی صدا به‌صورتی تغییر پیدا کند که سلامت انسان‌ها و موجودات زنده و در حالت کلی سطح رفاه عمومی را تحت‌الشعاع قرار دهد؛ پدیده آلودگی هوا رخ داده است. بر اساس پژوهش‌های پیشین مشخص شده که انسان در طول شبانه‌روز به‌صورت متوسط به ۲۳ کیلوگرم هوا برای ادامه حیات خود نیاز دارد (Trivedy and Goel, 2010).

در این میان آلودگی ناشی از منابع متحرک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. همچنین سهم عمده‌ای از انتشار آلاینده‌های خطرناک هوا مانند منوکسید کربن (CO)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x) و پراکسی استیل نیترات ($PANs$[1]) نیز ناشی از این منابع است. در بیان کلی می‌توان گفت در اکثر بررسی‌ها و سیاهه‌های انتشار درصد بالایی از تولید آلاینده‌های خطرناک هوا مربوط به منابع متحرک است (Wark *et al.*, 1998).

بنابراین، ضرورت بررسی انتشار آلاینده‌های وسایل نقلیه بیش از پیش نمایان می‌شود. ایران دارای دومین ذخایر گاز طبیعی در دنیا است و از طرف دیگر مطابق با سند «تامین انرژی بخش حمل و نقل کشور تا افق ۱۴۲۰ با تاکید بر کارایی-بهینه‌سازی مصرف سوخت» مصوب شورای عالی انرژی کشور در ۲۱ مهرماه ۱۳۹۹، بخش حمل و نقل از جمله بخش‌های مهم مصرف‌کننده انرژی بصورت نامتعارف بوده و هدف اصلی این سند سامان‌دهی تامین امنیت انرژی در این بخش است. براساس بخش دوم این سند که به سیاست‌های استفاده از سوخت گاز طبیعی فشرده (CNG[2]) اشاره دارد، این سوخت به‌عنوان سوخت پاک و در دسترس معرفی، و بر الزام به استفاده از آن به‌عنوان سوخت اصلی در خودروهای سبک عمومی و ناوگان مسافر شهری تاکید شده است. علاوه بر این، سهم افزایشی ۸ درصدی CNG تا افق ۱۴۲۰ نسبت به سال ۱۳۹۹ و سهم کاهشی ۱۱ درصدی بنزین در طرح اصلاح تدریجی قیمت سوخت پیش‌بینی شده است.

باتوجه به برنامه‌های دولت جهت افزایش استفاده از سوخت گاز طبیعی و رشد روزافزون خودروهای گازسوز، لازم است به‌منظور بررسی و مدل سازی مقادیر آلاینده‌های آن‌ها برنامه مدونی اتخاذ شود. بنابراین ضرورت اهمیت تحقیق و بررسی در مورد میزان انتشار آلاینده‌های خودروهای گازسوز در کشور کاملا ضروری است (Planning and Budget Organization, 2020).

واکنش اکسیداسیون یک سوخت توسط یک اکسید کننده (معمولاً اکسیژن موجود در هوا) احتراق نامیده می‌شود (Shafiepour & Khamseie, 2008). این فرآیند باعث تولید آب (H_2O) و دی اکسید کربن (CO_2) به‌عنوان محصولات اصلی می‌شود. همچنین محصولات جانبی ذرات معلق (PM[3])، محتوای کلی هیدروکربن (THC[4]) و CO از اکسیداسیون سوخت ناقص و نیز NO_x از نیتروژن (N_2) موجود در هوا و اکسیدهای گوگرد (SO_x) از گوگرد (S) موجود در سوخت و روان‌کننده‌ها در اثر اکسیداسیون گونه‌های غیر قابل احتراق موجود در محفظه احتراق تشکیل می‌شوند.

آلاینده‌های اگزوزی حاصل از احتراق ناقص در محفظه احتراق هستند که در نهایت از اگزوز خودرو خارج می‌شوند که شامل هیدروکربن‌ها (HC)، منوکسید کربن (CO) و اکسیدهای نیتروژن (NO_X) هستند و آلاینده‌های غیراگزوزی از منابعی به‌غیر از اگزوز خودرو ناشی می‌شوند مانند بخارات حاصل از سیستم سوخت و ذرات معلق ناشی از سایش لاستیک‌ها، ترمز و حرکت خودروها در جاده‌ها اشاره دارد (Pulkrabek, 1997).

گاز طبیعی بدون بو، بی‌مزه و غیرسمی است و از ۹۳/۰۵درصد متان (CH_4)، نیتروژن، دی اکسید کربن، پروپان (C_3H_8) و مقدار بسیار کمی اتان (C_2H_6) تشکیل شده است. این گاز یک سوخت جایگزین پاک زیست محیطی است، زیرا فرآیند احتراق آن در مقایسه با سایر سوخت‌ها میزان کمتری از آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای را منتشر می‌کند (UTI, 2020).

در ایران در سال ۱۳۹۷ مصرف CNG در خودروها روزانه به سطح ۲۰/۸ میلیون مترمکعب (حدود چهار درصد از مصرف کل گاز طبیعی) رسید که تغییر محسوسی نسبت به سال پیش از آن نداشته است. همچنین تعداد جایگاه‌های عرضه کننده گاز طبیعی تا اسفند سال ۱۳۹۷ برابر با ۲,۴۶۲ باب بوده است (Rostami, 2018).

با توجه به درصد سهم متان می‌توان گفت تقریباً تمامی گازطبیعی متشکل از CH_4 است و از آنجایی‌که این گاز در پدیده مه‌دود فتوشیمیایی شرکت نمی‌کند، در مقررات آلودگی هوا نرخ انتشار مجاز هیدروکربن‌های غیر متان (NMHC[5]) را درنظر می‌گیرند. تاکنون تنها سوخت گازی که در مقیاس تجاری موفق بوده گاز طبیعی است، از این‌رو می‌توان به اهمیت استفاده از سوخت‌های جایگزین بنزین پی برد.

مزایای سوخت CNG را می‌توان اینگونه برشمرد که نقطه جوش آن‌ها نسبت به بنزین پایین‌تر بوده، اختلاط بهتری با هوا دارند و احتراق کامل‌تری خواهند داشت و فرمول شیمیایی آن‌ها ساده است بنابراین سریع‌تر به CO_2 و H_2O تبدیل می‌شوند، همچنین محصولات جانبی ناشی از احتراق ناقص بسیار کمی داشته و فارغ از نوع آلاینده‌ها، پس از احتراق، موتور تمیزتر بوده، عمر آن بیشتر است و روغن‌موتور کمتری نیاز دارند. بدین صورت آلدئید کمتری نیز تولید می‌کنند و میزان تولید نیتروژن و گوگرد آن‌ها تقریبا صفر است. از طرفی عدد اکتان بالای آن (حدود۱۲۰) مناسب موتورهای احتراق توسط جرقه است که به نسبت تراکم بزرگی می‌رسند. در نهایت اینکه گاز طبیعی نسبت به سایر سوخت‌های جایگزین ارزان‌تر و فراوان‌تر بوده و در دسترس هستند.

درحال حاضر استفاده گسترده از خودروهای گازسوز به‌جای خودروهای بنزینی در دستورکار برنامه‌های زیست‌محیطی کشور قرار گرفته است و روزانه شاهد تولید تعداد زیادی خودرو با موتورهای پایه گازسوز و یا دوگانه‌سوز هستیم اما هنوز استاندارد جداگانه‌ای برای آلایندگی خودروهای گازسوز وجود ندارد و این دسته از خودروها ملزم به رعایت استانداردهای آلایندگی خودروهای بنزینی هستند (Shafiepour *et al*., 2009).

در سال ۲۰۲۰ در پژوهشی موتور خودروها در دو حالت استارت سرد و گرم مورد آزمون قرار گرفت و مشخص شد این موضوع تاثیر چندانی بر تشکیل ذرات ابتدایی ندارد (Napolitano *et al*., 2020). در تحقیق دیگری مشخص شد حالت رانندگی واقعی ارتباط مستقیم بر مقادیر انتشار دارد بدین ترتیب که با افزایش سرعت و شتاب NO_X افزایش و HC و CO ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابند (Guo *et al*., 2020).

Khazini and Jamshidi Kalajahi (2020)در سال ۲۰۲۰ با استفاده از (IVE[6]) تاثیر گازوئیل، بنزین و CNG را بر میزان انتشار بررسی کردند و نتیجه گرفتند کمترین میزان CO از خودروهای دیزلی و کمترین میزان NO_X از خودروهای گازسوز منتشر می‌شوند. درنهایت Alipourmohajer *et al*. (2019) در مقاله‌ای با بکارگیری IVE، میزان آلایندگی خودروهای سواری بنزینی داخلی را با استانداردهای آلایندگی ارزیابی کردند و مشخص گردید نحوه رانندگی در شهرها با میزان تولید و انتشار آلاینده‌ها رابطه مستقیم دارد و نتایج IVE همخوانی ۹۰درصدی با چرخه (NEDC[7]) دارد.

استفاده از مدل‌های انتشار به منظور تهیه سیاهه منابع آلودگی هوا و برآورد میزان انتشار آن‌ها در بازه‌های زمانی و مکانی مشخص مطرح شد. با بهره‌گیری صحیح از مدل‌های انتشار می‌توان سیاهه انتشار منابع مختلف را

استخراج نمود. استخراج دقیق سیاهه انتشار نقش اساسی در مدیریت آلودگی هوا داشته و همچنین امکان بررسی سناریوهای مختلف کاهش آلودگی و اولویت‌بندی منابع مختلف آلودگی از نظر میزان انتشار را فراهم خواهد نمود. با پیشرفت و گسترش فناوری و استفاده از نرم‌افزارهای مختلف برای شبیه‌سازی در زمینه‌های گوناگون علمی، علم آلودگی هوا نیز از این امر مستثنی نبوده و در این راستا نرم‌افزارهای متعددی به‌منظور برآورد آلودگی هوای ناشی از منابع متحرک طراحی شده و در دسترس پژوهشگران قرار گرفته‌اند که در ادامه به مهم‌ترین آنها اشاره می‌شود.

مدل انتشار IVE، جهت برآورد و تخمین زدن آلاینده‌های منتشر شده از منابع متحرک در جهت کمک به کشورهای درحال توسعه طراحی شده است (ISSRC, 2008). مدل انتشار (MOVES[8])، در واقع شبیه‌ساز انتشار وسایل نقلیه موتوری بوده و طراحی آن فقط برای ایالات متحده صورت گرفته است (EPA, 2015). مدل انتشار (COPERT[9]) آلاینده‌های معمول مانند CO، NO_X، ترکیبات آلی فرّار (VOC[10]) و PM و همچنین آلاینده‌های غیر معمول شامل اکسید نیتروس (N_2O)، آمونیاک(NH3) و دی اکسید گوگرد (SO_2) را برآورد می‌کند و از یک روش دقیق نرم‌افزاری پشتیبانی می‌کند (Gkatzoflias *et al*., 2006). مدل انتشار NONROAD، یکی از مدل‌های وابسته به نرم‌افزار MOVES بوده و فقط انتشارهای غیرجاده‌ای را پشتیبانی می‌کند (EPA, 2005b). مدل انتشار MOBILE، قدیمی‌ترین مدل انتشار به شمار می‌رود و علیرغم به‌روزرسانی آن، مناسب نیاز علوم مهندسی نیست (EPA, 2002). مدل انتشار NMIN نیز یک سیستم مدل سازی تلفیقی برای مدل‌های MOBILE6 و NONROAD است که می‌تواند فهرست‌های تولید شده توسط این دو نرم‌افزار را از مقیاس‌های کوچک به سطح کشوری برساند (EPA, 2005a). مدل (OMEGA[11]) مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای GHG بوده و مناسب تخمین مقدار آلاینده‌ها نیست (EPA, 2016). مدل انتشار (GEM[12]) نیز میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و عملکرد بهینه‌سازی سوخت خودروهای سنگین را برآورد می‌کند (Zhang, 2018).

با توجه به بررسی پژوهش‌های پیشین مشاهده می‌گردد که بیشتر مدل سازی‌های انتشار آلاینده‌های منابع متحرک با سوخت بنزین در مطالعات بین‌المللی و داخلی با استفاده از نرم‌افزار IVE انجام شده است و تاکنون تحقیقی درخصوص تخمین میزان انتشار آلاینده‌های خودروهای گازسوز توسط این مدل انجام نشده است. از طرفی لازم است که با توجه افزایش تعداد خودروهای گازسوز در کشور و به‌روزتر بودن نرم‌افزار COPERT، پتانسیل‌های این مدل نیز در ارتباط با تخمین انتشار آلاینده‌های خودروهای گازسوز مورد ارزیابی قرار بگیرد.

مواد و روش‌ها

اطلاعات اولیه

به‌منظور تحقق اهداف پژوهش اطلاعات اولیه در قالب چند بخش تهیه و گردآوری شد. با توجه به محاسبات نرم‌افزارهای IVE و COPERT براساس تعداد ناوگان، از اطلاعات مربوط به تعداد خودروهای دوگانه سوز پلاک شده گروه خودروسازی سایپا در شهر تهران استفاده شد. این اطلاعات در جریان تهیه و تدوین سیاهه انتشار سال ۱۳۹۹ از شرکت کنترل کیفیت هوای تهران دریافت شد و بر این اساس تعداد ۷۶,۸۸۶ دستگاه خودروی گازسوز در اطلاعات ورودی لحاظ گردید.

همچنین نتایج آزمون آلایندگی شرکت بازرسی کیفیت و استاندارد ایران (ISQI[13]) که بر روی پلتفرم X200 خودروی تیبا دوگانه‌سوز شرکت خودروسازی سایپا صورت گرفته بود، اخذ و مورد استفاده قرار گرفت.

سایر اطلاعات مورد نیاز اولیه از جمله شرایط آب و هوایی شهر تهران در فصول مختلف از سازمان هواشناسی کشور و شرایط آزمایشگاهی مورد نظر نیز از آزمایشگاه ISQI دریافت و دسته‌بندی شدند.

نرم‌افزار IVE

نرم‌افزار IVE به دلیل توانایی انجام دقیق برآورد میزان انتشار انواع وسایل نقلیه با تکنولوژی‌های ساخت متفاوت و نیز استفاده گسترده از آن در کشورهای درحال توسعه که اطلاعات کافی از شرایط ناوگان و میزان انتشار آلاینده از منابع متحرک خود را ندارند مدل محبوبی محسوب می‌شود.

مواردی که توسط این مدل قابل برآورد هستند به سه دسته کلی تقسیم می‌شود. دسته اول شامل آلاینده‌های اصلی هوا از جمله CO، NO_X، SO_X، PM، VOC و بخارات آن‌ها (VOC_{evap}[14]) است. دسته دوم شامل گازهای گلخانه‌ای مانند CO_2، N_2O و CH_4 و دسته سوم شامل آلاینده‌های سمی نظیر سرب (Lead)، بوتادین (Butadiene)، استالدئیدها (Acetaldehydes)، فرمالدئیدها (Formaldehydes)، آمونیاک (NH_3) و بنزن (Benzene) است.

این نرم‌افزار برای برآورد انتشار از منابع متحرک نیاز به سه دسته اطلاعات ورودی شامل نرخ انتشار خودرو، کارکرد و سن خودروها و توزیع ناوگان خودرویی منطقه مورد نظر دارد. همچنین پارامترهای تاثیرگذار بر میزان انتشار در این نرم‌افزار شامل پارامترهای اقلیمی، کیفیت سوخت، تکنولوژی خودروها و پارامترهای انسانی هستند.

منطق محاسباتی این نرم‌افزار بدین صورت است که ابتدا یک میزان انتشار پایه را در نظر گرفته و سپس با استفاده از ضرایب ویژه‌ای میزان پیش‌فرض را ویرایش می‌کند (رابطه ۱).

$$vsp = v[1.1a + 9.81(atan(sin(grade))) + 3.132] + 0.000302v^3$$
$$grade = {(h_{t=0} - h_{t=-1})}/{v(t = -1 \sim 0\ Sec)}$$
$$v = velocity\ (\frac{m}{s})$$
$$a = acceleration\ (\frac{m}{s^2})$$
$$h = altitude\ (m) \qquad (۱)$$

همچنین این نرم‌افزار برای محاسبه توان ویژه خودرو (VSP[15]) از فرمولی برحسب سرعت لحظه‌ای، شتاب و شیب جاده استفاده می‌کند (رابطه ۲).

$$Q_{[t]} = B_{[t]^*} k_{(1)[t]^*} k_{(2)[t]^*} \dots k_{(x)[t]} \qquad (۲)$$

Qt = میزان انتشار تخمین زده شده (بر اساس واحد جرم در واحد زمان یا مسافت است)

Bt = نرخ انتشار پایه

Kt = فاکتورهای تصحیح

بخش‌های اصلی نرم‌افزار IVE نیز عبارتند از:

- زبانه موقعیت که اطلاعات کلی مورد نیاز در آن ثبت می‌شود
- زبانه ناوگان که شامل ۱۳۷۲ نوع تکنولوژی خودرویی است
- زبانه تنظیمات پایه که برای اهداف خاص در نظر گرفته شده است
- زبانه محاسبات که نتایج نهایی را نمایش می‌دهد

در منطق محاسباتی IVE یک میزان انتشار پایه در نظر گرفته می‌شود که منطبق با سیکل روش آزمون فدرال (FTP[16]) است و با استفاده از ضرایب ویژه‌ای میزان پیش‌فرض ویرایش شده و خروجی نهایی محاسبه خواهد شد. این ضرایب متاثر از پارامترهای اقلیمی، کیفیت سوخت، تکنولوژی خودرو و پارامترهای انسانی هستند و هر کدام از آنها می‌توانند باعث افزایش و یا کاهش میزان انتشار پایه شوند.

اطلاعات ورودی به نرم‌افزار IVE شامل مشخصات فنی پلت‌فرم، متغیرهای توان و رانندگی، متغیرهای کیفیت سوخت و پارامترهای محیطی محل آزمون است. در این پژوهش از اطلاعات پلت‌فرم گازسوز X200 گروه خودروسازی سایپا موسوم به خانواده تیبا بهره گرفته شده است.

لازم به ذکر است که بر اساس نتایج مطالعات صورت

گرفته قبلی از جمله مطالعه (Alipourmohajer *et al.*, 2019) و نیز با توجه به الگوی رانندگی در شهر تهران، که معمولا اکثر شهروندان با خودروی شخصی به محل کار تردد می‌کنند و در این مدت خودرو در حالت خاموش باقی می‌ماند، لذا ترجیح داده شد برای زمان استارت گرم (Soak Time) معادل ۲۰ درصد از ناوگان به مدت ۳۰ دقیقه و این زمان برای ۸۰ درصد دیگر به مدت هشت ساعت در نظر گرفته شود. همچنین به دلیل مسافت ۱۱ کیلومتری پیمایش در چرخه NEDC در اطلاعات ورودی نرم‌افزار نزدیک‌ترین مقدار یعنی ۱۰/۹۳ کیلومتر لحاظ گردید.

نرم‌افزار COPERT

به جهت محقق شدن اهداف این پژوهش و انتخاب نرم‌افزار کارآمد جهت مدل سازی انتشار خودروهای گازسوز، نرم‌افزار COPERT نیز مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور جدیدترین نسخه این نرم‌افزار موسوم به COPERT 5.4.52 مورد استفاده قرار گرفت. این برنامه در حالت کلی آلاینده‌های اگزوزی و غیراگزوزی را برآورد می‌کند. همچنین COPERT وسایل نقلیه را نیز به چهار دسته اصلی خودروهای سواری، وسایل نقلیه تجاری سبک با وزن کمتراز ۳/۵ تن، وسایل نقلیه سنگین با وزن بیشتر از ۳/۵ تن و در نهایت انواع موتورسیکلت تفکیک کرده است.

به‌منظور محاسبه هرچه دقیق‌تر در این نرم‌افزار، انتشارهای استارت گرم یعنی انتشارهایی که موتور و محرک‌ها به دمای عملکرد طبیعی خود رسیده اند و نیز انتشارهای استارت سرد یعنی آلاینده‌هایی که قبل از رسیدن زیر سیستم‌های خودرو به دمای عملکرد طبیعی خود منتشر می‌شوند را نیز در محاسبات خود لحاظ می‌کند.

به دلیل اینکه پایه محاسباتی این برنامه براساس اطلاعات ناوگان است، با استفاده از سه روش محاسبات را انجام می‌دهد. روش ردیف اول یا Tire 1 که از سوخت به‌عنوان شاخص فعالیت در ترکیب با عوامل انتشار ویژه استفاده می‌کند. روش ردیف دوم یا Tire 2 که سوخت مورد استفاده در دسته‌های مختلف خودرو و استانداردهای انتشار آن‌ها را درنظر می‌گیرد. در نهایت روش ردیف سوم یا Tire 3 که میزان انتشار گازهای خروجی با استفاده از ترکیبی از داده‌های فنی مانند عوامل انتشار و داده‌های فعالیت از قبیل کیلومتر خودرو محاسبه می‌شود. روش سوم تحت عنوان روش‌شناسی دقیق شناخته می‌شود.

منطق محاسباتی نرم‌افزار براساس اطلاعات ورودی بوده و دسته‌بندی اطلاعات مورد نیاز جهت وارد کردن به برنامه شامل موارد زیر است:

- شرایط محیطی شامل کمینه و بیشینه دمای هوا در هرکدام از ماه‌های سال و میزان رطوبت
- مشخصات مسیر شامل مسافت و مدت زمان
- مشخصات سوخت از جمله انواع سوخت و ترکیبات آن، مکمل‌ها و فشار بخارات
- اطلاعات و مشخصات خودرو شامل کلاس و سایز، کاربری، تعداد محور، تکنولوژی نوع موتور، ضریب تصحیح دی اکسید کربن و استارت سرد و گرم
- داده‌های فعالیت ناوگان شامل تعداد وسایل نقلیه و دسته‌بندی آن‌ها، میزان پیمایش در هر کلاس از جاده
- داده‌های وضعیت رانندگی شامل اطلاعات مربوط به سرعت متوسط در هر کلاس وسیله نقلیه در انواع مختلف جاده‌ها

لازم به ذکر است که اطلاعات تکمیلی در مورد پارامترهای ورودی دو نرم‌افزار IVE و COPERT در بخش پیوست ارائه شده‌اند.

آزمون آلایندگی ISQI

این آزمون تحت شرایط خاص با نظارت مرکز آزمون آلایندگی خودرویی وابسته به سازمان بازرسی استاندارد و کیفیت ایران ISQI بر روی خودروی تیبا گازسوز که دارای استاندارد یورو ۴ بوده است در دو حالت بنزین و گاز طبیعی صورت گرفته و نتایج بدست آمده جهت

مقایسه با نرم‌افزارها ثبت شدند. آزمون مذکور در دو مرحله که هر کدام شامل چهار آزمون آلایندگی بر اساس چرخه NEDC بوده، صورت پذیرفته است. در مجموع تعداد هشت آزمون در دو مرحله مجزا انجام شد.

الگوهای ترافیکی و چرخه‌های رانندگی

به‌منظور تدوین استانداردهای آلاینده‌های هوا در هر منطقه جغرافیایی، دو عامل عادات رانندگی و وضعیت شبکه راه‌ها در نظر گرفته می‌شود، بنابراین متفاوت بودن شرایط مسیر، سرعت جابه‌جایی، زمان‌های شتاب‌گیری و توقف به‌عنوان الگوی ترافیکی بسیار مهم است. از آنجاییکه چرخه‌های رانندگی تاثیر بسیاری بر میزان انتشار آلاینده‌ها دارند، آزمون‌های مربوط به این مطالعه نیز از چرخه استاندارد NEDC بهره برده‌اند. باوجود اینکه امروزه چرخه‌های جدیدتر دیگری هم وجود دارند، چرخه NEDC هنوز هم مناسب ارزیابی شده و نیز همخوانی کامل با امکانات موجود دارد.

مراحل آزمون آلایندگی در ISQI

در مرحله نخست خودرو بر روی شاسی دینامومتر قرار می‌گیرد که از یک یا دو غلتک بزرگ متصل به یک موتور الکتریکی تشکیل شده است و می‌تواند با توجه به چرخه‌های مختلف رانندگی مقاومت اعمال شده به چرخ خودرو را در شرایط واقعی شبیه‌سازی کند. همچنین برای آزمون‌های مختلف شرایط محیطی از جمله دما را می‌توان تغییر داد (Yang *et al*., 2018).

همانطور که در شکل شماره یک نیز مشاهده می‌شود، خودرو بر روی غلتک‌ها تحت شرایط سخت، کنترل شده و حین آزمایش و حرکت غلتک‌ها در جای خود ثابت می‌ماند و با توجه به منحنی سرعت-زمان از پیش تعریف شده که بر روی مانیتور نمایش داده می‌شود، راننده وسیله نقلیه را مطابق با شرایط چرخه رانندگی کنترل می‌کند. سپس گازهای خروجی جهت اندازه‌گیری میزان انتشار به حسگرها و تحلیل‌گرهای شیمیایی پیچیده منتقل می‌شوند. این آزمون باید دقیق و قابل تکرار باشد، براساس چرخه‌های رانندگی استاندارد و به‌منظور ارزیابی میزان انتشار گازهای خروجی و صرفه‌جویی در مصرف سوخت صورت می‌گیرد (شکل شماره ۱)

شکل ۱- نحوه اندازه‌گیری در دستگاه شاسی دینامومتر
Fig. 1- Chassis dynamometer testing

نتایج و بحث

پس از انجام آزمون آلایندگی در ISQI نتایج آن اخذ و ثبت شد. اطلاعات جمع‌آوری شده نیز ابتدا در نرم‌افزار IVE و سپس COPERT ثبت و اجرا شدند. لازم به توضیح است که خروجی نرم‌افزار IVE شامل CO، VOC، VOC_{evap}، NO_X، SO_X و PM و خروجی نرم‌افزار COPERT شامل CO، NO_X و CO_2 بودند. در نهایت مقایسه عملکرد دو نرم‌افزار مقدار مدل سازی شده آلاینده‌های مشترک شامل CO، NO_X و CO_2 در بخش ۶-۳ با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج حاصل از آزمون آلایندگی در ISQI

نتایج اخذ شده از شرکت بازرسی کیفیت و استاندارد ایران مطابق با جدول شماره یک ثبت شده و مورد مقایسه قرار گرفتند.

جدول ۱- نتایج آزمون آلایندگی در ISQI
Table 1. Results of the emission test in ISQI

حالت CNG CNG Mode			
اجزای انتشار Emission parameters	CO	NO_X	CO_2
نتایج (گرم بر کیلومتر) Results (g/km)	0.429	0.032	109.871
محدوده مجاز (گرم بر کیلومتر) Authorized range (g/km)	1.00	0.08	-

نتایج حاصل از نرم‌افزار IVE

مطابق با جداول شماره دو و سه، پس از اجرای برنامه نتایج

حاصل برای هر یک از آلاینده‌های مبنا و گازهای گلخانه‌ای ثبت شدند. لازم به ذکر است که مقادیر آلاینده‌های بدست آمده از نرم‌افزار IVE بر حسب گرم برای قرارگیری در مقام مقایسه می‌بایست به مقدار مسافت پیمایش وارد شده در نرم‌افزار تقسیم شوند تا مقدار انتشار بر حسب گرم بر کیلومتر مشخص شود. در ادامه نتایج خروجی نرم‌افزار IVE برای سه آلاینده‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر در جداول شماره ۲ و ۳ ارائه شده است.

جدول ۲- نتایج نرم‌افزار IVE برای آلاینده‌های مبنا
Table 2. Results of IVE for criteria pollutants

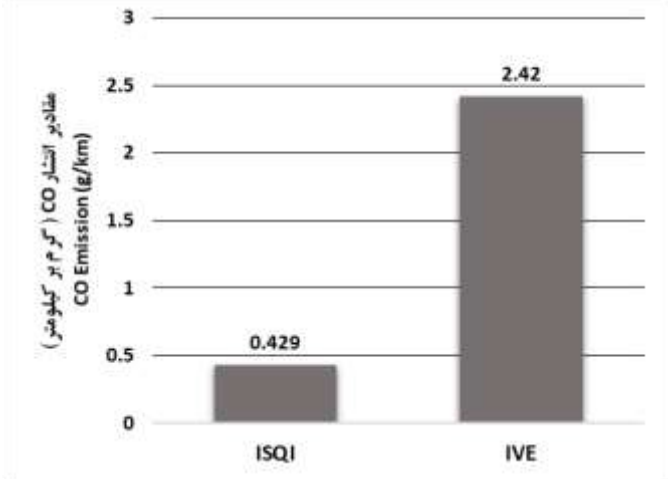
اجزای انتشار Emission parameters	CO	VOC	VOC evap	NOx	SOx	PM
مقادیر استارت (گرم) Start-up amounts (g)	12.57	0.08	0.09	0.53	0.00	0.00
مقادیر حین رانندگی (گرم) Running amounts (g)	13.83	0.04	0.32	2.95	0.00	0.00
مقادیر کلی (گرم) Total amounts (g)	26.40	0.12	0.41	3.48	0.00	0.00
مقادیر کلی (گرم بر کیلومتر) Total amounts (g/km)	2.42	0.01	0.04	0.32	0.00	0.00

جدول ۳- نتایج نرم‌افزار IVE برای گازهای گلخانه‌ای
Table 3. Results of IVE for GHG emission

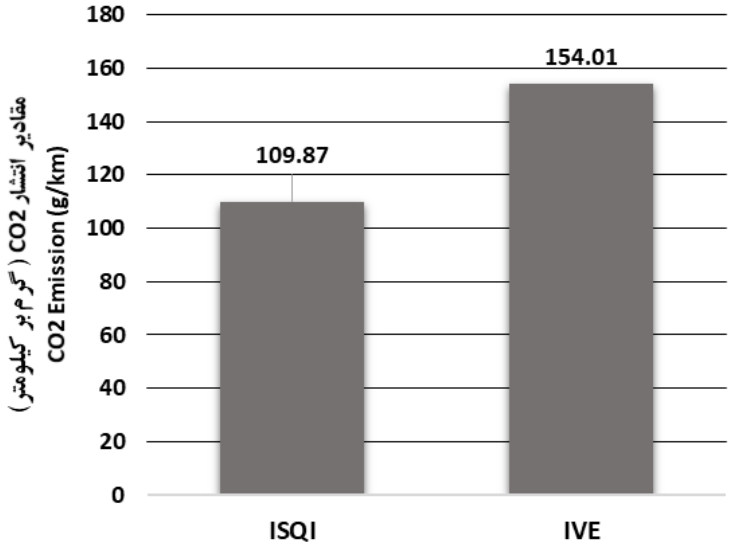
اجزای انتشار Emission parameters	CO_2	N_2O	CH_4
مقادیر استارت (گرم) Start-up amounts (g)	13.80	0.01	3.52
مقادیر حین رانندگی (گرم) Running amounts (g)	1664.90	0.05	1.78
مقادیر کلی (گرم) Total amounts (g)	1678.70	0.06	5.30
مقادیر کلی (گرم بر کیلومتر) Total amounts (g/km)	154.01	0.01	0.49

مقایسه نتایج نرم‌افزار IVE با آزمون آلایندگی ISQI

پس از تبدیل واحد بر اساس توضیحات بخش ۳-۲، نتایج مقایسه خروجی نرم‌افزار IVE و آزمون آلایندگی ISQI در شکل‌های شماره دو، سه و چهار ارائه شده‌اند.

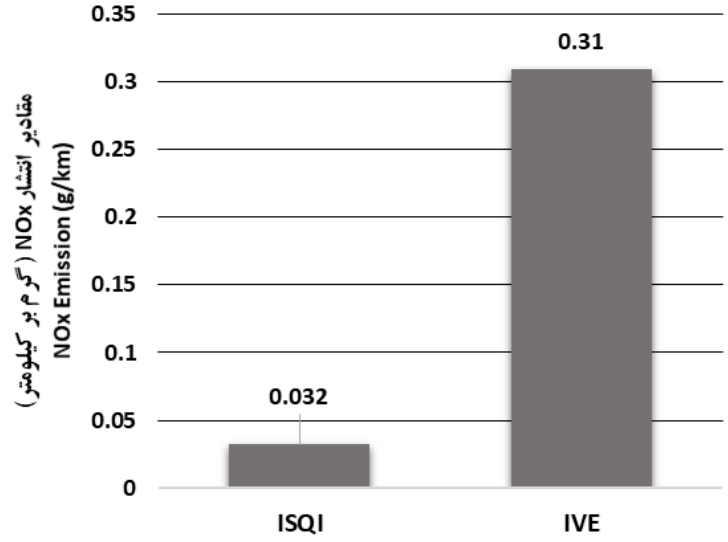


شکل ۲- مقایسه مقادیر انتشار CO نرم‌افزار IVE و آزمون آلایندگی در ISQI
Fig. 2- Comparison of CO emission levels estimated by IVE and emission test conducted in ISQI



شکل ۳- مقایسه مقادیر انتشار CO_2 نرم‌افزار IVE و آزمون آلایندگی در ISQI

Fig. 3- Comparison of CO_2 emission levels estimated by IVE and emission test conducted in ISQI



شکل ۲- مقایسه مقادیر انتشار NOx نرم‌افزار IVE و آزمون آلایندگی در ISQI

Fig. 4- Comparison of NOx emission levels estimated by IVE and emission test conducted in ISQI

پس از مقایسه نتایج مدل سازی توسط نرم‌افزار IVE با نتایج آزمون آلایندگی ISQI مشخص شد درخصوص آلاینده منوکسید کربن ۸۲ درصد، اکسیدهای نیتروژن ۸۹ درصد و دی اکسید کربن نیز ۲۸ درصد خطا و اختلاف وجود دارد.

در تحلیل این عدم تطابق می‌توان این ادعا را مطرح نمود که به دلیل تفاوت فناوری CNG موجود در نرم‌افزار IVE و فناوری موتورهای گازسوز در خودروهای ایرانی، نتایج خروجی مطابقت ندارند؛ خودروهای دوگانه‌سوز تولید داخل طبق مشخصات فنی از فناوری پاشش سوخت چند نقطه‌ای (MPFI[17]) بهره می‌برند ولی در عمل همان موتورهای بنزینی سابق هستند که اصلاحاتی به‌منظور گازسوز کردن آن‌ها صورت گرفته است.

نرم‌افزار دارای ۱,۳۷۲ نوع تکنولوژی خودرو بر اساس نوع

سایز، سوخت، کاربری، سیستم سوخت‌رسانی، سیستم کنترل بخارات و سیستم کنترل گازهای خروجی است. این تفاوت تکنولوژی در نرم‌افزار بصورت حروف اختصاری MPFI برای سوخت بنزین و FI برای سوخت گاز طبیعی قابل مشاهده است. با وارد کردن شرایط خودروی مورد آزمون در نرم‌افزار، برای سوخت بنزین و گاز طبیعی به ترتیب ردیف‌های ۱۱۷ و ۳۰۶ انتخاب شدند.

ردیف ۱۱۷ بیانگر خودرو بنزین‌سوز PT که وزن آن کمتر از چهار تن Auto/SmTk و در دسته‌بندی خودروهای سبک Lt قرار می‌گیرد. همچنین مجهز به تکنولوژی پاشش چند نقطه‌ای سوخت MPFI و کاتالیست سه‌راهه که باید قبل از رسیدن به کارکرد ۷۹۰۰۰ تعویض گردد (<79K km) و در نهایت سیستم انتقال هوای محفظه میل‌لنگ به محفظه احتراق و حذف انتشارات تبخیری را دارد. در مورد ردیف ۳۰۶ تنها تفاوت در نوع سوخت گاز طبیعی NG و سیستم سوخت‌رسانی آن است که تکنولوژی پاشش تک‌نقطه‌ای (FI) دارد.

117 PT: Auto/SmTk : Lt : MPFI : 3Wy : PCV : <79K km سوخت بنزین

306 NG: Auto/SmTk : Lt : FI : 3Wy : PCV : <79K km سوخت گاز طبیعی

نتایج حاصل از نرم‌افزار COPERT

پس از وارد نمودن اطلاعات مورد نیاز در نرم‌افزار و اجرای آن نتایج بدست آمده طبق جدول شماره چهار ثبت شد:

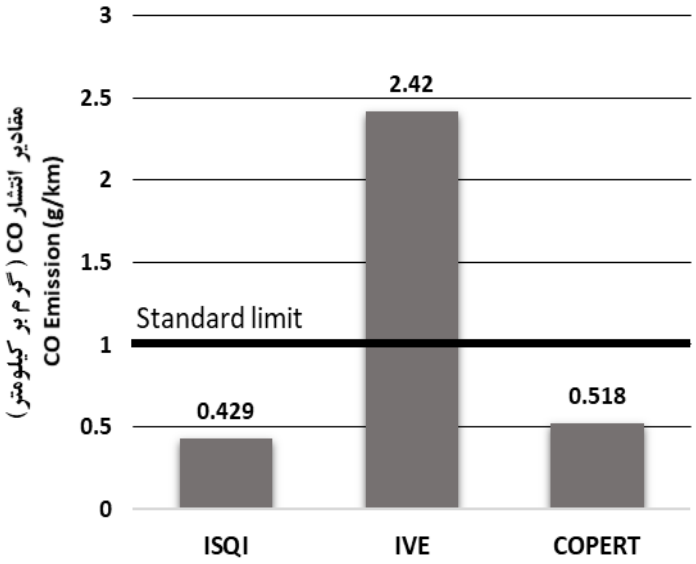
جدول ۴- نتایج نرم‌افزار COPERT

Table 4. Results of the COPERT software

مقادیر انتشار (گرم بر کیلومتر) Emissions (g/km)		CO	NOx	CO_2
دسته بندی ناوگان	خودروی سواری			
Category	Passenger cars			
نوع سوخت	گاز طبیعی فشرده	0.518	0.036	188.62
Fuel	CNG			
دسته بندی اندازه	کوچک			
Segment	Small			
استاندارد آلایندگی	یورو ۴			
Euro standard	Euro 4			

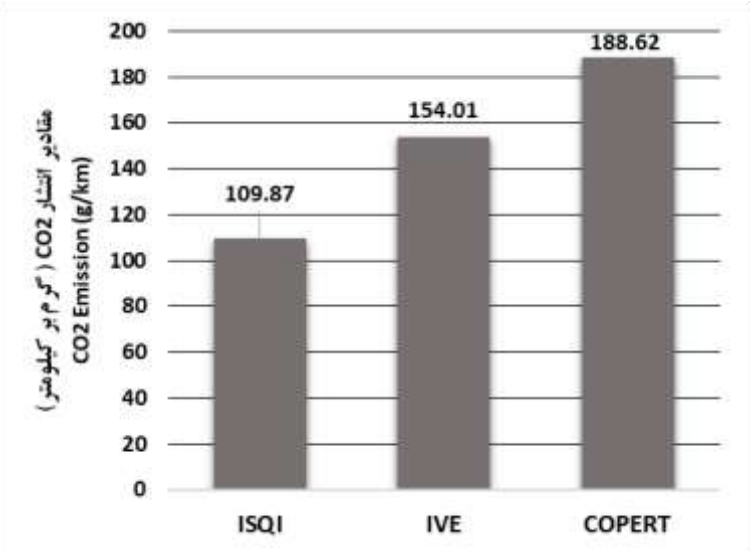
مقایسه نتایج آزمون آلایندگی در ISQI با نرم‌افزارهای IVE و COPERT

به منظور انجام مقایسه و نتیجه‌گیری، در شکل شماره پنج مقادیر انتشار گاز CO_2 اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه مرکز ISQI و مقادیر مدل سازی شده توسط نرم‌افزارهای IVE و COPERT نمایش داده شده است.



شکل ۳- مقایسه مقادیر انتشار CO حاصل از آزمون آلایندگی در ISQI با نرم‌افزارهای IVE و COPERT

Fig. 5- Comparison of CO levels estimated by IVE and COPERT software with emission test conducted in ISQI



شکل ۶- مقایسه مقادیر انتشار CO2 حاصل از آزمون آلایندگی در ISQI با نرم‌افزارهای IVE و COPERT

Fig. 6- Comparison of CO_2 levels estimated by IVE and COPERT software with emission test conducted in ISQI

مقایسه نتایج مدل‌های IVE و COPERT

با استناد به نتایج حاصله از دو نرم‌افزار مذکور و به‌جهت تحقق اهداف تحقیق، اهمیت محاسبه و برآورد سه آلاینده مورد بحث در این پژوهش یعنی CO، NO_X و CO_2 مشخص می‌گردد. در خصوص هیدروکربن، ذکر این نکته الزامی است که انتشار این آلاینده تحت شرایط بسیار متغیری اتفاق می‌افتد و مقادیر آن به موارد گوناگونی بستگی دارد که مهم‌ترین آن‌ها شامل نسبت هوا به سوخت، احتراق ناقص، اجزای اصلی سوخت، شرایط و هندسه محفظه احتراق است. به دلیل اینکه هیچکدام از این دو نرم‌افزار گزینه‌ای برای محاسبه میزان آلاینده HC ندارند، بنابراین محاسبه و مقایسه انتشار این آلاینده مقدور نیست.

بیشترین مقدار انتشار HC در خودروهای گازسوز در سرعت بین ۵۰ تا ۶۰ کیلومتر بر ساعت و کمترین آن در حدود سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت است (Huang *et al.*, 2016). در رابطه با سایر آلاینده‌هایی که بصورت مشترک در پایگاه اطلاعاتی این دو نرم‌افزار محاسبه می‌شوند نیز نتایج در جدول شماره پنج ارائه شده است.

جدول ۵- آلاینده‌های مشترک مورد محاسبه IVE و COPERT

Table 5. Common pollutants estimated by IVE and COPERT

	آلاینده‌های مبنا (گرم بر کیلومتر) Criteria pollutants (g/km)			
	CO	NOx	PM	VOC
IVE	2.422	0.319	0.000	0.010
COPERT	0.519	0.036	0.036	0.061
	آلاینده های سمی (گرم بر کیلومتر) Toxics (g/km)			
	Lead			NH_3
IVE	0.000			0.062
COPERT	0.000			0.023
	گازهای گلخانه ای (گرم بر کیلومتر) GHG (g/km)			
	CO_2	N_2O		CH_4
IVE	154.008	0.005		0.486
COPERT	188.626	0.001		0.037

میزان انتشار منوکسید کربن بدست آمده از آزمون آلایندگی در ISQI که برابر ۰/۴۲۹ گرم بر کیلومتر بوده، اختلاف ۱۷درصدی با نتایج نرم‌افزار COPERT دارد که برابر ۰/۵۱۸ گرم بر کیلومتر و پایین‌تر از حد استاندارد است؛ درصورتیکه این اختلاف در خروجی مدل IVE با مقدار ۲/۴۲ گرم بر کیلومتر ۸۲ درصد است که از حد استاندارد تجاوز کرده است.

در خصوص آلاینده NO_X عدد حاصل از آزمون آلایندگی در ISQI به مقدار ۰/۰۳۲ گرم بر کیلومتر ثبت شده که این نیز اختلاف ۱۱درصدی با نتایج COPERT دارد که برابر ۰/۰۳۶ گرم بر کیلومتر پایین‌تر از حد استاندارد است؛ درصورتیکه نتایج IVE با اختلاف ۸۹ درصد یعنی عدد ۰/۳۱۹ را نشان می‌دهد که در محدوده مجاز استاندارد نیست.

نتایج انتشار CO_2 برگرفته از آزمون آلایندگی در ISQI که برابر ۱۰۹/۸۷ گرم بر کیلومتر است بر خلاف دو آلاینده قبلی اختلاف کمتری به‌میزان ۲۸ درصد نسبت به IVE با مقدار ۱۵۴/۰۱ و به میزان ۴۱ درصد با نتایج COPERT با مقدار ۱۸۸/۶۲ گرم بر کیلومتر را دارد.

براساس یافته‌ها و با در نظر گرفتن نتایج حاصل از مدل سازی دو نرم‌افزار IVE و COPERT در همه حالات و مقایسه آن‌ها با نتایج آزمون واقعی آلایندگی ISQI می‌توان نتیجه گرفت که با وجود محبوبیت و ویژگی‌های منحصربه‌فرد IVE و طراحی هدفمند آن برای کشورهای در حال توسعه، دست‌کم در خصوص سوخت گاز طبیعی کارایی و دقت لازم را ندارد و این در شرایطی است که این مدل از سال ۲۰۰۸ به بعد نیز به روزرسانی نشده است.

از طرفی دیگر آخرین نسخه نرم‌افزار COPERT با نام COPERT 5.4.52 با امکاناتی وسیع و دقت و عملکرد بالا در سال ۲۰۲۱ منتشر شده است. بنابراین طبیعی به نظر می‌رسد که COPERT استانداردها و قوانین به‌روزتر و کامل‌تری را در منطق محاسباتی خود جای داده است.

نتیجه‌گیری

پس از کسب نتایج حاصل از نرم‌افزارهای IVE و COPERT و مقایسه آن‌ها با آزمون آلایندگی ISQI، فرض ابتدایی پژوهش مبنی بر مناسب بودن این مدل برای خودروهای گازسوز رد شده و علی‌رغم پذیرش مرجعیت نرم‌افزار IVE جهت مدل سازی آلاینده‌های خودروهای گازسوز در کشور، مشخص شد که نتایج حاصل از این نرم‌افزار در مورد خودروهای گازسوز دقت لازم را نداشته و نرم‌افزار COPERT در این زمینه از عملکرد بهتری برخوردار است. بر اساس نتایج این پژوهش نرم‌افزار COPERT درخصوص آلاینده منوکسید کربن ۶۵ درصد و درمورد اکسیدهای نیتروژن نیز ۷۸درصد دقیق‌تر عمل کرده اما در برآورد میزان دی اکسید کربن ۱۳ درصد ضعیف‌تر عمل کرده است.

بنابر مطالعات صورت گرفته مشخص گردید علی‌رغم استفاده از استاندارد یورو ۴ در صنعت خودروسازی کشور، این استاندارد همخوانی و نتایج مطلوبی با نرم‌افزارهای پیشرفته‌تر همانند COPERT را ندارد. همچنین به‌روز رسانی این نرم‌افزارها براساس استانداردها و چرخه‌های آزمون جدیدتر صورت می‌گیرد، بنابراین صرفاً در خصوص استانداردها، استاندارد یورو ۴، به مراتب همخوانی بیشتری با نرم‌افزار IVE دارد. با توجه به بکارگیری استاندارد یورو ۴ در صنعت خودروسازی کشور و با توجه به شرایط و امکانات آزمایشگاهی موجود در ایران، به‌نظر می‌رسد در حال حاضر چرخه آزمون NEDC کماکان چرخه آزمون مناسبی است.

در مقام مقایسه از منظر کاربرد دو نرم‌افزار به‌ویژه در محاسبات سنگین تعیین سیاهه انتشار می‌توان به نکته‌های زیر اشاره نمود:

- نرم‌افزار IVE نصب و راه‌اندازی ساده‌تری نسبت به COPERT دارد.
- وارد کردن اطلاعات اولیه در IVE به‌مراتب ساده‌تر از COPERT است.

- در فرآیند محاسبات نرم‌افزار IVE، کاربر موظف است جداول پیش نیاز آن را آماده کند ولی نرم‌افزار COPERT محاسبات را بصورت خودکار و بدون دخالت کاربر انجام می‌دهد.
- در مقایسه با نرم‌افزار IVE، نرم‌افزار COPERT قادر است متغیرهای متنوع‌تری مانند استارت سرد و گرم، مکمل‌های مورد استفاده در سوخت و فشار مطلق بخار را در محاسبات انتشار لحاظ نموده و نتایج دقیق‌تری را ارائه نماید.
- نرم‌افزار COPERT قادر است ۲۷ نوع انتشار اگزوزی و غیراگزوزی خودروها را محاسبه نموده که این تعداد بسیار بیشتر از توانمندی نرم‌افزار IVE با قابلیت محاسبه ۱۵ آلاینده می‌باشد.

درحال حاضر جهت تهیه و تدوین تخمین میزان انتشار خودروهای گازسوز در برخی از کلان‌شهرهای کشور از ضرایب انتشار استفاده می‌شود که از نظر علمی بسیار ساده بوده و توانایی شبیه‌سازی چرخه‌های رانندگی، اطلاعات ناوگان و مشخصات فنی سوخت را ندارد. بر اساس یافته‌های این پژوهش توصیه می‌گردد به‌منظور انجام این مهم از مدل سازی آلاینده‌ها توسط نرم‌افزارهای توانمندی چون COPERT استفاده شود.

همچنین پیشنهاد می‌گردد به‌منظور صحت‌سنجی اعتبار و تائید مرجعیت نرم‌افزار IVE در کشور، آلاینده‌های خودروهای بنزین‌سوز نیز با نرم‌افزار COPERT مدل سازی شده و نتایج حاصله با نتایج نرم‌افزار IVE مقایسه شوند.

پی‌نوشت‌ها

[1] Peroxyacyl Nitrates
[2] Compressed Natural Gas
[3] Particulate Matter
[4] Total Hydrocarbon Content
[5] Non-methane Hydrocarbons
[6] International Vehicle Emission
[7] New European Driving Cycle
[8] Motor Vehicle Emission Simulator
[9] Computer Program to calculate Emissions from Road Transport
[10] Volatile Organic Compounds
[11] Optimization Model for reducing Emissions of Greenhouse gases from Automobiles
[12] Greenhouse Gas Emissions Model
[13] Iranian Standard & Quality Inspection
[14] Volatile Organic Compounds evaporative
[15] Vehicle Specific Power
[16] Federal Test Procedure
[17] Multipoint Port Fuel Injection

منابع

Alipourmohajer, S., Rashidi, Y., and Atabi, F.,2019. Verification of IVE model for SAIPA Co. fleet emission. Pollution. 5, 235-245.

EPA., 2002. User's Guide to MOBILE6.1 and MOBILE6.2: Mobile Source Emission Factor Model. U.S. Environmental Protection Agency. Available online at: https://www.epa.gov/

EPA., 2005a. EPA's National Inventory Model (NMIM), A Consolidated Emissions Modeling System for MOBILE6 and NONROAD. U.S. Environmental Protection Agency. Available online at: https://www.epa.gov/

EPA., 2005b. User's Guide for the Final NONROAD2005 Model. U.S. Environmental Protection Agency. Available online at: https://www.epa.gov/

EPA., 2015. MOVES2014a User Guide. US Environmental Protection Agency. Available online at: https://www.epa.gov/

EPA., 2016. EPA Optimization Model for Reducing Emissions of Greenhouse Gases from Automobiles (OMEGA). U.S. Environmental Protection Agency. Available online at: https://www.epa.gov/

Gkatzoflias, D., Kouridis, C., Ntziachristos, L., and Samaras, Z., 2006. COPERT 4: Computer programme to calculate emissions from road transport. European Environment Agency. 1, 1-70.

Guo, D., Zhao, J., Xu, Y., Sun, F., Li, K., Wang, J., and Sun, Y., 2020. The impact of driving conditions on light-duty vehicle emissions in real-world driving. Transport. 35(4), 379-388.

Huang, X., Wang, Y., Xing, Z., and Du, K., 2016. Emission factors of air pollutants from CNG-gasoline bi-fuel vehicles: Part II. CO, HC and NOx. Science of The Total Environment. 565, 698-705.

ISSRC., 2008. IVE Model Users Manual Version 2.0 (Vol. 1). ISSRC. 3-47.

Napolitano, P., Alfè, M., Guido, C., Gargiulo, V., Fraioli, V., and Beatrice, C., 2020. Particle emissions from a HD SI gas engine fueled with LPG and CNG. Fuel. 269, 117439.

Planning and Budget Organization., 2020. Energy supply document of the transportation until 1420. Planning and Budget Organization. 2-7.

Pulkrabek, W. W., 1997. Engineering fundamentals of the internal combustion engine (Vol. 9). Upper Saddle River, N.J. : Prentice Hall, ©1997.

Rostami, F., 2018. Report of using energic oil products in 2018. N. I. O. P. D. Company. 9-10

Shafiepour, M., Alidoust, a., and Yeganeh, B., 2009. Explain national pollution standards for CNG cars in Iran 9th Transportation and Traffic Engineering Conference of Iran. 2-3.

Shafiepour, M., and Khamseie, B., 2008. Air Pollution Engineering (Vol. 1). In: Nashre shahr publication. 209-217.

Trivedy, R. K., Goel, P. K., 2010. An Introduction to Air Pollution. India: ABD Publishers.5-10.

UTI., 2020. CNG vs. LPG vs. LNG Fuel: Understanding the Differences. available on https://www.uti.edu/blog/diesel/cng-lpg-lng-fuel

Wark, K., Warner, C. F., and Davis, W. T., 1998. Air Pollution: Its Origin and Control (Vol. 4). Addison-Wesley.

Zhang, H., 2018. Greenhouse gas Emission Model (GEM). Environmental Protection Agency.2-15.

Environmental Sciences Vol.20 / No.4 / Winter 2023

1-16

Original Article

Selecting the optimal model for estimating the emissions from natural gas vehicles in Tehran

Hashem Sadeghzadeh and Bijan Yeganeh*

Department of Water, Wastewater and Environmental Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2022.05.09 Accepted: 2022.09.14

Sadeghzadeh, H. and Yeganeh, B., 2023. Selecting the optimal model for estimating the emissions from natural gas vehicles in Tehran. Environmental Sciences. 20(4): 1-16.

Introduction: The study aims to select the optimal model to estimate the emissions from vehicles with compressed natural gas (CNG) powertrain systems in Tehran to identify, evaluate and plan for controlling emissions through CNG vehicles, and determining the pollution level of passenger cars produced by the Iranian automotive industries and compare it with pollution standards.

Material and methods: In this study, locally-produced CNG vehicles' information was used to estimate the pollutants emitted from domestic CNG vehicles using IVE and COPERT modeling software. Finally, the modeling outputs were compared with the results of the ISQI emission test.

Result and discussion: Results showed that contrary to the initial assumption, supposing IVE software was suitable for advancing the research objectives, the performance of IVE software was not reliable for CNG vehicles, and the outputs of COPERT software were much closer to the values measured in the ISQI emission test. The COPERT estimated values were more accurate by 65 and 78 percent for carbon monoxide and NO_X, respectively, but 13% worse for carbon dioxide.

Conclusion: Based on the findings, the COPERT model is more accurate than IVE for modeling CNG vehicles' emissions, especially for CO and NO_X. According to the findings, it is necessary to reconsider the superiority

* Corresponding Author: *Email Address*. b_yeganeh@sbu.ac.ir
http://dx.doi.org/10.48308/envs.2022.1189
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.4.14.9

and application of IVE software for determining the emission inventory and estimating the air pollutants emitted from the CNG fleet in the country.

Keywords: Emission models, Natural gas vehicle, IVE, COPERT, ISQI, Tehran.